

Compendio de
Ci3NCI4S
Ciencia Aplicada
2018



Dr. Cutberto Romero Meléndez
Lic. Francisco Montaña Cuahuilaz
Dra. María de Lourdes Juárez Mosqueda
Compiladores





Directorio

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Enrique Luis Graue Wiechers

Rector

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

Secretario General

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez

Secretario Administrativo

Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa

Secretario de Desarrollo Institucional

Lic. Raúl Arcenio Aguilar Tamayo

Secretario de Prevención, Atención y Seguridad Universitaria

Dra. Mónica González Contró

Abogacía General

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Dr. Francisco Suárez Güemes

Director

Dr. José Ángel G. Gutiérrez Pabello

Secretario General

LAE José Luis Espino Hernández

Secretario Administrativo

Dr. Francisco A. Galindo Maldonado

Secretario de Vinculación y Proyectos Especiales

Lic. Manuel Casals Cardona

Jefe del Departamento de Publicaciones

MVZ Enrique Basurto Argueta

Jefe del Departamento de Diseño Gráfico y Editorial

MVZ Martha Beatriz Trejo Salas

Departamento de Morfología



Comité Científico

Dr. José Ramón Bergueiro López

Universidad de las Islas Baleares. Palma de Mallorca, España

Dr. Igor Brilla

Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia.

Prof. Ing. Hugo Alberto Destéfanis

Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.

Dra. Ingrid Garcés Millas

Universidad de Antofagasta, Chile

Dr. Edison Hernán Gil Pavas

Universidad EAFIT, Medellín, Colombia

Dr. Baltazar Aguirre Hernández

Departamento de Matemáticas.

*Universidad Autónoma Metropolitana Izta

palapa, México*

Dr. Héctor Juárez Valencia

Departamento de Matemáticas.

*Universidad Autónoma Metropolitana Izta

palapa, México*

Dra. Sandra Loera Serna

Departamento de Ciencias Básicas. Universidad Autónoma

Metropolitana Azcapotzalco, México

Dr. José Hugo Martínez Guerrero

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, U

niversidad Juárez del Estado de Durango, México

Dr. Ing. Alejandro Hossian

Facultad Regional Neuquén Universidad Tecnológica Nacional,

Neuquén, Argentina.

Dr. Antonio Valiente Barderas

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.

Dr. René Osvaldo Vargas Aguilar

Instituto Politécnico Nacional, México

M en A Alejandro Silva

Instituto de Geología Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Olivia Zamora Martínez

Instituto de Geología Universidad Nacional Autónoma de México

M en I Jorge Alberto Uc Martín

Instituto de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico,

Universidad Nacional Autónoma de México

Msc. Ing. Isabel Moromi Nakata

Facultad de Ingeniería Civil Universidad Nacional de Ingeniería,

Lima, Perú

Dr. Asur Guadarrama Santana

Instituto de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico,

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Leovildo Diago Cisneros

Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba.

Universidad Iberoamericana, México

Dra. Alejandra Mendoza Campos

Facultad de Ciencias,

Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. María de Lourdes Juárez Mosqueda

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia,

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Guillermo Salas Banuet

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Cutberto Romero Meléndez

Departamento de Ciencias Básicas,

Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México

Dr. Martín Emilio Pereda Solís

Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, México

Dra. Adela Margarita Reyes Salas

Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México



COMPENDIO DE CIENCIA APLICADA 2018



Dr. Cutberto Romero Meléndez
Lic. Francisco Montaña Cuahuilaz
Dra. María de Lourdes Juárez Mosqueda

Compiladores

Javier Cruz Gómez | Margarita Chávez Martínez | Igor Brilla (Slovakia) | Ramón Salazar Velasco | David Parra Guevara | Eleazar López Flores
Cutberto Romero Meléndez | Mérida Sotelo Lerma | Gerardo Calva Olmos | Delfino Ladino Luna | Carlos Trallero Giner (Cuba) | Carlos E. Flores Gasca
Carlos Zubieta Badillo | Mario Díaz Cruz | Margarita Reyes Salas | Norma Angélica Noguez Méndez | Lilita Velázquez Velázquez
Paola Andrea Bautista Duarte (Colombia) | María de Lourdes Juárez Mosqueda | Alejandra González Franco | Adolfo A. Rayas Amor | Doris Teresa Gallegos Baños
Asur Guadarrama Santana | Alexandra Gómez Ojeda (Colombia) | Juan Carlos Rodríguez Campos | Francisco Montaña Cuahuilaz | Yanier Basulto Rodríguez
G. Yolanda Vega Cano | Jansel Leyva Bravo | Yaret Gabriela Torres Hernández | Guillermo Sala Banuet | Alejandro Cavazos Hernández
Julio Acosta Sulcahuamán (Perú) | Amando Padilla Ramírez | Márcia Cristina Belício Alves Souza (Brasil) | Ernesto Montes Estrada | Eduardo Campero Littlewood
Benjamín Vázquez González | Rodrigo Mayen Mondragón | Jiménez-Placer G (Argentina) | César A. Machuca Mejía | Fernando Rosas Ramírez | Darelys Bernal Iznaga
Fredy David Bernal Castillo (Colombia) | Cruz-García, Dayana | Harold Gutiérrez Nahui (Perú) | Ana Monzón Ebank (Cuba) | Ernesto Vázquez Cerón
Alberto Jaramillo Núñez | Adolfo A. Rayas Amor | Alma D. Rojas Rodríguez | Mauricio Bastián Montoya | Antonio Valiente Barderas | Juan Ricardo Damián Zamacona
Luis Yair Bautista Blanco | Alejandro Pérez Ricárdez | Sara Suárez Torres | María de la Luz Soto Téllez | René Rodríguez Florentino | Leonardo Hernández Martínez
Gloria María Jaime Mirabal (Cuba) | Esther Mata Zamora | García Martínez Julio Cesar | José Antonio Colín Luna | María Rafaela Gutiérrez Lara
Edison Gil Pavas (Colombia) | Katherine Caballero Soto (Colombia) | Marisela Bernal González | Ingrid Garcés Millas (Chile) | María Elena Calderón-Segura
Ricardo Isaac Márquez | Centro de Estudios de Desarrollo Sustentable y Aprovechamiento de la Vida | Lorena Luna Rodríguez
René Rodríguez Florentino | Nicolás Domínguez Vergara | Jesús Noriega Daniel | José Antonio Colín Luna | Emigdio Gregorio Zamora Rodea
José Ciro Hernández Díaz | Ramón Eduardo Soto Cervantes | Lorena Luna Rodríguez | Ricardo I. Mata Páez | Juan José López Pardo
Julisa García Albortante | Oswaldo Guzmán López | Laura Cristina Aguilar Casas





Primera edición, 12 de noviembre de 2018

DR© 2018, Universidad Nacional Autónoma de México.
Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

ISBN versión electrónica: 978-607-30-1322-2

“Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales”.

Hecho en México / Made in Mexico.



Esta obra se encuentra bajo una licencia Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional
(CC BY-NC-ND- 4.0)

Se agradece a la MVZ Martha Beatriz Trejo Salas su apoyo, su entusiasmo y la confianza para la realización de este proyecto de publicación.

Diseño de arte: LSCA Edgar Emmanuel Herrera López, MVZ Enrique Basurto Argueta,
Diseño editorial: LDCV F. Avril Braulio Ortiz
Digitalización de imágenes: MVZ Erick Yoshimi González Tinajero
Gestión legal: MVZ Laura Edith Martínez Álvarez:



ÍNDICE

Introducción	10
--------------------	----

Capítulo 1. Ciencias naturales y exactas

Prólogo	14
Síntesis y evaluación de ocho diferentes monómeros y oligómeros acrilados para su uso en tintas y barnices curables por luz ultravioleta.	15
Síntesis de pigmentos de cobalto por combustión de geles.	23
Numerical determination of voltage potential inside 3D anisotropic.	34
Cálculo simple de la distancia entre dos puntos sobre la tierra.	42
Programación lineal aplicada al control de la concentración máxima de un contaminante.	47
Algunos criterios clásicos para verificar la estabilidad tipo Hurwitz de polinomios.	55
Control Cuántico estocástico aplicado a la resonancia magnética nuclear.	63
Análisis de la degradación acelerada de la perovskita ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$).	71
Propagación de una onda electromagnética utilizando un radiador dieléctrico.	79
A simplified analysis of the generated power in the Feynman pallet and ratchet mechanism.	87
Interacción electrón-fonón en hilos cuánticos de Ge/Si y Si/Ge.	95
Aplicación de los criterios clásicos de estabilidad en Sistemas con Bifurcaciones.	103
Generación de cuaternas cúbicas.	112
Estudio petrológico de los Condros de la Meteorita Pácula.	120
Red de monitoreo de gases (SO_2) en el volcán Popocatepetl.	125
Nuevos datos petrográficos y mineralógicos de la Meteorita Rancho Blanco, condrita L6.	132
Síntesis y caracterización de un copolímero de imida-triazina con resistencia, para su aplicación en la ametralladora de fabricación nacional.	139

Capítulo 2. Ciencias biológicas

Prólogo	147
Ensilados de <i>Moringa oleifera</i> inoculados con probióticos lácticos para alimentación animal.	148
Bioprospección microbiológica en aguas residuales no domésticas de industria farmacéutica como alternativa para un tratamiento biológico.	154
La PLC- ζ y gelsolina en el espermatozoide de bovino experimentan cambios de localización dependiendo del estado fisiológico y por el proceso de criopreservación.	162
Evaluación del uso de nanopartículas para mantener la viabilidad de los espermatozoides de verraco sometidos al proceso de criopreservación.	169



Efecto de la suplementación proteica en colonias de <i>Apis mellifera</i>	180
Potencial de especies para mitigar metano <i>in vitro</i>	187
Estudio de la actividad antiinflamatoria del extracto acuoso del Gorgojo Chino <i>Ulomoides dermestoides</i>	194

Capítulo 3. Ingeniería y tecnología

Prólogo.....	201
Mediciones eléctricas en líquidos con sensor capacitivo de doble sonda y desplazamientos lineales.	202
Análisis multicriterio para selección de metodología para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos teniendo en cuenta la ley 1672 de 2013 para Mipymes del sector de las telecomunicaciones que distribuyen aparatos eléctricos y electrónicos en Bogotá, Colombia.	214
La evolución de la informática: realidad aumentada y hololens.	221
Sistemas de control de inventarios de equipo de cómputo del Instituto de Geología, UNAM.	228
Detección de fallas en piezas manufacturadas mediante técnicas de extracción de características y aprendizaje profundo.	234
Desarrollo de una pantalla interactiva mediante el dispositivo programable FPGA de uso terapéutico para educación especial de niños entre 3 a 10 años con Síndrome de Down.	243
Efecto de parámetros eléctricos sobre la tasa de remoción de material en el maquinado ECDM.	249
Propiedades mecánicas de un material compuesto de ácido poliláctico reforzado con quitina extraída de desechos de camarón.	257
Ánodos de sacrificio para sustentar la vida y el medio ambiente.	265
Implementación de redes neuronales para la predicción de la penetración en uniones soldadas en una aleación de aluminio 5052-H32 referente a los parámetros de soldadura GMAW-P.	273
Elaboración y caracterización de materiales compuestos de matriz acrílica y trihidróxido de aluminio (ath) a partir de un jarabe de polimetilmetacrilato (pmma/mma) pre-polimerizado vía radicales libres.	281
Developed of mortars block basic on recycle concrete reinforcing with basalt fibers.....	290
Ring compression test in evaluation of mineral and vegetable lubricants friction.	300
Desarrollo de productos metal-mecánicos para estudiantes de ingeniería mecánica de la UAM- Azcapotzalco.	307
Sistema generador-volante de inercia para estabilizar variaciones de voltaje en un laboratorio de Unidad Azcapotzalco UAM.	315
Síntesis y simulación de mecanismos.	323
Hacia el modelado de espectros de impedancia localizada: un caso ejemplo en la industria automotriz y en protección catódica.	330
Desarrollo experimental de un sistema Disco-Stirling.	337
Análisis exergético del ciclo de refrigeración del propano.	345



Determinación del contenido de benceno, azufre y metales (Cu, Fe, Mn, Pb Y Zn) en la gasolina que se consume en la CDMX e interpretación/consecuencias de los valores encontrados.	351
Análisis de datos de tiempos de vida a través de un modelo de regresión Weibull.	360
Predicción de los movimientos en tren inferior por electroencefalografía y electromiografía de superficie mediante soft computing.	368
Diseño de un gráfico de control Weibull difuso para lecturas individuales.	375
Variación de la temperatura y su influencia en la fisuración en concretos masivos.	385
Eficiencia en la distribución de medicamentos en las droguerías cubanas, 2016.	391
Tubo de impedancia implementando ondas acústicas gaussianas-sinusoidales.	397
Software para visulaizar <i>gammagramas</i> óseos en colores.	404
Degradabilidad de biopelículas de cáscara de piña.	412

Capítulo 4. Educación

Prólogo.	421
Evaluación de adquisición de competencias mediante actividades de laboratorio.	422
Percepción del cambio climático en alumnos universitarios.	431
El libro de texto.	439
Utilización de la literatura para enseñar Ing.Química.	444
Prácticas de apoyo para los alumnos de los Estudios Técnicos Especializados en Computación de la ENP-UNAM.	450
Ingeniería Básica y Automatización de un sistema de Dinámica y Control para la enseñanza.	458
Herramienta para el aprendizaje en Termodinámica.	465
Aproximación de la metodología ABP a la enseñanza experimental de la Química Orgánica II, aplicado a la síntesis de iminas.	472
Utilizando el Campus Virtual Azcapotzalco (CAMVIA en la UAM-A), se facilita el trabajo al profesor.	478
Club 4H: Experiencia educativa.	485
La comunicación socio digital como apoyo docente a una Unidad de Enseñanza - Aprendizaje (UEA) en la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco (UAM-A).	491
Educación en Valores y Método Científico en la práctica docente.	498

Capítulo 5. Energía y ambiente

Prólogo.	507
Estudio de las propiedades texturales de productos carbonizados del proceso de gasificación en un reactor de lecho fijo.	508
Adsorción de quinolina en presencia de dibenzotiofeno variando la relación de Si/Al en materiales del tipo SBA-15 y Zn/SBA-15.	515



Determinación de parámetros termodinámicos y cinéticos en la adsorción de quinolina en presencia de dibenzotiofeno sobre Zn/SBA-15.	523
Remoción de Ca ²⁺ y Mg ²⁺ contenidas en aguas congénitas utilizando un proceso de ablandamiento químico.	531
Tratamiento de aguas residuales textiles mediante electro-oxidación asistido con hierro ZERO VALENTE.	538
Diseño de un módulo de transformación para silla de ruedas eléctrica en silla de ruedas inteligente.	540
Efecto de la generación de sulfuros en el tratamiento anaerobio de un efluente proveniente del proceso de flotación de una mina.	550
Desarrollo de la Industria del Litio y consecuencias en el Salar de Atacama, Chile.	561
Alteraciones en el desarrollo embrionario en el pez cebra (<i>Danio rerio</i>) inducidas por el insecticida neonicotinoide clotianidin.	570
Sustentabilidad del cultivo de palma de aceite en Campeche, México.	579
Sustentabilidad de la producción ovina en el Municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo.	587
Comportamientos e índices de incidencia de <i>Varroa destructor</i> en un sistema apícola en el municipio de Tlalmanalco, Estado de México.	593
UAMmero, software para estimar el consumo de combustible y las emisiones de bióxido de carbono de vehículos pesados.	600
Efecto pirolítico de los sólidos en suspensión de destilados primarios en representación de crudo maya por moléculas modelo.	607
Efecto del tipo de injerto químico en SBA-15 empleado como adsorbente de compuestos organonitrogenados en combustibles fósiles.	617
Hidrodeoxigenación de ácidos grasos para la obtención de diésel verde empleando catalizadores de platino soportado sobre PILC-Zr.	625
SIMCOPLAN: Simulador para analizar costos en plantaciones.	633
Efecto del clima y el suelo en cuatro plantaciones de <i>Pinus</i>	641
Estudio de caso: Sustentabilidad de un Agro-ecosistema.	649
Seguimiento a calidad de peces para consumo tras derrame de petróleo en quebradas que desembocan en el río Sogamoso en el departamento de Santander – Colombia.	656
La investigación participativa y su importancia para los estudios socio-ecológicos en zonas áridas: Estudio de caso del ejido La Soledad en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, México.	664
Investigación Participativa. Un acercamiento a la Restauración Socio-ecológica en la Reserva de la Biósfera Mapimí.	671
Tratamiento de aguas residuales utilizando adsorbentes.	677
Capacidad adsortiva del sedimento en función de la distribución geoquímica de PB y CD.	685
Degradación de hidrocarburos por hongos filamentosos aislados de un sistema de compostaje con palma aceitera.	693



Introducción

Actualmente la ciencia básica está omnipresente en nuestra sociedad, siguiendo, acompañando y precediendo todos los desarrollos tecnológicos actuales, y al mismo tiempo, la ciencia se enriquece a sí misma con sus aplicaciones a problemas concretos: las aplicaciones plantean e inspiran nuevas incógnitas, métodos, herramientas, desafíos y problemas que le permitirán progresar y ensanchar sus horizontes. Esta retroalimentación entre la ciencia y sus aplicaciones se continúa *ad infinitum*. Somos testigos de una época en la que la diversidad de especialidades en una disciplina científica se ramifica inmensamente buscando coincidir con otras disciplinas, en la búsqueda de la solución a problemas fundamentales y, hasta el momento, irresolubles. Esa interdisciplinaredad ha fructificado manifestándose en dominios relativamente nuevos como la Biotecnología, las Neurociencias, la Física Médica, la Biomatemática, etc. Y una labor de lo más noble es la aplicación del cuerpo de la ciencia a la resolución de problemas que se enfrenta el ser humano dentro de la sociedad que habita: la mejor manera de preservar el medio que lo rodea, la eliminación de los contaminantes en la naturaleza, la búsqueda del menor gasto de energía al realizar una labor, la predicción del clima y la prevención de catástrofes naturales, la preservación de la fauna y la flora, la forma de actuar ante el eventual cambio climático, la elaboración de mejores materiales de construcción, resistentes a la actividad sísmica de una región, los problemas derivados del creciente tránsito de vehículos en las ciudades, la elaboración del medicamento más adecuado para un paciente, la pertinencia de la reproducción animal *in vitro*, la contaminación ambiental, el protocolo a seguir en caso de un incidente en una central nuclear, el mantenimiento de un satélite en la órbita óptima, el control de la reacción de un avión frente a la turbulencia del aire, la decodificación del genoma, etc.

Diferentes problemas, diversos métodos para resolverlos, disímiles trincheras de investigación y una actividad en común: la aplicación de la ciencia. Esto



es lo que caracteriza los trabajos reunidos en este *Compendio de Ciencia Aplicada*, elaborados por científicos, ingenieros, tecnólogos, maestros, investigadores y estudiantes de posgrado que desarrollan sus actividades en diferentes ramas del conocimiento, en diferentes universidades, centros de investigación o industrias de diferentes países de América y Europa. Se trata de un conjunto de trabajos de investigación sobre la ciencia y sus aplicaciones, los cuales son breves en su extensión y precisos en su contenido. Éstos han sido agrupados en cinco secciones fundamentales o capítulos.

Capítulo 1. Ciencias Naturales y Exactas.

Capítulo 2. Ciencias Biológicas.

Capítulo 3. Ingeniería y Tecnología.

Capítulo 4. Educación.

Capítulo 5. Energía y Ambiente.

Los diferentes artículos de la obra ilustran la creciente diversidad de problemas de nuestro entorno social a los cuales la ciencia se aplica.

Es nuestra intención motivar a los lectores de este libro a contribuir y acrecentar el dominio de las aplicaciones de la ciencia en nuestros días.



CAPÍTULO 1

Ciencias naturales y exactas



CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

Numerosas soluciones prácticas a los retos que enfrenta la sociedad y las aplicaciones tecnológicas actuales -de alto valor agregado-, están asociadas al impresionante desarrollo de dispositivos de dimensionalidad reducida (escalas mesoscópicas y nanoscópicas) y a la sintetización de nuevos materiales. Entre estos últimos se encuentran los polímeros y las *perovskitas*, que se han convertido en piedra angular en las industrias fisico-químicas y electrocerámica, respectivamente. Estos sistemas -en particular-, admiten modificaciones de su estructura cristalina, lo cual realza propiedades físicas específicas, cuyo comportamiento puede ser condicionado *a priori*, y que derivan en prestaciones tecnológicas de alto valor aplicativo. Entre ellas, por un lado: los revestimientos; los envases; la ropa; las baterías, la electroluminiscencia; los materiales diseñados con óptica no-lineal; y la biomedicina: Mientras que por otro, tenemos: los materiales piezo-eléctricos libre de plomo; los sensores de temperatura el calentamiento de superficies; el daño radiacional en sistemas de *perovskitas* ferroeléctricas; los dispositivos RAM¹; y los sensores infrarrojos. No obstante su papel preponderante global, las dos últimas prestaciones, son vinculantes con la Fotónica que -dentro del emergente campo de la Nanoespintrónica-, avivó el estudio de la interacción espín-órbita y las propiedades ópticas no-lineales, los cuales generaron aplicaciones de fuerte impacto tecnológico, conocidas como: “compuertas” lógicas y ópticas, respectivamente. Todo lo anterior, es en general relevante, tanto para desarrollos tecnológicos e industriales, como para las investigaciones básicas. En esta senda, es decisivamente importante resaltar que la investigación aplicada tiene un carácter estratégico, en el desarrollo tecnológico de nuestra sociedad y en el establecimiento de una cultura innovadora que permita la competencia basada en el mérito y el conocimiento.

1 RAM...Random Access Memory



En este capítulo se abordan atractivos temas relacionados con: la síntesis de monómeros, polímeros, oligómeros y pigmentos de cobalto; el estudio de medidas eléctricas circuitales en materiales volúmicos anisotrópicos y engranajes de Feynman; la degradación de *perovskitas*. Finalmente se abordan herramientas matemáticas como la optimización para el control de efectos nocivos del amonio. Todo lo anterior, desde una perspectiva científica y metodológica de nivel superior.



Síntesis y evaluación de ocho diferentes monómeros y oligómeros acrilados para su uso en tintas y barnices curables por luz ultravioleta.

Emma Gladiola Valencia-May ■ Osvaldo García-Martínez ■ Erick Rubio-Patiño ■ Modesto Javier Cruz-Gómez

Facultad de Química.
Departamento de Ingeniería Química.
Universidad Nacional Autónoma de México.
mjcg@unam.mx

1. Resumen

El desarrollo y síntesis de monómeros acrilados y de resinas epóxicas acriladas para ser utilizados en la formulación de pinturas y barnices que curan con luz ultravioleta, hoy en día ha tenido mucho auge, estos son utilizados con la finalidad de proveer características protectoras y decorativas a una superficie determinada. Los componentes principales de una formulación de barnices que curan con luz UV son mezclas de monómeros y oligómeros funcionales, así como aditivos. Con el presente trabajo se lograron sintetizar cinco monómeros acrilados partiendo de glicoles y glicerina como materia prima principal y tres resinas epóxicas acriladas partiendo principalmente de materia prima vegetal y una resina epóxica líquida. Todos estos ocho productos acrilados polimerizan bajo la acción de la radiación ultravioleta y un fotoiniciador. Mediante reacciones de esterificación catalizadas entre glicoles y ácido acrílico se sintetizaron los cinco derivados acrílicos y mediante la apertura del anillo epóxico de un biodiesel epoxidado, de un aceite de soya epoxidado y de una resina epóxica líquida del bisfenol A, se sintetizaron los otros tres compuestos acrilados. Los productos se caracterizaron midiendo el color, olor, viscosidad, brillo óptico, curado y resistencia de la película curada. Después del desarrollo de los procesos a nivel laboratorio se inició el escalamiento a nivel piloto.

2. Introducción

Recientemente se ha observado un crecimiento en el uso de sistemas de curado UV, “el análisis de mercado muestra que la tecnología de recubrimiento UV, crecerá entre el 8 y 13%, en los próximos cinco años”^[1]. En la actualidad existen múltiples aplicaciones para los monómeros y oligómeros acrilados, su uso en



sistemas de curado UV dominan el mercado y son típicamente utilizadas en aplicaciones tales como barnices para papel, tarjetas de sobre impresión, revestimientos de madera y pantallas, tintas litográficas, adhesivos laminados, revestimientos desprendibles, recubrimientos para discos compactos, recubrimiento de sobreimpresión en empaques, libros, revistas y publicidad, entre otros. Los dos principales componentes de un recubrimiento de curado UV son: a). Los oligómeros que determinan las propiedades finales del recubrimiento, como son flexibilidad, resistencia y brillo, entre los oligómeros más utilizados se encuentran las resinas epóxicas acriladas a base de Bisfenol A, Bisfenol F y Novolac ^[2], y b). Los monómeros que actúan como un solvente reactivo, puesto que disminuyen la viscosidad de la formulación, y tienen la función de ajustar la rapidez de curado, la adhesión, la flexibilidad, y la estabilidad del color de la película formada. Los monómeros que se sintetizaron son: I. Diacrilato de dietilenglicol (DADEG), II. Diacrilato de tripropilenglicol (DATPG), III. Triacrilato de glicerol (TAGOL), IV. Tetracrilato de pentaeritritol (TAAPE), V. Triacrilato de trimetilolpropano propoxilado (TATMPPX), y las resinas epóxicas acriladas fueron: VI. Biodiesel acrilado epoxidado de soya (BAES), VII. Resina epóxica acrilada a partir de aceite epoxidado de soya (REAES) y VIII. Resina epóxica acrilada líquida de diglicidil éter de bisfenol A (LER). El principal agente de entrecruzamiento en la síntesis de los monómeros y oligómeros es el ácido acrílico. Durante la síntesis de éstos compuestos, mediante reacciones de esterificación o de apertura del anillo epóxico, se corre el riesgo de tener como reacción secundaria la polimerización, a través del grupo vinilo del ácido acrílico presente en el sistema reaccionante, por ello fue sustancial determinar un catalizador que favorezca las reacciones de esterificación y no la de polimerización, sin embargo en todas las reacciones se hizo uso de un inhibidor de la polimerización vinílica del ácido acrílico. En algunas corridas de estas síntesis se tuvo la experiencia de presenciar una solidificación de la masa reactante debido a la reacción exotérmica secundaria fuera de control (*Run away reaction*) de los grupos vinilos presentes; esto sirvió para afinar procedimientos con el fin de evitar esta reacción secundaria. Los productos bien sintetizados de monómeros y oligómeros fueron ensayados en formulaciones de tintas y barnices curables por UV, obteniéndose resultados comparativos con formulaciones comerciales.

3. Condiciones Experimentales

Para el desarrollo del proceso de síntesis de cada uno de los ocho compuestos se partió de cargas de aproximadamente 250 gramos, con relación estequiométrica de reactivos, un 1% en peso de catalizador y se trató de calentar el sistema hasta alrededor de 100 °C, conforme se veía el avance de la reacción por cromatografía y/o titulación se



ajustaron experimentalmente los parámetros de reacción. Para el seguimiento de la reacción de los reactantes con grupos epóxicos se hizo la determinación del índice de oxirano de acuerdo a la norma ASTM D1652-04 [3]. Los productos de las reacciones se caracterizaron mediante técnicas analíticas de espectroscopia de infrarrojo FT-IR y cromatografía de gases GC-MS. También se hizo la determinación de las propiedades fisicoquímicas de color, olor, viscosidad, y humedad.

3.1 Materiales y reactivos

Las materias primas requeridas para la síntesis de los monómeros fueron: dietilenglicol para el DADEG, tripropilenglicol para el DATPG, glicerina para el TAGOL, pentaeritritol para el TAAPE, y trimetilolpropano propoxilado para el TATMPPX. Cada uno de estos reactantes formó el correspondiente éster con el ácido acrílico (AA). Como catalizador se utilizó resina de intercambio iónico Amberlyst-15 y como inhibidor de la polimerización se utilizó monometil éter de hidroquinona (MEHQN). En la síntesis de las resinas epóxicas acriladas se utilizaron: biodiesel epoxidado de soya para el BAES, aceite epoxidado de soya para el REAES y resina epóxica EPON-828 para el LER. Para las esterificaciones con ácido acrílico se utilizó trietilamina como catalizador. Aquí también se utilizó como inhibidor de la polimerización vinílica al MEHQN. Todos los reactantes aditivos y catalizadores utilizados fueron de calidad industrial.

3.2. Sistema de reacción

El arreglo del sistema de reacción para la producción de los productos consta de un matraz de tres bocas con entradas (24/40), en una de las bocas del reactor se introduce un termómetro para medir la temperatura de la mezcla de reacción, en la boca central se adapta un tubo de vidrio con el cual se suministra flujo de aire, para mantener activo al inhibidor [4]. El agitador mecánico del sistema reactante es una propela de metal. En la boca derecha se coloca un conector en forma de T, en el que se introduce un termómetro para medir la temperatura del domo, así como un condensador recto, donde los vapores generados durante la reacción pasan a través de él enfriándose y condensándose. El destilado que surge de este último proceso consiste de agua, como subproducto de la reacción, y el exceso de ácido acrílico que aquí se recupera. En la figura 1, se observa el sistema de reacción de las cargas realizadas de 2 kg.



Figura 1. Sistema de reacción en cargas de 2 kg.

3.3. Evaluación y Análisis de los productos

Con cada uno de los ocho productos sintetizados se logró establecer un proceso a nivel de lotes de 250 gramos, el cual luego se escaló hasta el nivel de dos kilogramos. Esto con el fin de obtener producto para pruebas de posibles aplicaciones industriales. Se probaron formulaciones de barnices en donde se sustituía el monómero comercial por alguno de los monómeros bi-, tri- o tetra-funcionales. Los oligómeros sintetizados se probaron en formulaciones comerciales de tintas curables por UV, de color rojo rubí y magenta.

El uso y prueba de las anteriores formulaciones se realizó en una empresa mexicana dedicada a fabricación de recubrimientos UV. A los barnices se les analizó: viscosidad, curado, brillo óptico, inspección visual en luz negra, olor, y color. Parámetros que normalmente se le miden a una película curada comercial [5]. A las tintas se les analizó principalmente la viscosidad, absorción de agua, fluidez, curado de la película, brillo óptico, concentración y calidad de la impresión.

La evaluación se llevó a cabo comparando el comportamiento de las formulaciones ya comerciales por las formulaciones en que se sustituyeron los monómeros y oligómeros sintetizados en el laboratorio. Los resultados muestran propiedades muy similares y en algunos casos superiores al de la formulación comercial. En la tabla 1, se muestra las propiedades comparativas de los barnices evaluados [6].


Tabla 1. Propiedades características del barniz comercial VS los sintetizados

Clave del Barniz	Tipo de monómero	Brillo °60		Olor	Color	Calidad de Curado (mJ/cm ²)	Viscosidad μ [cP]
		Área Negra	Área Blanca				
UV-124 _{Comercial}	Bifuncional	89.6	88.6	Característico		Buen curado	51.3
UV-125 _{Comercial}	Trifuncional	93.7	92.4	Característico		Buen curado	261.3
UV-128 _{Comercial}	Multifuncional	91.4	90.5	Característico		Buen curado	528
UV-111 _{Comercial}	Resina epóxica	94.0	93.5	Característico		Buen curado	1460
DADEG _{Sintetizado}	Bifuncional	87.4	90.4	Característico		Bueno	52.5
DATPG _{Sintetizado}	Bifuncional	87.1	89.1	Sin olor a AA		Bueno	56
TAGOL _{Sintetizado}	Trifuncional	92.2	91.4	Característico		Buen curado	2652
TAAPE _{Sintetizado}	Multifuncional	92.5	90.6	Ligero a AA		Bueno	2320
LER _{Sintetizado}	Resina epóxica	93.2	93.0	Característico		Buen curado	2145

La viscosidad de los productos sintetizados es mayor que la de los productos formulados con barnices comerciales, debido a que estos últimos tienen un menor peso molecular. Sin embargo, las demás propiedades que se muestran en la tabla son muy similares.

La formulación de barnices en tinta de curado UV se evaluó ampliamente debido a la sustitución de la resina comercial por los oligómeros sintetizados, lo que llevo a su análisis en las propiedades. El comportamiento obtenido se ve reflejado en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades características de la tinta comercial VS los sintetizados

Clave de tintas	Viscosidad μ [cP]	Fluidez [cm/min]	Curado (mJ/cm ²)	Brillo óptico	Color
UV-2302	425.54	0.3	Bueno	85-90	
UV-Rubí	358.02	0	Bueno	84.5	
TATMPPX	325.45	0.02	Bueno	86	
BAES	286.47	0	Bueno	82	
REAES	2500	0	Bueno	84	



Las propiedades de las dos primeras tintas patrón y de las tres tintas formuladas con los productos desarrollados fueron: la viscosidad, determinada con un viscosímetro Laray ^[7], la fluidez como capacidad de la tinta para fluir, el curado de la tinta, mediante la exposición de una película a la luz de una lámpara de mercurio que produce luz UV (Aquí se constató que las películas curan instantáneamente mediante esta energía radiante), y el brillo óptico se midió con un espectrofotómetro que está relacionado con la cantidad de energía radiante absorbida por la película de una muestra en función de longitudes de onda específicas.

4. Resultados y discusión

Los monómeros y oligómeros sintetizados a nivel laboratorio abren la oportunidad de desarrollar productos más amigables con el medio ambiente.

Se podrían abordar varias aplicaciones de estos productos sintetizados en recubrimiento foto-curables que son capas transparentes para acabado de muebles, películas vinílicas, discos compactos, lentes de faros, barnices de sobre impresión, adhesivos, recubrimientos para fibra óptica, piezas electrónicas y decorado de metales.

5. Conclusiones

Se lograron obtener monómeros y oligómeros con las condiciones idóneas de reacción a nivel laboratorio, como son relación molar, temperatura, tiempo, cantidad de catalizador e inhibidor, con las principales características para que puedan ser usados en barnices y tintas para recubrimientos curados por UV. Se desarrolló un proceso a nivel de laboratorio para cada uno de los productos aquí descritos y se inició su escalamiento para producción a nivel piloto de los mismos. Se evaluaron en la formulación de tintas y barnices de curado por energía ultravioleta teniendo resultados satisfactorios.

6. AGRADECIMIENTOS

Al programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM, por su apoyo al proyecto IT102016, “Desarrollo y Síntesis de monómeros acrilados y de resinas epóxicas acriladas para ser utilizados en la formulación de barnices curados con luz ultravioleta.”

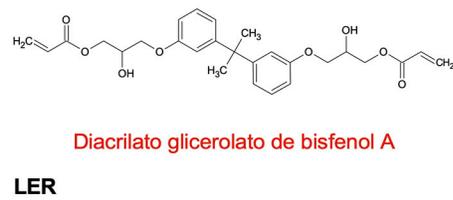
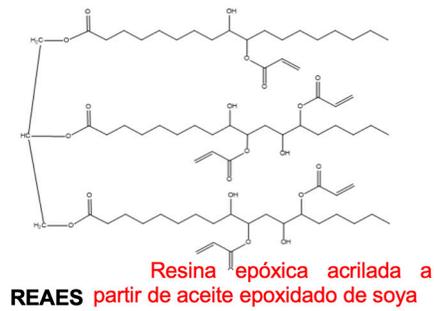
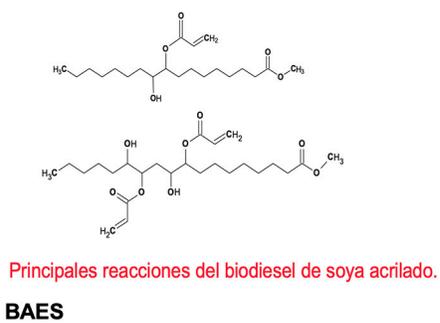
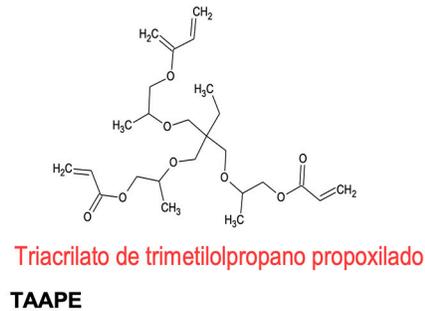
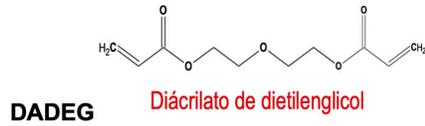


7. Bibliografía

1. Wright Tim, (2008) “Radcure Coatings Market: The Market for UV and EB Coatings is strong and continues to grow”. Consultado el 03 de mayo de 2018 en http://www.coatingsworld.com/issues/200804/view_features/radcure-coatings-market/7896
2. Kumar, V.; Kumar, Y.; Sabharwal, S. (2006). Coating characteristics of electron beam cured bisphenol A diglycidyl ether diacrylate resin containing 1, 6-hexanediol diacrylate on wood surface. *Progress in Organic Coatings*. 55: 316-323.
3. ASTM D1652-04. “Standart Test Methods for Epoxi Content of Epoxi Resins”, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D1652.97, www.astm.org
4. Herrera. H. Estefani. P. S. (2017).” Determinación de las condiciones de reacción para la síntesis de una resina acrilada a partir de un aceite de soya epoxidado para su uso en formulación de pinturas y recubrimientos con acabados UV”, Tesis de licenciatura, UNAM. México.
5. Valencia-May, E. G., Gámez-Galicia, T., Martínez-González, Y. M., Cruz-Gómez, M. J. (diciembre de 2016). Síntesis y caracterización de monómeros y oligómeros acrilados para ser usados en formulación de barnices curables por UV. Tercer congreso multidisciplinario de ciencias aplicadas en Latinoamérica COMCAPLA. La Habana Cuba.
6. Cruz. Gómez, M. J. “Producción de monómeros acrilados a partir de material de origen vegetal para ser aplicados como componentes en la formulación de tintas y barnices de curado UV”. LVII Convención Nacional IMIQ (octubre de 2017). Puebla. Pue.
7. Martínez. Cerón. D- Márquez. Galván. J. (2018). Efecto que tiene en el desempeño de una formulación UV la sustitución de un monómero comercial por un monómero trifuncional (Triacrilato de glicerol) y uno bifuncional (Biodiesel epoxidado de soya acrilado) sintetizados en el laboratorio. Tesis de licenciatura mancomunada, UNAM.



Tabla 3. Resinas y Monómeros sintetizados





Síntesis de pigmentos de cobalto por combustión de geles

Margarita Chávez Martínez ■ María Cecilia Salcedo Luna ■ Leonardo Hernández Martínez
Angelina Castro Trujillo ■ Andrea Cruz Castañeda ■ María de la Luz Soto Téllez

Área de Química. Departamento de Ciencias Básicas.
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México.
cmm@azc.uam.mx

1. Resumen

Se sintetizaron 3 pigmentos azules de cobalto CoAl_2O_4 , $\text{Co}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{Al}_2\text{O}_4$ y $\text{Co}_{0.6}\text{Al}_2\text{O}_3$ por combustión de geles. La primera etapa fue autosostenible una vez iniciada la ignición, alcanzando una temperatura de 1000°C , hasta la consumación completa de los geles. Esto sirvió para que en la segunda etapa las condiciones de temperatura y tiempo fueran menores. La cinética de las reacciones químicas fue seguida por Difracción de Rayos – X de polvos, logrando identificar fases con estructura tipo Espinela. La celda unitaria de CoAl_2O_4 contiene 8 unidades AB_2O_4 con un total de 64 átomos, en una estructura cúbica centrada en las caras, con $a = 8.100 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ y SG: Fd-3m (227). El comportamiento térmico de estos pigmentos, por Análisis Térmico Diferencial y Termogravimétrico mostro pérdidas de peso consecutivas de 90°C a 800°C y cambio de fase a 1000°C . Las bandas de absorción en la región visible se presentaron de 422 a 450 nm. Estos pigmentos son resistentes a altas temperaturas para aplicaciones en materiales diversos.

2. Introducción

El método de combustión de geles se utiliza en la obtención de materiales cerámicos diversos. En este caso particular fue llevado a cabo para la obtención de pigmentos inorgánicos de cobalto. Este método se basa en la gelificación por evaporación, es decir primero se prepara un gel, al cual se le adiciona un combustible para que se produzca la combustión del gel. Una vez conseguida la combustión el proceso es autosostenible. Es un método alternativo de síntesis, que tiene la ventaja de ser más rápido y la temperatura y tiempo de obtención son menores^[1]. Por otra parte, en este trabajo, el interés en la obtención de pig-



mentos inorgánicos de cobalto, es para conseguir diferentes tonalidades de colores azules. En trabajos anteriores, se ha dado a conocer la síntesis de otros pigmentos azules por el método convencional de reacciones químicas en estado sólido^[2,3,4]. Los resultados de difracción de rayos $-X$ de polvos, de los productos obtenidos por ese método, han mostrado patrones de difracción con fases bien caracterizadas como fases únicas. Es decir, este método convencional, conlleva a la obtención de estructuras con señales de Difracción de Rayos $-X$ (DRX) bien definidas, esto es, que las reacciones químicas son logradas completamente. En la búsqueda de nuevos métodos de síntesis, está el de combustión de geles^[5]. Por lo que en el presente trabajo, se realizó la síntesis de pigmentos azules nuevos bajo este procedimiento.

Se obtuvieron colores azules diversos y brillantes. Por (DRX), se logró identificar fases cristalinas diferentes, que fueron cotejadas con la base de datos del International Centre for Diffraction Data – Powder Diffraction File, 2018^[6]. Los estudios por Análisis Térmico Diferencial y Termogravométrico (ATD/TG) mostraron el comportamiento térmico de los pigmentos, como lo son las pérdidas de peso, transformaciones de fase y cristalinidad. La Reflectancia Difusa de estos pigmentos se presta como bandas de absorción de 420 a 450 nm. Mediante los resultados obtenidos en este trabajo se logró establecer las ventajas y desventajas del método de combustión de geles en la obtención de pigmentos azules de cobalto. Así como las recomendaciones posibles que podrían mejorar este método para la obtención de fases únicas. En este estudio, dos pigmentos resultaron con fases únicas y otros dos estuvieron constituidos de más de una fase cristalina.

3. Condiciones experimentales

Se prepararon tres composiciones, para obtener tres pigmentos diferentes, los combustibles utilizados fueron carbohidazida CON_4H_6 y urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Una vez que se realizaron los cálculos estequiométricos de todos los reactivos los cuales fueron de una pureza del 99.99%, marca Aldrich, éstos se pesaron en una balanza analítica Oertling modelo NA 114 con 0.0001 g de precisión y capacidad máxima de 200 g. Las cantidades utilizadas se muestran en la tabla 1. El material de vidrio utilizado fue marca pyrex.



Tabla 1. Composición de los pigmentos.

Pigmento	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Sustancia adicional	Combustible
CoAl_2O_4	6 g	1.95 g	-	Carbohidrazida 2.3 g
$\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Co}_x$	5 g	0.06 g	-	Urea 3.5 g
$\text{Co}_x \text{Zn}_{1-x} \text{Al}_2\text{O}_4$	6.5 g	0.1 g	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.54 g	Urea 3g

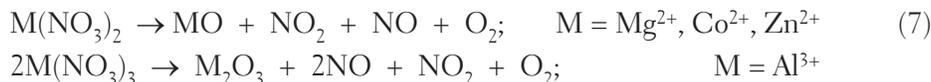
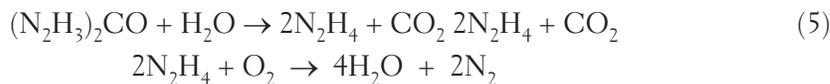
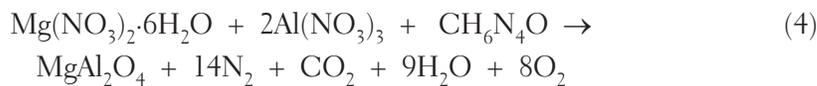
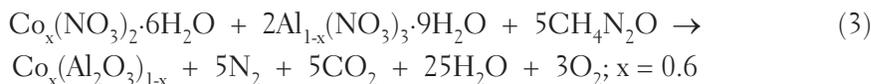
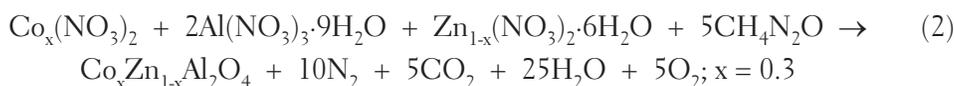
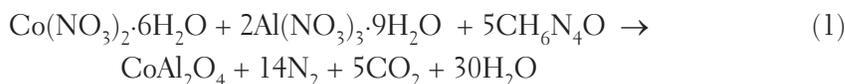
Cada una de las composiciones, se vertieron en un mortero de ágata marca Supplies, se molieron hasta obtener un polvo fino. Se pasó a un vaso de precipitados de 400 mL y se agregó poco a poco agua hasta la disolución completa, en este caso fueron 5 mL. Después se calentó en una parrilla de agitación magnética con el fin de evaporar el agua añadida y formar el gel. Se utilizó una parrilla con agitación y calentamiento Thermolyne SP 131325/03407-10. Una vez formado el gel, el vaso se colocó sobre un tripie con tela de asbesto. La ignición se logró con un mechero de gas Fisher marca Meker para altas temperaturas. Así comenzó el proceso de combustión del gel, el cual fue autosostenible hasta su consumación completa. Se observó como las disoluciones rosadas cambiaron a un tono morado burbujeante para finalmente producir los colores azulados. La morfología del producto final fue parecida a una esponja. Posteriormente se llevó a cabo la molienda de los productos de combustión obtenidos en un mortero de ágata. Se colocaron en crisoles marca Jipo de 45 mL de capacidad, para llevarlos a un tratamiento térmico de 1000°C durante dos horas, para lo cual se utilizó una mufla marca Thermolyne de 1200°C de temperatura máxima. Después de ese tiempo, pero a esa misma temperatura se sacaron los crisoles para observar posible termoluminiscencia. Una vez los productos fríos, se volvieron a moler y fueron pasados por una malla 325, para obtener partículas de 38 μm , empleando un tamiz de acero inoxidable marca Ficsa. Estos pigmentos fueron colocados en contenedores eppendorf para ser llevados a DRX, (ATD/TG), así como a Reflectancia Difusa. Paralelamente se procesó un blanco bajo esta misma metodología que contenía $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, ausente de cromóforo, que fue la muestra patrón de la estructura tipo espinela MgAl_2O_4 , para comparación con los pigmentos obtenidos. Para la identificación de las fases cristalinas se utilizó un equipo de Difracción de Rayos-X de polvos marca Bruker D8 Advance Plus Davinci. Las condiciones de trabajo del equipo fueron 2θ de 5° a 90°, radiación monocromática de $\text{CuK}_{\alpha 1} = 1.5418 \text{ \AA}$ y filtro de Niquel. Para los estudios de ATD/ATG, se utilizó una Termobalanza ATG/SDTA 851^e Mettler Toledo. Se utilizaron de 5 a 25 miligramos de muestra pulverizada y sin algún tratamiento térmico, es decir, cruda. La rapidez de calentamiento fue de 5°C por minuto, en atmósfera de aire^[7]. La Espectroscopía Ultra Violeta-Visible (UV-Vis), se realizó con un Espectrofotómetro Cary 500 Scan Varian en el intervalo de 300 a 1000 nm de longitud de onda, se utilizó un estándar D65 como iluminante,



y observador a 10°. Se calibro con BaSO₄ como blanco de referencia. La Reflectancia Difusa (R_∞) se convirtió en absorbancia.

4. Resultados y Discusión

Se logró realizar la síntesis de tres pigmentos de cobalto por el método de combustión de geles. El color azul fue más intenso conforme a mayor cantidad de cobalto agregada. La presencia de zinc en uno de los pigmentos le proporcionó un azul-morado claro. El blanco, en el que el cobalto al sustituirlo por magnesio resultó incoloro, pues ni el magnesio ni aluminio que conforman el compuesto absorben en la región de la luz visible. Las reacciones de obtención fueron las siguientes:



Las moléculas de agua son evaporadas por el calor suministrado. La misma combustión genera CO₂. En el caso de la urea, se descompone a biureto y amoníaco a ~240 °C, y luego el biureto en ácido cianúrico (HCNO)₃ a ~360 °C. A su vez, se lleva a cabo la descomposición de los nitratos en óxidos de nitrógeno y en los óxidos de los metales correspondientes. La carbohidrazida y la urea se descomponen a 200°C y



160°C respectivamente. Durante la combustión, debido a esta descomposición gaseosa, el producto se forma una espuma, constituida por cadenas poliméricas de ácido cianúrico y nitrato polimérico^[8]. Los reactivos involucrados, al irse transformando en productos, liberan energía la cual genera auto ignición, cuya llama alcanza temperaturas cercanas a los 1000°C, de tal manera que por eso se logran formar los óxidos. El estudio mediante ATD y TG mostró los cambios de fase y pérdidas de peso en estas transformaciones.

4.1 Difracción de Rayos – X

Las figuras 1, 2, 3, 4, muestran las fases que se lograron determinar por DRX. Cada patrón de difracción muestra los números de las tarjetas con los que las fases fueron identificadas. Como puede observarse los factores de estructura hkl, (111), (220), (311), (400), (422), (511), (440) aparecen en todos los patrones de difracción, lo que indica que se trata de una estructura cúbica centrada en las caras. En las figuras 1 y 4 se puede observar que las señales de difracción son idénticas pero con intensidades diferentes, identificándose fases puras de CoAl_2O_4 y MgAl_2O_4 respectivamente y ambas fases tienen estructura tipo Espinela. En tanto, el difractograma de la figura 2, muestra que se alcanzaron a formar las fases $\text{Co}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{Al}_2\text{O}_4$ y $\text{Zn}_{0.3}\text{Al}_{2.45}\text{O}_4$, además la formación parcial de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ o Corundum. El patrón de difracción del pigmento 3, muestra las fases $\text{Co}_{0.6}\text{Al}_2\text{O}_3$, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ o Corundum, AlN y $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ formadas, se podría asumir que por eso resultó un pigmento azul pardo o decolorado. En todos los patrones de difracción también se identificó la fase de CoAl_2O_4 con el ruido de fondo característico debido a la presencia de cobalto, considerado como un elemento químico ferromagnético.

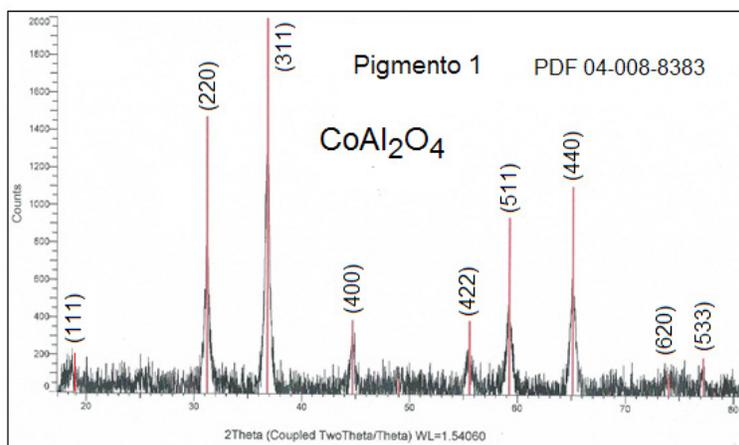


Figura 1. Patrón de difracción del pigmento 1 CoAl_2O_4 , mostró una sola fase tipo Espinela.

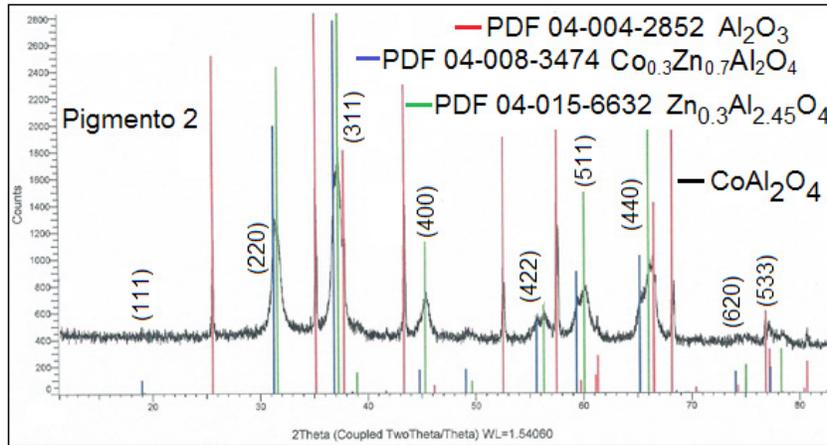


Figura 2. Patrón de difracción del pigmento 2, mostró cuatro fases diferentes. $\text{Co}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{Al}_2\text{O}_4$ es Espinela.

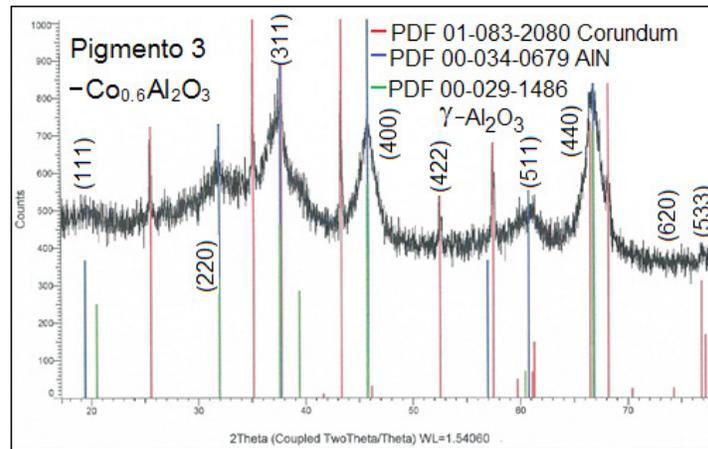


Figura 3. Patrón de difracción del pigmento 3, mostró cuatro fases diferentes. $\text{Co}_{0.6}\text{Al}_2\text{O}_3$ es Espinela.

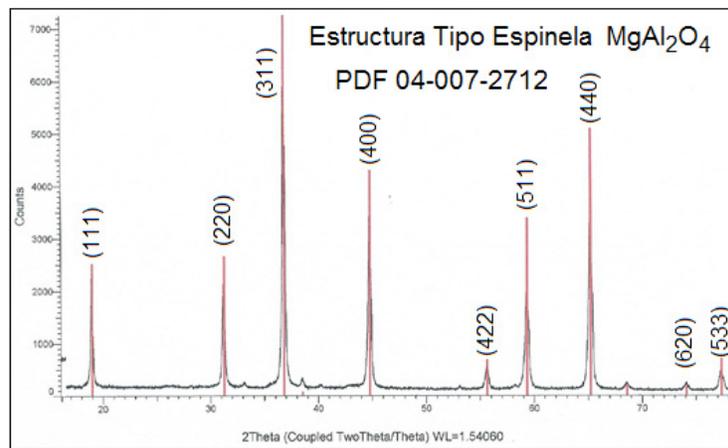


Figura 4. Patrón de difracción del blanco MgAl_2O_4 , es la estructura tipo Espinela.



Las coordenadas cristalográficas o posiciones de Wyckoff para la construcción de la estructura, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Datos cristalográficos de $Co_{0.3}Zn_{0.7}Al_2O_4$

<i>D</i>	2.863780	2.442240	1.431890	Coordenadas atómicas							
<i>I</i>	56.6	99.9	40.5	Átomo	Núm.	Posiciones Wyckoff	Simetría	x	y	z	Ocupación atómica
<i>Hkl</i>	(220)	(311)	(440)								
Sistema: Cúbico	a = 8.100 Å										
SG: Fd-3m (227)	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$			Al	1	8 ^a	-43m	0.0	0.0	0.0	0.17
Lattice Bravais: FCC				Co	2	16d	-3m	0.625	0.625	0.625	0.085
				Co	3	8 ^a	-43m	0.0	0.0	0.0	0.83
Relación a/b = 1.0; c/b = 1.0				Al	4	16d	-3	0.625	0.625	0.625	0.915
				O	5	35e	-3	0.387	0.387	0.987	1.0
% en peso: Al = 30.51; Co = 8.32; Zn = 26.99 ;O = 34.18				Z: 8			Estructura tipo Espinela				
% Atómico: Al = 29.83; Co = 9.779; Zn = 25.1; O = 35.35				M = 176.89 g/mol			Clasificación mineral:				
				Vol.: 531.44 Å ³			Espinela normal				
				D _x : 4.422 g/cm ³							
				Color: blanco							

En las figuras 5 (a) y (b) está la estructura de la espinela, (a) es la representación tradicional^[9] y (b) la estructura realizada en este trabajo, con el programa CaRine v.3.1^[10], la cual explica la posición de los tetraedros y octaedros que se forman inminentemente en la estructura tipo espinela. En los huecos tetraédricos están los iones $M^{2+} = Mg, Co, Zn$; En los huecos octaédricos están los iones Al^{3+} . El empaquetamiento A, B, C, para una estructura FCC, lo están haciendo los oxígenos.

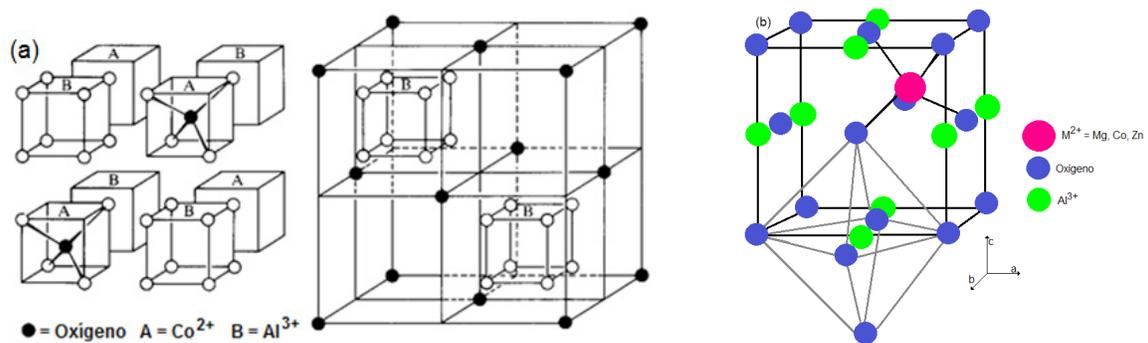


Figura 5. (a) Estructura típica de Espinela^[9]
 (b) Estructura $CoAl_2O_4$ tipo Espinela^[10] realizada en este trabajo.



4.2 Análisis Térmico Diferencial y Gravimétrico

En la figura 6 está el resultado del comportamiento térmico del CoO_2Al_4 . En la curva termogravimétrica se aprecian cuatro intervalos de pérdida de masa significativamente diferentes señalados con los números 1, 2, 3 y 4 están las pérdidas de peso están asociadas a la pérdida de agua, nitratos, descomposición de la carbahidrazida, urea y formación del dióxido de carbono. La primera pérdida de masa está comprendida en el intervalo de 90°C a 173°C , la segunda de 215°C a 244°C , la tercera de 380°C a 440°C y la cuarta de 628°C a 715°C . Los porcentajes de pérdida de masa fueron 2.44%, 0.99%, 1.65% y 0.42% respectivamente. La muestra de partida fue de 9.1432mg y las pérdidas en miligramos fueron 0.2460mg, 0.1002 mg, 0.1756 mg y 0.1527mg respectivamente. Arriba de los 715°C prácticamente la masa se conservó constante. Por otra parte la curva de ATD, además de mostrar las pérdidas de masa, se distingue una señal a 1000°C que representa un cambio de fase o formación de CoO_2Al_4 . Para los otros pigmentos se observaron curvas similares a ésta. En la curva de ATD se aprecia una gran curva que comienza desde los 580°C hasta los 800°C , el cual está asociado a las pérdidas de peso. Esto indica que son procesos que absorben energía, es decir, es endotérmico. En tanto, desde los 840°C a 1200°C se tiene una señal exotérmica, con un máximo en 1000°C que indica que se formó la fase de CoAl_2O_4 .

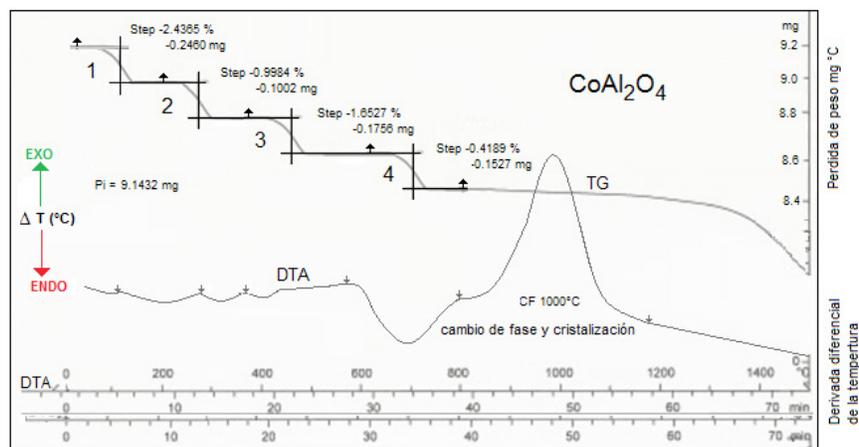


Figura 6. Termograma del pigmento CoAl_2O_4 .

4.3 Espectroscopía Ultravioleta-Visible (UV-Vis)

La figura 7 exhibe el espectro de absorción en la región de Ultra Violeta-Visible de los pigmentos de cobalto obtenidos en forma de polvos. Las bandas de absorción son muy semejantes entre sí, con la única diferencia en las intensidades para cada uno



de los pigmentos. Las bandas de longitudes de onda resultante o absorbida por el pigmento, es causada por la luz incidente sobre él. Así la banda de emisión será mayor a la de absorción. En este espectro la absorción de los pigmentos mostraron bandas de 422 a 450 nm. Se podría asumir que a medida que aumentó la cantidad de cobalto fue mayor la intensidad, lo que podría asociarse con un incremento en la capacidad pigmentante. Por otra parte el pigmento $\text{Co}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{Al}_2\text{O}_4$ presentó termoluminiscencia a 1000°C con coloración amarilla intensa debido a la presencia de zinc.

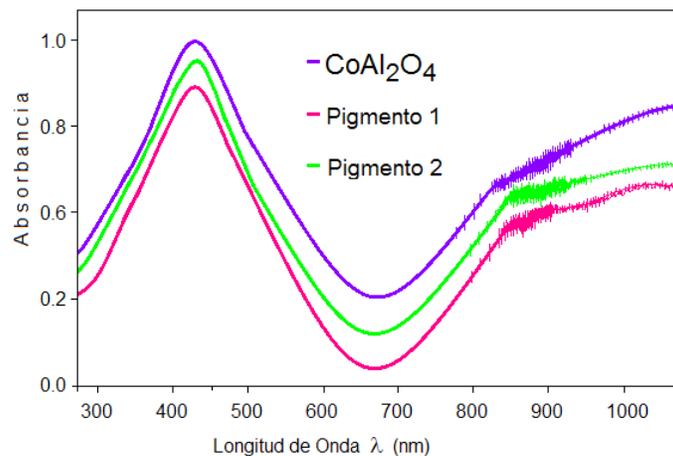


Figura 7. Espectro UV-Vis del pigmento CoAl_2O_4 .

5. Conclusiones

La síntesis de pigmentos de cobalto por combustión de geles resultó aceptable para CoAl_2O_4 y MgAl_2O_4 en cuanto a la obtención de una sola fase cristalina con estructura tipo Espinela. En tanto, para $\text{Co}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{Al}_2\text{O}_4$ y $\text{Co}_{0.3}\text{Al}_2\text{O}_3$ sus patrones de DRX mostraron además de estas dos fases, otras dos más, las cuales pudieron ser identificadas por esta técnica. En este caso se sugiere realizar una línea de composiciones binarias y ternarias, con valores de $x = 0.1$ a 1.0 para determinar la composición óptima en que solo exista una sola fase cristalina, incluso la existencia de un orden-desorden estructural cuando en la composición se tengan dos cationes divalentes ocupando el mismo tipo de hueco. Otro factor determinante podría ser el aumento de tiempo de reacción. Aun así, fue posible caracterizar por DRX las fases cristalinas CoAl_2O_4 , MgAl_2O_4 , $\text{Co}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{Al}_2\text{O}_4$ y $\text{Co}_{0.3}\text{Al}_2\text{O}_3$ como estructuras tipo Espinela. La fase CoAl_2O_4 fue la más pura y de la que aquí fueron reportados sus principales datos cristalógraficos, así como la construcción de su estructura. La celda unitaria de CoAl_2O_4 contiene 8 unidades AB_2O_4 con un total de 64 átomos, en una estructura cúbica centrada en las caras, con $a = 8.100 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ y SG: $\text{Fd-}3\text{m}$ (227). Por ATAD/



TG fue posible establecer todas las temperaturas, pérdidas de peso y transformaciones. Para CoAl_2O_4 presentó pérdidas de peso consecutivas de 90°C a 800°C y formación de la fase CoAl_2O_4 a 1000°C . Las propiedades de R_∞ se lograron determinar en un intervalo del espectro de radiaciones electromagnéticas, en la región visible con bandas de absorción de 422 a 450 nm. Estos pigmentos mostraron resistencia a altas temperaturas por lo que es posible aplicarlos en materiales diversos.

6. Bibliografía

1. Kirchnerova J., Hibbert D. B. Vacancy ordering in $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}$ prepared by calcination of freeze-dried powders of nitrates. *Materials Research Bulletin*, 25, 585-592, (1990).
2. Margarita Chávez Martínez, M. Cecilia Salcedo Luna, Karla Estefanía Cureño Hernández, Karen Edith Martínez Paz, Miguel Ávila Jiménez, Leonardo Hernández Martínez. Síntesis de Azul Luminiscente: Cuprorivaite o Azul Egipcio. Artículo Publicado en el Boletín de la Sociedad Química de México, del 50° Congreso Mexicano de Química y 34° Congreso Nacional de Educación Química, celebrado del 07 al 10 de Octubre de 2015 en la Ciudad de Querétaro, Querétaro, México, Número Especial, Octubre, 2015, 61-64, (2015), ISSN: 1870-1809.
3. Chávez Martínez M., Salcedo Luna M. C., Hernández Martínez L., Ávila Jiménez M., Cruz Colín M. R, Goñi Cedeño H. Soto Téllez M. L. Síntesis y Estudio de la Sal de Chevreul, Artículo publicado en la Revista Aplicaciones de las Ciencias 2016, Pp. 438-443, (2016).
4. Margarita Chávez Martínez, María Cecilia Salcedo Luna, Ricardo Galdino Martínez Pérez, Pedro Alberto Parra Solis, Leonardo Hernández Martínez, María de la Luz Soto Téllez, Síntesis y Estudio del Pigmento Cerámico Azul Thénard CoAl_2O_4 . Colección memorias de los congresos de la Sociedad Química de México, 52° Congreso Mexicano de Química, 36° Congreso Nacional de Educación Química, (2017).
5. Fernández A. I., Calleja A. Chimenos J. M., Fernández M. A., Capdevila X. G., Segarra M., Xuriguerra H., Espiell F. Preparation of ultra fine CuO: Comparasion of polymer gel methods and conventional precipitation processes. *Journal of Sol Gel Science and Technology*, 36, 11-17, (2005).
6. International Centre for Diffraction Data - Powder Diffraction File (ICDD-PDF), Data Base contains 778, 883 unique material data sets. ISO 9001:2008 Certification, 12 Campus Boulevard, Newton Square, Pa, U.S.A. 19073-37720, (2018).
7. Conesa Ferrer Juan Antonio Curso básico de análisis térmico, I.S.B.N.: 84-8454-015-9, Depósito Legal: A-719-2000, Editorial Club Universitario, Imprenta Gamma, Cottolengo, 25 – San Vicente (Alicante), Printed in Spain, (2000).



8. Chavarriaga Miranda Edgar Andrés, Restrepo Baena Oscar Jaime, Obtención de Pigmentos Inorgánicos para la Industria Cerámica por Síntesis Alternativa de Combustión en Solución, *Scientia et Technica* Año XX, Vol. 20, No. 3, Septiembre de (2015). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, ISSN 0122-1701.
9. Wells Alexander Frank, *Química Inorgánica Estructural*, Editorial Reverté, España, (1978). ISBN: 8429175245 ISBN-13: 9788429175240.
10. CaRine Crystallography Software (2000).



Numerical determination of voltage potential inside 3D anisotropic media using variational methods.

Igor Brilla ■ František Janíček

Faculty of Electrical Engineering and Information Technology,
Department of Mathematics,
Slovak University of Technology, Ilkovičova 3, Bratislava, Slovakia.
igor.brilla@stuba.sk

1. Abstract

The problem of numerical determination of voltage potential inside three dimensional anisotropic media using values of the voltage potential on the boundary of the media has been solved. The convenient form of variational formulation of the problem has been derived. The numerical solution of the problem has been obtained by the method of local variations.

2. Introduction

The paper is dealt with the numerical determination of voltage potential inside three dimensional anisotropic media using values of the voltage potential on the boundary of the media. For numerical determination of the problem is used the model described by the potential equation for the anisotropic media with appropriate boundary conditions. The convenient form of variational formulation of the problem is derived. For numerical analysis of the problem are applied discrete methods. They are very convenient because in the case of practical problems input data are measured in discrete points. The numerical solution of the problem is obtained by the method of local variations for three dimensional problems^[1]. This approach is generalization of the method for numerical determination of voltage potential inside two dimensional orthotropic and anisotropic media and inside three dimensional orthotropic media using values of the voltage potential on the boundary of the media derived in^{[2], [3], [4]}. The convergence of the method of local variations for the problem is proved. The numerical experiments are done from a mathematical point of view. The numerical solutions are computed for different values of electrical conductivi-



ties of the media and for different values of the voltage potential on the boundary of the media. The case of discontinuous electrical conductivities is also considered.

3. Formulation of the problem

The following three dimensional potential equation is considered

$$-\left(c_{ij} u_{,j}\right)_{,i} = 0 \text{ in } \Omega, \quad (1)$$

where c_{ij} is a symmetric tensor of an electrical conductivity of the medium, u is a voltage potential. The summation and differentiation rule with respect to indices is applied. Ω is assumed as a three dimensional domain of following form

$$\Omega = \left\{ (x, y, z) \in R^3 : 0 < x < a, 0 < y < b, 0 < z < c \right\}.$$

The following Dirichlet boundary condition is considered for the voltage potential

$$u(s) = f(s), \quad s \in \partial\Omega, \quad (2)$$

where f represents values of the voltage potential on the boundary.

The equation (1) can be written in the following form

$$\begin{aligned} & -\left(c_{11} u_{,x} + c_{12} u_{,y} + c_{13} u_{,z}\right)_{,x} - \left(c_{12} u_{,x} + c_{22} u_{,y} + c_{23} u_{,z}\right)_{,y} - \\ & -\left(c_{13} u_{,x} + c_{23} u_{,y} + c_{33} u_{,z}\right)_{,z} = 0 \text{ in } \Omega. \end{aligned} \quad (3)$$

It is possible to derive similarly as in^[5] the convenient form of variational formulation of the problem (3), (2) as the following functional

$$\begin{aligned} J(w) = & \iiint_{\Omega} \left[c_{11} w_{,x}^2 + c_{22} w_{,y}^2 + c_{33} w_{,z}^2 + 2 c_{11} w_{,x} v_{,x} + 2 c_{22} w_{,y} v_{,y} + 2 c_{33} w_{,z} v_{,z} + \right. \\ & + 2 c_{12} w_{,x} w_{,y} + 2 c_{12} w_{,x} v_{,y} + 2 c_{12} w_{,y} v_{,x} + 2 c_{13} w_{,x} w_{,z} + 2 c_{13} w_{,x} v_{,z} + \\ & \left. + 2 c_{13} w_{,z} v_{,x} + 2 c_{23} w_{,y} w_{,z} + 2 c_{23} w_{,y} v_{,z} + 2 c_{23} w_{,z} v_{,y} \right] dx dy dz, \end{aligned} \quad (4)$$

where

$$u = w + v \text{ in } \bar{\Omega}, v(s) = u(s), \quad s \in \partial\Omega. \quad (5)$$



It means that v is arbitrary function having the same values on the boundary like u and w is fulfilling homogeneous boundary condition

$$w(s) = 0, \quad s \in \partial \Omega. \tag{6}$$

It is possible to show^[5] that the solution of the problem (3), (2) may be characterized as stationary point w of the functional (4) with respect to (5) and (6).

4. Results and discussion

Discrete methods are applied for numerical analysis of the problem. They are very convenient because in the case of practical problems input data are measured in discrete points. On the domain Ω is considered uniform grid $(m + 1)h \times (n + 1)h \times (p + 1)h, h > 0$. The functional J assume following discrete form

$$J \approx I = h^3 \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^n \sum_{l=0}^p I_{i;k;l}, \tag{7}$$

where

$$\begin{aligned} I_{i;k;l} = & (c_{11})_{i;k;l}^* [(w_{,x})_{i;k;l}^*]^2 + (c_{22})_{i;k;l}^* [(w_{,y})_{i;k;l}^*]^2 + (c_{33})_{i;k;l}^* [(w_{,z})_{i;k;l}^*]^2 + \\ & + 2(c_{11})_{i;k;l}^* (w_{,x})_{i;k;l}^* (v_{,x})_{i;k;l}^* + 2(c_{22})_{i;k;l}^* (w_{,y})_{i;k;l}^* (v_{,y})_{i;k;l}^* + 2(c_{33})_{i;k;l}^* (w_{,z})_{i;k;l}^* (v_{,z})_{i;k;l}^* + \\ & + 2(c_{12})_{i;k;l}^* (w_{,x})_{i;k;l}^* (w_{,y})_{i;k;l}^* + 2(c_{12})_{i;k;l}^* (w_{,x})_{i;k;l}^* (v_{,y})_{i;k;l}^* + 2(c_{12})_{i;k;l}^* (w_{,y})_{i;k;l}^* (v_{,x})_{i;k;l}^* + \\ & + 2(c_{13})_{i;k;l}^* (w_{,x})_{i;k;l}^* (w_{,z})_{i;k;l}^* + 2(c_{13})_{i;k;l}^* (w_{,x})_{i;k;l}^* (v_{,z})_{i;k;l}^* + 2(c_{13})_{i;k;l}^* (w_{,z})_{i;k;l}^* (v_{,x})_{i;k;l}^* + \\ & + 2(c_{23})_{i;k;l}^* (w_{,y})_{i;k;l}^* (v_{,z})_{i;k;l}^* + 2(c_{23})_{i;k;l}^* (w_{,y})_{i;k;l}^* (v_{,z})_{i;k;l}^* + 2(c_{23})_{i;k;l}^* (w_{,z})_{i;k;l}^* (v_{,y})_{i;k;l}^* \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} (c_{j_1 j_2})_{i;k;l}^* = & ((c_{j_1 j_2})_{i;k;l} + (c_{j_1 j_2})_{i+1;k;l} + (c_{j_1 j_2})_{i;k;l+1} + (c_{j_1 j_2})_{i+1;k;l+1} + (c_{j_1 j_2})_{i;k;l+1} + \\ & + (c_{j_1 j_2})_{i;k;l+1} + (c_{j_1 j_2})_{i+1;k;l+1} + (c_{j_1 j_2})_{i;k+1;l+1} + (c_{j_1 j_2})_{i+1;k+1;l+1})/8, \quad j_1, j_2 = 1, 2, 3, \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} (w_{,x})_{i;k;l}^* &= (w_{i+1;k+1;l} + w_{i+1;k;l} - w_{i;k;l} - w_{i;k+1;l})/(4h) + \\ &+ (w_{i+1;k+1;l+1} + w_{i+1;k;l+1} - w_{i;k;l+1} - w_{i;k+1;l+1})/(4h), \\ (w_{,y})_{i;k;l}^* &= (w_{i+1;k+1;l} + w_{i;k+1;l} - w_{i;k;l} - w_{i+1;k;l})/(4h) + \\ &+ (w_{i+1;k+1;l+1} + w_{i;k+1;l+1} - w_{i;k;l+1} - w_{i+1;k;l+1})/(4h), \\ (w_{,z})_{i;k;l}^* &= (w_{i;k+1;l+1} + w_{i;k;l+1} - w_{i;k;l} - w_{i;k+1;l})/(4h) + \\ &+ (w_{i+1;k+1;l+1} + w_{i+1;k;l+1} - w_{i+1;k;l} - w_{i+1;k+1;l})/(4h), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (v_{,x})_{i;k;l}^* &= (v_{i+1;k+1;l} + v_{i+1;k;l} - v_{i;k;l} - v_{i;k+1;l} + v_{i+1;k+1;l+1} + v_{i+1;k;l+1} - v_{i;k;l+1} - v_{i;k+1;l+1})/(4h), \\ (v_{,y})_{i;k;l}^* &= (v_{i+1;k+1;l} + v_{i;k+1;l} - v_{i;k;l} - v_{i+1;k;l} + v_{i+1;k+1;l+1} + v_{i;k+1;l+1} - v_{i;k;l+1} - v_{i+1;k;l+1})/(4h), \\ (v_{,z})_{i;k;l}^* &= (v_{i;k+1;l+1} + v_{i;k;l+1} - v_{i;k;l} - v_{i;k+1;l} + v_{i+1;k+1;l+1} + v_{i+1;k;l+1} - v_{i+1;k;l} - v_{i+1;k+1;l})/(4h) \end{aligned}$$

with the following discrete form of boundary conditions (5) and (6)

$$\begin{aligned} w_{0;k;l} &= w_{m+1;k;l} = 0, \quad v_{0;k;l} = u_{0;k;l}, \quad v_{m+1;k;l} = u_{m+1;k;l}, \quad k = 0, 1, \dots, n+1, \quad l = 0, 1, \dots, p+1, \\ w_{i;0;l} &= w_{i;n+1;l} = 0, \quad v_{i;0;l} = u_{i;0;l}, \quad v_{i;n+1;l} = u_{i;n+1;l}, \quad i = 0, 1, \dots, m+1, \quad l = 0, 1, \dots, p+1, \quad (8) \\ w_{i;k;0} &= w_{i;k;p+1} = 0, \quad v_{i;k;0} = u_{i;k;0}, \quad v_{i;k;p+1} = u_{i;k;p+1}, \quad i = 0, 1, \dots, m+1, \quad k = 0, 1, \dots, n+1. \end{aligned}$$

Instead of finding the minimum of the functional J now the problem arises to find values $w_{i;k;l}$ which fulfil the boundary conditions (8) and such that (7) is minimal. The minimum of (7) is found using the method of local variations^[1]. The algorithm of this method is given by a sequence of iterations. It is necessary to start the algorithm with determination of some initial approximation of the values $w_{i;k;l}$, $i = 0, 1, \dots, m+1$, $k = 0, 1, \dots, n+1$, $l = 0, 1, \dots, p+1$ such that the boundary conditions (8) are fulfilled. The iterative solution is obtained in such a way, that the iteration from the previous step is considered as the initial approximation, and then it is necessary to go through all interior grid points in arbitrary order. At each grid point $(ih; kh; lh)$, $i = 1, 2, \dots, m$, $k = 1, 2, \dots, n$, $l = 1, 2, \dots, p$ is computed the value



$$\Phi_{i;k;l}(w_{i;k;l}) = h^3 \sum_{j_1=0}^m \sum_{j_2=0}^n \sum_{j_3=0}^p \chi_{j_1;j_2;j_3} I_{j_1;j_2;j_3}, \tag{9}$$

where

$$\chi_{j_1;j_2;j_3} = \begin{cases} 1, & I_{j_1;j_2;j_3} = I_{j_1;j_2;j_3}(w_{i;k;l}) \\ 0, & I_{j_1;j_2;j_3} \neq I_{j_1;j_2;j_3}(w_{i;k;l}) \end{cases}$$

which is the collection of such $I_{j_1;j_2;j_3}$ from (7) which depend on the value $w_{i;k;l}$. Then is changed a little the value $w_{i;k;l}$ to the values $w_{i;k;l} \pm r$, where $r > 0$ is the given step and two corresponding values $\Phi_{i;k;l}^+(w_{i;k;l} + r)$, $\Phi_{i;k;l}^-(w_{i;k;l} - r)$ are computed. The new value of the solution at grid point $(ih; kh; lh)$ is chosen from the values $w_{i;k;l}$, $w_{i;k;l} + r$, $w_{i;k;l} - r$ and it is this one which corresponds to the minimum value of $\Phi_{i;k;l}(w_{i;k;l})$, $\Phi_{i;k;l}^+(w_{i;k;l} + r)$, $\Phi_{i;k;l}^-(w_{i;k;l} - r)$. The iteration is finished after we have gone through all interior grid points. Then the value of I is calculated for such solution and the process is repeated until the value of I is decreasing. Then it is possible to continue by dividing the step.

We can prove similarly to^[2] the following important theorem:

THEOREM. Let the electrical conductivities are piecewise smooth functions. Then the method of local variations is convergent for the problem (3), (2).

The program realization of the method of local variations for the problem is elaborated in the programming language Fortran 77.

Numerical experiments are done from a mathematical point of view. This means that at first is constructed the problem with the exact solution, afterwards is computed the numerical solution of this problem using the method of local variations and in the end the computed numerical solution is compared it with the exact one.

The numerical solutions were computed for different values of electrical conductivities of the media and for different values of the voltage potential on the boundary of the media.

The following domain $\bar{\Omega} = \langle 0, 2 \rangle \times \langle 0, 1 \rangle \times \langle 0, 1 \rangle$ is considered. For the following voltage potential

$$u = (x + 1) + (y + 1) + (z + 1) \tag{10}$$

the electrical conductivities



$$c_{11} = 7, c_{12} = 1, c_{13} = 2, c_{22} = 5, c_{23} = 4, c_{33} = 3 \quad (11)$$

using (11) and the boundary conditions constructed from (10), using the program realization of the method of local variations are obtained on all meshes exact solutions. This result is caused by the fact that the voltage potential (10) is linear function and the function v from (5) is arbitrary function having the same values on the boundary like u and during the computation the function v is constructed as the linear approximation of the boundary condition of v and it means according (5) also of u .

For another voltage potential and electrical conductivities

$$u = e^{x+y+z}, \quad (12)$$

$$c_{11} = 10 e^{-x}, c_{22} = 7 e^{-y}, c_{33} = 5 e^{-z}, c_{12} = 0.2 e^{-x-y}, c_{13} = 0.1 e^{-x-z},$$

$$c_{23} = 0.5 e^{-y-z} \quad (13)$$

in the Table 1 it is able to see the percentage of errors in the computed solutions in the second column with respect to the exact solutions of the meshes given in the first column. In the third column are reported the numbers of iterations after which the numerical solution is obtained on the given mesh. From the results it is possible to see that small errors are obtained for a course mesh and when the number of grid points increases, errors decrease.

Table 1. Numerical results for the problem (12), (13)

Mesh	Error (%)	Number of iterations
8 x 4 x 4	2.8 10 ⁻²	403
12 x 6 x 6	2.1 10 ⁻²	855
16 x 8 x 8	1.8 10 ⁻²	2323

For another voltage potential and electrical conductivities

$$u = \ln(x + 1) + \ln(y + 1) + \ln(z + 1), \quad (14)$$

$$c_{11} = (x + 1)(y + 1), c_{22} = (y + 1)(z + 1), c_{33} = (x + 1)(z + 1),$$

$$c_{12} = (z + 1), c_{13} = (y + 1), c_{23} = (x + 1) \quad (15)$$



obtained results are shown in the Table 2.

Table 2. Numerical results for the problem (14), (15)

Mesh	Error (%)	Number of iterations
8 x 4 x 4	1.4 10 ⁻¹	238
12 x 6 x 6	6.9 10 ⁻²	836
16 x 8 x 8	4.1 10 ⁻²	1987

The case of discontinuous electrical conductivities is also considered. For the following discontinuous electrical conductivities and voltage potential

$$c_{11} = 10, c_{12} = 3, c_{13} = 2, c_{22} = 7, c_{23} = 1, c_{33} = 5,$$

$$u = (x + 1) + (y + 1) + (z + 1), x \leq 2/3, \tag{16}$$

Table 3. Numerical results for the problem (16), (17)

Mesh	Error (%)	Number of iterations
8 x 4 x 4	4.8 10 ⁻¹	249
12 x 6 x 6	5.5 10 ⁻¹	896
16 x 8 x 8	4.0 10 ⁻¹	2360

$$c_{11} = 12, c_{12} = 4, c_{13} = 1, c_{22} = 17/3, c_{23} = 2, c_{33} = 16/3,$$

$$u = 5(x + 1)/6 + (y + 1) + (z + 1) + 5/18, x > 2/3, \tag{17}$$

similar results are obtained as it is shown in the Table 3.

5. Conclusion

This paper is dealt with the numerical determination of voltage potential inside three dimensional anisotropic media using values of the voltage potential on the boundary of the media. For numerical determination of the problem is used the model described by the potential equation for the anisotropic media with appropriate boundary conditions. The convenient form of variational formulation of the problem is derived. The numerical solution of the problem is obtained by the method of local variations



for three dimensional problems. The convergence of the method of local variations for the problem is proved. Program realization of the method of local variations is elaborated in the programming language Fortran 77.

The numerical experiments are done from a mathematical point of view. The numerical solutions are computed for different values of electrical conductivities of the media also for discontinuous electrical conductivities of the media and for different values of the voltage potential on the boundary of the media. From computed examples it is seen that obtained errors of computation are small.

6. Acknowledgements

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-15-0326.

7. References

1. Černousko F.L., Baničuk N.V., "Variacionnye zadači mechaniki i upravlenija", Izdatel'stvo Nauka, Moskva (1973).
2. Brilla I., "Numerical Determination of Voltage Potential Inside Orthotropic Media Using Variational Methods", Proceedings of the 11th International Scientific Conference Energy-Ecology-Economy 2012, 15-17 May 2012, Tatranské Matliare, Slovakia, 1-6 on USB key, (2012).
3. Brilla I., Janíček F., "Numerical determination of voltage potential inside 2D anisotropic media using variational methods", Aplicaciones de las Ciencias 2016, Universidad Autónoma Metropolitana, México, 360-366 (2016).
4. Brilla I., Janíček F., "Numerical Determination of Voltage Potential Inside Three Dimensional Orthotropic Media Using Variational Methods", Actas del Congreso CAIP'2017, 25-27 September 2017, México, 136-143 (2017).
5. Rektorys K., "Variační metody v inženýrských problémech a v problémech matematické fyziky", SNTL, Praha (1974).



Cálculo simple de la distancia entre dos puntos sobre la tierra.

Ramón Salazar Velasco.

Departamento de Ciencias Básicas.
Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco
frsv@azc.uam.mx

1. Resumen

En 1995 me enfrenté al problema de calcular la distancia entre cualquier ciclón y puntos relevantes del territorio nacional para el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). En términos prácticos es calcular la distancia entre dos puntos de la superficie dadas sus coordenadas geográficas. Se obtiene el método a partir del concepto vectorial de producto escalar dando una fórmula sencilla y error mínimo. Es una aplicación del concepto de producto escalar importante en los cursos de álgebra a nivel licenciatura.

2. Introducción

Dimensionar el tamaño del planeta que vivimos tiene antecedentes desde la época griega de Eratóstenes^[1]. Ahora me enfrento al problema semejante cuando para el SMN al elaborar los boletines del Atlántico y del Pacífico le es importante en presencia de un ciclón, establecer la dirección que lleva el ciclón, la velocidad del meteoro y la distancia al territorio nacional, entre otros datos básicos que debe contener. Para el presente trabajo nos enfocaremos al cálculo de la distancia entre dos puntos sobre la superficie terrestre dados sus coordenadas geográficas, es decir, la longitud y la latitud de dos lugares diferentes.

3. Condiciones experimentales

Inicialmente se buscó mediante triángulos sobre esferas como obtener la “hipotenusa” a partir de los “catetos”, éstos son la diferencia de Longitudes y Latitudes. El problema es que mientras la diferencia de latitudes coincide con el



arco del ángulo diferencia la diferencia de las longitudes hacia variar desde el arco diferencia en el ecuador hasta cero en los polos, sin poder determinar esta variación además la llamada “hipotenusa” no encontré ninguna relación equivalente al teorema de Pitágoras. Cambiando el enfoque se llegó a la siguiente solución:

Considerando dos puntos sobre la superficie de la tierra, la distancia entre ellos depende en primer lugar del radio a considerar. Como la Tierra esencialmente es una esfera, comparemos los radios de ésta, el radio menor, es decir, el radio polar está establecido en 6357 km. Mientras que el radio mayor, esto es, el radio ecuatorial se considera en 6378.8 km. Estableciendo radio promedio y la variación relativa tenemos que un razonable radio de la tierra es $R = 6367.5 \text{ km}$ con una variación de $\pm 1.66\%$. Lo cual nos lleva, dado el contexto del problema, a reconocer a la Tierra como una esfera perfecta, debido a que un error que se pudiera encontrar es totalmente despreciable ante el hecho de que un ciclón es del orden de 100 km de diámetro. El SMN de hecho usa implícitamente el radio de 6371.3 km que será el usado, es decir, $R = 6371.3 \text{ km}$.

Un primer intento fue tratar mediante la triangulación lo que fue infructuoso. La solución fue considerar los puntos de la superficie de la Tierra como vectores y dado que en una esfera el arco superficial coincide con el ángulo formado entre ellos aplicando una de las fórmulas de producto escalar se tiene que

$$V_1 \bullet V_2 = |V_1| |V_2| \cos \theta \quad (1)$$

Donde θ es el ángulo que forman los vectores entre ellos. Como se conoce que $|V_1| = |V_2| = R$ sólo es necesario conocer el producto escalar para determinar el ángulo que forman entre ellos.

Una forma alterna para determinar el producto escalar es a partir de sus coordenadas cartesianas. Consideramos unos ejes de referencia, donde el eje X coincide con el meridiano de Greenwich y el plano ecuatorial, el eje Y en el mismo plano ecuatorial visto desde el polo norte en la dirección positiva, es decir, en el sentido contrario a las manecillas del reloj; finalmente el eje Z coincide con el eje polar. Esto facilitará los cálculos porque hace coincidir con las coordenadas geográficas y los signos de éstas.

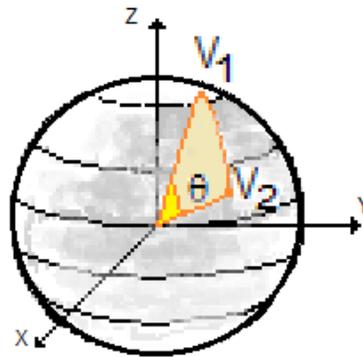


Fig. 1 Dos puntos en la esfera terrestre.

Conociendo las coordenadas cartesianas de los puntos $V_1 = (x_1, y_1, z_1)$; $V_2 = (x_2, y_2, z_2)$ el producto escalar es

$$V_1 \cdot V_2 = x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2$$

Como lo que tenemos son las coordenadas geográficas, es decir, la Longitud (Φ) y la Latitud (λ) debemos de establecer las coordenadas cartesianas a partir de las coordenadas geográficas.

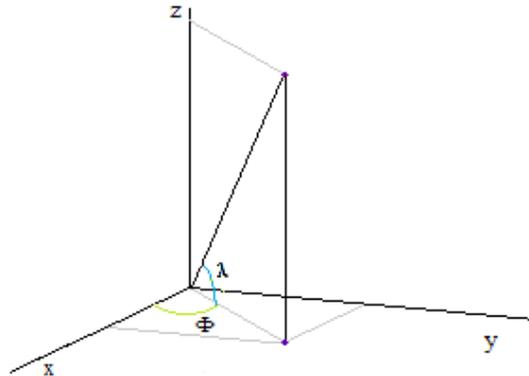


Fig 2. Coordenadas geográficas a cartesianas.

Es importante expresar todo en radianes, recordando que

$$\theta_r = \frac{2\pi}{360} \theta_g$$

Donde θ_r es el ángulo en radianes y θ_g es el ángulo en grados.

Partiendo de que la Longitud (Φ) y la Latitud (λ) ya en radianes, las coordenadas cartesianas quedan dadas como



$$x = R \cos \lambda \cos \phi, \quad y = R \cos(\lambda) \operatorname{sen}(\phi), \quad z = R \operatorname{sen}(\lambda)$$

Los vectores quedan expresados en sus coordenadas cartesianas como

$$V_1 = (R \cos(\lambda_1) \cos(\phi_1), R \cos(\lambda_1) \operatorname{sen}(\phi_1), R \operatorname{sen}(\lambda_1))$$

$$V_2 = (R \cos(\lambda_2) \cos(\phi_2), R \cos(\lambda_2) \operatorname{sen}(\phi_2), R \operatorname{sen}(\lambda_2))$$

De la ecuación (1)

$$\cos \theta = \frac{V_1 \cdot V_2}{|V_1| |V_2|} = \cos(\lambda_1) \cos(\lambda_2) \cos(\phi_1 - \phi_2) + \operatorname{sen}(\lambda_1) \operatorname{sen}(\lambda_2)$$

4. Resultados y discusión

El ángulo que forma el arco entre dos puntos sobre la superficie esta dado por

$$\theta_r = \arccos[\cos(\lambda_1) \cos(\lambda_2) \cos(\phi_1 - \phi_2) + \operatorname{sen}(\lambda_1) \operatorname{sen}(\lambda_2)], \quad (2)$$

Pasando el ángulo a grados

$$\theta_g = \frac{360}{2\pi} \theta_r$$

El SMN usa como estándar

$$\operatorname{dist}(1^\circ) = 111.1988 \text{ km}$$

En particular se hizo un comparativo entre una herramienta de google contra este método y la distancia entre Aguascalientes y Toluca^[2], dada por página de internet^[3] fue de 399.21 km, mientras que la dada por este método dio 398.1; la diferencia es menor al 0.2%.

El método más sofisticado actual es el sistema de posicionamiento global (GPS), por sus siglas en inglés, que está basado en satélites artificiales que orbitan la tierra donde relacionan los puntos de la superficie terrestre con la posición orbital de los satélites y seguramente tiene un algoritmo mucho más complejo.



5. Conclusiones

El error causado es menor a $\pm 1.62\%$, es decir, aproximadamente de kilómetro y medio por cada 100 km que como el diámetro de los ciclones está entre 100 y 300 km resulta despreciable este error.

Esta manera de calcular la distancia tiene la ventaja de la facilidad, grosso modo, permite dar un cálculo con buena aproximación. Sin embargo, cuando se requiera mucha precisión habría que usar otros métodos. La corrección debe estar en función de la latitud porque la variación del radio está asociada directamente con la latitud.

6. Agradecimientos

Este trabajo se realizó dentro de los trabajos del área de investigación Enseñanza de las Ciencias Básicas de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco.

7. Bibliografía

1. Salazar V, FR.; Salazar M, JM; Zubieta B, C. Relato conciso sobre matemática básica. Eratóstenes, medición de la Tierra; V 3, 74 - 75 (2009).
2. Coordenadas geográficas de México, www.geodatos.net/coordenadas/mexico. Consultado el 30 de mayo de 2018.
3. Distancias entre ciudades, www.distanciasentreciudades.com. Consultado el 30 de mayo de 2018.



Programación lineal aplicada al control de la concentración máxima de un contaminante

David Parra-Guevara ■ Daniel Peña-Maciel

Centro de Ciencias de la Atmósfera.
Universidad Nacional Autónoma de México.
pdavid@atmosfera.unam.mx

1. Resumen

En este trabajo se formula un modelo de programación lineal para calcular los coeficientes óptimos que deben regular las emisiones de fuentes puntuales. El objetivo es disminuir la concentración máxima de un contaminante en puntos selectos de una región para que se cumpla la norma de la calidad del aire en una zona a un costo mínimo. Se considera un modelo lineal de dispersión de contaminantes en la atmósfera que está bien formulado y el respectivo modelo adjunto. Se muestra que las soluciones adjuntas sirven para establecer la relación explícita entre las tasas de emisión, los puntos de emisión y la concentración máxima del contaminante en los sitios de control. Dichas ecuaciones integrales se utilizan para definir las restricciones en el problema de optimización, mientras que la función objetivo está definida por el costo que las fuentes pagan por disminuir sus emisiones. Se presenta un ejemplo sintético de control.

2. Introducción

La contaminación del aire en zonas urbanas es un problema de gran preocupación debido al deterioro en la calidad de vida de la población que está expuesta a altas concentraciones de los contaminantes. En respuesta, durante las últimas décadas se han propuesto diversas estrategias para el control de la contaminación del aire que se basan en modelos de programación matemática y que consideran diferentes metas ecológicas y económicas^[1]. Dada la complejidad del problema de la contaminación, los modelos de control se han desarrollado para resolver situaciones específicas. En particular, los eventos de corto plazo donde una débil dispersión en la atmósfera favorece la acumulación de los contaminantes hasta niveles peligrosos merece una especial atención. Ante un pronóstico de este tipo



de evento es necesario definir con prontitud las restricciones en las emisiones que pueden mantener las concentraciones de los contaminantes por debajo de las normas sanitarias respectivas^[2]. En este trabajo se formula un modelo de programación lineal para el control a corto plazo de las emisiones de fuentes puntuales. El objetivo del control es disminuir la concentración máxima de un contaminante en puntos selectos de una región para que se cumpla la norma de la calidad del aire en una zona a un costo mínimo. La selección de los puntos de control se hace considerando los sitios e instantes donde se espera que aparezcan los máximos absolutos de la concentración del contaminante. Esta formulación utiliza eficientemente las soluciones del modelo adjunto de dispersión y permite obtener rápidamente los coeficientes óptimos que deben regular las emisiones. El desempeño de este método es independiente del número de fuentes contaminantes que se quiere controlar. Estas son las ventajas de la nueva estrategia que se propone.

3. Formulación y análisis del modelo de programación lineal

Se asume que el pronóstico de la concentración de un contaminante en la región

\mathbf{D} es desfavorable durante el intervalo de tiempo $(0, T)$. Es decir, la concentración $\phi(\mathbf{r}, t)$ excede la norma de la calidad del aire J_0 en una zona Ω contenida en \mathbf{D} a consecuencia de una mala dispersión atmosférica y a la intensidad de las emisiones \mathbf{Q}_i , ($i = 1, \dots, N$). Los sitios de control \mathbf{R}_j en Ω , e instantes τ_j en $(0, T)$, se definen por el máximo absoluto de la concentración: $\phi(\mathbf{R}_j, \tau_j) = \max\{\phi(\mathbf{r}, t); (\mathbf{r}, t) \in \overline{\Omega \times (0, T)}\}$. El problema de control de emisiones consiste en hallar los parámetros λ_i ($0 \leq \lambda_i \leq 1$), tal que con las emisiones corregidas $\lambda_i \mathbf{Q}_i$ la nueva función de concentración ϕ cumpla:

$$\phi(\mathbf{r}, t) \leq J_0, \quad (\mathbf{r}, t) \in \Omega \times (0, T) \quad (1)$$

Los parámetros de reducción son seleccionados de forma óptima; minimizando la siguiente función de costo lineal:

$$F(\lambda_1, \dots, \lambda_N) = \sum_{i=1}^N c_i (1 - \lambda_i) \quad (2)$$

Donde cada coeficiente c_i representa el costo que la fuente i -ésima paga por reducir sus emisiones.

La relación entre las emisiones puntuales y la concentración se determina por un modelo de dispersión o transporte del contaminante en la atmósfera:



$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{A}\phi = \sum_{i=1}^N Q_i(t)\delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i) \text{ en } \mathbf{D} \times (0, T), \phi(\mathbf{r}, 0) = \phi^0(\mathbf{r}) \text{ en } \mathbf{D} \quad (3)$$

El operador lineal \mathbf{A} describe diversos procesos físicos y químicos. Además, cada función delta de Dirac $\delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i)$ se centra en el punto de emisión \mathbf{r}_i de la i -ésima fuente.

Para encontrar la relación explícita entre la concentración máxima y las tasas de emisión $Q_i(t)$, se debe considerar la solución \mathbf{g} del modelo adjunto de dispersión:

$$-\frac{\partial \mathbf{g}}{\partial t} + \mathbf{A}^*\mathbf{g} = \mathbf{p}(\mathbf{r}, t) \text{ en } \mathbf{D} \times (0, T), \mathbf{g}(\mathbf{r}, T) = \mathbf{0} \text{ en } \mathbf{D} \quad (4)$$

Aquí, el operador adjunto \mathbf{A}^* se define a través de la identidad de Lagrange

$(\mathbf{A}\phi, \mathbf{g}) = (\phi, \mathbf{A}^*\mathbf{g})$ ^[3], donde $(h, g) = \int_{\mathbf{D}} hg \, d\mathbf{r}$ es el producto interior en el espacio de Hilbert $L_2(\mathbf{D})$. Multiplicando la ecuación (4) por la función adjunta \mathbf{g} , e integrando el resultado sobre $\mathbf{D} \times (0, T)$, se obtiene que

$$\int_0^T \int_{\mathbf{D}} \phi(\mathbf{r}, t) \mathbf{p}(\mathbf{r}, t) \, d\mathbf{r} dt = \int_{\mathbf{D}} \phi^0(\mathbf{r}) \mathbf{g}(\mathbf{r}, 0) \, d\mathbf{r} + \sum_{i=1}^N \int_0^T Q_i(t) \mathbf{g}(\mathbf{r}_i, t) \, dt \quad (5)$$

Si para cada punto \mathbf{R}_j se define el forzamiento en (4) como $\mathbf{p}_j(\mathbf{r}, t) = \delta(\mathbf{r} - \mathbf{R}_j)\delta(t - \tau_j)$ entonces la ecuación (5) conduce a la relación explícita buscada

$$\phi(\mathbf{R}_j, \tau_j) = \int_{\mathbf{D}} \phi^0(\mathbf{r}) \mathbf{g}_j(\mathbf{r}, 0) \, d\mathbf{r} + \sum_{i=1}^N \int_0^T Q_i(t) \mathbf{g}_j(\mathbf{r}_i, t) \, dt \quad (6)$$

Considerando una ecuación similar a (6) para $\phi(\mathbf{R}_j, \tau_j)$, los parámetros de reducción óptimos para el control de las fuentes de emisión se obtienen como la solución del siguiente problema de programación lineal:

$$\begin{aligned} &\text{minimizar } F = \sum_{i=1}^N c_i(1 - \lambda_i) \\ &\text{sueto a: } \sum_{i=1}^N \lambda_i \int_0^T Q_i(t) \mathbf{g}_j(\mathbf{r}_i, t) \, dt \leq \alpha_j, \quad j = 1, \dots, M; \quad 0 \leq \lambda_i \leq 1, \quad i = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (7)$$

Todas las constantes $\alpha_j = J_0 - \int_{\mathbf{D}} \phi^0(\mathbf{r}) \mathbf{g}_j(\mathbf{r}, 0) \, d\mathbf{r}$ se suponen no-negativas. De otra forma, la concentración inicial del contaminante es tan grande que la única opción para controlar la contaminación es definir $\lambda_i = 0$, $i = 1, \dots, N$ (suspender todas las emisiones).

La idea fundamental del control de emisiones a través del modelo (7) es disminuir hasta niveles aceptables la concentración del contaminante en toda la zona Ω por medio de la reducción de ϕ sólo en los puntos donde se esperan los máximos absolutos. Esto es factible debido a la continuidad de la función de concentración.



El problema de optimización (7) tiene solución porque la función F es continua y el conjunto de restricciones forma un conjunto compacto (teorema de Weierstrass^[4]). Además, el conjunto de soluciones óptimas es un subconjunto convexo^[4], por lo que a partir de dos soluciones óptimas es posible generar una infinidad. Esto significa que hay alternativas para seleccionar los parámetros de reducción. Por ejemplo, se pueden buscar coeficientes balanceados, que no castiguen demasiado a ciertas fuentes de emisión. Note que el modelo (7) se generaliza fácilmente considerando más de un instante de control para cada sitio \mathbf{R}_j . Además, es posible aplicarlo en forma iterativa para mejorar el valor de la concentración en todo el dominio de control Ω .

4. Descripción del modelo de dispersión y su adjunto

Un modelo que es posible utilizar para predecir la dispersión de una sustancia emitida desde fuentes puntuales es el siguiente^[5]. Sea $\mathbf{D} = \mathbf{D} \times (0, H)$ un dominio acotado tridimensional con frontera abierta $\partial\mathbf{D} = \mathbf{S}_0 \cup \mathbf{S} \cup \mathbf{S}_H$, la cual es la unión de la superficie lateral cilíndrica \mathbf{S} , la base \mathbf{S}_0 en el fondo y la cubierta \mathbf{S}_H en $z = H$. Se denota por $\mathbf{r}_i = (x_i, y_i, z_i) \in \mathbf{D}$, los puntos donde se ubican las N fuentes puntuales que emiten un contaminante con tasas respectivas $Q_i(t)$, $i = 1, \dots, N$. Se denota con $\phi(\mathbf{r}, t)$ a la concentración del contaminante en la región \mathbf{D} en el punto \mathbf{r} al tiempo t . Se supone que la región \mathbf{D} contiene a todas las fuentes de emisión, por lo tanto, no habrá contribuciones externas a la contaminación dentro del dominio. La dispersión del contaminante en la atmósfera se describe a través del siguiente sistema diferencial:

$$\phi_t + \mathbf{A}\phi = \phi_t + \mathbf{U} \cdot \nabla \phi + \nabla \cdot \vec{\phi}^s - \nabla \cdot (\mu \nabla \phi) - [\nu \phi_z]_z + \sigma \phi = \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i) \text{ en } \mathbf{D} \times (0, T) \quad (8)$$

$$\phi(\mathbf{r}, 0) = \phi^0(\mathbf{r}) \text{ en } \mathbf{D} \quad (9)$$

$$\vec{\phi}^s = -v^s \phi \vec{e}_3 \text{ en } \mathbf{D} \quad (10)$$

$$\nu \phi_z - U_n \phi = -v^s \phi \text{ en } \mathbf{S}_H^-, \nu \phi_z = -v^s \phi \text{ en } \mathbf{S}_H^+ \quad (11)$$

$$\mu \nabla \phi \cdot \vec{n} - U_n \phi = 0 \text{ en } \mathbf{S}^-, \mu \nabla \phi \cdot \vec{n} = 0 \text{ en } \mathbf{S}^+ \quad (12)$$

$$\hat{\mu} \nabla \phi \cdot \vec{n} = 0 \text{ en } \mathbf{S}_0 \quad (13)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{U} = u_x + v_y + w_z = 0 \text{ en } \mathbf{D} \quad (14)$$



Se asume que la velocidad del viento $\mathbf{U}(\mathbf{r}, t)$ en \mathbf{D} cumple la ecuación de continuidad (14). Además, $\sigma_k(\mathbf{r}, t) \geq 0$ es el coeficiente de transformación química del contaminante y $\hat{\mu}(\mathbf{r}, t) = \text{diag}\{\mu, \mu, \nu\} > 0$ es la matriz de difusión turbulenta. La ecuación (9) define a ϕ^0 como la distribución espacial del contaminante al tiempo $t = 0$ sobre \mathbf{D} . El término $\nabla \cdot \vec{\phi}^s$ en (8), describe el cambio en la concentración de las partículas por unidad de tiempo debido a la sedimentación, la cual está caracterizada por una velocidad constante de sedimentación $\nu^s > 0$. La frontera $\partial\mathbf{D}$ se ha dividido en cinco partes, dos para el flujo horizontal, es decir, \mathbf{S}^+ se define como los puntos de \mathbf{S} tal que $U_n = \mathbf{U} \cdot \vec{n} > 0$, donde \vec{n} es el vector normal exterior y \mathbf{S}^- se define como el complemento ($U_n = \mathbf{U} \cdot \vec{n} \leq 0$). Dos secciones para la frontera superior: \mathbf{S}_H^- es la frontera donde la sedimentación es el resultado de la difusión menos la advección, y \mathbf{S}_H^+ implica que la sedimentación es igual a la difusión (ecuación 11). Por último, en \mathbf{S}_0 , que es la frontera inferior, se tiene que la difusión es cero debido a que el flujo es tangente a la superficie irregular (ecuación 13).

Las condiciones de frontera (11)-(13) hacen del modelo de dispersión un problema bien formulado en el sentido de Hadamard, es decir, la solución de dicho problema es única y estable respecto de pequeñas perturbaciones en las condiciones iniciales y del forzamiento. Este resultado es consecuencia de que el operador \mathbf{A} , en la ecuación (8), es positivo semidefinido^[5]: $(\mathbf{A}\phi, \phi) \geq 0$, donde $(\phi, \eta) = \int_{\mathbf{D}} \phi \eta \, d\mathbf{r}$ es el producto interior. De aquí se sigue la estimación que establece la unicidad y la estabilidad de la solución del modelo (8)-(14): $\|\phi\| \leq T \cdot \max_{0 \leq t \leq T} \|f(\mathbf{r}, t)\| + \|\phi^0\|$, con $f = \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i)$ y $\|\phi\| = (\int_{\mathbf{D}} \phi^2 \, d\mathbf{r})^{1/2}$.

El operador adjunto \mathbf{A}^* se obtiene aplicando la identidad de Lagrange al operador \mathbf{A} , definido en (8), y utilizando las condiciones de frontera (11)-(13). De esta forma, el modelo adjunto con un forzamiento general $p(\mathbf{r}, t)$ se escribe como sigue^[5]:

$$-g_t + \mathbf{A}^*g = -g_t - \mathbf{U} \cdot \nabla g - \nabla \cdot \vec{g}^s - \nabla \cdot (\mu \nabla g) - [\nu g_z]_z + \sigma g = p(\mathbf{r}, t) \quad (15)$$

$$g(\mathbf{r}, T) = 0 \text{ en } \mathbf{D} \quad (16)$$

$$\vec{g}^s = -\nu^s g \vec{e}_3 \text{ en } \mathbf{D} \quad (17)$$

$$\nu g_z = 0 \text{ en } \mathbf{S}_H^-, \nu g_z + U_n g = 0 \text{ en } \mathbf{S}_H^+ \quad (18)$$

$$\mu \nabla g \cdot \vec{n} = 0 \text{ en } \mathbf{S}^-, \mu \nabla g \cdot \vec{n} + U_n g \text{ en } \mathbf{S}^+ \quad (19)$$

$$\hat{\mu} \nabla g \cdot \vec{n} + \vec{g}^s \cdot \vec{n} = 0 \text{ en } \mathbf{S}_0 \quad (20)$$



Es importante notar que el modelo (15)-(20) es un problema de valor final en donde la velocidad del flujo y la sedimentación han invertido su dirección. El cambio de variable $t' = T - t$ lo transforma en un problema de valor inicial bien formulado, la demostración es similar a la del problema (8)-(14). Además, las soluciones de los modelos (8)-(14) y (15)-(20) se combinan en el principio de dualidad definido por la ecuación (6). Ecuación que es fundamental para formular el problema de control (7).

5. Ejemplos numéricos de control y discusión

En los ejemplos numéricos se utiliza la versión bidimensional de los modelos descritos en la sección 4. Se considera que en la región $D = (0,3) \times (0,3)$ hay seis fuentes puntuales de emisión de SO_2 ubicadas en las siguientes coordenadas: $x_i = 0.15$; y $y_i = 0.35, 0.75, 1.15, 1.55, 1.95$ y 2.35 . Todas las tasas de emisión $Q_i(t)$ (en kg/h) se definen como: $Q_i = Q(t) = 300e^{-(t-t)^2} + 700e^{-(4-t)^2}$. Para esta región se considera que la condición inicial es $\phi^0(x,y) = 75e^{-(x-1.55)^2 - (y-0.25)^2} + 50e^{-(x-0.55)^2 - (y-2.05)^2}$, mientras que los coeficientes en la ecuación de transporte son: $\sigma = 0.36 h^{-1}$, $\mu = 1.8 km^2h^{-1}$, $u = 5 kmh^{-1}$ y $v = (10/3)x kmh^{-1}$.

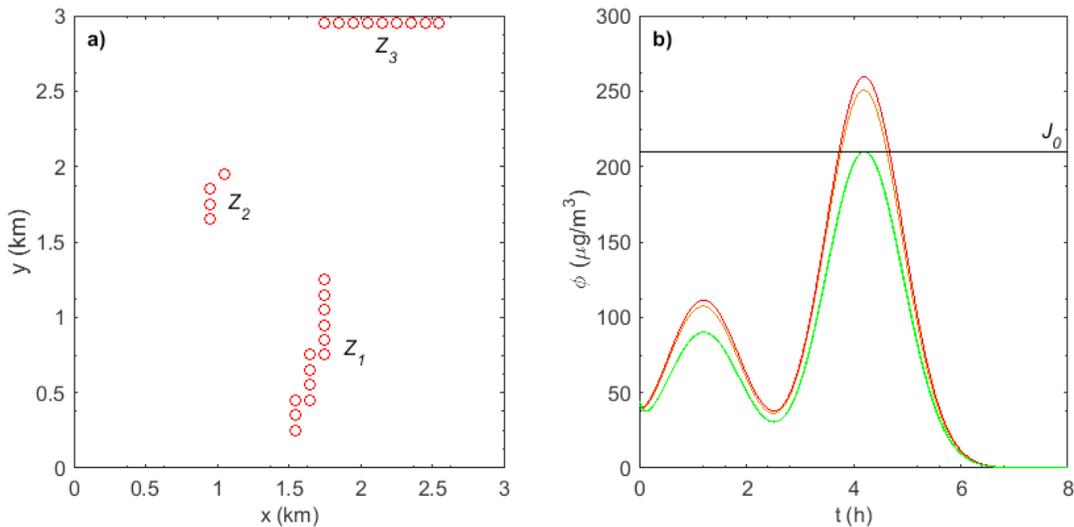


Figura 1. a) Ubicación de los máximos de ϕ para los instantes $t = t_k$; b) Gráficas de $\phi(R_1, t)$ y $\phi(R_2, t)$ antes del control de las emisiones (rojo y naranja, respectivamente), y después del control (verde).

Note que el viento con dirección de suroeste a noreste transporta el contaminante desde las fuentes a toda la región D . El problema de control se considera en la zona $\Omega = [1,3] \times [0,3]$ durante el intervalo de tiempo $(0, T)$, $T = 8 h$. La figura la muestra los puntos en Ω donde se ubican los máximos de concentración en cada tiempo $t_k = k\Delta t$, $\Delta t = 0.001$. Se distinguen tres áreas: en Z_1 están los primeros máximos (ge-



nerados por la condición inicial), mientras que en \mathbf{Z}_2 y \mathbf{Z}_3 están los máximos posteriores (generados por las emisiones). En $\mathbf{R}_1 = (1.0, 1.8)$ y $\tau_1 = 4.201$ se ubica el máximo absoluto de la concentración, cuyo valor es de $259.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lo cual excede la norma $J_0 = 210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por $\Delta J = 23.6\%$. La figura 1b muestra la evolución de la concentración en el punto \mathbf{R}_1 . La solución del modelo (7), formulado sólo con la solución adjunta $\mathbf{g}_1(\mathbf{r}, t)$ y costos $\mathbf{c}_i = 1$ ($i = 1, \dots, 6$), es $\lambda_1^* = 1$, $\lambda_2^* = 1$, $\lambda_3^* = 1$, $\lambda_4^* = 0.2023$, $\lambda_5^* = 1$ y $\lambda_6^* = 1$. Es decir, sólo una fuente debe disminuir sus emisiones. La concentración que se obtiene con las tasas restringidas $\lambda_i^* Q_i$ presenta un máximo absoluto de $210.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Ω , lo cual representa un exceso de sólo $\Delta J = 0.2\%$. Notamos ahora que es posible aplicar el método en forma iterativa. El nuevo máximo absoluto se ubica en $\mathbf{R}_2 = (1.0, 1.4)$ con $\tau_2 = 4.197$. La solución del modelo (7), formulado ahora con las soluciones adjuntas \mathbf{g}_1 y \mathbf{g}_2 , es $\lambda_1^{**} = 1$, $\lambda_2^{**} = 1$, $\lambda_3^{**} = 0.9774$, $\lambda_4^{**} = 0.2215$, $\lambda_5^{**} = 1$ y $\lambda_6^{**} = 1$. La concentración que se obtiene con las tasas restringidas $\lambda_i^{**} Q_i$ presenta un máximo absoluto de $210.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Ω , lo cual representa un exceso de sólo $\Delta J = 0.02\%$ (resultado aceptable). La figura 1b muestra la evolución de la concentración en los puntos \mathbf{R}_1 y \mathbf{R}_2 antes y después del control. Note que los parámetros de control se obtienen rápidamente, ya que sólo es necesario calcular pocas funciones adjuntas.

6. Conclusiones

Los resultados numéricos muestran que la aplicación iterativa del modelo de programación lineal (7) reduce hasta niveles aceptables la concentración del contaminante en toda la zona de control. Además, este método de control calcula rápidamente los parámetros óptimos de reducción, independientemente del número de fuentes.

7. Agradecimientos

Trabajo apoyado por el SNI-CONACyT beca 25170; y CONACyT beca 270467.

8. Bibliografía

1. Cooper W. W., Hemphill H., Huang Z., Li S., Lelas V., Sullivan D. W. Survey of Mathematical Programming Models in Air Pollution Management. *European Journal of Operational Research*, 96(1), 1-35 (1996).



2. Flagan R. C., Seinfeld J. H. *Fundamentals of Air Pollution Engineering*, Prentice-Hall (1988).
3. Marchuk G. I. *Mathematical Models in Environmental Problems*. Elsevier, New York (1986).
4. Luenberger D. G. *Linear and Nonlinear Programming*. Addison-Wesley, Mass. (1984).
5. Parra-Guevara D., Skiba Y. N. Quadratic Programming Formulation for Controlling the Emissions of Air Pollution Point Sources. In: *Horizons in Computer Science Research* (T. S. Clary *Editor*), Vol. 14. Nova Science Publishers, Inc., NY, USA. 207-248 (2017).



Algunos criterios clásicos para verificar la estabilidad tipo Hurwitz de polinomios.

Eleazar López Flores ■ Baltazar Aguirre Hernández ■ Víctor Manuel Ferreyra Coroy
Carlos Arturo Loredo Villalobos ■ Carlos Enrique Flores Gasca

Departamento de Matemáticas.
Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa
eleazlop@xanum.uam.mx

1. RESUMEN

En este trabajo se revisaron algunos criterios para determinar la estabilidad de los polinomios característicos de un sistema de ecuaciones diferenciales, además, de presentar algunos ejemplos para facilitar el entendimiento de la teoría. Por ejemplo, uno de los criterios que se presentó es el algoritmo de Routh en el que sin necesidad de conocer las raíces del polinomio se determina si es o no un polinomio Hurwitz.

2. INTRODUCCIÓN

Las ecuaciones diferenciales tienen gran importancia en distintas ramas de la matemática debido a que muchos problemas o algunos fenómenos de la naturaleza se pueden representar o modelar por medio de ecuaciones diferenciales, como algunas de sus aplicaciones son: poder determinar la trayectoria de un proyectil, el alunizaje de una nave, poder determinar el comportamiento de la población de una especie, entre otros de ahí la importancia de resolver este tipo de ecuaciones.

A largo de la historia matemática se intentado determinar las raíces de un polinomio de grado n sin embargo conforme el grado va creciendo se requieren métodos más sofisticados para poder determinar las raíces del polinomio o al menos saber en qué región del plano complejo se encuentran. Por primera vez J. Maxwell en 1857 obtuvo una solución para determinar si un polinomio es Hurwitz o no para $n=3$ sin resolver el polinomio, posteriormente J. Routh dio una solución más general, sin embargo, en 1895 A. Hurwitz obtuvo la solución analítica del problema sin tener que encontrar sus raíces.



3. PRELIMINARES

3.1 Teorema del Principio del Argumento

Sea C un contorno cerrado simple situado totalmente dentro de un dominio D . Suponga que f es analítica en D , excepto en un número finito de polos dentro de C , y que $f(s) \neq 0$ en C . Entonces

$$\frac{1}{2\pi} \oint_C \frac{f'(s)}{f(s)} ds = N_0 - N_p,$$

donde N_0 es el número total de ceros de f dentro de C y N_p es el número total de polos de f en el interior de C .

Demostración: Ver [3] ■.

3.2 Teorema de Rouché

Sean $f(s)$ y $g(s)$ dos funciones que son analíticas dentro y en un contorno cerrado simple C en el plano complejo \mathbb{C} . Si $|g(s)| < |f(s)| \forall s \in C$, entonces $f(s)$ y $f(s) + g(s)$ tienen el mismo número de ceros (incluidas las multiplicidades) dentro de C .

Demostración: Ver [3] ■.

4. RESULTADOS

4.1 Polinomios Hurwitz (Condiciones Necesarias)

Definición: decimos que un polinomio de coeficientes reales es Hurwitz si todas sus raíces tienen parte real negativa es decir sus raíces están en $\mathbb{C}^- = \{a + ib : a < 0\}$.

Ejemplos

1. $P(s) = s^2 + 5s + 3$ es Hurwitz ya $P(s) = (s + 2)(s + 3)$ que donde raíces son: $s = -2$ y $s = -3$.
2. $P(s) = s^3 + 4s^2 + 6s + 4$ es Hurwitz ya que $P(s) = (s + 2)(s^2 + 2s + 2)$ donde sus raíces son: $s = -2$, $s = -1 + i$ y $s = -1 - i$.
3. $P(s) = s^3 + s^2 + s + 1$ no es Hurwitz ya que $p(s) = (s + 1)(s^2 + 1)$ donde sus raíces son: $s = -1$, $s = -i$, y $s = i$.

Teorema 4.1.1 Sea $P(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0$. Si $P(s)$ es Hurwitz entonces sus coeficientes tienen el mismo signo.



Demostración: Ver [1] ■

4.1.1 Observaciones

Observación 4.1.1.1: Si los coeficientes de un polinomio $P(s)$ no tienen el mismo signo entonces $P(s)$ no es Hurwitz.

1. $P(s) = s^6 - 4s^5 + 2s^4 - 3s^3 + 2s^2 + s - 1$. No es Hurwitz.
2. $P(s) = s - 4$. No es Hurwitz.

Observación 4.1.1.2: El Teorema es una condición necesaria, pero no suficiente, para que un polinomio sea Hurwitz. Es decir, si un polinomio $P(s)$ tiene sus coeficientes del mismo signo, $P(s)$ no necesariamente es Hurwitz.

Ejemplo

1. Sea $P(s) = 2s^3 + 2s^2 + s + 10$, tenemos que $P(s) = (s + 2)(2s^2 - 2s + 5) = (s + 2)(2s - 1 - 3i)(2s - 1 + 3i)$ lo que implica que $P(s)$ no es Hurwitz.

Teorema 4.1.2: Si $P(s)$ es un polinomio Hurwitz de grado n entonces $P'(s)$ es Hurwitz.

Demostración: Ver [1] ■

Corolario 4.1.1: Si $P'(s)$ no es Hurwitz entonces $P(s)$ no es Hurwitz.

Ejemplo

1. Sea $P'(s) = s^3 + 3s^2 + 2s + 8$, sabemos que $a_2 = 3$, $a_1 = 2$ y $a_0 = 8$, sustituyendo $a_2 a_1 - a_0 = (3)(2) - 8 = -2 < 0$ por lo tanto $P'(s)$ no es Hurwitz, lo que implica que $P(s) = s^4/4 + s^3 + s^2 + 8s + c$ con $c > 0$, entonces $a_3 = 1$, $a_2 = 1$, $a_1 = 8$ y $a_0 = c$ entonces $a_3 a_2 a_1 - a_1^2 - a_3^2 a_0 = (1)(1)(8) - (8)^2 - (1)^2(c) < 0$ por lo tanto $P(s)$ no es Hurwitz.

Observación 4.1.1.3: El Teorema 4.1.2 nos da una condición necesaria, pero no suficiente, es decir, si $P'(s)$ es Hurwitz $P(s)$ no necesariamente lo es.

Ejemplo

1. $P'(s) = s^3 + 2s^2 + 4s + 7$, sabemos que $a_2 = 2$, $a_1 = 4$ y $a_0 = 7$ entonces $a_2 a_1 - a_0 = (2)(4) - 7 = 1 > 0$ por lo tanto $P'(s)$ es Hurwitz esto implica que $P(s) = \frac{s^4}{4} + \frac{2}{3}s^3 + 2s^2 + 7s + c$ con $c > 0$, entonces $a_3 = \frac{2}{3}$, $a_2 = 2$, $a_1 = 7$ y $a_0 = c$



entonces $a_3 a_2 a_1 - a_1^2 - a_3^2 a_0 = \left(\frac{2}{3}\right)(2)(7) - (7)^2 - \left(\frac{2}{3}\right)^2(c) < 0$ por lo tanto $P(s)$ no es Hurwitz.

4.2 Criterio de Hurwitz

Definición: (Matriz de Hurwitz) dado el polinomio $f(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n$ denotamos por

$$H(f) = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & \dots & 0 \\ a_0 & a_1 & a_2 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{pmatrix}$$

Teorema 4.2.1 (Criterio de Routh-Hurwitz) Sea $f(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n$, con $a_0 > 0$, $f(s)$, es Hurwitz si y sólo si $\Delta_0 > 0$, $\Delta_1 > 0$, $\Delta_2 > 0$, \dots , $\Delta_n > 0$, donde $\Delta_0, \Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ son los menores principales diagonales de $H(f)$, es decir

$$\Delta_1 = \det(a_1), \Delta_2 = \det \begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ a_0 & a_1 \end{pmatrix}, \Delta_3 = \det \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_0 & a_1 & a_2 \\ 0 & a_0 & a_1 \end{pmatrix}, \dots$$

Demostración: Ver [1] ■

Ejemplo

1. Verificar si el polinomio $P(s) = s^5 + 5s^4 + 12s^3 + 16s^2 + 12s + 4$ es Hurwitz. Sabemos que $a_0 = 1$, $a_1 = 5$, $a_2 = 12$, $a_3 = 16$, $a_4 = 12$, $a_5 = 4$, entonces la matriz Hurwitz es

$$H(f) = \begin{pmatrix} 5 & 16 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 12 & 12 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 16 & 4 & 0 \\ 0 & 1 & 12 & 12 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 16 & 4 \end{pmatrix}$$

Haciendo los cálculos correspondientes obtenemos. $\Delta_1 = 5 > 0$, $\Delta_2 = 44 > 0$, $\Delta_3 = 424 > 0$, $\Delta_4 = 3200 > 0$, $\Delta_5 = 12800$, por el Teorema podemos concluir que el polinomio $P(s)$ es Hurwitz.



2. Verifica si el polinomio $P(s) = s^7 + 5s^6 + 13s^5 + 21s^4 + 24s^3 + 20s^2 + 12s + 4$ es Hurwitz.

Sabemos que $a_0 = 1, a_1 = 5, a_2 = 13, a_3 = 21, a_4 = 24, a_5 = 20, a_6 = 12, a_7 = 4$, entonces la matriz Hurwitz es

$$H(f) = \begin{pmatrix} 5 & 21 & 20 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 13 & 24 & 12 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 21 & 20 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 13 & 24 & 12 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 21 & 20 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 13 & 24 & 12 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5 & 21 & 20 & 4 \end{pmatrix}$$

Haciendo los cálculos correspondientes obtenemos. $\Delta_1 = 5 > 0, \Delta_2 = 44 > 0, \Delta_3 = 424 > 0, \Delta_4 = 3200 > 0, \Delta_5 = 12800, \Delta_6 = \Delta_7 = 0$, por el Teorema podemos concluir que el polinomio $P(s)$ no es Hurwitz.

4.3 Algoritmo de Estabilidad de Routh

Para el algoritmo de estabilidad de Routh- Hurwitz tenemos el polinomio $P(s) = p_0s^n + p_1s^{n-1} + \dots + p_{n-2}s^2 + p_{n-1}s + p_n$. Definimos el siguiente arreglo

s^n	p_0	p_2	p_4	p_6	...
s^{n-1}	p_1	p_3	p_5	p_7	...
s^{n-2}	b_1	b_2	b_3	b_4	...
s^{n-3}	c_1	c_2	c_3	c_4	...
s^{n-4}	d_1	d_2	d_3	d_4	...
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	
s^2	k_1	k_2			
s^1	l_1				
s^0	m_1				

Donde



$$\begin{aligned}
 b_1 &= \frac{-\begin{vmatrix} p_0 & p_2 \\ p_1 & p_3 \end{vmatrix}}{p_1} & c_1 &= \frac{-\begin{vmatrix} p_1 & p_3 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix}}{b_1} \\
 b_2 &= \frac{-\begin{vmatrix} p_0 & p_4 \\ p_1 & p_5 \end{vmatrix}}{p_1} & c_2 &= \frac{-\begin{vmatrix} p_1 & p_5 \\ b_1 & b_3 \end{vmatrix}}{b_1} & d_1 &= \frac{-\begin{vmatrix} b_1 & b_2 \\ c_1 & c_2 \end{vmatrix}}{c_1} \\
 b_3 &= \frac{-\begin{vmatrix} p_0 & p_6 \\ p_1 & p_7 \end{vmatrix}}{p_1} & c_3 &= \frac{-\begin{vmatrix} p_1 & p_7 \\ b_1 & b_4 \end{vmatrix}}{b_1} & d_2 &= \frac{-\begin{vmatrix} b_1 & b_3 \\ c_1 & c_3 \end{vmatrix}}{c_1} \\
 \vdots & & \vdots & & \vdots &
 \end{aligned}$$

El algoritmo de estabilidad de Routh plantea que el número de raíces de la ecuación con partes reales positivas es igual al número de cambios de signo de los coeficientes de la primera columna del arreglo. La condición necesaria y suficiente para que todas las raíces de la ecuación se encuentren en el semiplano izquierdo del plano S es que todos los coeficientes de la ecuación sean positivos y que todos los términos de la primera columna del arreglo tengan signo positivo.

Ejemplos

1. Verificar si el polinomio $P(s) = 2s^3 + s^2 + 7s + 3$ tiene todas sus raíces en el semiplano izquierdo del plano complejo.

Para ver si todas sus raíces se encuentran en el semiplano izquierdo definimos a

$$p_0 = 2, p_1 = 1, p_2 = 7, p_3 = 3, \text{ además, calculamos a } b_1 = \frac{-\begin{vmatrix} p_0 & p_2 \\ p_1 & p_3 \end{vmatrix}}{p_1} = \frac{-\begin{vmatrix} 2 & 7 \\ 1 & 3 \end{vmatrix}}{1} = 1,$$

$$b_2 = 0, c_1 = \frac{-\begin{vmatrix} p_1 & p_3 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix}}{b_1} = \frac{-\begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}}{1} = 3, \text{ y por último obtenemos el arreglo de Routh}$$

$$\begin{array}{c|cc}
 s^3 & 2 & 7 \\
 s^2 & 1 & 3 \\
 s^1 & 1 & 0 \\
 s^0 & 3 &
 \end{array}$$

Como los coeficientes del polinomio y la primera columna del arreglo son positivos podemos concluir que el polinomio $P(s)$ tiene todas sus raíces en el semiplano izquierdo del plano complejo y por la tanto el polinomio es estable.

2. Tenemos el polinomio $P(s) = s^5 + s^4 + 3s^3 + s^2 + s + k$ encontrar para que valores de k el polinomio es estable.

Sabemos que los valores de los coeficientes de $P(s)$ son: $p_0 = 1, p_1 = 1, p_2 = 3,$

$$p_3 = 1, p_4 = 1 \text{ y } p_5 = k, \text{ calculamos los siguientes valores } b_1 = \frac{-\begin{vmatrix} p_0 & p_2 \\ p_1 & p_3 \end{vmatrix}}{p_1} =$$



$$\frac{-\begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}}{1} = 2; b_2 = \frac{-\begin{vmatrix} p_0 & p_4 \\ p_1 & p_5 \end{vmatrix}}{p_1} = \frac{-\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & k \end{vmatrix}}{1} = 1 - k; b_3 = 0; c_1 = \frac{-\begin{vmatrix} p_1 & p_3 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix}}{b_1} = \frac{-\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 1-k \end{vmatrix}}{2} = \frac{k+1}{2};$$

$$c_2 = \frac{-\begin{vmatrix} p_1 & p_5 \\ b_1 & b_3 \end{vmatrix}}{b_1} = \frac{-\begin{vmatrix} 1 & k \\ 2 & 0 \end{vmatrix}}{2} = k; d_1 = \frac{-\begin{vmatrix} b_1 & b_2 \\ c_1 & c_2 \end{vmatrix}}{c_1} = \frac{k^2+4k-1}{k+1}; \text{ y } e_1 = k \text{ y } e_1 = \kappa. \text{ Ahora construimos el arreglo de Routh}$$

s^5	1	3	1
s^4	1	1	k
s^3	2	$1 - k$	0
s^2	$\frac{k+1}{2}$	k	0
s^1	$\frac{k^2+4k-1}{2}$	0	
s^0	$\frac{k+1}{k}$		

De aquí determinamos para que valores de k se cumplen las siguientes desigualdades:

$k > 0; \frac{k+1}{2} > 0; \frac{k^2+4k-1}{k+1} > 0$. Haciendo los cálculos correspondientes encontramos que $k \in (-1, -2 + \sqrt{5}) \cup (-2 + \sqrt{5}, \infty)$ y de esa manera $P(s)$ tiene todas sus raíces en el semiplano izquierdo del plano complejo.

3. Dado el polinomio $P(s) = s^5 + 2s^4 + 2s^3 + s^2 + s + k$ determinar para que valores de k el polinomio es estable mediante el criterio de Routh.

Sabemos que del polinomio $P(s)$ sus coeficientes tienen los siguientes valores $p_0 = 1, p_1 = 2, p_2 = 2, p_3 = 1, p_4 = 1$ y $p_5 = k$ y $p_5 = k$, además, para construir

el arreglo calculamos los siguientes valores $b_1 = \frac{-\begin{vmatrix} p_0 & p_2 \\ p_1 & p_3 \end{vmatrix}}{p_1} = \frac{-\begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{vmatrix}}{2} = \frac{3}{2}; b_2 = \frac{-\begin{vmatrix} p_0 & p_4 \\ p_1 & p_5 \end{vmatrix}}{p_1} =$

$$\frac{-\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 2 & k \end{vmatrix}}{2} = \frac{2-k}{2}; b_3 = 0; c_1 = \frac{-\begin{vmatrix} p_1 & p_3 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix}}{b_1} = \frac{-\begin{vmatrix} 2 & 1 \\ \frac{3}{2} & \frac{2-k}{2} \end{vmatrix}}{3/2} = \frac{2k-1}{3}; c_2 = \frac{-\begin{vmatrix} p_1 & p_5 \\ b_1 & b_3 \end{vmatrix}}{b_1} = \frac{-\begin{vmatrix} 2 & k \\ \frac{3}{2} & 0 \end{vmatrix}}{b_1} = k; d_1 =$$

$$\frac{-\begin{vmatrix} b_1 & b_2 \\ c_1 & c_2 \end{vmatrix}}{c_1} = \frac{(1+k)^2}{1-2k}; \text{ y } e_1 = k. \text{ Ahora construimos el arreglo de Routh}$$



s^5	1	2	1
s^4	2	1	k
s^3	$\frac{3}{2}$	$\frac{2-k}{2}$	0
s^2	$\frac{2k-1}{2}$	k	0
s^1	$\frac{3}{(1+k)^2}$	0	
s^0	$\frac{1-2k}{k}$		

Determinamos para que valores de k se cumplen las siguientes desigualdades $\frac{2k-1}{3} > 0$, $\frac{(1+k)^2}{1-2k} > 0$ y $k > 0$. Al hacer los cálculos correspondientes se tiene $k = \emptyset$, es decir, que no existe alguna k para que el polinomio $P(s)$ tenga todas sus raíces en el semiplano izquierdo del plano complejo.

5. CONCLUSIÓN

En este trabajo presentamos dos condiciones necesarias para que un polinomio sea Hurwitz. También presentamos dos condiciones necesarias y suficientes para que un polinomio sea Hurwitz, éstas son el criterio de Hurwitz y el algoritmo de Roth.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Loredó Villalobos C. A. *Criterios para determinar si un polinomio es Hurwitz*. Universidad Autónoma Metropolitana. 2005.
- [2] Marsden J. E. y Hoffman. M. J. *Análisis Básico de Variable Compleja*. Ed. Trillas. 2012.
- [3] Zill D. G. y Shanahan P. D. *Introducción al Análisis Complejo con aplicaciones*. Ed. CENGAGE Learning. 2011.



Control cuántico estocástico aplicado a la resonancia magnética nuclear

Cutberto Romero Meléndez.

Departamento de Ciencias Básicas.

Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, México.

cutberto@azc.uam.mx

1. Resumen

Se estudia la aplicación de un algoritmo de control cuántico estocástico, basado en un método numérico de optimización iterativa, al problema de controlar un sistema cuántico, sujeto a la acción de un campo electromagnético constante y dos campos electromagnéticos variables con el tiempo, uno de ellos con variación estocástica. El algoritmo diseñado está inspirado en los algoritmos de Rabitz y Krotov en el caso determinístico. Se trata del cálculo del estado correspondiente al control óptimo, con mínimo costo, en un sistema cuántico de dos niveles para un problema de Resonancia Magnética Nuclear. Se utiliza aproximación numérica para integrar las ecuaciones adjuntas de Principio del Máximo Estocástico de Pontryagin (el Método de Euler-Maruyama de diferencias finitas) y se compara la eficiencia de algoritmo propuesto con la solución numérica del caso determinístico.

2. Introducción

Consideremos una muestra sometida a un campo electromagnético longitudinal constante en la dirección del eje Z, como en [1]. Un tiempo después, se somete la muestra a una secuencia de pulsos electromagnéticos transversales variables, uno de ellos sobre el eje X y el otro, aleatorio, sobre el eje Y. La secuencia de pulsos deberá ser tan corta como sea posible para evitar efectos no deseados. Este proceso se repite. Se requiere controlar esta secuencia de pulsos para ejecutar una transformación unitaria del estado de spin $\frac{1}{2}$ -posición inicial $\vec{\psi}(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ al estado de spin $-\frac{1}{2}$ -posición final $\vec{\psi}\left(\frac{\pi}{\sqrt{2}}\right) = \begin{pmatrix} 0 \\ i \end{pmatrix}$ en el tiempo más corto posible, en este sistema cuántico de dos niveles.



El sistema cuántico descrito está gobernado por la siguiente ecuación de Schrödinger de tipo estocástica y el correspondiente costo funcional

$$d\vec{\psi}(t) = (s_z B_z + u_x(t) s_x(t)) \vec{\psi}(t) dt + u_y(t) s_y(t) \vec{\psi}(t) dW(t) \quad (1)$$

$$\vec{\psi}(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\min \rightarrow J(u_y) = E \left(\left\langle \vec{\psi}^\dagger \left(\frac{\pi}{\sqrt{2}} \right) | O | \vec{\psi} \left(\frac{\pi}{\sqrt{2}} \right) \right\rangle + \int_0^{\frac{\pi}{\sqrt{2}}} (u_x^2(t) + u_y^2(t)) dt \right) \quad (3)$$

en donde $\vec{\psi} = (\psi_1, \psi_2): [0, T] \rightarrow \mathbb{C}^2$, $T = \frac{\pi}{\sqrt{2}}$, $T = \frac{\pi}{\sqrt{2}}$, s_x , s_y y s_z son las matrices de

Pauli, B_z es el campo magnético vertical constante, $u_x(t)$, $u_y(t)$ son los controles a determinar, siendo este último de tipo estocástico, $W(t)$ es un movimiento Browniano y O es la matriz observable $O = \vec{\psi} \left(\frac{\pi}{\sqrt{2}} \right) \vec{\psi}^\dagger \left(\frac{\pi}{\sqrt{2}} \right)$, la cual contiene la información del estado final del sistema, $\vec{\psi} \left(\frac{\pi}{\sqrt{2}} \right) = \begin{pmatrix} 0 \\ i \end{pmatrix}$.

Es conveniente *realificar* y normalizar el sistema (1)-(2):

$$d\vec{x}(t) = (S_z + u_x(t) S_x(t)) \vec{x}(t) dt + u_y(t) S_y(t) \vec{x}(t) dW(t) \quad (4)$$

$$\vec{x}(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\min \rightarrow J(u_x, u_y) = E \left(\left\langle \vec{x}^\dagger \left(\frac{\pi}{\sqrt{2}} \right) | O | \vec{x} \left(\frac{\pi}{\sqrt{2}} \right) \right\rangle + \int_0^{\frac{\pi}{\sqrt{2}}} (u_x^2(t) + u_y^2(t)) dt \right) \quad (6)$$

en donde $\vec{x}(t) := \begin{pmatrix} \text{Re}(\psi_1) \\ \text{Re}(\psi_2) \\ \text{Im}(\psi_1) \\ \text{Im}(\psi_2) \end{pmatrix}$. La *realificación* de las matrices de Pauli es la siguiente:

$$S_z := \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, S_y := \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, S_x := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

En general, dentro de los sistemas controlables que son modelados por ecuaciones diferenciales de la forma:

$$\frac{d}{dt} \vec{x}(t) = b(t, \vec{x}(t), u(t)) \quad (8)$$

existen aquellos que están sujetos a perturbancias no conocidas perfectamente, que pueden considerarse de carácter aleatorio y para los cuales se requiere un modelo estocástico que determine la evolución del estado perturbado, de acuerdo a un



proceso estocástico $\xi(t) = (\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_n(t))$, generado por un proceso de Wiener. La ecuación diferencial que lo describe involucra un término determinístico y un término estocástico, representando la difusión. El sistema, por tanto, evoluciona de acuerdo a:

$$\frac{d\vec{\xi}(t)}{dt} = b(t, \xi(t), u(t)) + \sigma(t, \xi(t), u(t)) \frac{d}{dt} W(t) \tag{9}$$

en donde $\frac{d}{dt} W(t)$ (*ruido blanco*) es la derivada formal de un movimiento Browniano. Dado que $\frac{d}{dt} W(t)$ formalmente no existe, es conveniente reescribir la ecuación (9) en su forma diferencial:

$$d\vec{\xi}(t) = b(t, \xi(t), u(t)) dt + \sigma(t, \xi(t), u(t)) dW(t) \tag{10}$$

y considerar $\int \sigma(t, \xi(t), u(t)) dW(t)$ como una integral estocástica en el sentido de Itô, a diferencia de $\int b(t, \xi(t), u(t)) dt$, que es una integral de Lebesgue.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1 Aproximación numérica

Utilizaremos aproximación numérica para encontrar los controles óptimos en este problema, integrando numéricamente las ecuaciones adjuntas del Principio del Máximo Estocástico de Pontryagin correspondientes al sistema (4)-(5) y empleando un algoritmo inspirado en los algoritmos presentados en [1] y diseñado por los autores para tal fin. Sea $k \geq 1$ un número entero. Las ecuaciones de recursión para el estado del sistema son:

$$d\vec{x}^{(k)}(t) = \begin{pmatrix} 0 & -u_y^{(k)}(t) & -1 & -u_y^{(k)}(t) \\ u_y^{(k)}(t) & 0 & u_x^{(k)}(t) & 1 \\ 1 & u_x^{(k)}(t) & 0 & -u_y^{(k)}(t) \\ u_x^{(k)}(t) & -1 & u_y^{(k)}(t) & 0 \end{pmatrix} \vec{x}^{(k)}(t) dt + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -u_x^{(k)}(t) \\ 0 & 0 & -u_x^{(k)}(t) & 0 \\ 0 & u_x^{(k)}(t) & 0 & 0 \\ u_x^{(k)}(t) & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \vec{x}^{(k)}(t) \tag{11}$$

Y las ecuaciones de recursión para los controles variables son:



$$u_y^{(k)}(t) = (1 - \delta_1)v^{(k-1)}(t) + \delta_1 \vec{\lambda}^{\dagger(k-1)}(t) \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \vec{x}^{(k)}(t) \quad (12)$$

$$u_x^{(k)}(t) = (1 - \delta_2)w^{(k-1)}(t) + \delta_2 \vec{\lambda}^{\dagger(k-1)}(t) \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \vec{x}^{(k)}(t) \quad (13)$$

3.2 Ecuaciones estocásticas adjuntas

A partir del Principio del Máximo del Máximo Estocástico de Pontryagin, obtendremos las ecuaciones estocásticas adjuntas para el sistema y con ello las ecuaciones de recursión para el vector adjunto $\vec{\lambda}(t)$.

Asociada a la ecuación estocástica lineal de Schrödinger (1) tenemos el siguiente sistema estocástico variacional:

$$d\vec{\xi}(t) = (S_z + u_x(t)S_x(t))\vec{\xi}(t) dt + u_y(t)S_y(t)\vec{\xi}(t) dW(t) \quad (14)$$

en donde $\vec{\xi}(t) \in T_{\vec{\psi}(t)}\mathbb{R}^n$. Por lo tanto, los vectores adjuntos $\vec{\lambda}^{(k)}(t)$ deben satisfacer, $\forall k \geq 1$ el sistema siguiente:

$$d\vec{\lambda}^{(k)}(t) = (S_z + u_x(t)S_x(t) + u_y(t)S_y^\dagger(t)\vec{q}(t))\vec{\lambda}^{(k)}(t) dt + \vec{q}(t)\vec{\lambda}^{(k)}(t) dW \quad (15)$$

donde $\vec{\lambda}^{(k)} \in T_{\vec{\psi}(t)}^*\mathbb{R}^n$ es el vector adjunto y $\vec{q}(t) \in T_{\vec{\psi}(t)}\mathbb{R}^n$. Equivalentemente

$$d\vec{\lambda}^{(k)}(t) = \begin{pmatrix} u_x^{(k)2}(t) & -v^{(k)}(t) & -1 & 0 \\ v^{(k)}(t) & u_x^{(k)2}(t) & 0 & 1 \\ 1 & 0 & u_x^{(k)2}(t) & -v^{(k)}(t) \\ 0 & -1 & v^{(k)}(t) & u_x^{(k)2}(t) \end{pmatrix} \vec{\lambda}^{(k)}(t) dt + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & u_x^{(k)}(t) \\ 0 & 0 & u_x^{(k)}(t) & 0 \\ 0 & -u_x^{(k)}(t) & 0 & 0 \\ -u_x^{(k)}(t) & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \vec{\lambda}^{(k)}(t) dW \quad (16)$$



$$\bar{\lambda}^{(k)}\left(\frac{\pi}{\sqrt{2}}\right) = \begin{pmatrix} 0 \\ x_2^{(k)}\left(\frac{\pi}{\sqrt{2}}\right) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{17}$$

En efecto, aplicando las Condiciones de Transversalidad a $\bar{\xi}(t)$ y a $\bar{\lambda}(t)$, consecuencia del Principio del Máximo del Máximo de Pontryagin, y la Fórmula del Producto de Itô a las ecuaciones (14) y (15), tenemos:

$$\begin{aligned} 0 &= d\langle \bar{\lambda}(t) | \bar{\xi}(t) \rangle = \bar{\lambda}(t)d\bar{\xi}(t) + \bar{\xi}(t)d\bar{\lambda}(t) + \bar{q}(t)\bar{\lambda}(t)u_x(t)S_x dt \\ &= \bar{\lambda}(t)\bar{\xi}(t) \left(2S_z + 2u_x(t)S_y(t) + u_x(t)S_x^\dagger(t)\bar{q}(t) + \bar{q}(t)u_x(t)S_x(t) \right) dt \\ &\quad + \bar{\lambda}(t)\bar{\xi}(t)(u_x(t)S_x(t) + \bar{q}(t))dW \end{aligned}$$

donde $\bar{q}(t)$ es también un vector adjunto como $\bar{\lambda}(t)$. De lo anterior se obtiene:

$$\bar{q}(t) = -u_x(t)S_x(t) \tag{18}$$

Por lo tanto, la ecuación diferencial estocástica adjunta-backward es

$$\begin{aligned} d\bar{\lambda}(t)(t) &= \left(S_z + u_y(t)S_y + u_x^2(t)(S_x^\dagger)^2(t) \right) \bar{\lambda}(t) dt - 2u_x(t)S_y(t)\bar{\lambda}(t) dW \tag{19} \\ \bar{\lambda}\left(\frac{\pi}{\sqrt{2}}\right) &= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

de donde resultan las expresiones (16) y (17). Finalmente, las ecuaciones para los controles auxiliares resultan:

$$v^{(k)}(t) = (1 - \eta_1)u_y^{(k)}(t) + \eta_1 \bar{\lambda}^\dagger(t) \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \bar{x}^{(k)} \tag{20}$$

$$w^{(k)}(t) = (1 - \eta_2)u_x^{(k)}(t) + \eta_2 \bar{\lambda}^\dagger(t) \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \bar{x}^{(k)}(t) \tag{21}$$

Lo anterior completa las ecuaciones de recursión del algoritmo.



3.3 El Algoritmo

El algoritmo para obtener los controles óptimos es el siguiente:

1. Consideramos los siguientes valores iniciales: $\delta_1 = 0.5$, $\delta_2 = 1.5$, $\eta_1 = 0.5$, $\eta_1 =$, $\eta_1 = 1.5$, $v^{(0)}(t) = cost$, $w^{(0)}(t) = 1$ y

$$\vec{\lambda}^{(0)}(t) = \begin{pmatrix} t \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

2. Se resuelve la ecuación diferencial estocástica (11) para $\vec{x}^{(1)}(t)$ por el Método de Euler-Murayama para obtener $\vec{x}^{(1)}(t)$.
3. El estado $\vec{x}^{(1)}(t)$ permite obtener, mediante (12) y (13), los controles $u_x^{(1)}(t)$ y $u_y^{(1)}(t)$.
4. Se reemplazan $u_x^{(1)}(t)$ y $u_y^{(1)}(t)$ en las expresiones (18), (19) para obtener los controles auxiliares $v^{(1)}(t)$ y $w^{(1)}(t)$, en términos de $\vec{\lambda}^{(1)}$.
5. Se sustituyen $v^{(1)}(t)$ y $w^{(1)}(t)$ en (16) y se integra backward esta ecuación diferencial estocástica para $\vec{\lambda}^{(1)}$, con la condición (17) para obtener $\vec{\lambda}^{(1)}$.
6. $\{\lambda^{(k+1)}(t), v^{(k+1)}(t)\} \rightarrow \{\lambda^{(k)}(t), v^{(k)}(t)\}$
7. $\{u_y^{(k+1)}(t), x^{(k+1)}(t), \lambda^{(k+1)}(t)\} \rightarrow \{u_y^{(k)}(t), x^{(k)}(t), \lambda^{(k)}(t)\}$
8. Continuar el proceso hasta convergencia.

Tenemos las siguientes gráficas para $\vec{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t))$:

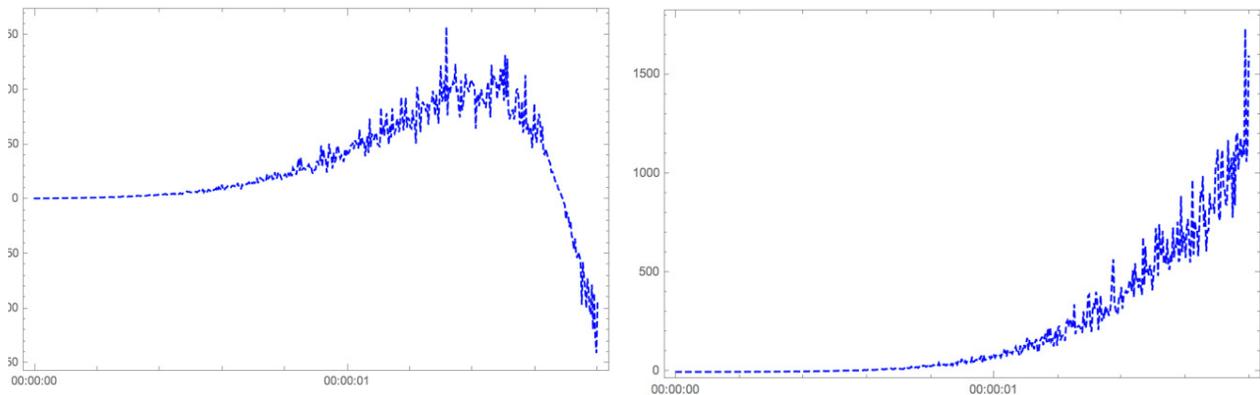


Figure 1. Los estados $x_1(t), x_2(t)$ correspondientes a los controles óptimos $u_x^{(1)}(t), u_y^{(1)}(t)$. Caso estocástico.

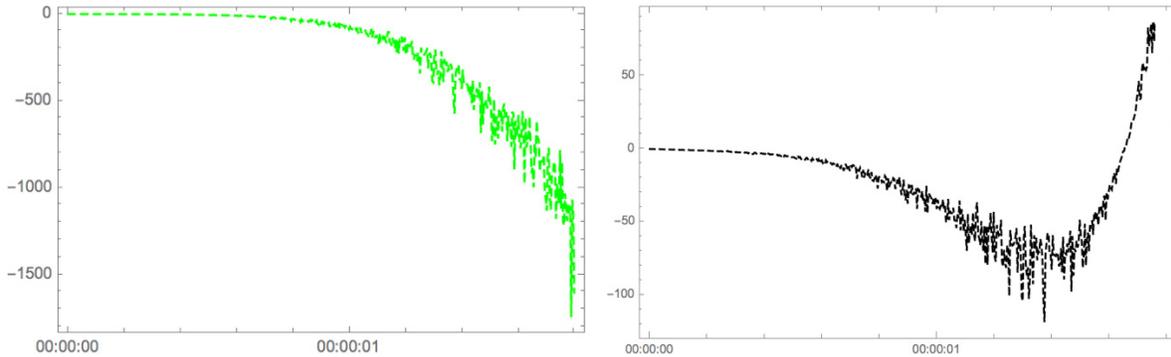


Figura 1. Los estados $x_3(t), x_4(t)$ correspondientes a los controles óptimos $u_x^{(1)}(t), u_y^{(1)}(t)$. Caso estocástico.

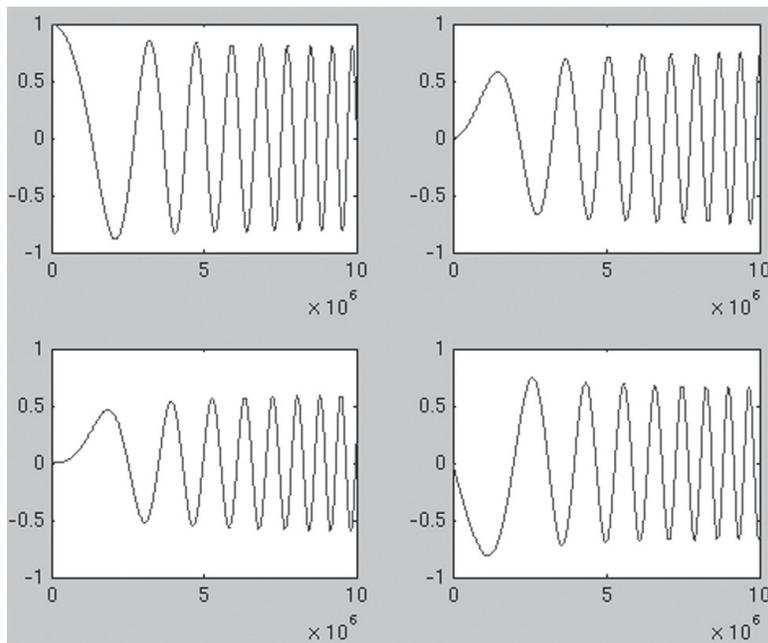


Figura 2. Los estados $x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t)$ correspondientes a los controles óptimos $u_x^{(1)}(t), u_y^{(1)}(t)$. Caso determinístico.

4. Resultados y discusión

Para implementar el algoritmo se eligieron diferentes valores de $\lambda^0(t) = (t, 0, 0, 0)$, $\lambda^0(t) = (1, t^2, 10, 10)$, $\lambda^0(t) = (10, 10, 10, 10)$, como en el caso determinístico, en [1]. Se obtuvo una convergencia rápida ($k = 50$). La figura 1 muestra la evolución del estado $\vec{\psi}(t) = (\psi_1(t), \psi_2(t)) = (x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t)) \in \mathbb{C}^2$. Notamos que el efecto de la perturbancia introducida por el proceso estocástico, al parecer, compromete la estabilidad de la solución al sistema determinístico. Será necesario constatar esta impresión sobre la inestabilidad de la solución al sistema estocástico con la solución analítica correspondiente, analizar su representación en la esfera de Bloch y obtener



los controles óptimos correspondientes, con la finalidad de estabilizar por feedback la solución al sistema estocástico. Por otro lado, será necesario determinar la convergencia monótona del algoritmo presentado, así como su eficiencia.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se implementó un algoritmo, ideado por el autor, para obtener numéricamente las soluciones a las ecuaciones que modelan un problema de transferencia de estado de un sistema cuántico de dos niveles, para un problema de Resonancia Magnética Nuclear. Suponiendo la aplicación de un campo magnético variando aleatoriamente, representando una perturbancia en el sistema, y dos campos perpendiculares, uno constante y el otro variable en el tiempo, sobre una muestra, se obtuvo la evolución del estado del sistema, correspondiente a los controles óptimos para este sistema. Se empleó el Método de Euler-Maruyama para resolver el sistema estocástico. Esta solución numérica a la ecuación estocástica de Schrödinger, correspondiente al modelo, resultó ser inestable, a diferencia del caso determinístico. Si bien no es posible concluir categóricamente este resultado, los cálculos realizados permiten intuir que esa debe ser la conclusión. Resta contrastar estos resultados con la solución analítica correspondiente al problema y demostrar un tipo de inestabilidad de la solución. Siendo ese el caso, deberá buscarse la estabilidad mediante control por feedback.

Agradecimientos

El autor agradece al Dr. David Castillo Fernández las discusiones aclaratorias que fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Romero-Meléndez, C., González-Santos, L., “An iterative algorithm for optimal control of two-level quantum systems”, *Cybernetics and Physics*, vol. 6, no. 4, 2017, 231–238.
2. Jiongmin, Yong, Xun Yu Zhou, “*Stochastic Controls. Hamiltonian Systems and HJB equations*”, Springer-Verlag, New York (1999).
3. Pontryagin, L., B. Boltyanskii, R. Gamkrelidze, E. Mishchenko, “*The mathematical theory of optimal processes*”, Wiley-Interscience, New York (1962).
4. Kushner, Dupuis, “*Numerical methods for stochastic control problems in continuous time*”, Springer-Verlag, New York (1992).



Análisis de la degradación acelerada de la perovskita ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$).

Mérida Sotelo-Lerma ■ Martín Eduardo Domínguez-Rodríguez ■ Marcos Alan Cota Leal

Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales.

Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora.

msotelo@guaymas.uson.mx

1. Resumen

Se estudió la degradación de la perovskita ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) a través de un método de degradación acelerada. La perovskita en estudio se sintetizó por un método secuencial por la técnica de *drop casting*. Se lograron obtener películas uniformes de color negro de $3.8 \mu\text{m}$ de espesor. La degradación acelerada se realizó en el equipo QV Accelerated Weathering Tester Q-Lab. Las películas de perovskita fueron caracterizadas por microscopía óptica, espectroscopia UV-Vis, Difracción de Rayos X y Microscopía electrónica de barrido. Los resultados mostraron que la degradación de la perovskita es reversible cuando ya no está expuesta a la humedad.

2. Introducción

Las celdas solares son dispositivos que convierten la energía del sol en energía eléctrica de manera directa. Las perovskitas de halogenuros híbridos inorgánicos-orgánicos que contienen metales del grupo 14 (Ge^{2+} , Sn^{2+} , Pb^{2+}) en la posición B de la estructura (ABX_3) y cationes orgánicos en la posición A, atraen interés debido a sus buenas propiedades óptico-electrónicas y fácil fabricación a bajas temperaturas. Las celdas solares basadas en perovskita han demostrado ser el camino hacia un mayor aprovechamiento de esta fuente energética. Este tipo de celdas solares han incrementado de manera exponencial su eficiencia desde un 3% a más del 20% en los últimos 9 años. Se prevé que los módulos solares de perovskita costarán alrededor de \$ 0.30 por vatio pico, que es significativamente más bajo que los módulos solares de silicio (1 dólar por watt), CIGS (0,55 dólares por watt) y CdTe (0,67 dólares por watt), lo que demuestra la competitividad de las celdas solares de perovskita. H. Snaith menciona que con tan solo 1 Kg de



PbCl_2 (un precursor de la síntesis de uno de los tipos de perovskita) es suficiente para cubrir 1000 m^2 de película con un espesor de 200 nm y con un método de fabricación muy sencillo^[1,2]. Además, esta tecnología fue seleccionada como uno de los mayores avances científicos del 2013 por los editores de Science y Nature^[3,4].

Sin embargo, la inestabilidad de las perovskitas en ambientes húmedos ha sido un gran problema, lo que dificulta su aplicación práctica en celdas solares. En vista al desarrollo de esta tecnología fotovoltaica basada en perovskita se hace necesario la generación de nuevos conocimientos en el tema de estabilidad de la perovskita y la implementación de nuevos procesos que permitan la fabricación de la perovskita de alta calidad y a niveles industriales. Enfocados en estos puntos, seguramente se tendrá un gran avance en la eficiencia de celdas solares y de bajo costo que permitan el abastecimiento de energía en el país y en el mundo.

3. Condiciones Experimentales

3.1. Materiales

Yoduro de Plomo (PbI_2 , Sigma Aldrich 99.9985% de pureza), yoduro de metilamonio (MAI), $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$, Sigma Aldrich 99.998% de pureza), dimetilsulfóxido ($\text{C}_2\text{H}_6\text{OS}$, Fermont 98.6% de pureza), 2-propanol o isopropanol, ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$, Sigma Aldrich 99% de pureza).

3.2. Síntesis de la perovskita $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$

El proceso de síntesis de la perovskita se realizó de manera secuencial por el método de drop casting como se observa en la figura 1. En un primer paso se depositó 300 uL de una solución 1 mM de PbI_2 en DMSO sobre el sustrato de FTO, una vez depositado se horneó por una hora a 120°C para la evaporación del solvente y formación de una película de color amarillo. Posteriormente sobre esta película, se depositaron 300 uL de una solución 1 mM de yoduro de metilamonio en isopropanol. Se dejó evaporar el isopropanol a 60°C por 30 minutos. Se obtuvo una película de color negro, característico de la formación de la perovskita. El espesor fue de $3.8 \text{ }\mu\text{m}$.

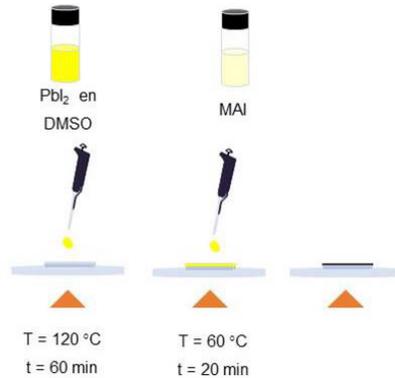


Figura 1. Proceso de depósito de perovskita en FTO donde a) representa el depósito de 300 uL de alícuota de PbI_2 y b) depósito de alícuota de MAI.

3.3. Degradación acelerada de la perovskita

Las películas de perovskita se sometieron a degradación acelerada durante dos horas en el equipo QUV Accelerated Weathering Tester–Qlab, como se muestra en la figura 2. En la primera hora se irradió luz ultravioleta (UV) (0.68 W/m^2) y en la segunda hora se sometió a 100% de humedad relativa (HR%) en oscuridad, como se muestra en la figura 3.

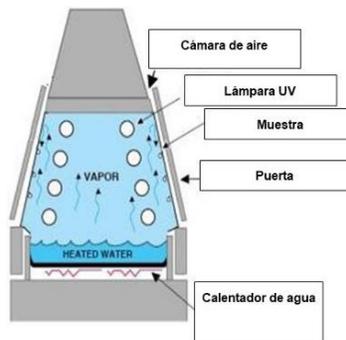


Figura 2. Diagrama de funcionamiento del equipo QUV Accelerated Weathering Tester – Q lab.

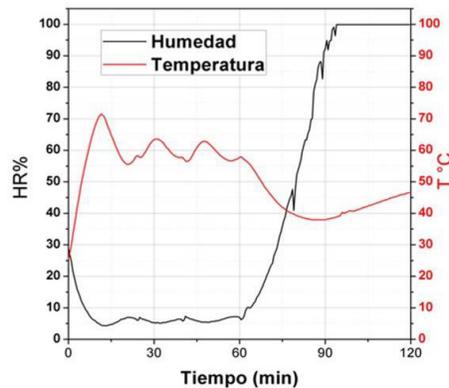


Figura 3. Cambio de temperatura y %HR con respecto al tiempo.



3.4 Caracterización

El estudio de la morfología se realizó por microscopía electrónica de barrido en Cres-tec lithography system cable modelo 9000C. Microscopía óptica se hizo utilizando el microscopio invertido OPTO-EDU modelo A33.0901; el análisis se realizó a 20x sin filtro de luz. Las propiedades ópticas fueron analizadas por espectroscopía de UV-Vis en un equipo Perkin Elmer Lamda-20. El estudio estructural se hizo por difracción de rayos X en el Rigaku Ultima III X-ray diffractometer.

4. Resultados y discusión.

Como muestra de comparación se realizó una degradación de una película de perovskita a condiciones ambiente y fue analizada por microscopía óptica al día 0, 7, 15 y 30. En la figura 4 se puede observar que hasta el día 30 ya existe una degradación notable debido al color amarillo presente.

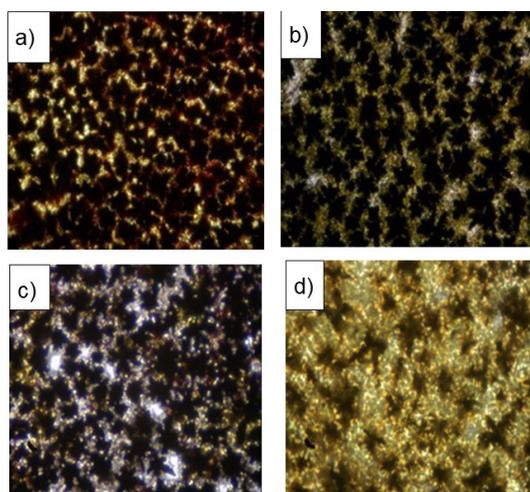


Figura 4. Vista de microscopio óptico de la película A) 0 días, B) 7 días, C) 15 días, y D) 30 días.

En la figura 5 se observan las fotografías de las películas de perovskita expuesta a una degradación acelerada. Se puede observar que fueron suficientes únicamente 2 horas para que el proceso de degradación de la perovskita se diera. Por otro lado, la película una vez retirada de la cámara de degradación requiere de tan sólo 5 minutos, a condiciones ambiente de 23°C y 40% HR. Esto se demostró en su caracterización óptica, estructural y morfológica.

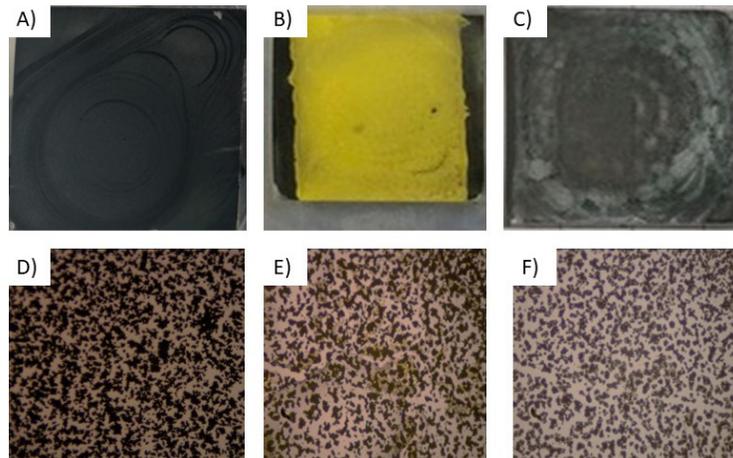


Figura 5. Fotografías y microscopi óptica de perovskita (A, D), perovskita degradada (B, E) y perovskita recuperada (C, F).

4.1. Espectroscopia UV-Visible.

En la Figura 6, se muestran los espectros de la perovskita a diferentes tiempos de la degradación acelerada, donde se observa que de 0 a 60 min se tienen cambios sobre el porcentaje de transmitancia de la película de perovskita, aun así, se sigue observando el espectro característico.^[5,6] Por otro lado, al exponerse a una humedad mayor a 80 %HR la perovskita se degrada quedando sólo el precursor PbI_2 como se muestra su espectro característico en la figura 6.^[7] Una vez retirada la película de la cámara de degradación, a los 5 minutos de estar expuesta al ambiente la película es regenerada, esta vuelve a oscurecerse y mostrar nuevamente el espectro característico de la perovskita por lo que se considera que es reversible.^[8-11]

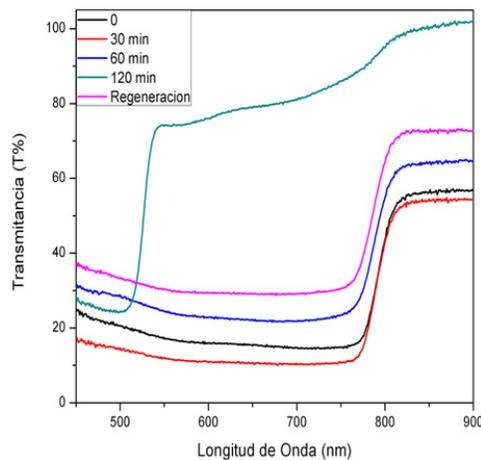


Figura 6. Espectro de UV-Vis de películas de Perovskita a diferentes tiempos de la degradación acelerada, donde 00 min / 28 %HR, 60 min / 6 %HR, 90 min / 88 %HR, 120 min / 100 %HR y regenerada.



4.2 Difracción de Rayos X.

En la figura 7 se muestra el patrón de difracción de rayos x. En éste se observa claramente las reflexiones de los planos (110), (220), y (310) característicos de perovskita.^[12] La difracción de rayos X indica el proceso de degradación acelerada y regeneración de la perovskita, como se muestra en la figura 7, con el aumento del tiempo y la humedad, se va presentando el patrón de difracción para PbI_2 debido a la degradación.^[13,14] Una vez regenerada se puede observar que en el espectro de difracción para la película regenerada reaparece el patrón de difracción de la perovskita y disminuye a una mínima intensidad el patrón de PbI_2 .

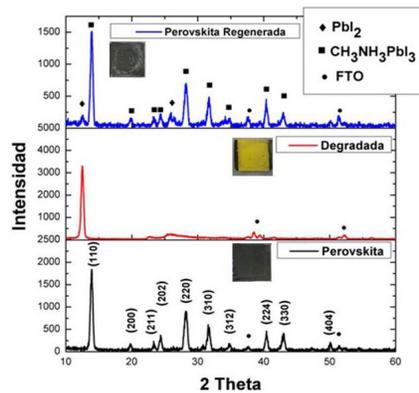


Figura 7. Patrón de difracción de rayos x para perovskita, perovskita degradada y regenerada.

4.3 Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

En la figura 8 se muestran las imágenes de MEB. Se observa que para la perovskita antes de su degradación se muestran grandes cristales de alrededor de $1 \mu\text{m}$ y así como también una distribución de cristales de aproximadamente 250 nm . En la figura 8b se observa la película degradada, la cual presenta una apariencia no homogénea sin algún patrón de cristales. Una vez regenerada la película, se puede observar que vuelven a generar una distribución cristales los cuales parecen suavizados, debido a la nueva recristalización del material.

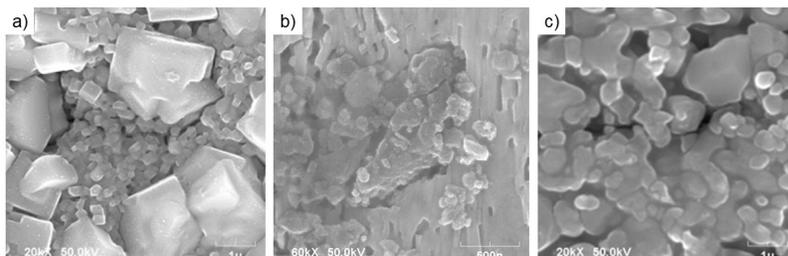


Figura 8. Micrografía MEB a 20 kX de, a) perovskita, b) perovskita degradada y c) perovskita recuperada.



5. Conclusiones

Con base al análisis de degradación acelerada, se logró estudiar rápidamente la descomposición de la perovskita $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Los resultados demostraron que en estas condiciones, la perovskita se degrada ya que se disuelve la sal de yoduro de metilammonio y queda una película de PbI_2 (insoluble en agua) sobre el sustrato (FTO). Pero una vez que termina el proceso de degradación acelerada, se recupera la película de perovskita, con una superficie suavizada, que seguramente será de beneficio cuando se elaboren las otras capas de los materiales que constituirán la celda solar.

6. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por CONACYT/Problemas Nacionales 2015-01-1739. Al Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora por facilitar las instalaciones para el estudio en degradación acelerada y equipo de espectroscopia UV-Visible y a la University of Texas at Dallas por las caracterizaciones de DRX.

7. Bibliografía

1. H. J. Snaith, Perovskites: The Emergence of a New Era for Low-Cost, High-Efficiency Solar Cells, *J. Phys. Chem. Lett.*, V. 4, 3623–3630, (2013).
2. F. H. Alharbi and S. Kais, Theoretical limits of photovoltaics efficiency and possible improvements by intuitive approaches learned from photosynthesis and quantum coherence, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, V. 43, 1073–1089, (2015).
3. Science, 2013 Runners-Up. Newcomer juices up the race to harness sunlight, *Science*, V. 342, 1438, (2013).
4. N. N. Features, 365 days: Nature's 10., *Nature*, V. 504, 357, (2013).
5. Menglan, X. *et al.* Fully Solution-Processed Semi-Transparent Perovskite Solar Cells With Ink-Jet Printed Silver Nanowires Top Electrode. *Sol. RRL*, V 2, 1700184, (2018).
6. Abdelmageed, G. *et al.* Mechanisms for light induced degradation in MAPbI_3 perovskite thin films and solar cells. *Appl. Phys. Lett.* V. 109, 233905, (2016).
7. Melvin, A. A. *et al.* Lead iodide as a buffer layer in UV-induced degradation of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ films. *Sol. Energy* V. 159, 794–799 (2018).
8. Xie, M. *et al.* Fully Solution-Processed Semi-Transparent Perovskite Solar Cells With Ink-Jet Printed Silver Nanowires Top Electrode (Solar RRL 2/2018). *Sol. RRL* V. 2, 1770152, (2018).



9. Song, Z. *et al.* Perovskite Solar Cell Stability in Humid Air: Partially Reversible Phase Transitions in the $\text{PbI}_2\text{-CH}_3\text{NH}_3\text{I-H}_2\text{O}$ System. *Adv. Energy Mater.* V. 6, 1–7, (2016).
10. Leguy, A. M. A. *et al.* Reversible hydration of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ in films, single crystal and solar cells. *Chem. Mater.* V. 27, 3397–3407, (2015).
11. Halder, A., Choudhury, D., Ghosh, S., Subbiah, A. S. & Sarkar, S. K. Exploring Thermochromic Behavior of Hydrated Hybrid Perovskites in Solar Cells. *J. Phys. Chem. Lett.* V. 6, 3180–3184, (2015).
12. Phillips, L. J. *et al.* Maximizing the optical performance of planar $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ hybrid perovskite heterojunction stacks. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, V. 147, 1–7, (2015).
13. Yuan, H. *et al.* Degradation of Methylammonium Lead Iodide Perovskite Structures through Light and Electron Beam Driven Ion Migration. *J. Phys. Chem. Lett.* V. 7, 561–566, (2016).
14. Zhao, J. *et al.* Investigation of the Hydrolysis of Perovskite Organometallic Halide $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ in Humidity Environment. *Sci. Rep.* V. 6, 21976, (2016).



Propagación de una onda electromagnética utilizando un radiador dieléctrico.

Venancio Gerardo Calva Olmos ■ Alberto Arturo Herrera Becerra
Rafael Prieto Meléndez ■ Mario Rafael Pacchiano de la Garza

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología.
Universidad Nacional Autónoma de México.
gerardo.calva@ccadet.unam.mx

1. RESUMEN

En este trabajo se describen los experimentos realizados a una antena dieléctrica para estudiar el fenómeno de propagación de una señal electromagnética mediante un radiador de material dieléctrico. La pieza de material dieléctrico que se fabricó, fue el elemento radiador de la antena, el cual se insertó en una brida metálica para su aplicación; se acopló a un sistema de microondas (Transmisor-Receptor) en la banda X, y se siguió un protocolo de pruebas para comparar el comportamiento de una antena de corneta (metálica) convencional, contra la antena dieléctrica; se obtuvieron sus patrones de radiación así como el VSWR para cada una de las antenas bajo prueba.

2. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se generó debido a las diferentes opiniones que surgieron durante una sencilla plática en la que se planteaba la posibilidad de sólo utilizar antenas plásticas o en su defecto que pudieran ser protegidas por un abrigo plástico. Algo que ofreciera beneficios a bajo costo así como una duración muy superior, y sin que se vea comprometido el tipo de respuesta; esto debido a la resistencia a un medio ambiente agresivo poco propicio a los metales. Sin embargo, al momento de entrar en materia de microondas surgió la enorme duda de si se podrían generar dispositivos de conducción y propagación de energía de microondas. Esto por supuesto que planteo la posibilidad o reto de fabricar dispositivos de conducción y radiación de energía de microondas con materiales dieléctricos. Cabe preguntar: ¿Un dieléctrico es totalmente transparente a la energía electromagnética? ¿Puede tener efectos de refracción? La discusión de la reflexión



interna total de la energía, sugiere que una barra cuadrada o **cilíndrica de material dieléctrico** puede ser capaz de guiar modos de ondas, similar a como se propagan encerradas en guía ondas metálicas^[1]. En condiciones de reflexiones internas totales y con un coeficiente de reflexión de desfase adecuado, resulta posible que las ondas puedan propagarse doblándose entre las dos superficies de la barra dieléctrica^[2]. Se aprovecha el fenómeno físico de la reflexión que se sucede cuando la porción de material dieléctrico utilizado es ligeramente mayor en comparación con la longitud de onda de la señal electromagnética.

Se considera que la pared de la cual las microondas son reflejadas es en este caso la interfase que se forma entre el medio de la antena, y la atmósfera que la rodea (material sólido dieléctrico) y que aún cuando transparente para la radiación de microondas, siempre retarda la propagación y causa algunas pérdidas.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

El objetivo de los experimentos aquí presentados es, determinar el comportamiento de una señal electromagnética utilizando una sección de material poroso dieléctrico, y compararlo con el comportamiento de una antena metálica tipo corneta. Se propone un material dieléctrico que ofrezca o que presente una constante dieléctrica superior a 2.5 y no mayor a 32^[3]. Tradicionalmente en la literatura referida a las microondas, los que llegan a tratar el fenómeno de la propagación en un medio dieléctrico, mencionan a una pieza redonda o rodillo de material dieléctrico^[4]. Con base en lo anterior, se podría decir que bastaría con verificar en pruebas de laboratorio una pieza redonda, con dimensiones ligadas a las dimensiones de la longitud de onda de la señal de microondas utilizada. Cuando la sección transversal de la pieza de material dieléctrico es lo suficientemente grande, comparada con la longitud de onda, la energía suministrada se propaga a través del dieléctrico. Cuando se tiene que la sección transversal es menor, la energía suministrada se mueve hacia la parte exterior del dieléctrico, y se propaga a la velocidad de la luz en el espacio libre.

Equipo utilizado en los experimentos. Para poder llevar a cabo las pruebas en las que se utiliza energía de microondas, se requiere un mínimo de elementos para lograr ensamblar un sistema de generación y detección de señales de microondas. La frecuencia a la que se va a generar es una frecuencia fija en la banda X, del espectro electromagnético^[4]. Este equipo indica la intensidad con la que es recibida la señal en el lado receptor. La señal recibida se expresa en mV.

Para realizar la prueba en laboratorio de la antena dieléctrica se planteó el arreglo del sistema de microondas consistente, en un generador de señales de microondas banda X; fuente de alimentación; guía de onda metálica y una antena metáli-



ca. Por el lado receptor se utiliza una antena metálica piramidal el sensor acoplado y un reflectómetro.

Antena dieléctrica. La antena dieléctrica se obtuvo a partir de una pieza sólida de acrílico y se maquinó para darle una forma cónica, aproximada a la que se aprecia en la figura 1. La antena se diseñó y fabricó para ser utilizada en un sistema de microondas operando en las frecuencias de la banda X. Específicamente en la frecuencia de 9.66 GHz.

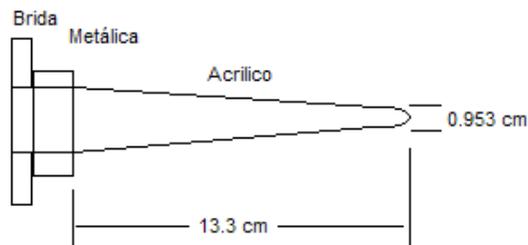


Figura 1. Dibujo de la antena dieléctrica adherida a una brida metálica.

Para la realización de las pruebas se utilizó una configuración mínima del sistema de microondas. En la figura 2, se presenta un diagrama de bloques del sistema.

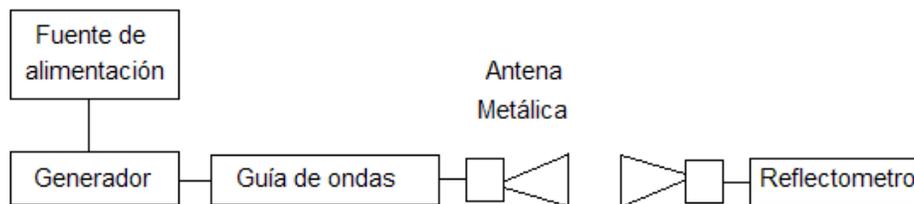


Figura 2. Diagrama de bloques de la configuración utilizada en las pruebas de las antenas.

La metodología seguida para las pruebas es la siguiente: Para la primera parte del experimento se utiliza la antena metálica (Antena horn o de corneta).

- 1) Se inicia con la puesta en operación del sistema de microondas en su configuración tradicional, es decir todos los elementos que la integran son de fabricación metálica. Se envía la señal del transmisor hacia el receptor para obtener lecturas de prueba.
- 2) La antena transmisora metálica, está diseñada con base en las dimensiones que corresponden con la frecuencia de operación del sistema de microondas.
- 3) Se procede a detectar la señal emitida teniendo ambas antenas en cero grados de desvío de su línea de vista (una frente a la otra, por su apertura). Se está obteniendo la intensidad de la señal recibida. Máxima señal.



- 4) Se gira la antena receptora en cinco grados a partir de la línea de vista, y se registra el valor recibido por el detector.
- 5) Se continúa incrementando el desvío en cinco grados a la vez, hasta alcanzar los noventa grados de orientación de la antena receptora respecto de la emisora.

Este es un procedimiento tradicional para obtener el patrón de radiación de una antena.

Ver figura 4. El procedimiento se repite sustituyendo la antena metálica por la dieléctrica.

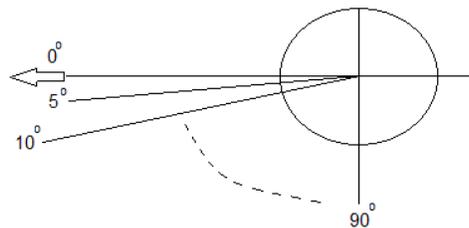


Figura 3. Dibujo con el que se ejemplifica la parte del giro de una de las antenas para obtener el patrón de radiación de la antena de interés.

VSWR. Un dato muy importante en la mayoría de los sistemas de transmisión y recepción si no es que en todos, lo constituye el VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*).

Este valor se da o se incrementa, cuando una línea de transmisión no termina en una impedancia similar a la de la línea [5]. El VSWR de las antenas se midió utilizando una configuración sencilla y tradicional, como la mostrada en la figura 4.

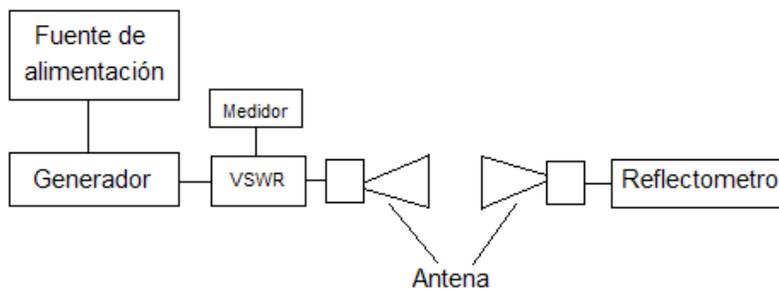


Figura 4. Arreglo del sistema utilizado en la medición del VSWR.

Metodología seguida para realizar las mediciones.

- 1) Se inició con la antena piramidal (metálica) se fijó un valor máximo en el lado receptor y se procedió a localizar el valor máximo de VSWR. Se tomó lectura.
- 2) Posteriormente se buscó el valor mínimo. Se tomó lectura.



El procedimiento se repite con la antena dieléctrica sustituyendo a la antena metálica.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura siguiente (Figura 5), se aprecia la curva generada con los datos obtenidos, y que representa el patrón que radiación o de influencia, que forma la antena (metálica convencional) en el medio de propagación.

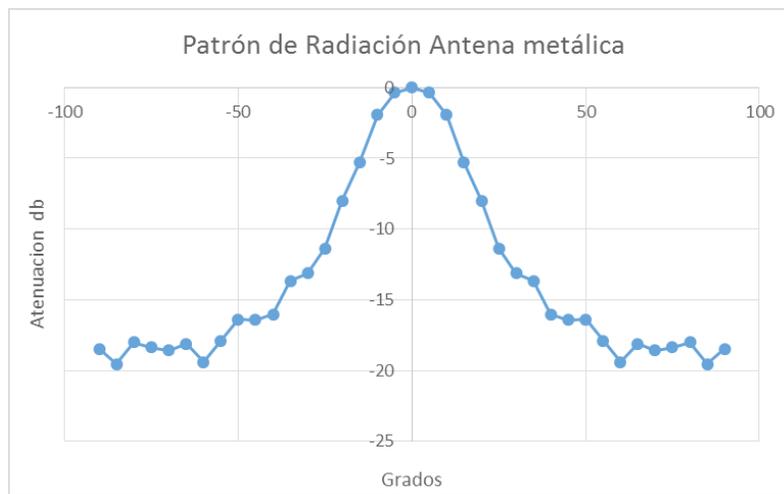


Figura 5. Patrón de radiación que se obtiene al probar la antena metálica.

En la figura 5, se puede ver el tipo de respuesta. Se aprecia que en 15 grados de desvío de la línea de vista, la energía ya presenta una atenuación de: -5.2982 db.

En la segunda parte del experimento se sustituye a la antena metálica por la antena dieléctrica. El arreglo utilizado es el mismo que se aprecia en la figura 4. Con la antena dieléctrica en su lugar de transmisión, se sigue el mismo procedimiento descrito anteriormente para recabar los datos correspondientes a la antena en turno.

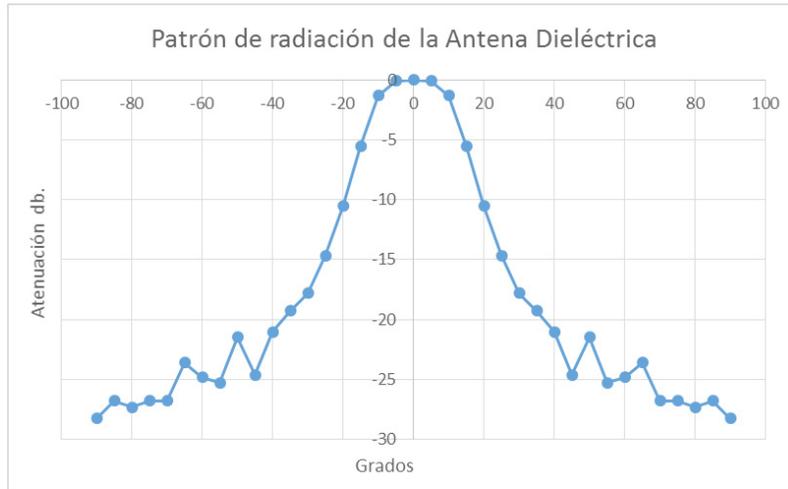


Figura 6. Patrón de radiación obtenido con los datos generados con la antena dieléctrica.

En la figura 6, se puede apreciar un comportamiento muy parecido al de la antena metálica. Al analizar las gráficas se puede apreciar un frente de propagación un poco más ancho en la antena dieléctrica, y con buena directividad. Su comportamiento es aparentemente, adecuado. No presenta lóbulos laterales que se acerquen al valor del lóbulo principal. En la figura 7, se aprecia una gráfica con el lado derecho del patrón de radiación tanto de la antena dieléctrica como de la antena metálica (Horn).

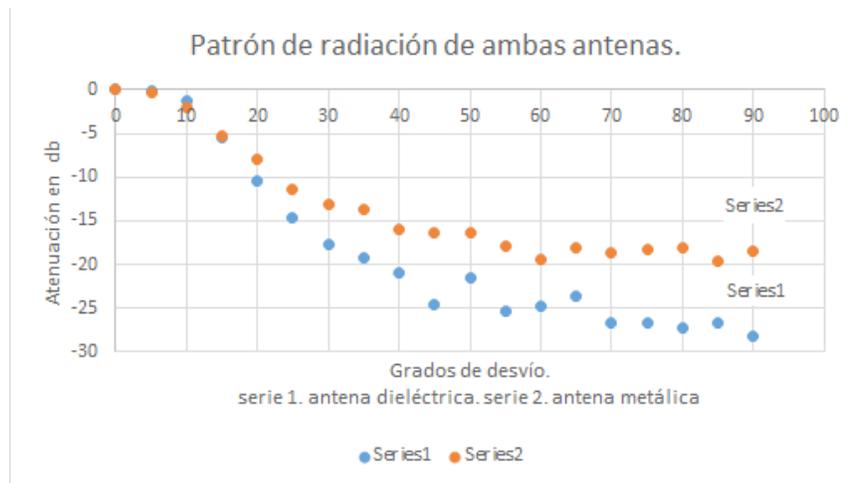


Figura 7. En esta figura se puede comparar el patrón de radiación de ambas antenas.

En la gráfica se aprecia una atenuación aparentemente muy pareja, un poco mayor en la dieléctrica; se ve un poco más amplio el frente que presenta la dieléctrica. Sin embargo, analizando los datos recabados se aprecia una mayor atenuación al lle-



gar a los 5 grados, cuando se experimenta con la antena piramidal (metálica). Según se aprecia en la tabla 1.

Tabla 1. Atenuación en función del ángulo de vista con el transmisor.

Desvío (Grados)	Antena Dieléctrica (db)	Antena Metálica (db)
0	0	0
5	- 0.1001	- 0.34345811
10	- 1.314083	- 1.9479952
15	- 5.5130	- 5.298236233
20	- 10.51584	- 7.985539
25	- 14.6653	- 11.36481767
30	- 17.792258	- 13.116021223

En la misma tabla 1, se aprecia cómo es que va aumentando la atenuación de la señal conforme se va alejando de la línea de vista del transmisor, y resulta con una mayor atenuación en la antena dieléctrica lo que daría un patrón de radiación que eliminaría posibles interferencias de señales aledañas.

Para la segunda parte de este experimento, se realiza la medición del VSWR siguiendo la configuración planteada en la figura 4. Se inicia con la antena metálica para luego sustituirla por la antena dieléctrica. Siguiendo la metodología. Las lecturas obtenidas se pueden ver en la tabla 2.

Tabla 2. Mediciones de VSWR

Tipo de antena	VSWR
Antena Piramidal	1.86
Antena Dieléctrica	6.4

Es notoria la desventaja en cuanto al nivel de VSWR que se tiene al utilizar la antena dieléctrica, una muy buena parte de la energía está regresando, no hay un acoplamiento adecuado entre la guía de onda y/o la propia antena y el medio ambiente.

5. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, se puede concluir que en efecto es posible emitir energía de microondas con una antena cuyo elemento radiador es un dieléctrico, y generar un patrón de radiación muy similar al



que se genera utilizando una antena de corneta. Sin embargo, los resultados al medir el VSWR no son los mejores. Las pérdidas que se suponía debería haber, resultaron mayores a lo que se puede considerar como aceptables. Como parte de la conclusión se puede añadir, que los niveles de VSWR se podrían mejorar en este tipo de radiador, modificando los acoples metálicos internos del elemento radiador, los que además le sirven de apoyo para encajar en la brida de unión. Otra opción viable que se propone es alternar los tipos de dieléctrico para la fabricación del radiador, con la intención de mejorar el acoplamiento con el medio y así, aprovechar las características que presenta el patrón de radiación de este tipo de antena. Se hace énfasis en consultar las referencias debido a que no es sencillo el entendimiento de cómo es que se comporta la onda electromagnética en un contenedor dieléctrico.

6. Bibliografía

- [1] Carlos gabriel girón garcía. "Diseño de una Antena Dieléctrica para la Banda X". Tesis profesional. Facultad de Ingeniería. UNAM. 1979.
- [2] Robert E. Collin. "Antennas and Radiowave Propagation" Mc Graw Hill. 1985.
- [3] Schoenbeck, Robert J. "Electronic Communications. Maxwell Mc Millan.1998
- [4] Cook nigel P. "Microwave Principles and Systems". Prentice Hall. 1986.
- [5] Martin S. Smith "Introduction to Antennas". Macmillan education. 1988



A simplified analysis of the generated power in the Feynman pallet and ratchet mechanism

Delfino Ladino-Luna ■ Ricardo Teodoro Páez-Hernández
 Juan Carlos Chimal-Eguía ■ Norma Sánchez-Salas

Departamento de Ciencias Básicas.
 Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
 dll@correo.azc.uam.mx

1. Abstract

In this paper it is discussed the existence of expressions of an effective power and efficient power for the Feynman pallet and ratchet mechanism. The existence of heat sources at a different temperature is assumed for this mechanism, and taking into account the definitions of the mentioned powers, the expressions of them are shown in dimensionless form. They are compared graphically to the values of the dimensionless parameters: torque, temperature ratio of the heat sources and an internal coefficient heat loss.

2. Introduction

Richard Feynman [1] discussed a mechanism composed of three parts: a paddles system attached to a ratchet by means of a cylindrical shaft. The ratchet and the paddles are each within a container of known volume, at constant temperatures T_C for the ratchet and T_H for the paddles, with $T_C < T_H$. Temperatures can be assumed upside down, this is T_C for the paddles and T_C for the ratchet, the energies will be of the same size but of opposite sign. This allows analyzing a single case, which is what has been assumed. The purpose was to explain from a molecular point of view the fact that there is a maximum amount of work that can be extracted from a heat engine. The main quantities taken into account are the torque and angle of rotation of the gear wheel, the energy needed to move the spring to move the gear wheel, as well as the likelihood that there is such energy. Analogously it is consider the energy to turn the paddles system. It is assumed a constant of proportionality for this probability per unit of time.

The mechanism and the explanation made by Feynman have been analyzed by different authors, and by different procedures [2-9]. A detailed analysis has



been made of the way the spring attached to the gear wheel (the ratchet) behaves [2,4], the system has been analyzed at maximum power output regime and maximum efficiency regime [5], and its performance has been analyzed by modeling it as a thermal engine [7-9].

On the other hand, the analysis of performance of thermal engines has been made in various ways, through the definition of power density P_d and of efficient power P_η of a heat engine, from the effective power P_e of the engine [7,10-12]. It is possible to find these same quantities for the Feynman mechanism when it is modeled as a thermal engine with heat reservoirs, expressing both power and efficiency as a function of the heat flows between the system and its reservoirs. And also it can be the study comparing each of these powers with ratio of them with its maximum value, for the measurable parameters in each one of them.

In the present paper, the way in which the effective power and efficient power appear is shown. These quantities are compared using appropriate changes of parameters in each of them, so that they appear in dimensionless form. It is found that for a certain parameter depending on the ratio of the temperatures of the two parts in the mechanism, the maximum value of the mentioned power P_{\max} , is obtained for the same value of this parameter. It also performs the comparison P/P_{\max} for each of them. This comparison shows the existence of a range of values of the main parameter (variable) for them wherein the inequality $P_e < P_\eta$ or $P_e > P_\eta$ are performed. In order to make the present paper self-contained, a brief presentation of results in [1,7,10-12] is made from which this study will be carried out.

3. Experimental conditions

3.1 The Feynman's mechanism, effective power output

In its original presentation, the mechanism of Feynman contemplates a pulley attached to the shaft that connects the cogwheel with the pallet mechanism, in order to propose the possibility of lifting a weight. In Figure 1 a simplified version of this mechanism, which focuses only on the possibility of showing the existence of power when the temperatures of the containers to paddle mechanism and ratchet mechanism, respectively, are different is shown.

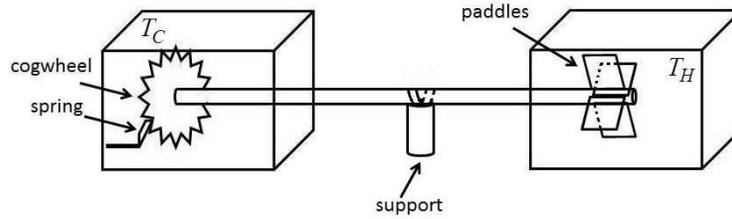


Figure 1. Feynman mechanism

The analysis of this mechanism can be started in the same way as Feynman did. Recall that a constant temperature T_H has been assumed in the vessel containing the paddles mechanism, and a temperature T_C in the vessel containing the cogwheel and spring mechanism (ratchet). These temperatures are such that $T_H > T_C$. Instead of assuming a weight attached to a pulley on the axis of connection between the two mechanisms, ratchet and paddles, we can assume the existence of temperature fluctuations around each of the mechanisms, so the difference in temperature allows the possibility of energy transfers in each part. Thereby the probability of a movement of the paddles due to movement of the wheel in the normal direction would be proportional to the probability of having a sufficient energy for this movement per unit time. Following the algorithm in [7], we have the rates of both movement, of the ratchet and movement of the paddles,

$$\text{Rate of ratchet} = \nu \frac{1}{e^{-(\varepsilon + Z\theta)/(k_B T_H)}}, \tag{1}$$

$$\text{Rate of paddles} = \nu \frac{1}{e^{-\varepsilon/(k_B T_H)}}, \tag{2}$$

where ν is a proportionality constant like the time, k_B is the Boltzman constant, ε is the necessary energy for the spring to allow the movement of the gear, z is the torque due to the movement of the wheel, and θ is the angle of rotation of the wheel. Feynman mechanism can be interpreted as a thermal engine, so that the heats exchanged by the system and hot and cold reservoirs are as in [3,5], respectively,

$$\begin{aligned} \dot{Q}_H &= \frac{1}{\nu} [e^{-(\varepsilon + Z\theta)/(k_B T_H)} - e^{-\varepsilon/(k_B T_H)}] (\varepsilon + Z\theta), \text{ and} \\ \dot{Q}_C &= \frac{1}{\nu} [e^{-(\varepsilon + Z\theta)/(k_B T_H)} - e^{-\varepsilon/(k_B T_H)}] \varepsilon. \end{aligned} \tag{3}$$

The point on any variable as usual denotes derivation with respect to time. Considering an isolated system, the internal energy does not change, and therefore the total work is the difference between the heats exchanged, so that the effective power generated by the system is as



$$P_e = \dot{Q}_H - \dot{Q}_C \tag{4}$$

The changes in the parameters involved in [7] are adequate, namely $z = Z\theta/(k_B T_H)$, $\alpha = \varepsilon/(k_B T_H)$, and $\tau = T_C/T_H$, for the dimensionless torque, an internal parameter and the heat reservoir temperature ratio respectively. Besides, considering the difference of temperature between the vessels as a heat leakage [13-16], its rate can be written as

$$\dot{Q}_L = C(T_H - T_C), \tag{5}$$

and it is possible to include the dimensionless $k = tC/k_B$ parameter. The dimensionless form of effective power is now as in [7]

$$P_e^* = P_e \frac{t}{k_B T_H} = z(e^{-(z+\alpha)} - e^{-\alpha/\tau}) \tag{6}$$

So, given the τ and z parameters, α parameter is a variable, and for $P_e^* = 0$,

$$\alpha_0(z, \tau) = \frac{z\tau}{1 - \tau}, \tag{7}$$

and the P_e^* function has a single maximum in α_m , namely

$$\alpha_m(z, \tau) = \frac{\tau(z - \ln \tau)}{1 - \tau} \tag{8}$$

If the maximum value of P_e^* is defined as P_{em}^* we have

$$\frac{P_e^*}{P_{em}^*} = \frac{z(e^{-(z+\alpha)} - e^{-\alpha/\tau})}{P_{em}^*}, \tag{9}$$

and using the parameters value in [7], Figure 2 shows the behavior of P_e^* and P_e^*/P_{em}^*

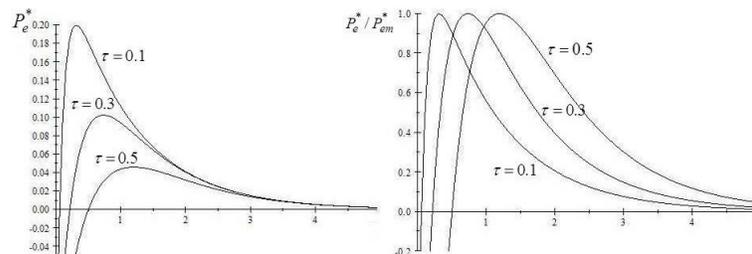


Figure 2. Behavior of P_e^* and P_e^*/P_{em}^* for $z = 0.5$ and $t = 0.1, 0.3, 0.5$



3.2 Efficient power output

Instead of using the power output and the efficiency, to analyze the performance of thermodynamic cycles, the power density P_d and the efficient power P_η have been used [10-12]. For the system that we are considering, these powers must have an expression that includes similar restrictions to the effective power, they have been defined as.

$$P_d = \frac{P}{V} \text{ and } P_\eta = \eta P. \tag{10}$$

These power expressions have each of them particularities. The simplest to build, and compare power is the efficient power. Hereinafter is shown as construct such efficient power, and its behavior is graphically shown. In order to writing P_η , it requires the calculation of efficiency, which can be written as a function of heat fluxes or, more precisely, the rate of heat exchanged, as shown in some papers, among others [13,14]. That is, it can be written as,

$$\eta = \frac{\dot{Q}_H - \dot{Q}_C}{\dot{Q}_H} \tag{11}$$

The efficient power can be written from taking into account the effective power, as,

$$P_\eta = \eta P_e P_\eta = \frac{\dot{Q}_H - \dot{Q}_C}{\dot{Q}_H} (\dot{Q}_H - \dot{Q}_C) = \frac{(\dot{Q}_H - \dot{Q}_C)^2}{\dot{Q}_H} \tag{12}$$

For the Feynman mechanism, with the parameters that have been used it is obtained,

$$P_\eta = \frac{k_B T_H}{v} \frac{z^2}{\alpha + z} [e^{-(\alpha + z)} - e^{-\alpha / \tau}] \tag{13}$$

and the corresponding parameterized efficient power,

$$P_\eta^* = \frac{z^2}{\alpha + z} [e^{-(\alpha + z)} - e^{-\alpha / \tau}] \tag{14}$$

Notice that the values of variable parameter at maximum P_η^* , namely α_m , has to be found by solving $dP_\eta^* / d\alpha = 0$, this is solving $\tau(\alpha + z + 1)e^{-(\alpha + z)} - (\alpha + \tau + z)e^{-\alpha / \tau} = 0$ which is not possible to solve analytically, but can be find the α_m values with a good approximation up to three significant decimal places by plotting the curves



$\tau(\alpha + z + 1)e^{-(\alpha+z)}$ and $(\alpha + \tau + z)e^{-\alpha/\tau}$, the intersection of these curves shows the desired values, which permits find the maximum value of P_η^* , namely $P_{\eta m}^*$. Note that $P_\eta^* = 0$ and $P_e^* = 0$ for the same value values of α_0 variable parameter. The behavior of P_η^* and of the ratio $P_\eta^* / P_{\eta m}^*$ are shown in Figure 3, for the same values of z and τ parameters previously used. Figure 4 shows the intersections of the curves at maximum of P_η^* , wherein the approximate value of the α_m variable for each of the same values of the parameters z and τ previously mentioned.

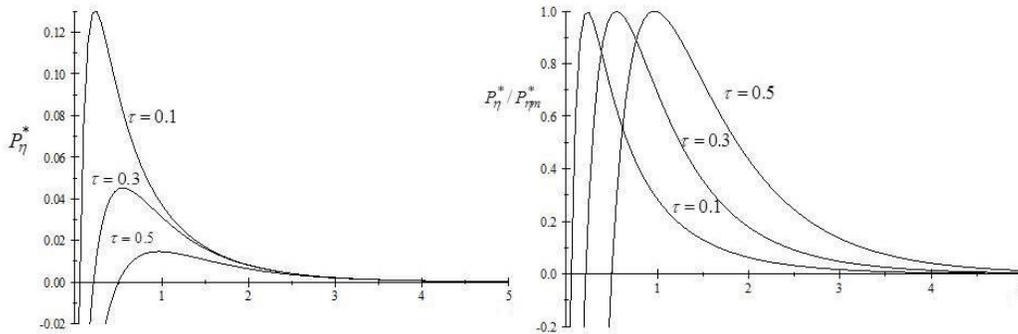


Figure 3. Behavior of P_η^* and $P_\eta^* / P_{\eta m}^*$ $z = 0.5$ and $\tau = 0.1, 0.3, 0.5$

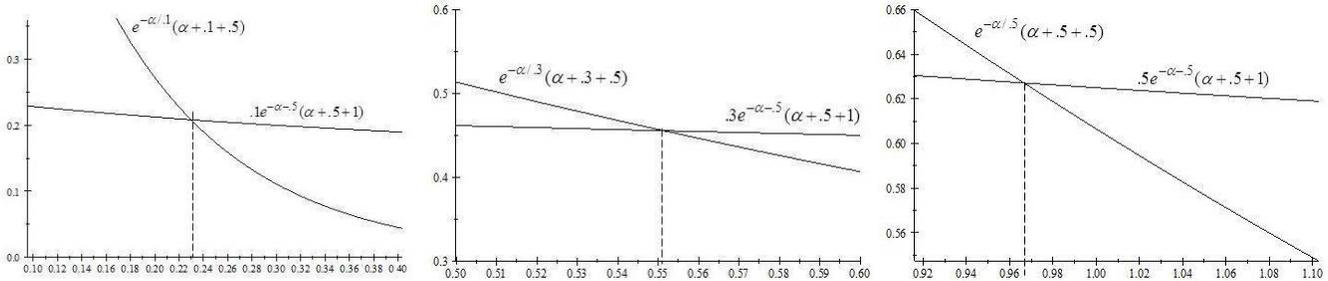


Figure 4. α_m at maximum P_η^* found graphically, $z = 0.5$ and $\tau = 0.1, 0.3, 0.5$

4. Results and discussion

As can be seen, each of these parameterized powers have an exponential behavior, after its maximum value as it should be from its analytical definition, but while the power decreases its value as the τ parameter increases it, the ratio between power and maximum power is a function of the same maximum value, independently of the value of τ , for a given value of the parameter z for each of them. But they are clearly different with different maximum values in different α_m values. However, a partition



of the interval of existence of them is seen, namely (α_0, ∞) so that two sub-intervals are generated, leaving a relation as follow,

$$(\alpha_0, \alpha_1), \frac{P_\eta}{P_{\eta m}} > \frac{P_e}{P_{em}} \text{ and } (\alpha_1, \infty), \frac{P_e}{P_{em}} > \frac{P_\eta}{P_{\eta m}} \tag{15}$$

where α_1 is the semi-sum of the alpha values at maximum of $P_\eta / P_{\eta m}$ and P_e / P_{em} as can be appreciate in Figure 5 in which it compares the efficiencies for values of (τ, z) , where the difference between them and the existence of inequalities of these powers are observed for the ranges of values of the variable parameter α mentioned.

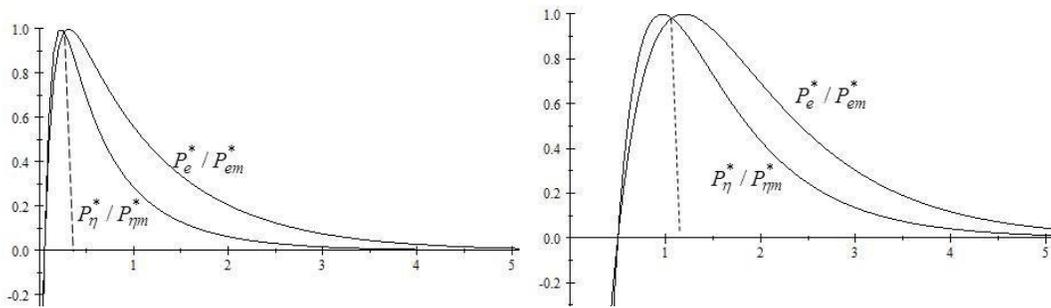


Figure 5. P_e with P_η compared, for $z = 0.5$, first for $\tau = 0.1$, and the second for $\tau = 0.5$

Just as it is observed that the semi-sum of the α values in the maximum of these powers is the value that defines the partition of the physical existence interval of these quantities, it is also observed that its maximum value, for a given value of z , is the same regardless of the value of τ .

5. Conclusions

As can be seen, how working Feynman’s mechanism does not depend on the form that the power assumes. This is always going to have a performance of exponentiation especially after a certain value of the variable parameter, which is in all cases equal to the semi-sum of the values of the α parameter, in the maximum of each of the defined powers. Besides, for a given value of the z parameter, which is related to the torque in the ratchet, the maximum value of the power is always the same, regardless of the value of the τ parameter, which implies that the known temperature ratio for



the subsystems must be constant, or that they are in one of them is constant multiple of the other.

Acknowledgments

This research was partially supported by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, Mexico). NSS and JCCE also give thanks to COFAA-IPN and EDI-IPN.

6. Bibliografy

1. Feynman R. P., Leighton R. B., Sands M., The Feynman lectures on Physics, Vol. I. Addison-Wesley Pub., Massachusetts, USA (1963) pp 46.1-46.12.
2. Magnasco M. O., Phys. Rev. Let.; 71 (10): 1477-1481 (1993)
3. parrondo J. M. R., Am. J. Phys.; 64 (9): 1125-1130 (1996)
4. Magnasco M. O., J. of Stat. Phys.; 93 (3/4): 615-632 (1998)
5. Velasco S., Rocco J. M. M., Medina A., Calvo-Hernández A., J. Phys. D: Appl. Phys.; 34: 1000-1006 (2001)
6. Munakata T., Suzuki D., J. of the Physical Soc. of Japan; 74 (2): 550-553 (2005)
7. Chen L., Ding Z., Sun F., J. Non-Equilib. Thermodyn; 36: 155-177 (2011)
8. Long R., Li B., Liu W., Appl. Math. Modelling; 40:10437-10446 (2016)
9. Singh V., Johal R. S., Entropy; 19:576-586 (2017)
10. Sahin B., Kodal A., Yavuz H., J. Phys. D: Appl. Phys.; 28:1309-1313 (1995)
11. Kodal A., Sahin B., Yilmaz T., Energy Convers. Mgmt.; 41: 235-248 (2000)
12. Yilmaz T., Dormusoglu Y., Int. J. Energy Res.; 32: 623-628 (2007)
13. Santillán M., Maya G., Angulo-Brown F., J. Phys. D: Appl. Phys.; 34: 2068-2072 (2001)
14. Páez-Hernández R., Anglo-Brown F., Santillán M., J. Non-Equilib. Thermodyn. 31: 173-188 (2006)



Interacción electrón-fonón en hilos cuánticos de Ge/Si y Si/Ge

Carlos Luis Trallero Giner

Centro Latinoamericano de Física, Río de Janeiro, Brasil.
Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba.
tralleroCarlos@gmail.com

1. Resumen

Se estudian las modificaciones de los hamiltonianos de interacción electrón-fonón (*Hint*) en hilos-cuánticos con simetría anular de sección transversal circular. Se realiza un análisis sobre las relaciones de dispersión, así como de los campos de desplazamiento para los modos acústicos y ópticos. Se discuten las influencias de la tensión intrínseca y los factores geométricos en la ley de dispersión de los fonones y la fuerza de acoplamiento electrón-fonón. En particular, se reporta el *Hint* considerando la interacción de corto alcance o *potencial de deformación* para electrones en la banda de conducción y huecos en la banda de valencia en nano-estructuras de Ge/Si y Si/Ge. Los presentes resultados son relevantes para la caracterización espectroscópica, dispersión de la luz (Raman y Brillouin) de los nano-hilos al igual que para el estudio de los fenómenos de transporte de estas nano-estructuras.

2. Introducción

Los hilos cuánticos semiconductores son de suma importancia en el desarrollo de nano-dispositivos. En particular presentan gran interés los sistemas que consisten en un semiconductor revestido con otro material semiconductor, los conocidos como “core-shell nanowire” (NW). Estos sistemas semiconductores presentan una amplia variedad de aplicaciones entre las que podemos mencionar, emisores de luz, nano-sensores, láseres, optoelectrónica, dispositivos fotovoltaicos, entre otras^[1]. En su síntesis se emplean diversos materiales de los grupos III-V, III-VI, Si y Ge^[2]. Muchos de estos materiales presentan tensiones en la intercara, lo que permite su utilización como un grado de libertad más para la ingeniería de la estructura de banda de estos nuevos sistemas. Por la amplia



variedad de sus aplicaciones, los compuestos más investigados, son los semiconductores basados en Si, Ge y sus soluciones sólidas^[1,3]. El estudio de los fonones acústicos y ópticos en los nanohilos de Ge/Si y Si/Ge tiene importantes consecuencias en las propiedades de transporte, electrónicas, celdas solares y ópticas (ver Refs. en [4]). Su espectro de aplicaciones está vinculado a los efectos de confinamiento espacial sobre la relación de dispersión de los fonones y a la interacción de estos con los electrones en la banda de conducción y los huecos en la banda de valencia. De este modo, el conocer los hamiltonianos de interacción electrón-fonón (EPH) es una tarea imprescindible para poder explorar la física más relevante presente en las diversas propiedades mencionadas anteriormente.

3. Interacción electrón-fonón en estructuras anulares

En materiales no polares como el Si y el Ge, la contribución dominante a la EPH es el potencial de deformación mecánica^[5]. Partiendo de una teoría fenomenológica se pueden describir los modos de oscilación acústicos y ópticos en los sistemas con simetría anular. El modelo fenomenológico permite la inclusión de la tensión acumulada en la intercara de los compuestos de Ge/Si o Si/Ge, los efectos del confinamiento espacial, al igual que poder describir la simetría de los diversos modos de oscilación. El tratamiento fenomenológico de las auto-vectores y sus simetrías espaciales brinda un formalismo elegante para la descripción del HEP en NWs con simetría cilíndrica. En el presente trabajo se presenta un resumen de los diversos *Hint* de estos sistemas que incluyen los modos acústicos y ópticos tanto para las bandas de conducción y valencia.

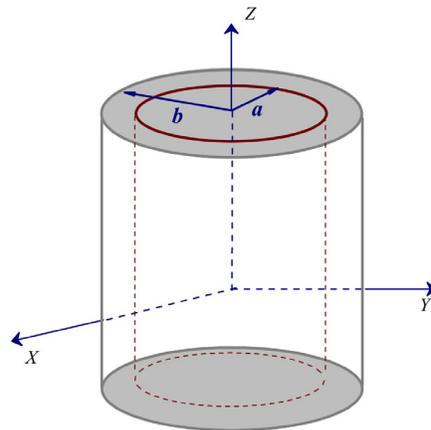


Figure 1. Nanohilo tipo “core-shell” con geometría cilíndrica. a y b los radios de los cilindros interior y exterior, respectivamente.



3.1 Ley de dispersión de los fonones

Un aspecto ineludible en la descripción del *Hint* es conocer la ley de dispersión $\omega(k_z)$ y los vectores de desplazamiento \mathbf{u} para cada modo de oscilación. En el presente trabajo se considera un hilo cuántico infinito de sección cilíndrica con radio interior a y un revestimiento de espesor $\Delta = b - a$ (vea la Figura 1). El eje \hat{z} del anillo está direccionado paralelo a la dirección de crecimiento y todos los parámetros del modelo son función de la posición \mathbf{r} . Para obtener los autovectores \mathbf{u} , así como $\omega(k_z)$, se parte de las ecuaciones del movimiento[1]

$$\rho\omega^2\mathbf{u} = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma}; \text{ fonones acústicos,} \quad (1)$$

$$\omega^2\mathbf{u} = \omega_0^2\mathbf{u} - \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma}; \text{ fonones ópticos.} \quad (2)$$

Aquí ρ es la densidad de masa, ω_0 la frecuencia del modo óptico del material en cuestión, $\boldsymbol{\sigma}$ en el caso de los fonones acústicos, es el tensor de tensiones mecánicas y para los modos ópticos $\boldsymbol{\sigma} = -(\beta_L^2 - 2\beta_T^2)(\nabla \cdot \mathbf{u})\mathbf{I} - 2\beta_T^2\nabla\mathbf{u}$. En esta última relación los efectos de dispersión de los modos longitudinales (LO) y transversales (TO) se incluyen a través de los términos β_L y β_T e \mathbf{I} es la matriz unidad. A las ecuaciones (1) y (2) se deben adicionar las condiciones de fronteras: i) el vector \mathbf{u} y la componente normal del tensor mecánico, $\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{e}_r$, continuos en $r=a$, ii) $\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{e}_r = \mathbf{0}$ en $r=b$, nano-hilos libres, para la Ec. (1). La continuidad de $\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{e}_r$ tiene presente los efectos de la tensión a través de la superficie entre Ge y Si. En el estudio de los modos ópticos -Eq. (2)- se puede exigir como buena aproximación que las oscilaciones \mathbf{u} son cero en $r=a$ y $r=b$. El campo de deformación mecánico produce desplazamiento de la frecuencia la cual es proporcional al cambio de volumen, i.e. $\Delta\omega_i(k_z) = -\gamma_i\omega_0(k_z)\Delta V_c/\Delta V_c$, (i=LO y TO)^[6]. Aquí, γ_i son los parámetros de Grüneisen, ω_i las frecuencias de los semiconductores masivos y ΔV_c el cambio de volumen debido a la tensión entre el Ge y el Si. Las soluciones generales de las Ecs. (1) y (2) están dadas por la combinación lineal de los campos vectoriales de las dos oscilaciones transversales independientes \mathbf{u}_{T1} , \mathbf{u}_{T2} , y longitudinal, \mathbf{u}_L . En general, todas las relaciones de dispersión son una mezcla híbrida de los movimientos vibratorios de los fonones $\mathbf{u}_L(L)$, $\mathbf{u}_{T1}(T1)$, y $\mathbf{u}_{T2}(T2)$.

En la Figura 2, el panel de la izquierda muestra $\omega(k_z)$ para la mezcla de los modos acústicos L-T1 en función del vector de onda k_z en unidades de π/b . Los resultados se comparan con la ley de dispersión de un hilo cuántico homogéneo de Si. La figura presenta con claridad la “repulsión” entre los estados de igual simetría, siendo la misma una manifestación del fuerte acoplamiento entre los modos L y T1. Cuando $k_z \rightarrow 0$, la frecuencia del modo inferior tiene un comportamiento lineal en k_z



, $\omega_{L-T1} \sim k_z$, dando lugar a una cierta *velocidad efectiva* de sonido v_{L-T1} , la que evidentemente dependerá de los factores geométricos del NW. Estos efectos, junto con el confinamiento espacial tienen una consecuencia directa en el nuevo hamiltoniano de interacción electrón-fonón.

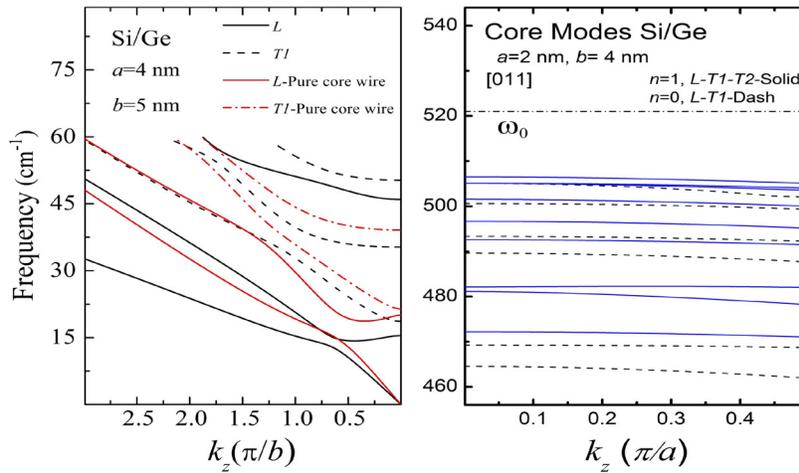


Figure 2. Ley de dispersión: Panel izquierdo. Fonones acústicos acoplados L-T1 con el número cuántico orbital $n=0$. Hilo cuántico de Si (líneas rojas). Panel derecho. Fonones ópticos acoplados del núcleo de Si. Modos acoplados L-T1 para $n=0$ y L-T1-T2 si $n=1$.

En el panel de la derecha se ilustran las frecuencias de los modos ópticos acoplados L, T1, y T2 del núcleo de Si en la estructura de Si/Ge ($n=0$ mezcla las vibraciones L y T1 y en el caso $n=1$ tenemos el acoplamiento de los tres movimientos L, T1, y T2). La influencia de revestimiento $\Delta = b - a$ en los modos del núcleo de Si, está dado por el desplazamiento de la frecuencia producto de los esfuerzos. Este valor depende directamente de la relación b/a ^[6].

3.2 Interacción electrón-fonón. Banda de conducción

La forma explícita del hamiltoniano de la interacción H_{int} de los electrones con los fonones depende de la simetría de la estructura de banda. En general H_{int} se puede escribir como

$$H_{int} = \sum S_{p',p} \delta_{k',k+kz} \delta_{m',m+n} \quad (3)$$

donde se han considerado explícitamente las leyes de conservación de los momentos angular y lineal y $S_{p',p}$ es la transición electrónica entre los estados $|p\rangle$ y $|p\rangle$ asistido por un fonón.



Modos acústicos. Para NWs de Ge/Si y Si/Ge crecidos en la dirección [011], el mínimo de la banda de conducción presenta simetría Γ_{1c} . Se puede mostrar que el H_{int} de los modos longitudinales es dado por la expresión

$$H_{int} = -\sqrt{\frac{\hbar\omega_n^3(k_z)}{4\pi a^2 L \rho_c v_L^4}} \frac{A(\Gamma_{1c})}{\mathcal{N}_n} f_n(q_L r) e^{i(n\theta + k_z z)} \quad (4)$$

siendo \mathcal{N}_n una constante de normalización para la amplitud \mathbf{u}_L , f_n la función de Bessel, $A(\Gamma_{1c})$ el potencial de deformación y $q_L = \omega/v_L - k_z$, siendo v_L la velocidad longitudinal del sonido. Utilizando la Ec. (4) se puede obtener la amplitud de dispersión $S_{p',p}$ para los diferentes modos acústicos en termino de los parámetros geométricos del sistema. De la Ec. (4) se concluye que la fuerza de interacción electrón-fonón es muy diferente a la conocida ley para los semiconductores volumétricos, esta última es proporcional a \sqrt{k} , siendo \mathbf{k} el vector de onda de los fonones. Un mapa de líneas de contorno (r, k_z) para el H_{int} dado por la Ec. (4) se muestra en Figura 3 en el caso de un NW de Ge/Si. En el cálculo se tomaron los dos primeros modos acoplados $\omega^{(1)}_{L-T1}$ y $\omega^{(2)}_{L-T1}$ con $a=4$ nm y $b=5$ nm.

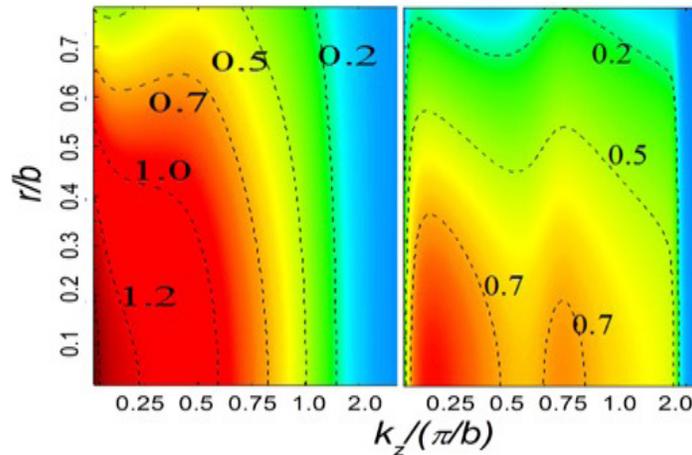


Figura 3. Líneas de contorno de la interacción electrón-fonón acústico según la Ec. (4) (unidades arbitrarias) como función del radio r/a y número de onda adimensional $k_z/(\pi/b)$. Panel izquierdo. Modo acústico con frecuencia $\omega^{(1)}_{L-T1}$. Panel derecho para $\omega^{(2)}_{L-T1}$.

3.3 Interacción electrón-fonón. Banda de valencia

Modos acústicos. Para la amplitud de dispersión de un hueco en la banda de valencia que interactúa con un fonón acústico, tenemos que

$$S_{H-BP} = \langle \widehat{\Psi}_{\alpha'} | H_{BP} | \widehat{\Psi}_{\alpha} \rangle \quad (5)$$



donde $|\widehat{\Psi}_\alpha^{\text{NW}}\rangle$ es la función de onda del hueco en el NW y H_{BP} es el hamiltoniano de Bir-Pikus escrito en coordenadas cilíndricas para los estados de valencia con $J=2/3$ ^[1,5]. Empleando las soluciones bases para la Ec. (1) y el tensor de deformación dado en la referencia [1], la amplitud de dispersión S_{H-BP} en la Ec. (5), puede ser calculada para cada fonón en términos de los parámetros geométricos del NW y la simetría del modo. Por ejemplo, si se consideran modos con $(n=0, k_z=0)$, se obtendrán tres sub-espacios independientes que corresponden a los modos L, T1 y T2. Si analizamos $(n=0, k_z \neq 0)$ se encuentran solo dos sub-espacios, uno acoplando los modos L-T1 y otro que corresponde a la oscilación transversal T2.

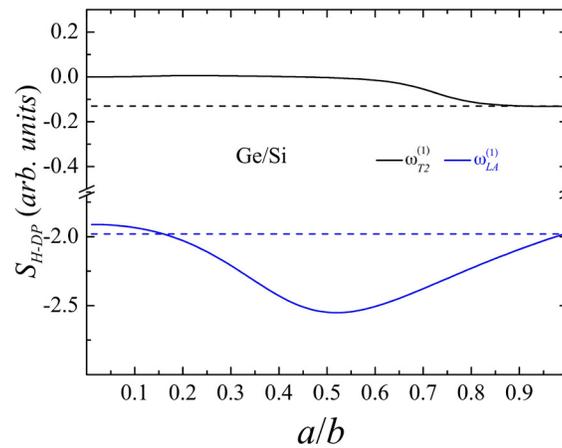


Figura 4. Amplitud de dispersión S_{H-BP} para un NW de Ge/Si como una función de la relación a/b . Para $k_z = 0$ y $n = 0$, la dependencia de S_{H-BP} para los dos modos independientes; transversales con frecuencia, $\omega_{L-T1}^{(2)}$ y longitudinal $\omega_{LA}^{(1)}$. Las líneas punteadas corresponden a los modos de un hilo cuántico homogéneo de Ge.

En la Figura 4 se muestra la amplitud de dispersión de los huecos S_{H-BP} para los modos transversal T2 y longitudinal L de NWs de Ge/Si como función de a/b .

Modos ópticos. Para el Ge y Si la interacción con los fonones ópticos es de corto alcance y es mediante el potencial de deformación. En el centro de la zona de Brillouin la amplitud de probabilidad es dado por

$$S_{p',p} = \frac{A(\Gamma_{1c})}{\mathcal{N}_j} \langle p' | \mathbf{u}^{(j)} \cdot \mathbf{D} | p \rangle \quad (6)$$

donde \mathcal{N}_j es una constante de normalización para el vector de desplazamiento $\mathbf{u}^{(j)}$ del modo óptico j y \mathbf{D} es el tensor del potencial de deformación en coordenadas cilíndricas^[1]. La banda de valencia tiene simetría Γ_8 y los estados electrónicos son descritos por medio del hamiltoniano 4×4 de Luttinger donde se incluyen los efectos del esfuerzo creado en la intercara del Ge/Si. En la aproximación de la función



envolvente los estados de la banda de valencia se escriben mediante el tetravector $|\mathbf{F}\rangle = |F_v^{(1)}, F_{v+1}^{(2)}, F_{v+2}^{(3)}, F_{v+3}^{(4)}\rangle$, es decir para la descripción de los huecos pesados hh^\pm y ligeros lh^\pm donde cada componente de la banda de valencia se caracteriza por los números cuánticos ν , k_z y viene expresada por una combinación lineal de las funciones cilíndricas de Bessel. Las propiedades de simetría de la geometría cilíndrica modifican en forma manifiesta el nuevo hamiltoniano electrón-fonón. Así, los modos con ($n=0$, $k_z=0$), el *Hint* se desacopla en tres hamiltonianos independientes: H_L , H_{T1} y H_{T2} , que caracterizan los tres desplazamientos de los fonones a lo largo de las direcciones radial, \mathbf{e}_r , axial, \mathbf{e}_z , y azimutal, \mathbf{e}_θ . Para $k_z \neq 0$, de la ecuación (6), queda claro que la probabilidad de dispersión depende de la polarización del modo de oscilación. Como ejemplo sean los modos polarizados a lo largo de la dirección de crecimiento. Usando la base vectorial solución de la Ec. (2) y tomando la componente \mathbf{z} , $\mathbf{U}^{(z)}$, de la amplitud vectorial \mathbf{u} , la Ec. (6) se reduce a

$$S_{p',p} \sim \delta_{\nu',\nu+n+2} \left[-\langle F_{\nu'}^{(1)} | \mathbf{U}^{(z)} | F_{\nu+2}^{(3)} \rangle - \langle F_{\nu'+1}^{(2)} | \mathbf{U}^{(z)} | F_{\nu+3}^{(4)} \rangle \right] \\ + \delta_{\nu',\nu+n-2} \left[\langle F_{\nu+2}^{(3)} | \mathbf{U}^{(z)} | F_{\nu}^{(1)} \rangle - \langle F_{\nu'+1}^{(4)} | \mathbf{U}^{(z)} | F_{\nu+3}^{(2)} \rangle \right]. \quad (7)$$

Como $\mathbf{U}^{(z)}$ ^[6] es una combinación de los movimientos longitudinal y transversal T1, el *Hint* es compuesto por la mezcla de los modos L y T1. La información de la capa exterior rodeando al núcleo está presente mediante de la simetría del fonón y el corrimiento de frecuencia $\Delta\omega$ (b/a) inducido por los esfuerzos en la intercara de los dos materiales.

4. Conclusiones

El presente estudio tiene aplicaciones directas en los nanohilos anulares de Ge/Si y Si/Ge para la caracterización de la espectroscopía infrarroja, la dispersión inelástica de la luz (efecto Raman), la *dispersión de Brillouin*, procesos de transporte como el cálculo de la vida media y la movilidad de los portadores. Al igual, el formalismo teórico sirve como elemento para la identificación experimental precisa de los factores geométricos y parámetros estructurales como la tensión, presentes en estas nanoestructuras. Otro aspecto de gran interés son las reglas de selección del tensor Raman, R , de primer orden. Haciendo uso de los resultados de la sección 3.2 se puede escribir R en términos de las amplitudes \mathbf{u} y de la polarización del modo de oscilación^[1]. Esto trae como consecuencia conocer los efectos que produce la reducción de la simetría al pasar de un semiconductor volumétrico a los hilos cuánticos de los materiales en cuestión. Se muestra que los NW basados en Si/Ge y Ge/Si renorma-



lizan la velocidad del sonido dependiendo la misma de los parámetros geométricos del nanohilo.

En resumen, hemos estudiado las dispersiones de los modos acústicos y ópticos, los vectores de desplazamiento y la interacción de los portadores en las bandas de conducción y valencia con los fonones en los hilos cuánticos no polares con simetría anular. Queda establecido que la geometría y la capa externa en los NWs sirve para modificar las leyes de dispersión de los fonones, la velocidad del sonido y para sintonizar la intensidad la fuerza de la interacción electrón-fonón.

Agradecimientos. El autor desea reconocer a L. Diago-Cisnero por la lectura crítica y sugerencias por el realizadas al presente manuscrito. Este trabajo fue parcialmente financiado por la agencia brasileña CNPq.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Trallero-Giner C., Santiago-Pérez D. G., Chico L., Pérez-Álvarez R., “Electron-phonon interaction in ring-like nanostructures”, Chapter 15, *Physics of Quantum Rings*. Ed. Vladimir M. Fomin, Springer, 2018.
- [2] Lauhon L. J., Gudixsen M. S., Wang D., Lieber, C.M., Epitaxial core-shell and core-multishell nanowire heterostructures, *Nature (London)* 420, 57-61 (2010); Zhang L., Shi J. J., Polar interface optical phonon modes and Fröhlich electron-phonon interaction Hamiltonians in wurtzite quantum well wires, *Semiconductor Science and Technology* 20, 592-600 (2005); Giugni A., G. Das G., Alabastri A., Zaccaria R. R., Zanella M., Franchini I., Di Fabrizio E., Krahne R., Optical phonon modes in ordered core-shell CdSe/CdS nanorod arrays, *Phy. Rev. B* 85, 115413-1-115413-6 (2012).
- [3] Hu M. Zhang X., Giapis K. P., Poulidakos D., Thermal conductivity reduction in core-shell nanowires, *Phys. Rev. B* 84, 085442-1-085442-9 (2011).
- [4] Nika D. L., Cocemasov A. I., Crismari D. V., Balandin A. A., Thermal conductivity inhibition in phonon engineered core-shell cross-section modulated Si/Ge nanowires, *Appl. Phys. Lett.* 102, 213109-1-213109-5 (2013).
- [5] Bir G., Pikus G., “Symmetry and Strain-Induced Effects in Semiconductors”, A Halsted Press book, Wiley, New York, 1974.
- [6] Santiago-Pérez D. G., Trallero-Giner C., Pérez-Álvarez R., Chico L., G. E. Marques, Electron-phonon deformation potential interaction in core-shell Ge-Si and Si-Ge nanowires, *Phys. Rev. B*, 91, 075312-1-075312-10 (2015).



Aplicación de los criterios clásicos de estabilidad en sistemas con bifurcaciones

Carlos Enrique Flores Gasca ■ Loredo Villalobos
Baltazar Aguirre Hernández ■ Eleazar López Flores

Departamento de Matemáticas.
Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa
cefg.mat@gmail.com

1. Resumen

En el presente trabajo aplicamos criterios clásicos de estabilidad y conceptos básicos de teoría de operadores para determinar la estabilidad tipo Hurwitz de sistemas con bifurcaciones, en particular el Sistema de Lorenz y Lü.

2. Introducción

En la mayoría de los modelos matemáticos solo conocemos valores aproximados para los parámetros. Sin embargo, para hacerlos útiles debemos conocer el efecto de las perturbaciones de estos valores sobre el comportamiento de las soluciones. Si analizamos las ecuaciones diferenciales autónomas con uno y dos parámetros, encontraremos que una variación en el parámetro usualmente da como resultado una modificación en la naturaleza de las soluciones. En ocasiones, el nuevo valor puede conducir a un cambio drástico en el comportamiento a largo plazo de las soluciones.

3. Condiciones Experimentales

Los criterios clásicos de estabilidad tipo Hurwitz, La teoría de Bifurcaciones (principalmente el teorema de la Bifurcación de Hopf) y los elementos de la teoría de Operadores nos dan las herramientas necesarias para poder determinar la estabilidad de los Sistemas de Lorenz y de Lü. Para los fines de este trabajo, solo se analizó el caso de un parámetro fijo para cada sistema.



4. Resultados y Discusión

4.1 Criterios Clásicos de Estabilidad

Determinar la estabilidad de un sistema es uno de los problemas fundamentales de la teoría de control, así como lo es determinar la localización de las raíces de un polinomio sin calcularlas en forma directa.

Consideremos a un sistema de ecuaciones diferenciales lineales

$$\dot{X} = AX$$

El polinomio característico de un sistema lineal determina el desarrollo y las propiedades de todo el sistema. Si todos los valores propios de la matriz A tienen parte real negativa entonces todas las soluciones del sistema convergen al origen cuando $t \rightarrow \infty$ y esto es llamado estabilidad asintótica de la solución trivial del sistema.

4.2 Polinomios Hurwitz de grado menor que 5

Definición 4.2.1: Decimos que un polinomio de coeficientes reales es Hurwitz si todas sus raíces tienen parte real negativa, es decir, están en el semiplano izquierdo del plano complejo

$$\mathbb{C} = \{a + ib : a < 0\}$$

Ejemplo 4.2.1: Consideremos el polinomio

$$p(t) = t^2 + 3t + 2$$

las raíces del polinomio son $t = -1$ y $t = -2$. Así $p(t)$ es Hurwitz.

Teorema 4.2.1: El polinomio $p(t) = t^3 + a_1t^2 + a_2t + a_3$ es Hurwitz si y solo si

$$a_1, a_2, a_3 > 0 \text{ y } a_1a_2 - a_3 > 0.$$

Demostración: Por el teorema fundamental del algebra

$$p(t) = (t + \alpha)(t^2 + \beta t + \gamma) = t^3 + (\alpha + \beta)t^2 + (\alpha\beta + \gamma)t + \alpha\gamma$$

Igualando términos, tenemos



$$a_1 = \alpha + \beta, a_2 = \alpha\beta + \gamma, a_3 = \alpha\beta$$

(\Rightarrow): Supongamos que $a_1, a_2, a_3 > 0$ y $a_1 a_2 - a_3 > 0$. Entonces:

$$\alpha + \beta > 0, \alpha\beta + \gamma > 0, \alpha\beta > 0 \text{ y } \alpha^2\beta + \alpha\beta^2 + \beta\gamma > 0$$

De la última condición $\beta(\alpha^2 + \alpha\beta + \gamma)$. Como $\alpha\beta + \gamma > 0$ entonces $\alpha^2 + \alpha\beta + \gamma > 0$. Por lo tanto, $\beta > 0$. Como $\alpha\beta > 0$ entonces $\alpha, \gamma < 0$ ó $\alpha, \gamma > 0$.

Ahora $\alpha\beta + \gamma > 0$ y $\beta > 0$, entonces no puede ser que α y γ sean negativos al mismo tiempo. Así $\alpha, \gamma > 0$. Entonces $t + \alpha$ y $t^2 + \beta t + \gamma$ son Hurwitz. Por lo tanto, $p(t)$ es Hurwitz. \blacktriangle

(\Leftarrow): ver [1]. \blacksquare

4.3 Teorema de la Bifurcación de Hopf

La bifurcación de Hopf es un tipo de bifurcación que presentan algunos sistemas, de tal manera que, al variar el valor del parámetro de bifurcación, el sistema sufre un cambio en la estabilidad del punto crítico bajo estudio, creando o desapareciendo una órbita periódica, con una determinada estabilidad.

Teorema 4.3.1 (Teorema de la bifurcación de Hopf): Considere el sistema parametrizado

$$\dot{X} = f(x, \mu)$$

con $x \in \mathbb{R}^n$ y $\mu \in \mathbb{R}$. Supongamos que existe (x_0, μ_0) tal que:

- (1) $f(x_0, \mu_0) = 0$
- (2) $D_x f(x_0, \mu_0)$ posee un único par de valores propios en el eje imaginario y el resto está fuera de él.
- (3) $\frac{d}{d\mu}(\text{Re}(\lambda(\mu)))_{\mu=\mu_0} = d \neq 0$ donde $\lambda(\mu)$ es el valor propio de $D_x f(x_0, \mu_0)$

Entonces, existe una única variedad central tridimensional que pasa por $(x_0, \mu_0) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}$

Demostración: Véase en [2], [3]. \blacksquare



4.4 Velocidad de Cruce de los valores propios a través del eje imaginario

Teorema 4.4.1 Consideremos el sistema

$$\dot{X} = f(x, \mu)$$

Supongamos que existe x_0 y μ_0 tal que $f(x_0, \mu_0) = \mathbf{0}$, y supongamos también que

$$Df(x_0, \mu_0) = \begin{pmatrix} 0 & -w_0 & 0 \\ w_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_0 \end{pmatrix}$$

con $\lambda_0 < 0$ y $w_0 > 0$. Supongamos que para $\mu \approx \mu_0$ se tienen que

$$\lambda_1 = \alpha(\mu) + i\beta(\mu) \quad \lambda_2 = \alpha(\mu) - i\beta(\mu)$$

con $\alpha(\mu_0) = 0$ y $\beta(\mu_0) = w_0$

Entonces la ecuación de la velocidad de cruce de los valores propios a través del eje imaginario es:

$$\alpha'(\mu_0) = \frac{L_3(\mu_0) - w_0^2 L_1(\mu_0) + \lambda_0 L_2(\mu_0)}{2(\lambda_0^2 + w_0^2)}$$

Donde L_i para $i = 1, 2, 3$ son los coeficientes del polinomio característico de la matriz

$$Df(x_0, \mu) = \begin{pmatrix} \alpha(\mu) & -\beta(\mu) & 0 \\ \beta(\mu) & \alpha(\mu) & 0 \\ 0 & 0 & \lambda^*(\mu) \end{pmatrix}$$

Demostración: Véase en [4]. ■

4.5 Sistemas de Lorenz

Lorenz construyó un modelo matemático para el movimiento de las masas de aire en la atmósfera, derivado de una forma simplificada de las ecuaciones de convección térmica surgidas de las ecuaciones de la atmósfera. Lorenz estudiaba los patrones del tiempo, al darse cuenta que ellos no siempre cambiaban de la manera predicha. Describió este comportamiento en un sistema de ecuaciones, para ello se sirvió de la ecuación de Navier-Stokes y de la ecuación térmica a las que tras aplicar una serie de transformaciones de Fourier dedujo un sistema de tres ecuaciones relativamente sim-



ples que resultaron ser un objeto dinámico extremadamente complicado conocido ahora como el atractor de Lorenz. El sistema de Lorenz es

$$\begin{cases} \dot{X} = \sigma(y - x) \\ \dot{Y} = rx - xz - y \\ \dot{Z} = xy - \beta z \end{cases}$$

Donde r, σ y β son reales positivos. El parámetro σ : Número de Prandtl, el parámetro r : Número de Rayleigh y el Parámetro β : Es la razón de la longitud y la altura del sistema. Nótese que x es la razón de rotación del sistema (velocidad de flujo del fluido). Numéricamente para los parámetros $r = 28, \sigma = 10$ y $\beta = 8/3$ (conocido como los parámetros de Lorenz) exhibe un comportamiento caótico.

4.5.1 Propiedades Básicas del Sistema de Lorenz

4.5.1.1 Simetría

La ecuación de Lorenz tiene una simetría natural $(x, y, z) \rightarrow (-x, -y, z)$. Esta simetría persiste para cualquier valor de los parámetros. La simetría significa que si $(x(t), y(t), z(t))$ es solución, entonces $(-x(t), -y(t), z(t))$ también lo es.

4.5.1.2 El eje z

El eje dado por los puntos del espacio donde $x = y = 0$, es invariante. Todas las trayectorias que comienzan en el eje z , permanecen en él y tienden hacia el origen. Además, todas las trayectorias que giran alrededor del eje lo hacen en sentido de las manecillas del reloj cuando se miran sobre el plano $z = 0$. Esto se sigue del hecho que si $x = 0$ tenemos: $dx/dt > 0$ cuando $y > 0$, y $dx/dt < 0$ cuando $y < 0$. Podemos dar una descripción parcial de las órbitas periódicas en el sistema, contando el número de veces que ellos giran alrededor del eje z . Cabe mencionar que esta propiedad también se cumple en el sistema de Lü.

4.5.2 Análisis de estabilidad y Bifurcación tipo Hopf en el sistema de Lorenz

Sea $r = \mu$ el parámetro de bifurcación y (σ, β) parámetros de control. Bajo estas condiciones el sistema de Lorenz nos queda como:

$$\begin{cases} \dot{X} = \sigma(y - x) \\ \dot{Y} = rx - xz - y \\ \dot{Z} = xy - \beta z \end{cases}$$

Ahora bien, el primer paso al analizar el sistema de Lorenz es localizar los puntos de equilibrio al resolver el sistema algebraico



$$0 = \sigma(y - x); 0 = \mu x - xz - y; 0 = xy - \beta z$$

Luego, resolviendo el sistema obtenemos que los puntos críticos encontrados son:

$$P_1 = (0,0,0); P_2 = (\sqrt{\beta(\mu-1)}, \sqrt{\beta(\mu-1)}, \mu-1); P_3 = (-\sqrt{\beta(\mu-1)}, -\sqrt{\beta(\mu-1)}, \mu-1)$$

4.5.2.1 Análisis en el punto de equilibrio P_1

Iniciemos nuestro análisis en el origen. La matriz Jacobiana evaluada en ese punto de equilibrio es:

$$Df(0,0,0) = \begin{pmatrix} -\sigma & \sigma & 0 \\ \mu & -1 & 0 \\ 0 & 0 & \beta \end{pmatrix}$$

Luego, el polinomio característico de la matriz jacobiana del sistema de Lorenz evaluado en el origen es:

$$p(\lambda) = \lambda^3 + [\beta + (1 + \sigma)]\lambda^2 + [\sigma(1 - \mu) + \beta(1 + \sigma)]\lambda + \beta(1 - \mu)\sigma = 0 \quad (3.2)$$

Ahora bien, por el teorema 4.2.1, podemos observar que si entonces es Hurwitz.

Después, mediante operaciones algebraicas podemos observar que sus valores propios son:

$$\lambda_1 = -\beta; \lambda_2 = \left(\frac{1}{2}\right)(-1 - \sigma + \sqrt{1 - 2\sigma + \sigma^2 + 4\sigma\mu}); \lambda_3 = \left(\frac{1}{2}\right)(-1 - \sigma - \sqrt{1 - 2\sigma + \sigma^2 + 4\sigma\mu})$$

Lo que debemos de hacer para conseguir colocar los valores propios en el eje imaginario es que $1 = \sigma$, pero estamos considerando que todos los parámetros son positivos, entonces concluimos que en el origen no ocurre bifurcación de Hopf.

4.5.2.2 Análisis en el punto de equilibrio P_2

Dado que una de las propiedades fundamentales para el sistema de Lorenz es la simetría, por simplicidad nos centraremos únicamente en realizar el análisis para el punto P_2 , dado que para el punto P_3 obtendríamos el mismo resultado. Analicemos qué condiciones deben cumplir los parámetros de control para que el punto P_2 pertenezca a \mathbb{R}^3 , lo cual para ello, necesitamos que $\mu - 1 > 0$. Por lo que la matriz jacobiana evaluado en P_2 es:

$$Df(\sqrt{\beta(\mu-1)}, \sqrt{\beta(\mu-1)}, \mu-1) = \begin{pmatrix} -\sigma & \sigma & 0 \\ 1 & -1 & -\sqrt{\beta(\mu-1)} \\ \sqrt{\beta(\mu-1)} & \sqrt{\beta(\mu-1)} & -\beta \end{pmatrix}$$



Así, el polinomio característico es:

$$p(\lambda) = \lambda^3 + [\beta + (1 + \sigma)]\lambda^2 + [\beta\mu + \sigma\beta]\lambda + 2\sigma\beta(\mu - 1) = 0 \quad (3.3)$$

Ahora bien, aplicando los criterios de Hurwitz, podemos observar que para $\mu > 1$ el sistema será asintóticamente estable, mientras que en caso contrario, no se satisface el teorema 3.2.1.

Luego, mediante operaciones algebraicas para $\mu > 1$, tenemos que los valores propios son:

$$\lambda_1 = -(\sigma + \beta + 1); \quad \lambda_2 = i \frac{\sqrt{2}\sqrt{\sigma(\sigma + 1)}}{\sqrt{\sigma - \beta - 1}}; \quad \lambda_3 = i \frac{\sqrt{2}\sqrt{\sigma(\sigma + 1)}}{\sqrt{\sigma - \beta - 1}}$$

Aplicando la fórmula de velocidad de cruce, tenemos:

$$\alpha'(\mu_0) = 2\sigma\beta + (-1 - \sigma - \beta)\beta / [2(-1 - \sigma - \beta)^2 + 4(\sigma\beta + \sigma^2\beta) / (-1 + \sigma - \beta)]$$

Luego, tenemos que:

$$\alpha'(\mu_0) = 0 \Rightarrow 2\sigma\beta + (-1 - \sigma - \beta)\beta = 0 \Rightarrow \sigma = \beta + 1$$

Observemos que la velocidad de cruce es diferente de cero para los valores de los parámetros de control dentro de la región factible. Además, podemos observar que, la velocidad de cruce es positiva. Por lo tanto, podemos asegurar que en la región de factibilidad si ocurre una bifurcación de Hopf.

4.6 Análisis de estabilidad y Bifurcación tipo Hopf en el sistema de Lü

Consideremos el Sistema de Lü

$$\begin{cases} \dot{X} = \mu(y - x) \\ \dot{Y} = xz + \sigma y \\ \dot{Z} = xy - \beta z \end{cases}$$

Donde $\mu, \beta, \sigma > 0, \sigma < \mu$, con μ siendo el parámetro de bifurcación y (β, σ) parámetros de control. Ahora bien, por encontrar los puntos críticos del sistema, entonces

$$0 = \sigma(y - x); \quad 0 = \mu x - xz - y; \quad 0 = xy - \beta z$$

Luego, resolviendo el sistema obtenemos que los puntos críticos encontrados son:



$$P_1 = (0,0,0); \quad P_2 = (\sqrt{\beta\sigma}, \sqrt{\beta\sigma}, \sigma); \quad P_3 = (-\sqrt{\beta\sigma}, -\sqrt{\beta\sigma}, \sigma)$$

4.6.1 Análisis en el punto de equilibrio P_1

Iniciemos nuestro análisis en el origen. Por lo que la matriz Jacobiana evaluada en P_1 es

$$Df(0,0,0) = \begin{pmatrix} -\mu & \mu & 0 \\ \mu & \sigma & 0 \\ 0 & 0 & -\beta \end{pmatrix}$$

Luego, dado que es una matriz triangular entonces los valores propios son $\lambda_1 = -\beta$; $\lambda_2 = -\mu$ y $\lambda_3 = \sigma$. Por lo que se concluye que no ocurre bifurcación de Hopf.

4.6.2 Análisis en el punto de equilibrio P_2

Al igual que el sistema de Lorenz, el sistema de Lü es simétrico (ver[4]), por simplicidad nos centraremos únicamente en realizar el análisis para el punto P_2 . Analicemos ahora lo que pasa en el punto de equilibrio P_2 .

$$Df(\sqrt{\beta\sigma}, \sqrt{\beta\sigma}, \sigma) = \begin{pmatrix} -\mu & \mu & 0 \\ -\sigma & \sigma & -\sqrt{\beta\sigma} \\ \sqrt{\beta\sigma} & \sqrt{\beta\sigma} & -\beta \end{pmatrix}$$

Así, el polinomio característico es:

$$p(\lambda) = \lambda^3 + [-\sigma + \beta + \mu]\lambda^2 + \beta\mu\lambda + 2\sigma\beta\mu = 0$$

Ahora bien, por el teorema 4.2.1, podemos observar que como $\mu, \beta, \sigma > 0$, $\sigma < \mu$ entonces

$$-\sigma + \beta + \mu > 0; \quad \beta\mu > 0; \quad 2\sigma\beta\mu > 0$$

Además

$$(-\sigma + \beta + \mu)(\beta\mu) - 2\sigma\beta\mu > 0 \Leftrightarrow -\sigma\beta\mu + \beta^2\mu + \beta\mu^2 - 2\sigma\beta\mu \Leftrightarrow \mu(\beta^2 + \beta\mu - 3\sigma\beta) > 0$$

Ahora bien, es claro que no podemos considerar los factores menores que cero, puesto que habría una contradicción. Por lo que $\mu > 3\sigma - \beta = \mu_1$



En consecuencia, si $\mu > \mu_1$ el sistema será asintóticamente estable, nótese que esto es cierto si y solo si $3\sigma > \beta \dots (1)$. Continuando, los valores propios de la matriz jacobiana evaluada en P_2 son

$$\lambda_1 = -2\sigma; \quad \lambda_2 = i\sqrt{(3\sigma - \beta)\beta}; \quad \lambda_3 = -i\sqrt{(3\sigma - \beta)\beta}$$

Por otro lado, nos falta analizar si la velocidad de cruce de estos a través del eje imaginario es diferente de cero. Aplicando la fórmula para la velocidad de cruce, obtenemos

$$\alpha'(\mu_0) = (3\sigma - \beta)\beta / 2(4\sigma^2 + 3\beta\sigma - \beta^2)$$

Ahora bien utilizando la restricción (1) es claro que $\alpha'(\mu_0) \neq 0$. Además, en la región de factibilidad la velocidad de cruce es negativa, entonces tomando valores para σ y β dentro de la región de factibilidad podemos asegurar que tenemos una bifurcación de Hopf.

5. Conclusiones

Los criterios clásicos son una herramienta útil y necesaria para determinar la estabilidad tipo Hurwitz, además en libros y artículos donde se abordan temas asociados al mismo tales que aparecen algunos modelos que presentan bifurcaciones, en su mayoría se abordan de forma superficial sin abundar en los detalles teóricos por lo que este trabajo de investigación tiene como objetivo principal unificar estas dos vertientes.

6. Bibliografía

- [1] Loredó Villalobos, C.A. (2005). Criterios para determinar si un polinomio es polinomio Hurwitz. Universidad Autónoma Metropolitana.
- [2] Williams, R. The structure of Lorenz attractors. Publication Math (1979).
- [3] Kuznetsov, Y.A. (1998). Elements of applied bifurcation theory. 2nd. ed. App. Math. Springer.
- [4] Guckenheimer, J. and Williams, R. Structural stability of Lorenz attractors. (1979).



Generación de cuaternas cúbicas

Carlos Zubieta Badillo ■ Francisco Ramón Salazar Velasco ■ Marissa del Rosario Martínez Preece

Departamento de Ciencias Básicas.
Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco
czb@azc.uam.mx

1. Resumen

A partir de la relación $3^3 + 4^3 + 5^3 = 6^3$ surge la pregunta ¿es posible hallar un algoritmo para obtener cuaternas de números naturales que sean solución de la ecuación $x^3 + y^3 + z^3 = w^3$? La respuesta es SI. Y se determina dicho algoritmo para los casos en que $w = z + 1$.

Palabras clave: ecuaciones diofantinas, ternas pitagóricas, algoritmo, cuaternas cúbicas.

2. INTRODUCCIÓN

Las llamadas ternas pitagóricas se refieren a la relación que existe entre los cuadrados de tres números naturales. Se les dice pitagóricas por su relación con el famoso Teorema de Pitágoras para triángulos rectángulos, por ejemplo, la terna 3, 4 y 5, que cumple la relación $3^2 + 4^2 = 5^2$ (es decir: $9 + 16 = 25$).

Marco conceptual.

Nos dice:

En una tablilla babilónica se encontró un método para hallar ternas pitagóricas (Boyer y Merzbach, 1989, p.65). Allí se expresa que si un número c es impar, una terna pitagórica será de la forma: $(c^2 - 1)/2$; c ; $(c^2 + 1)/2$. (nota de Rabinos Adriana (1)).



Tabla No.1

c	$(c^2 - 1)/2$	$(c^2 + 1)/2$		Terna
3	$(9 - 1)/2 = 4$	$(9 + 1)/2 = 5$	$3^2 + 4^2 = 5^2$	(3, 4, 5)
5	$(25 - 1)/2 = 12$	$(25 + 1)/2 = 13$	$5^2 + 12^2 = 13^2$	(5, 12, 13)
7	$(49 - 1)/2 = 24$	$(49 + 1)/2 = 25$	$7^2 + 24^2 = 25^2$	(7, 24, 25)
9	$(81 - 1)/2 = 40$	$(81 + 1)/2 = 41$	$9^2 + 40^2 = 41^2$	(9, 40, 41)
11	$(121 - 1)/2 = 60$	$(121 + 1)/2 = 61$	$11^2 + 60^2 = 61^2$	(11, 60, 61)

Fuente: Elaboración propia

Euclides (los Elementos, 300 a. C.) demostró de otra manera que el conjunto de ternas pitagóricas es infinito. La prueba se basa en que la diferencia de dos cuadrados de números consecutivos es siempre un número impar. Por ejemplo, $2^2 - 1^2 = 4 - 1 = 3$, $15^2 - 14^2 = 225 - 196 = 29$. Y además todos los números impares se pueden escribir como una diferencia de dos cuadrados de números consecutivos. Se muestra esto en la siguiente tabla:

Tabla No.2

n	n^2	impar
0	0	-
1	1	1
2	4	3
3	9	5
4	16	7
5	25	9
6	36	11
7	49	13

Fuente: elaboración propia

Hay una infinidad de dichas ternas, la primera de ellas, 3, 4 y 5, se obtiene de observar que $25 - 16 = 9$, es decir, $9 + 16 = 25$; la segunda es: 5, 12 y 13, se obtiene de observar que $169 - 144 = 25$, es decir, $25 + 144 = 169$; etc.

Nosotros obtuvimos otra forma de generar dichas ternas al obtener relaciones entre los números x, y, z. Al final construimos una tabla en donde se obtuvo el desarrollo del binomio $(4x + 1)^2$ como a continuación se indica.

$$(4x + 1)^2 = (4x)^2 + 2(4x)(1) + 1^2$$



Los valores de x son los coeficientes binomiales ${}_nC_{n-2}$, donde n es un número natural y ${}_nC_{n-2}$ es el valor que se obtiene de las combinaciones de n elementos tomados de $(n - 2)$ elementos, a partir de $n=2$; de ésta manera se generan las ternas pitagóricas como se muestra en la tabla No. 3. En este caso se trata de una fórmula cerrada para generar ternas pitagóricas.

Tabla No.3

x	$2(4x) + 1$	$(4x)^2$	$(4x + 1)^2$	Terna pitagórica
1	9	16	25	(3, 4, 5)
3	25	144	169	(5, 12, 13)
6	49	576	625	(7, 24, 25)
10	81	1600	1681	(9, 40, 41)
15	121	3600	3721	(11, 60, 61)
21	169	7056	7225	Etc.
28	225	12544	12769	
36	289	20736	21025	
45	361	32400	32761	
55	441	48400	48841	
66	529	69696	70225	
78	625	97344	97969	
91	729	132496	133225	
105	841	176400	177241	

Fuente: elaboración propia

Si en vez de la ecuación $x^2 + y^2 = z^2$ se tuviera la ecuación $x^n + y^n = z^n$ estaríamos hablando del famoso teorema de Fermat el cual es un ejemplo de un reto matemático con un enunciado sencillo pero cuya demostración tardó tres siglos en lograrse y que puso a trabajar a miles de matemáticos profesionales y aficionados que trataron de conseguir una demostración del teorema sin lograrlo, hasta el año de 1994 en que Wiles logró hacerlo.

La solución de este tipo de ecuaciones cae en lo que se denomina ecuaciones diofantinas.

Desarrollo.

Estando conscientes de que no hay una terna de números naturales que cumpla la relación $x^3 + y^3 = z^3$ (de acuerdo al famoso teorema de Fermat) pero motivados por la relación: $3^3 + 4^3 + 5^3 = 6^3$ es decir, $27 + 64 + 125 = 216$, nos hicimos la pregunta



sobre la existencia de más cuaternas cúbicas que cumplieran con dicha relación. Después de darnos cuenta de que hay una infinidad de dichas cuaternas se quiso hallar alguna forma de generarlas a través de un algoritmo, tal como sucede con las ternas pitagóricas.

Objetivo: Este artículo trata de dar a conocer una forma de generar cuaternas cúbicas que cumplen con la relación $x^3 + y^3 + z^3 = w^3$.

Aunque no hemos encontrado una forma general si podemos mostrar que para el caso de $x^3 + y^3 + z^3 = w^3$ en donde $w = z + 1$ existe una forma de generar las cuaternas deseadas.

Este ejercicio se hizo pensando en tener una tarea sencilla del quehacer matemático y deseamos hacer una implementación que pueda ser usada como tarea para que los alumnos de nivel bachillerato tengan un reto y trabajen en dicha tarea.

3. Metodología. Cuaternas cúbicas

En primer lugar, con ayuda de Excel, generamos una tabla con la suma de dos cubos y otra con la diferencia de dos cubos, que cumplieran con la relación $x^3 + y^3 = w^3 - z^3$. Con estas tablas y por comparación directa encontramos las primeras cuaternas (tabla No.4). La pregunta que surgió fue: ¿puede cualquier número natural elevado al cubo ser expresado como la suma de una terna de cubos?, es decir, $x^3 + y^3 + z^3 = w^3$ ¿esta ecuación se cumple para cualquier w ?. Nos dimos cuenta que sólo se cumple para algunos casos, como se muestra en la tabla No. 4:



Tabla No.4

x	y	z		w
3	4	5	"="	6
27	64	125	216	216
1	6	8	"="	9
1	216	512	729	729
6	8	10	"="	12
216	512	1000	1728	1728
9^3	12^3	15^3	"="	18^3
729	1728	3375	5832	5832
2^3	12^3	16^3	"="	18^3
8	1728	4096	5832	5832
3	10	18	"="	19
27	1000	5832	6859	6859
7^3	14^3	17^3	"="	20^3
343	2744	4913	8000	8000
12	16	20	"="	24
1728	4096	8000	13824	13824
4	17	22	"="	25
64	4913	10648	15625	15625
3	18	24	"="	27
27	5832	13824	19683	19683
11	15	27	"="	29
1331	3375	19683	24389	24389
15	20	25	"="	30
3375	8000	15625	27000	27000
18	24	30	"="	36
5832	13824	27000	46656	46656
6	20	36	"="	38
216	8000	46656	54872	54872
2	17	40	"="	41
8	4913	64000	68921	68921
21	28	35	"="	42
9261	21952	42875	74088	74088
5	30	40	"="	45
125	27000	64000	91125	91125
3	36	37	"="	46
27	46656	50653	97336	97336
24	32	40	"="	48
13824	32768	64000	110592	110592
8	34	44	"="	50
512	39304	85184	125000	125000

Fuente: elaboración propia



En la tabla No.4 se ha puesto a la derecha el valor de w pensando en responder a la pregunta del párrafo anterior. Se observa que no es posible obtener cuaternas cúbicas para cualquier valor de w , por ejemplo:

si $w = 7$; $w = 8$; $w = 10$; ... Esos valores de w no pueden ser expresados por la suma de tres números cúbicos.

También se observa que algunas de estas cuaternas son de tal forma que z y w son dos números naturales consecutivos, por ejemplo:

Tabla No.5

x	y	z		w
3	4	5		6
3^3	4^3	5^3	igual a	6^3
27	64	125	216	216
1	6	8		9
1^3	6^3	8^3	igual a	9^3
1	216	512	729	729
3	10	18		19
3^3	10^3	18^3	igual a	19^3
27	1000	5832	6859	6859
2	17	40		41
2^3	17^3	40^3	igual a	41^3
8	4913	64000	68921	68921
3	34	114		115
3^3	34^3	114^3	igual a	115^3
27	39304	1481544	1520875	1520875

Fuente: Elaboración propia

Entonces surge la pregunta, ¿será posible obtener un algoritmo para este tipo de cuaternas? Por lo tanto, se trataron de hallar relaciones entre los valores de x , y , z , w Y con un poco de suerte se encontró la respuesta.



Tabla No.6

x	y	z	w	$x^3 + y^3 + z^3 = w^3$	w^3
1	6	8	9	729	729
2	17	40	41	68921	68921
3	34	114	115	1520875	1520875
4	57	248	249	15438249	15438249
5	86	460	461	97972181	97972181
6	121	768	769	454756609	454756609
7	162	1190	1191	1689410871	1689410871
8	209	1744	1745	5313568625	5313568625
9	262	2448	2449	14688124849	14688124849
10	321	3320	3321	36627445161	36627445161
11	386	4378	4379	83970131939	83970131939
12	457	5640	5641	179501589721	179501589721
13	534	7124	7125	361705078125	361705078125

Fuente: Elaboración propia

El algoritmo es:

Se construye la siguiente tabla partiendo de la terna 1 6 8 (primer renglón de la tabla No.7).

Tabla No.7.

Obtención de los valores x, y, z, w.

6x	auxiliar	x	y	z	w
6	8	1	6	8	9
12	20	2	17	40	41
18	38	3	34	114	115
24	62	4	57	248	249
30	92	5	86	460	461
36	128	6	121	768	769
42	170	7	162	1190	1191
48	218	8	209	1744	1745
54	272	9	262	2448	2449
60	332	10	321	3320	3321
66	398	11	386	4378	4379
72	470	12	457	5640	5641
78	548	13	534	7124	7125
84	632	14	617	8848	8849
90	722	15	706	10830	10831
96	818	16	801	13088	13089
102	920	17	920	15640	15641

Fuente: Elaboración propia



- a) La primera columna son los múltiplos de 6 (se indica como $6x$)
- b) La segunda denominada “auxiliar” comienza con el 8 y luego se suma el 12 (marcados en negritas) y así sucesivamente como se sugiere en la tabla con números en negritas.
- c) la tercera columna, encabezada por la variable “x”, está formada por los números naturales.
- d) La cuarta columna, encabezada por la letra “y”, comienza con:
 $6 = 8 - 2$; $17 = 20 - 3$; $34 = 38 - 4$; y así sucesivamente.
- e) Por último, los valores de “z” se generan por el producto de $x \cdot \text{auxiliar}$, $8 \cdot 1 = 8$; $20 \cdot 2 = 40$; $38 \cdot 3 = 114$; etcétera.
- f) Ahora ya hemos generado los números que forman las ternas que se tienen que elevar al cubo y sumar, el número w simplemente es $z + 1$. La ecuación diofantina es $x^3 + y^3 + z^3 = w^3$, de acuerdo a los valores presentados en la tabla No.5.

4. Conclusiones.

Las propiedades de los números naturales se pueden emplear para obtener tareas que tengan sentido matemático. Hay muchas relaciones que se pueden encontrar al hacerse preguntas sobre los números naturales. Estos han dado origen a diversos problemas que han apasionado a los matemáticos ó a los aficionados a esta ciencia. Debemos aprovechar esta característica de los números naturales.

5. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Rabino Adriana. Las ternas pitagóricas. Pickover, Clifford. 2009. Ed. Librero. www.mathsmovies.com/oz.htm www.disfrutalasmaticas.com
- (2) Euclídes. Los elementos. Ed. UNAM, 1951.
- (3) Gracián Enrique. Consultado en www.enriquegracian.com (6-enero-2018)



Estudio petrológico de los condros de la meteorita pácula

Blanca Sonia Ángeles García ■ Adela Margarita Reyes Salas ■ Consuelo Macías Romo

Instituto de Geología.
Universidad Nacional Autónoma de México.
ags@unam.mx

1. Resumen

Por medio de técnicas de microscopía óptica, microscopía electrónica y microanálisis por EDS, se estudian textural y composicionalmente los condros de la meteorita Pácula. Los condros, en esta meteorita del tipo L6 no se aprecian con facilidad debido a que presentan notoria integración con la matriz, sus contornos son muy difusos y la mayoría tienen fracturas, notoriamente hay dos rangos en sus tamaños, de $0.395 \mu\text{m}$ a $0.661 \mu\text{m}$ y de 1.005 mm a 2.136 mm

2. Introducción

Las meteoritas son rocas que caen a la Tierra procedentes del espacio interplanetario y su estudio tiene gran relevancia para el conocimiento de la historia temprana del Sistema Solar. Mucho antes de que existieran la Tierra y los planetas, el sistema **solar** consistía en un protosol y una densa nube de partículas de polvo compuestas por silicato y metal. Con el tiempo los granos de polvo empezaron a acrecionarse para formar una especie de corpúsculos esféricos. Posibles eventos turbulentos de alta temperatura durante el colapso, fundieron éstos corpúsculos en gotas que se enfriaron rápidamente en vidrio y pequeños minerales. Henry Clifton Sorby reconoció esos objetos esféricos milimétricos y los llamó condros (de la palabra griega *chondros* o granos) y a las meteoritas que los contenían condritas. Los condros son cuerpos cuasi-esféricos, ígneos, de tamaño milimétrico, sus características texturales sugieren que estuvieron sometidos a diferentes grados de fusión y enfriamiento antes de ser incorporados a un cuerpo parental condrítico ^[1] y constituyen hasta el 80% en volumen de las meteoritas condriticas.



La meteorita Pácula cayó a 4.5 km al oeste del poblado de Pácula, distrito de Jacala, en el Estado de Hidalgo, México ($21^{\circ}03' N$, $99^{\circ}18' W$) el 18 de junio de 1881. Se recuperaron tres fragmentos cuyo peso total fue de 3,361 g. El mayor, de 1,505 g forma parte de la colección de meteoritas del Instituto de Geología, UNAM ^[2,3]. *Figura 1*. Mason, en 1963 ^[4] mediante técnicas de microscopía óptica y difracción de rayos X, clasificó a Pácula, como una condrita clase química L tipo 6 ^[5]. Es una meteorita brechoide compuesta principalmente por olivino, piroxeno, feldespato, hierro-níquel diseminado, troilita y cromita.

Los condros se clasifican en varios grupos basado en la textura y las características químico-minerales. En este trabajo se estudiaron los condros de la meteorita Pácula, caracterizando su composición química, textura, forma y tamaño.



Figura 1. Fragmento de la meteorita Pácula, condrita ordinaria L6, de 1,505 g a la izquierda la parte externa, se observa su costra de fusión de color oscuro, formada al cruzar la atmósfera de la Tierra y del lado derecho se observa su parte interna con color claro y partículas metálicas diseminadas y clastos y vetas de material fundido.

3. Condiciones Experimentales

Se prepararon dos secciones pulidas de la meteorita Pácula para ser estudiadas bajo el microscopio óptico de luz transmitida y luz reflejada, posteriormente se observaron en el microscopio electrónico de barrido Zeiss EVO MA10. El instrumento fue operado con un voltaje de aceleración de 15 kV, un detector de electrones retrodispersos y una distancia de trabajo de 9 a 12 mm.

4. Resultados y discusión

La mayoría de los condros en la meteorita Pácula no son esféricos, una cantidad importante se presentan como fragmentos y otros están moldeados alrededor de otro y



otros no se fundieron lo suficiente para que la tensión superficial los redondeara. Se observan notoriamente dos grupos de tamaños, uno de $0.395 \mu\text{m}$ a $0.661 \mu\text{m}$ y otro de 1.005 mm a 2.136 mm .

Su composición es principalmente olivino, piroxeno y plagioclasa, algunos presentan inclusiones metálicas (hierro-níquel) y algunos otros presentan vetas de cromita. No se observan completos, solo fragmentos de lo que fueron condros barrados de olivino y criptocristalino de piroxeno. *Figura 2*, la mayoría no presentan bordes bien definidos, se observa que se han integrado a la matriz debido al metamorfismo que presenta la clase L, por el calentamiento ocasionado en el cuerpo planetesimal del que provienen, como se observa en las figuras de condros aquí presentadas.

Los condros presentan intenso fracturamiento, algunos en una dirección y otros en varias direcciones. La presencia de vetas de cromita y el intenso fracturamiento son características de choque [6].

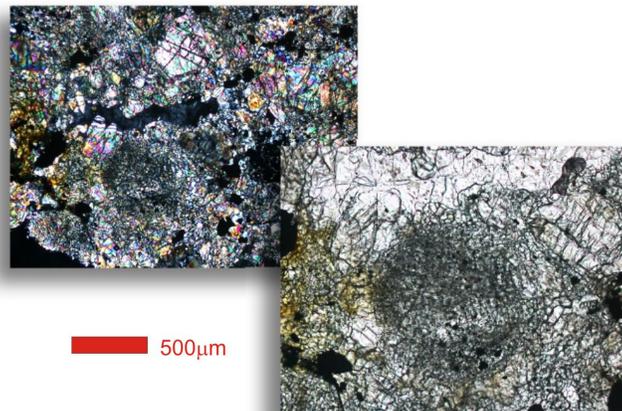


Figura 2. Condro criptocristalino rodeado de un cristal de fosfato (imagen de microscopio óptico)

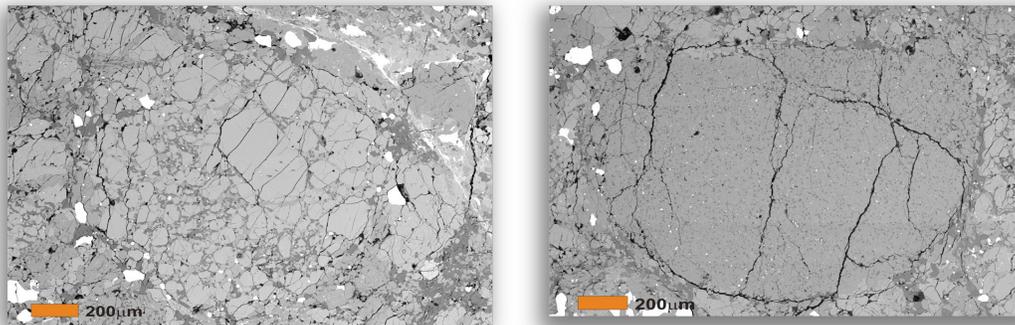


Figura 3. Condros de tipo porfídico de olivino con límites muy difusos

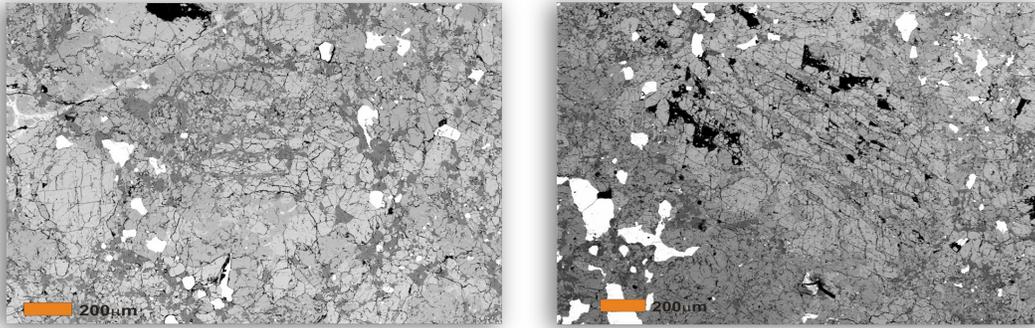


Figura 4. Condros de tipo BO (barrados de olivino) con límites muy difusos

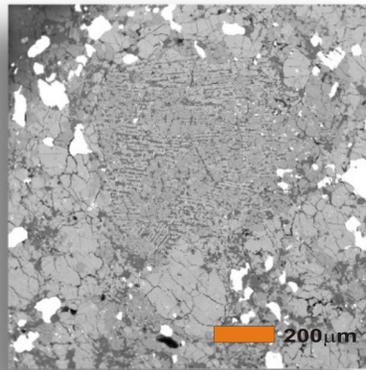


Figura 5. Condro de tipo radial de piroxena con límites difusos

5. Conclusiones

Los condros en esta meteorita son de gran tamaño, característico de las meteoritas clase L y varían en dos rangos: de $0.395 \mu\text{m}$ a $0.661 \mu\text{m}$ y de 1.005 mm a 2.136 mm .

Permanecen relictos de condros barrados de olivino y condros criptocristalinos de piroxeno.

6. Bibliografía

1. <https://nau.edu/cefnslabs/meteorite/about/chondrules-and-the-origin-of-meteorites/>
2. Ángeles G., S. Estudio mineralógico de la meteorita Pácula. Acta Microscópica, Vol 19, No. 1, pp 44-50 (2010).
3. Sánchez-Rubio, G. Las Meteoritas de México, Catálogo UNAM 1-85. (2001).



4. Van Schmus R. W., Wood J. A. A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites, *Geochim. Cosmochim. Acta* V. 31, p.p. 747-765 (1967).
5. Mason B. "Olivine composition in chondrites". *Geochim. Cosmochim. Acta* V. 27, p.p. 1011-1024 (1963).
6. Rubin A. Chromite-plagioclase assemblages as a new shock indicator: Implications for impact heating of ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta* V. 66, p.p.3327-3337 (2003).



Red de monitoreo de gases (SO₂) en el volcán popocatepetl

Mario Alberto Díaz Cruz ■ Hugo Delgado Granados

Instituto de Geofísica.

Universidad Nacional Autónoma de México.

madiaz@geofisica.unam.mx

1. Resumen

Se presentan los resultados del trabajo realizado durante dos años para la conformación de una red de instrumentos para el Instituto de Geofísica de la UNAM, dentro del proyecto global llamado NOVAC, que realizan monitoreo de gases (SO₂) a una altura máxima de 4100 m.s.n.m., es decir, en las partes altas del volcán Popocatepetl, que transmitan los datos en tiempo real a través de telemetría.

2. Introducción

El Popocatepetl es uno de los volcanes más activos de México, se encuentra aproximadamente a una distancia de 40 km de la Ciudad de Puebla y 65 km de distancia de la Ciudad de México, las cuales tienen alta densidad poblacional. Actualmente su actividad es moderada, pero constante, con emisión de fumarolas, compuestas de vapor de agua, gases y repentinas e imprevistas emisiones de ceniza y material volcánico. La observación y análisis de las señales volcánicas, entre ellas la emisión de gases SO₂ en particular han sido una de las herramientas utilizadas para estudiar el comportamiento y la evolución de la actividad magmática en volcanes tales como el Mt. Santa Helena, el volcán Izu Oshima, el Mt. Merapi, el Mt. As. Un proyecto global llamado La Red de Observación de Cambios Atmosféricos y Volcánicos (NOVAC por sus siglas en inglés) se encarga del monitoreo de gases volcánicos de diferentes volcanes alrededor del mundo. La información de la red se utilizará principalmente para evaluación de riesgos volcánicos, pero, también para investigación geofísica, estudios de cambios atmosféricos y validación en tierra de instrumentos satelitales. Diferentes instrumentos y técnicas son usados para el estudio de fenómenos volcánicos, tales como actividad sísmica, cambios geoquímicos y deformación de tierra. Indicando los almacenamientos y la liberación de los magmas volátiles, la emisión de gases volcánicos se encuentra entre los parámetros utilizados



para comprender y pronosticar la actividad volcánica. En particular, la alta resolución temporal de SO₂ monitoreado sobre tiempos largos de escala puede proveer una señal de la presencia, volumen y un rango ascendente/descendente de los cuerpos de magma antes, durante y después de erupciones [Symonds et al. 1994]. La emisión de gases tiene un gran impacto ambiental a nivel local [Baxter, 1990; Delmelle et al., 2002] regional y global [Halmer et al., 2002; Robock, 2002; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007]. Espectroscopia de Absorción Óptica Diferencial (DOAS por sus siglas en inglés) es una importante herramienta para investigación atmosférica y el monitoreo. Desde su introducción en 1970's DOAS usando fuentes de luz artificial, se han aplicado para el monitoreo de un gran número de gases traza, tales como, NO₂, NO, HCHO, SO₂, O₃, CS₂ y muchos hidrocarburos aromáticos.

3. Metodología

Se establece una red ideal de cuatro instrumentos DOAS instalados en las cuatro vertientes del volcán equidistantes del punto de emisión y ubicados sobre líneas radiales al mismo separadas entre sí en ángulos de noventa grados, a una altura de entre 3900-4100 m.s.n.m, estableciendo comunicación directa al Instituto de Geofísica en Ciudad Universitaria al sur de la Ciudad de México, mediante telemetría, almacenando datos en una computadora dedicada exclusivamente para esa tarea. La red de telemetría del volcán Popocatepetl están comprendidas por: 1. La caja electrónica integrada a su vez, por el espectrómetro, la computadora integrada, el timer, el radiomodem, el controlador de carga y la batería; 2. Antena Yagui. 3. El panel solar. 4 Telescopio. 5 Una fibra óptica. 6 Receptor GPS. Las imágenes de la figura 1 muestran como esta conformado el instrumento.

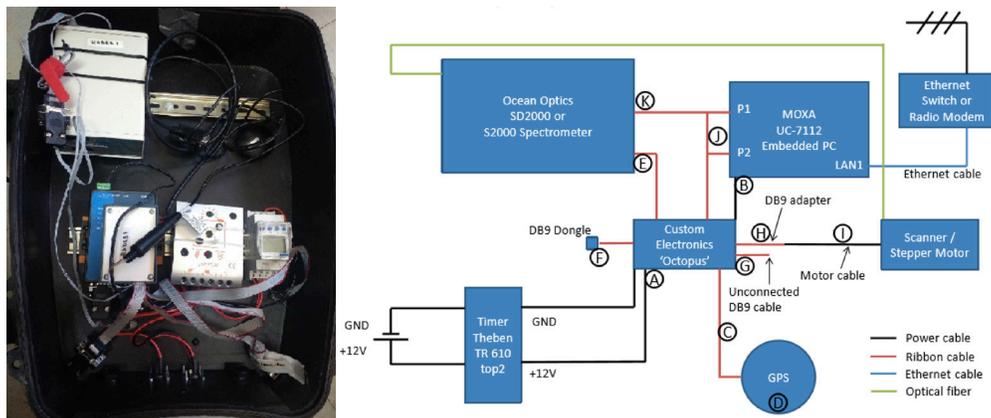


Figura 1. En la imagen de la izquierda se aprecia parte del equipo utilizado. En la imagen de la derecha se muestra un esquema completo del instrumento y su conexión entre las partes que lo componen.



El telescopio colecta la luz ultravioleta dispersa por los aerosoles y moléculas de la atmósfera. La fibra óptica transfiere la luz del telescopio al espectrómetro. El espectrómetro detecta luz ultravioleta y la digitaliza, es decir, realiza los espectros para un análisis posterior. La computadora embebida recoge los espectros y gestiona la comunicación vía radio modem para su transmisión en tiempo real. En la figura 2 se muestra el funcionamiento de lo antes mencionado.

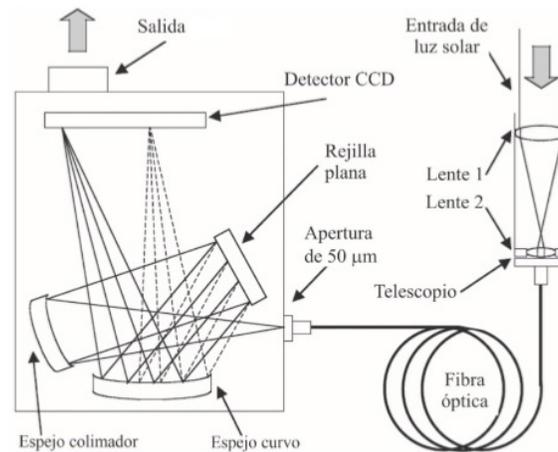


Figura 2. Esquema general del funcionamiento óptico del instrumento.

Los requisitos que debe cumplir la Computadora que se encarga de almacenar y presentar en pantalla los datos obtenidos del muestreo deben ser:

- CPU con Pentium III 550 MHz o mayor.
- Memoria de 64 MB o mayor.
- Sistema Operativo Windows.
- Resolución de pantalla 1024x768 pixeles o mayor.

El software utilizado se trata de uno desarrollado por el proyecto NOVAC llamado de la misma manera, esto se puede observar en las imágenes de la figura 3.

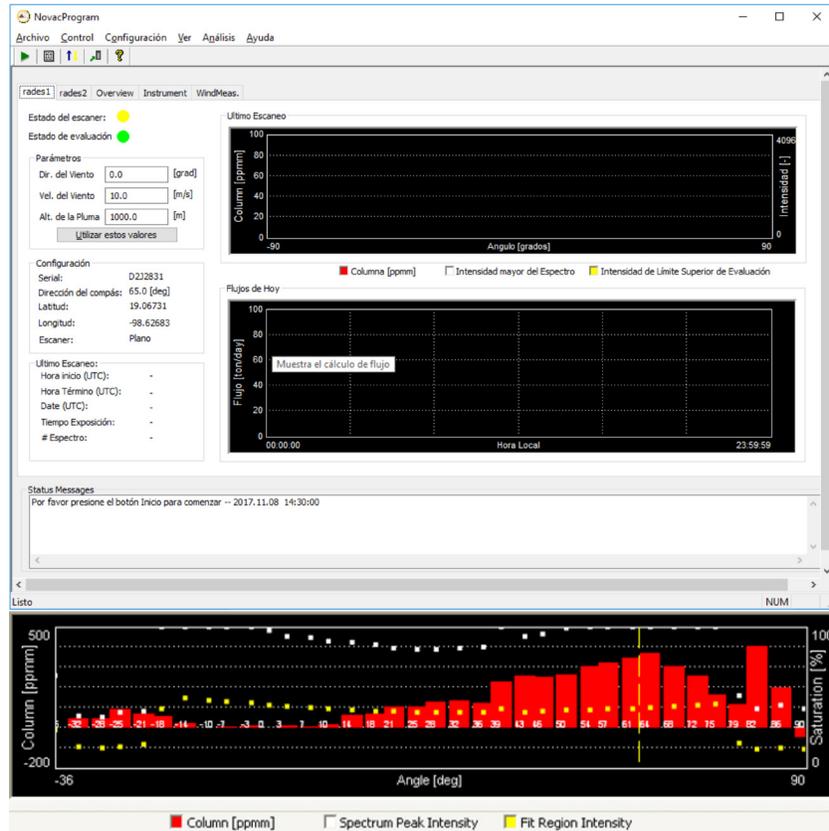


Figura 3. Se muestra el software desarrollado para el instrumento y la representación gráfica de un espectro realizado.

La red se dividió en dos, la parte Este que queda al volcán (NE,SE) y la parte Oeste(C.Blanca,SW), tal como se muestra en las imágenes de la figura 4. La estación IGF se refiere a la que concentrará los datos de todas las estaciones y que se ubica en el Instituto de Geofísica, la estación marcada como Atlimeyaya se encuentra del lado Este para recibir los datos de las estaciones que se encuentran en ese sector.

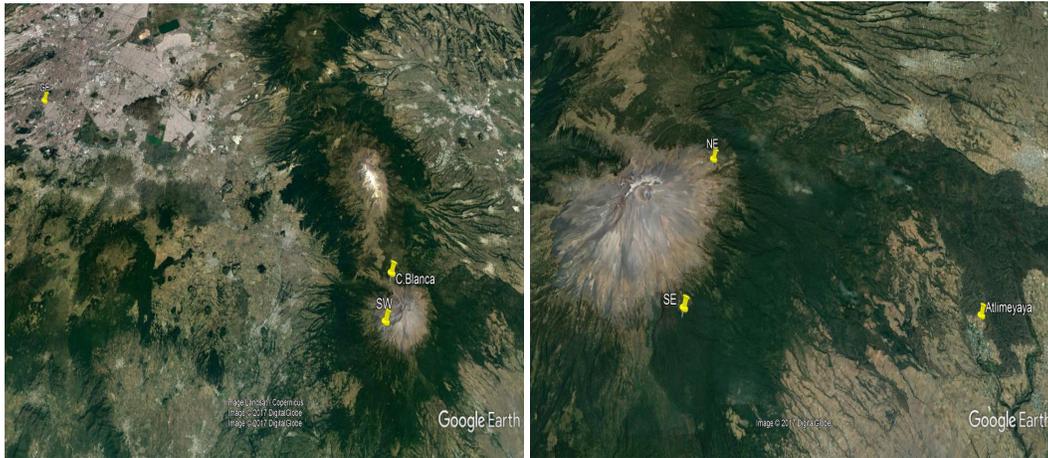


Figura 4. Se muestran las ubicaciones de la red de monitoreo que se pretende instalar, así mismo de las estaciones receptoras.

4. Resultados

De la idea original, al momento se tienen instalados cuatro instrumentos, es decir, cuatro estaciones, de las cuales tres se encuentran posicionadas en las vertientes del volcán, equidistantes del punto de emisión y ubicadas sobre líneas radiales al mismo separadas entre sí en ángulos de noventa grados, el cuarto se colocó en la parte Oeste del volcán, en un lugar conocido por nosotros como Juncos, hecho esto, lo que se pretende es ampliar aún más la red, colocando uno a 180° de este último, es decir, ubicado franco al Este del volcán, conformando así una red con un mayor número de instrumentos o estaciones. En las imágenes de la figura 5 se muestra la instalación de una de las estaciones colocadas en los puntos antes mencionados.



Figura 5. En las imágenes se muestra a grandes rasgos el proceso de instalación del instrumento y como queda completa la estación una vez terminados los trabajos.

5. Conclusiones

El objetivo inicial de formar una red con cuatro instrumentos se está superando, hoy se pretende tener una red con cobertura mayor, rodeando el volcán con seis instrumentos; dividiéndola una por la parte Este y otra en la parte Oeste, registrando, procesando y analizando datos de las estaciones; trabajando en el mantenimiento preventivo y correctivo, así como verificando la correcta operación de las estaciones instaladas y poniendo en marcha las estaciones por instalar. Hay que recordar que los instrumentos son colocados en la parte alta de la montaña, por lo tanto, se debe estar en buenas condiciones físicas para realizar los trabajos de reconocimiento del terreno, posteriormente instalación y mantenimiento, este último se dificulta aún más por las condiciones climatológicas que existen en los sitios a la altura antes mencionada. El mantenimiento debe realizarse al menos una vez cada mes, se deben realizar las siguientes acciones:



- Mantener las partes mecánicas libres de ceniza para evitar se traben (telescopio).
- Mantener los componentes eléctricos libres de ceniza, entre ellos motores, tarjetas electrónicas y baterías.
- Se deben limpiar paneles solares, aberturas y/o lentes de telescopios.
- Revisar visual y mecánicamente conexiones, conectores y cables.
- En la red Este se deben recolectar los datos cada quince días al menos y revisar la operación del equipo en la montaña.

Esta conformación de la red no es exclusiva para el volcán Popocatépetl, sino, que ella puede adaptarse a cualquier volcán.

6. Bibliografía

- Galle, B.; Oppenheimer, C.; Geyer, A.; McGonigle, A.; Edmonds, M. (2003). A miniaturised ultraviolet spectrometer for remote sensing of SO₂ fluxes: a new tool for volcano surveillance. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 119, pp. 241-254.
- Lizzette A. Rodríguez, Patricia Nadeau, “Resumen de las principales técnicas de percepción remota usadas en volcanes para monitorear las emisiones de gas en la superficie”, *Revista Geológica de América Central*, 52: 67-105, 2015.
- Rosalba A. Chávez, Soraya A. Niño, “Red de telecomunicación para monitorear el volcán Popocatépetl “, UNAM, 2009.
- Santiago A., Christoph K. “Novac Station User Manual” Optical Remote Sensing Group, Department of Radio and Space Science, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2016.
- Bo Galle, Hugo D., et al. “ Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change “, D05304:1-19, 2011.
- “Frewave Spread Spectrum Wireless Data Transceiver User Manual “, Freewave Technologies Inc., USA.
- “SOLAR CHARGER CONTROLLER 12V/24V-30A-4DIP Instruction Manual”.
- “Operation Manual, EPSOLAR Solar Charge Controller”, ViewStar series, USA.
- “Manual usuario SSPBLV4”, Soporte de poste y torre para módulo solar, EPCOM Industrial, México.



Nuevos datos petrográficos y mineralógicos de la Meteorita Rancho Blanco, condrita L6

Adela Margarita Reyes Salas ■ Sonia Blanca Ángeles García ■ Eugenio Octavio Reyes Salas
 Consuelo Macías Romo ■ Leticia Araceli Alba Aldave ■ Fernando Ortega Gutiérrez

Instituto de Geología.
 Universidad Nacional Autónoma de México.
 adelars@hotmail.com

1. Resumen

Como un nuevo aporte al estudio de las meteoritas mexicanas se presentan nuevas investigaciones de la meteorita Rancho Blanco encontrada en el Pueblito de Allende, Chihuahua, México, la cual pertenece al grupo de condritas ordinarias L6. Se presentan las características de su matriz que es microcristalina, constituida por los silicatos olivino, piroxena y plagioclasa y sus fases accesorias: metales, cromita, troilita, apatita; se reporta por primera vez para esta meteorita su metamorfismo de impacto dado que contiene una gran cantidad de vetillas de material fundido que atraviesan toda la muestra; extinción ondulante en todos sus minerales; bolsas de fundido de amplitud variable; intercrecimientos eutécticos de las fases metálicas con textura de plessita; kamacita policristalina; y esferas formadas por intercrecimientos de metal Fe-Ni y troilita contenidas en las vetas y bolsas de fundidos. Características que indican efectos de presión de choque de al menos 15-20 GPa.

2. Introducción

Las meteoritas son objetos que constantemente caen a la Tierra procedentes del espacio interplanetario y su estudio es fundamental para comprender el origen y evolución del sistema solar. De manera general las meteoritas se pueden dividir en tres grupos: metálicas (constituídas principalmente por metales de hierro y níquel), pétreas (predominan los silicatos) y mixtas (metálicas-pétreas en similar proporción); Las condritas ordinarias (meteoritas pétreas), son las más comunes, constituyen alrededor del 79% de las caídas en la Tierra, a su vez se dividen en tres principales grupos de acuerdo a su composición química: H, L, LL. Las meteoritas en general conservan un registro en sus minerales y texturas por



choque y fusión debido a colisiones entre sus cuerpos de origen. La presencia de vetas y bolsas con material fundido y minerales de alta presión evidencian el metamorfismo de impacto^[1] además de las microestructuras en los metales de hierro-níquel (kamacita, taenita y tetraedrita) y en la troilita (sulfuro de hierro)^[2]. La meteorita Rancho Blanco, condrita ordinaria L, fué un hallazgo en 1983, a 6 km al Oriente del Pueblito de Allende, Chihuahua (26°59'N, 105°16'W), pertenece al grupo de las meteoritas pétreas, es una condrita ordinaria (presenta condros: objetos esféricos) que es clasificada como clase química L por su contenido de silicatos de olivino e hipers-tena además de sus componentes metálicos en proporción que varía entre 7 y a 12% ya que sus olivinos tienen una composición molar de Fe_2SiO_4 que varía entre 23.8 y 25.8 % y es de tipo petrológico 6 (por su grado de metamorfismo o recristalización)^[3]. Esta meteorita pertenece a la colección de meteoritas del Instituto de Geología de la UNAM; es un fragmento de 169.7g; sin corteza vítrea y un primer estudio petrológico-mineralógico la caracteriza con textura granoblástica con áreas pequeñas de material criptocristalino, menos del 1% de cristales muy pequeños de plagioclasa, condros barrados y excentroradiales con bordes difusos y extinción ondulante en todo el material cristalino^[4]. En este estudio reportamos nuevos datos texturales y de composición, se investiga la matriz microcristalina, sus minerales opacos y características de choque de esta meteorita; no estudiadas en estos aspectos anteriormente.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

Los estudios de esta meteorita se han realizado sobre una sección delgada utilizando un microscopio electrónico de barrido Zeiss modelo MO 10 con un microanalizador elemental de rayos X EDS marca Bruker. Las condiciones de trabajo fueron 15 kV de voltaje de aceleración con 30 segundos de adquisición de rayos X. Las imágenes fueron obtenidas con electrones retrodispersos. Se trabajó con presión variable.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Petrografía y mineralogía

Observaciones texturales

En la muestra no hay evidencia de alteración terrestre excepto porque la muestra ya no presenta costra de fusión pero no hay fragilidad ni oxidación al interior de la roca.

La matriz es criptocristalina consiste principalmente de los minerales olivino, piroxena y plagioclasa, con tamaños variables entre 5 y 150 μm , se ha reportado que todos sus minerales presentan extinción ondulante^[4]; la mayoría se observan rodeados



y atravesados por vetillas de material fundido $< 1 \mu\text{m}$; los minerales metálicos y opacos se encuentran dispersos en la matriz, son de tamaños variables ($22\text{-}183\mu\text{m}$) (Figura 1). Los condros contenidos en la matriz microcristalina no son muy abundantes (menos del 5% en volumen) sus bordes no son bien definidos; son principalmente del tipo de enrejado, excentrorradial y criptocristalinos y sus tamaños entre $300\text{-}1800\mu\text{m}$; algunos condros presentan un fracturamiento irregular y disposición de sus componentes en diferentes direcciones lo que puede ser consecuencia de metamorfismo de impacto. (Figura 2).

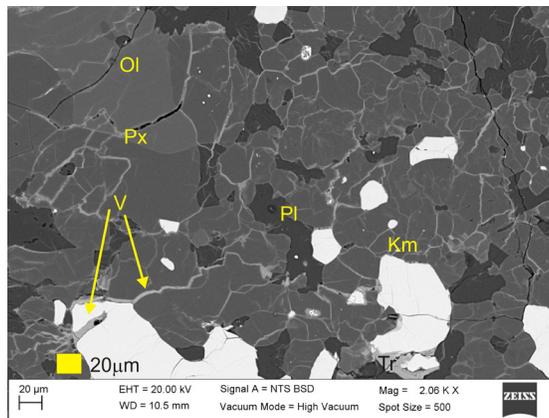


Figura 1. Matriz criptocristalina con vetillas V que rodean y atraviesan los diferentes minerales, Ol (olivino); Px (píroxena); Pl (plagioclasa) en tonos blancos son los metales Km (kamacita) y sulfuros Tr (troilita). Imagen con microscopio electrónico de barrido (MEB) y electrones retrodispersos.

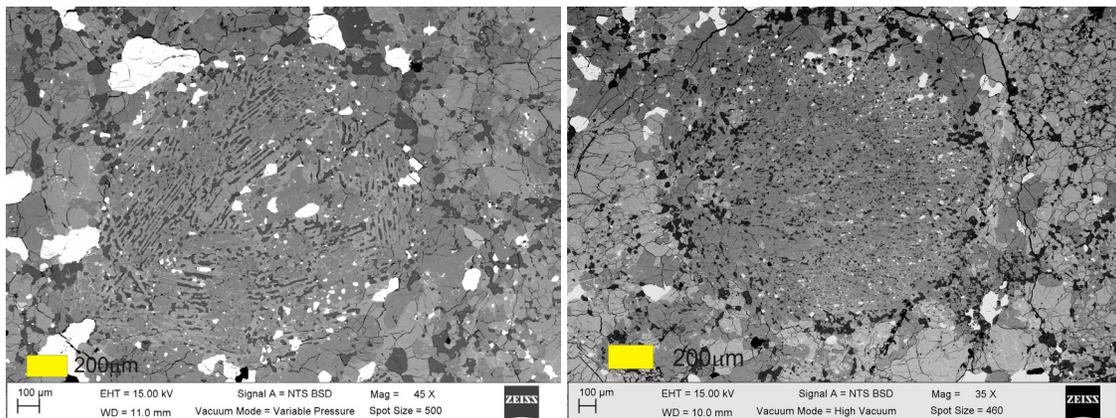


Figura 2. A la izquierda condro de tipo excentrorradial formado por cristales de olivino y piroxena en grupos de cristales alargados dispuestos en diferentes direcciones. A la derecha condro microcristalino con fracturamiento. Imágenes con microscopio electrónico de barrido (MEB) y electrones retrodispersos.



Es común observar en contacto con los silicatos y metales bolsas de material fundido de amplitud variable (30-1064µm), se encuentran diseminadas en la matriz. Estas áreas de fundido contienen clastos de silicato y minerales opacos parcialmente absorbidos así como esferas de metales de fierro-níquel y troilita que presentan texturas inusuales (Figura 3 y 4) posiblemente porque debido al choque hubo fusión y mezcla de los metales kamacita y taenita con la troilita (sulfuro de hierro).

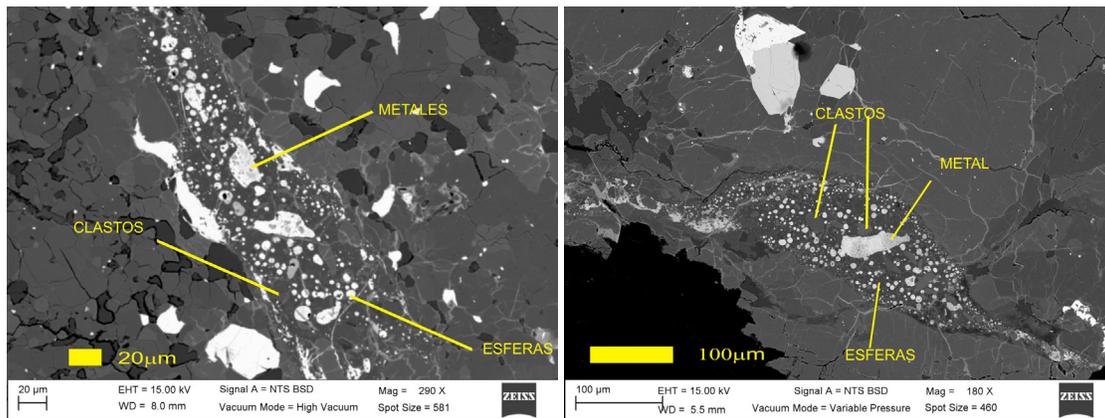


Figura 3. Ambas imágenes muestran vetas y bolsa de material fundido con amplitud variable (20-100 µm), las áreas de fundido contienen clastos de silicatos (olivino, piroxena y plagioclasa) y minerales opacos parcialmente absorbidos así como esferas de metales de diferentes mezclas de fierro-níquel y sulfuros. Imágenes con microscopio electrónico de barrido (MEB) y electrones retrodispersos.

Son abundantes las esferas micrométricas (1-12 µm) de metales y sulfuros en distintas proporciones de S, Fe y Ni indicando su fusión (Figura 4) (Tabla 1), estas esferas son heterogéneas en composición, observadas con electrones retrodispersos en el microscopio electrónico de barrido (Figura 4), los tonos blancos corresponden a los metales de fierro-níquel y los grises a sulfuros pero en proporciones diferentes a los minerales previos a la fusión. La presencia de estas esferas formadas dentro de las vetas y bolsas de fusión, indica fusión parcial arriba de 950°C [5]

Tabla 1. Análisis representativos por energía dispersiva de rayos X (EDS) de composición de las esferas contenidas en las bolsas y vetas de fusión

% en peso	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6
Fe	85.73	74.76	91.83	60.89	53.73	56.74
S	8.87	21.81	2.22	39.11	44.12	39.40
Ni	5.40	2.57	5.95		2.15	3.36
Total	100	100	100	100	100	100

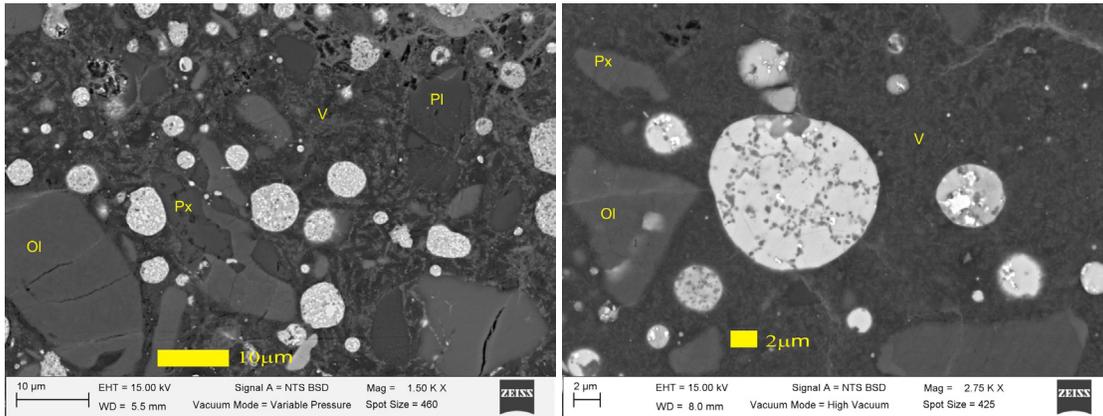


Figura 4. Interior en bolsas de material fundido mostrando características texturales de esferas de metales con sulfuros. Los tonos blancos de las esferas corresponden a composiciones de hierro-níquel y los tonos grises a y sulfuros, clastos de silicatos: Ol (olivino); Px (píroxena); Pl (plagioclasa) redondeados y contenidos en vidrio devitrificado (V). Imágenes con microscopio electrónico de barrido (MEB) y electrones retrodispersos.

Otra textura interesante en esta meteorita es la kamacita policristalina formada por granos equiaxiales con intersecciones alrededor de 120° como la que presentamos en la Figura 5, pudo haberse formado por enfriamiento después de choque [2]

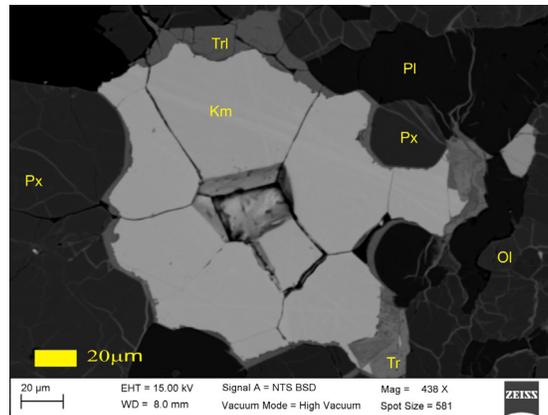


Figura 5. Al centro de la imagen en color claro es mineral policristalino de kamacita (Km) (Fe-Ni), rodeado de sulfuros (tr) y silicatos que muestran vetillas de material fundido Ol (olivino); Px (píroxena); Pl (plagioclasa). Imágenes con microscopio electrónico de barrido (MEB) y electrones retrodispersos.

La plessita es una textura formada por una mezcla de kamacita y taenita con tetrataenita producida por la descomposición de taenita^[6]; es evidencia de fusión eutéctica^[1] Rancho Blanco presenta esta típica plessita (Figura 6) (Tabla 2)

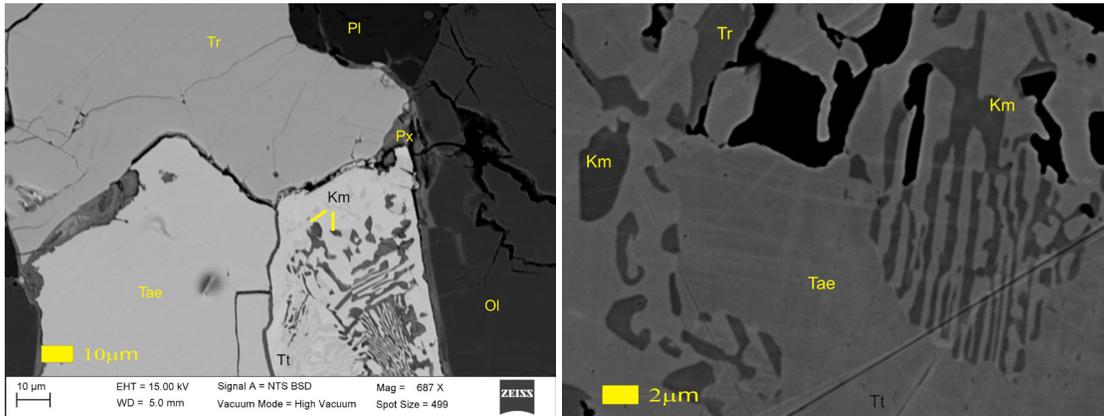


Figura 6. En la parte central de la imagen izquierda e imagen de la derecha, muestran minerales opacos eutécticos en textura llamada plessita. Kamacita (Km); Taenita (Tae); Tt(tetraenaite); Tr (troilita). Imágenes con microscopio electrónico de barrido (MEB) y electrones retrodispersos.

Tabla 2. Análisis representativos por energía dispersiva de rayos X (EDS) de los diferentes minerales que forman la textura plessita

% en peso	Kamacita	Km	Taenita	Taenita	Tetraenaite	Tetraenaite
Fe	93.10	93.25	70.94	69.81	55.07	56.09
Ni	6.41	5.73	28.32	29.87	44.89	43.05
Co	0.48	1.01	0.74	0.29	0.14	0.07
total	100	100	100	100	100	100

5. CONCLUSIONES

La meteorita Rancho Blanco se caracteriza por su matriz microcristalina constituida por los silicatos olivino, piroxena y plagioclasa los cuales presentan fracturamiento y vetillas de material fundido que rodean y les atraviesan. Las siguientes características presentes en esta meteorita indican efectos de presión de choque de al menos 15-20 GPa que corresponden a S3 a S4 en el esquema de Stöffler^[1]: Extensión ondulante en todos sus silicatos. Contiene vetas y bolsas de fundido de amplitud variable. Los condros presentan un fracturamiento irregular y disposición de sus componentes en diferentes direcciones. Algunos granos dispersos en la matriz presentan intercrecimientos eutécticos de las fases metálicas formando texturas de plessita. Kamacita con crecimiento policristalino. Esferas formadas por intercrecimientos de metal Fe-Ni y troilita contenidas en las vetas y bolsas de fundidos.



6. Bibliografía

1. Stöffler, D., Keil, K., Scott, E., Shock metamorphism of ordinary chondrites, *Geochim. Cosmochim. Acta*. V. 55, 3845-3867 (1991).
2. Bennett, M., McSween, H., Shock features in iron-nickel metal and troilite of L-group ordinary chondrites, *Meteoritics & Planetary Science*. V. 31, 255-264 (1996).
3. Sánchez-Rubio, G., *Las Meteoritas de México*, Catálogo UNAM 1-85. (2001).
4. Sánchez-Rubio, G., Matsui, T., New meteorite finds in the Allende area, México. (resumen) 13° Simposio sobre meteoritas, National Institute of Polar Research, Tokyo, p. 15 (1988).
5. Heymann, D., On the origin of hypersthene chondrites: Ages and shock effects of black chondrites. *Icarus* V. 6, 189-221 (1967).
6. Massalski, T., Park, F., Vassamillet, L., Speculations about plessite. *Geochim. Cosmochim. Acta*. V. 56, 649-662 (1966).



Síntesis y caracterización de un copolímero de imida-triazina con resistencia, para su aplicación en la ametralladora de fabricación nacional.

Erick Felipe Cen Álvarez ■ Daniel Guzmán Morales ■ Norma Angélica Noguez Méndez
Alejandro Rubio Martínez ■ Carlos Tomás Quirino-Barrera

Departamento de Sistemas Biológicos.
Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco
nanoguez@correo.xoc.uam.mx

1. Resumen

La finalidad de este trabajo fue proponer una ruta de síntesis de un copolímero a base de imida-triazina para la obtención de un copolímero con resistencia térmica superior a 500°C determinado por análisis termogravimétrico, con una descomposición al 80% a una temperatura de 800°C y con un peso molecular viscosimétrico promedio de 30607.829 ± 1947.01 Dalton con el objetivo de apoyar la investigación de materiales poliméricos a cargo de la Dirección General de Industria Militar para el diseño y desarrollando un prototipo de una ametralladora ligera

2. Introducción

Ante los retos que enfrenta el país en la economía de la sociedad del conocimiento, es necesario generar tecnología propia que nos permita tener una independencia. Tal es el caso particular, del armamento que se emplea en la milicia, México a la fecha tiene dependencia tecnológica con el extranjero en lo que respecta al armamento^[1]

Fomentar y promover la investigación es parte fundamental que el Ejército debe tener como prioridad, siendo este medio por el cual, cuente con herramientas necesarias para seguir creciendo como nación. Es por ello que la Dirección de Industria Militar se encuentra desarrollando un prototipo de una ametralladora ligera con la poliamida nylon 6,6, un plástico que posee las características como: resistencia mecánica, dureza, rigidez, elevada capacidad de amortiguación mecánica, resistencia a la fatiga, resistencia al desgaste, propiedades de deslizamiento, elevada absorción de humedad y reducida estabilidad dimensional.



Una ametralladora ligera es un arma con una cadencia de disparo, alrededor de 700 a 900 disparos por minuto, por lo que se estima que el cajón de mecanismo y el disipador de calor alcanzará temperaturas que no cualquier polímero soporta (250 a 300 °C^[2]).

El actual fusil FX-05 cal.5.56 x 45 mm, emplea una poliamida nylon 6,6 este polímero trabaja en un intervalo de temperatura de entre -40°C a los 90°C comenzando su descomposición molecular a 268°C. Debido a estas características de esta poliamida resultaría un polímero poco eficiente para las piezas que se emplearán en las partes de la ametralladora, que provocaría un rápido desgaste y una reducida vida útil de los elementos plásticos y su constante mantenimiento. Lo anterior incrementaría el costo de mantenimiento al ser esta más frecuente, o bien fallas de operación que puede repercutir en el empleo táctico del mismo. Con base en lo anterior el propósito de este trabajo fue sintetizar y caracterizar un copolímero de la familia de las poliimidaz^[3] cuya principal característica es su resistencia mecánica y estabilidad, incluso a altas temperaturas.

El estudio de las características fisicoquímicas así como de la caracterización de estos polímeros, ayudará a identificar que tipo de plástico es más conveniente utilizar en la fabricación de las piezas de una ametralladora ligera de fabricación nacional.

3. Condiciones Experimentales

La base de sustento para la síntesis del copolímero imida-triazina se rige en la conformación estructural de los monómeros diimida y tricloro, debido a que de estos dependen las propiedades mecánicas, transición vítrea, cristalinidad, procesabilidad y la estabilidad térmica del copolímero^[4].

3.1.1 Síntesis del monómero tri-(cloro etil) isocianuro

El monómero tri (cloro etil) isocianurato se sintetiza básicamente a partir de 1,3,5-tris(2-hydroxyethyl)isocyanurate (THEIC) y de cloruro de tionilo SOCl_2 , ver fig. 1

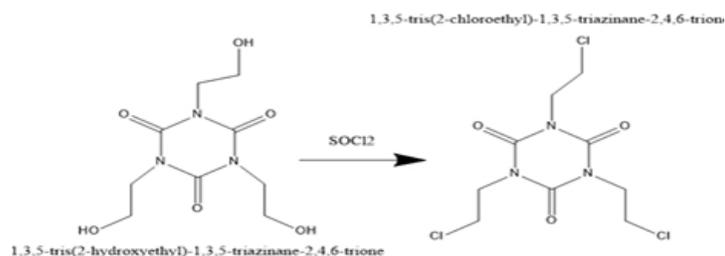


Figura 1.0. Síntesis de monómero tri (cloro etil) isocianurato a partir de THEIC y cloruro de tionilo.



3.1.2. Síntesis del monómero de di-imida piromelítica.

Este monómero se sintetiza a partir de 1,2,4,5-tetracarboxylic dianhydride (PMDA) e hidróxido de amonio NH_4OH , ver fig. 2.

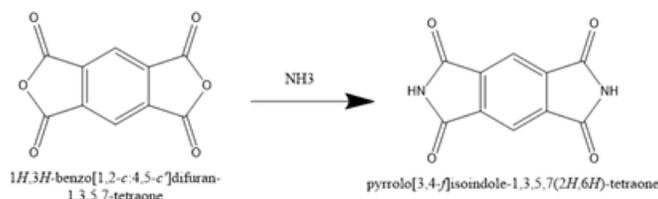


Figura 2.0. Síntesis del monómero de diimida piromelítica a partir de PMDA e hidróxido de amonio

3.1.3 Síntesis del copolímero imida – triazina.

La estrategia de síntesis del copolímero imida-triazina fue diseñada a partir de los monómeros diimida piromelítica y tri(cloro etil) isocianurato, ver figura 3. En la tabal 3 se muestran los resultados de la síntesis del copolímero.

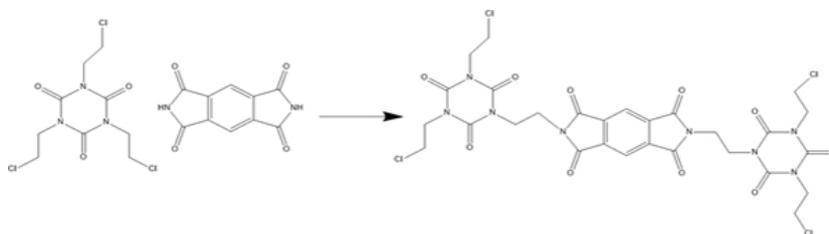


Figura 3.0. Síntesis del copolímero a partir de los monómeros sintetizados.

Tabla 3.0. Muestra las condiciones de síntesis para la obtención del copolímero imida-triazina.

Reacción	Condiciones	Observaciones	Producto
R1-10/04/18	Reacción por 12 h a temperatura de 140 a 150 °C	Solido de color café y conforme pasan las horas se torna más oscuro. Reacción completa	

3.2 Caracterización del copolímero de imida-triazina

En la determinación de las características fisicoquímicas del copolímero imida – triazina se empleó la espectrofotometría de infrarrojo (IR), calorimetría diferencial de barrido (DSC), análisis termogravimétrico (TGA) y determinación viscosimétrica del PM.



4. Resultados y discusión

4.1 Espectrometría infrarrojo (IR) del copolímero de imida-triazina

Para la verificación de que la síntesis del copolímero fue completa se determino su caracterización en un Espectroscopio FT-IR Perkin Elmer ® Espectrum RX-1 mediante barrido de 4000 a 400 cm^{-1} , el espectro infrarrojo muestra la desaparición de la banda a 3200 cm^{-1} correspondiente al enlace N-H de la di-imida, ver fig. 4.

4.2 Caracterización térmica del copolímero de imida-triazina

Se llevo a cabo la técnica de calorimetría diferencial de barrido en un equipo Perkin Elmer DSC-7 mediante calentamiento a una velocidad de 10 $^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$, en atmosfera inerte de nitrógeno, obteniéndose el termograma del copolímero imida-triazina donde no se observa descomposición alguna incluso a 380 $^{\circ}\text{C}$, ver fig. 5.

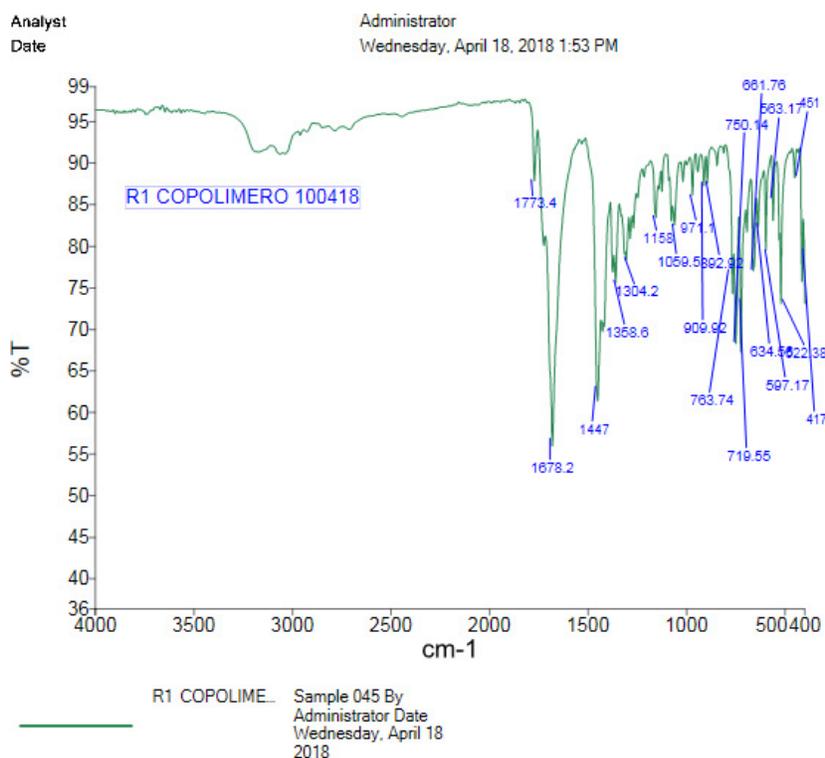


Figura 4.0. Espectro del copolímero imida – triazina.

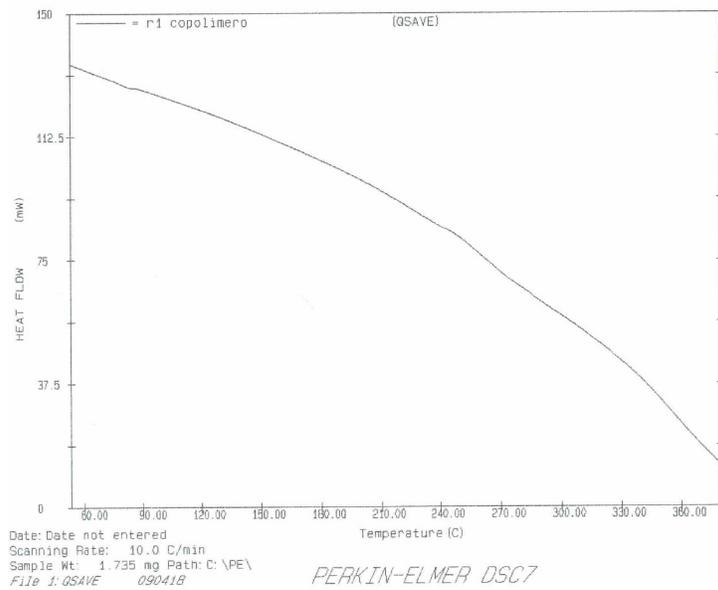


Figura 5.0. Termograma del copolímero imida triazina

4.3 Análisis termogavimetrico (TGA)

Como resultado del análisis termogravimétrico se obtienen los datos de cambio de masa con respecto a la temperatura o al tiempo y un termograma, el cual representa gráficamente las variaciones porcentuales de la masa, ver fig.6.

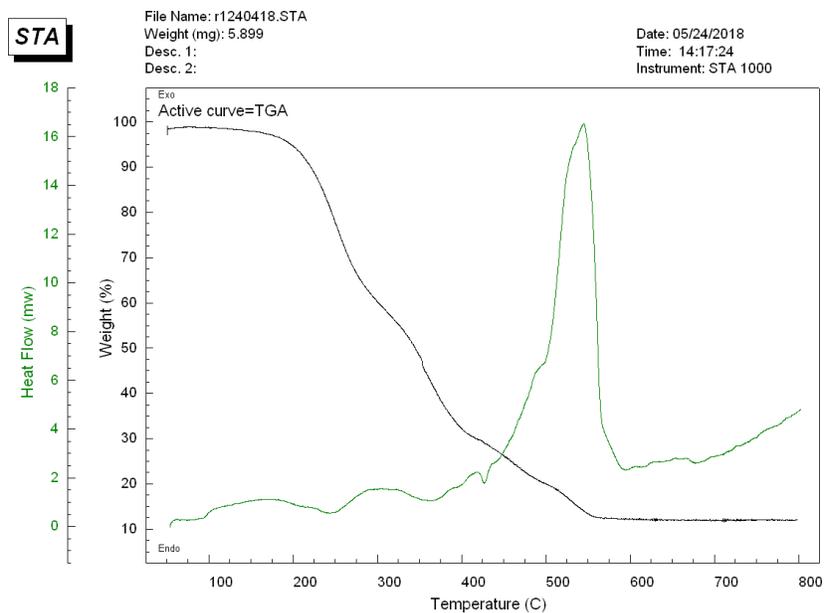


Figura 6.0. Termograma del copolímero imida- triazina



En el termograma se observa la disminución de la masa total en poco más de un 80% al elevar la temperatura a 800°C indicando descomposición térmica con formación de productos de reacción volátiles, asimismo se observa un punto de fusión arriba de 500°C.

4.4 Determinación del PM del copolímero de imida-triazina.

La viscosidad de un polímero en disolución depende de la naturaleza del polímero y del disolvente, de la distribución de pesos moleculares, de la concentración y de la temperatura. La viscosidad de un fluido se puede relacionar con el tiempo de flujo t , requerido para que un volumen determinado de disolución pase a través de un capilar por efecto de la gravedad, mediante el empleo del viscosímetro Ostwald^[5].

Se graficó la viscosidad inherente (η_{inh}) y la reducida (η_{red}) frente a la concentración del copolímero imida.- triazina en dimetilformamida de 2.5 a 10.0 mg/mL, ver fig. 7.

Con el valor obtenido de la viscosidad intrínseca promedio y a través de la ecuación de Mark-Houwink-Kuhn, donde $K = 23.30 \cdot 10^{-3} \text{ gcm}^{-3}$, y $a = 0,75$, podemos calcular el peso molecular promedio viscoso del copolímero mediante la siguiente ecuación:

$$[\eta] = K \cdot (Mv)^a$$

Una vez obtenido los resultados de las viscosidades intrínsecas es posible determinar un peso molecular viscoso promedio.

$$Mv = 30607.829 \pm 1947.01 \text{ daltons}$$

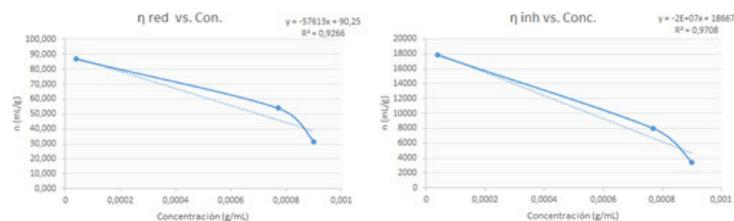


Figura 7.0. Curva η_{red} y η_{inh} vs concentración del copolimero de imida – triazina

5. Conclusiones

Se logró sintetizar un copolímero a base de imida - triazina con una resistencia térmica superior a 500°C, con una descomposición al 80% a una temperatura de 800°C y con un peso moléculas viscosimétrico promedio de 30607.829 \pm 1947.01 daltons.



6. Bibliografía

1. Palacios, E. G. Diseño de un modelo físico experimental de mecanismo de disparo para una ametralladora ligera de fabricación nacional perteneciente a la familia Xiuhcoatl (Tesis de Master no publicada). Universidad del Ejército Mexicano y Fuerza Aérea “Escuela Militar de Ingenieros (2017)
2. “Desarrollo de un prototipo de una ametralladora ligera” en el documento militar No. 57817 de fecha 15 de junio de 2016
3. Sánchez, V. Ma.E.. Tecnología de materiales. 1era. Edición México Trillas (2010)
4. López, J.R.V. Inyección de plásticos en la industria. (Tesis de Maestría, no publicada). Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. (2017).
5. Ccorahua, R. Determinación del peso molecular de los polímeros mediante el método viscosimétrico. [https://es.scribd.com/document/351957579/ Determinación-del-peso-molecular-de-los-polímeros-mediante -el-método-visco simétrico](https://es.scribd.com/document/351957579/Determinación-del-peso-molecular-de-los-polímeros-mediante-el-método-viscosimétrico) (2016).



CAPÍTULO 2

Ciencias biológicas



CIENCIAS BIOLÓGICAS

Las Ciencias Biológicas tienen como foco de estudio a los organismos vivos y todo lo inherente a los mismos, por lo que sin lugar a duda su campo de investigación es uno de los más amplios. En este siglo en que vivimos su presencia y su dominio se refleja de manera contundente en la vida cotidiana del ser humano. Así, de estas ciencias se derivan aplicaciones al sector alimentario, farmacéutico, médico, agronómico, veterinario o al manejo de recursos naturales, entre otras. Como producto de ello se han generado métodos para controlar y curar enfermedades en los seres humanos, animales y plantas, el diseño de fármacos, la generación de vacunas y se intenta incidir en la herencia controlada de genes y en el control de la natalidad.

Sus aplicaciones conciernen cada vez más a nuevos dominios del conocimiento como la reciente Ingeniería Molecular, que utiliza estrategias y tecnologías muy variadas (nuevos medios tecnológicos y nuevos protocolos experimentales); pese las restricciones de tipo social y ético, es posible ya intervenir sobre organismos vivos a nivel de sus genes, para obtener ciertas propiedades metabólicas o morfológicas permanentes y deseables. En la lucha contra el cáncer, los avances logrados hasta ahora son el resultado del desarrollo de moléculas más efectivas y del despliegue de una medicina mucho más específica y efectiva. Es aquí donde cobra importancia el desarrollo de la Industria farmacéutica.

En el presente capítulo se discuten, entre otros temas, algunos tratamientos biológicos en aguas residuales no domésticas de industrias farmacéuticas, el uso de nanopartículas para mantener a los espermatozoides criopreservados viables, la importancia de las alteraciones fisiológicas por el proceso de criopreservación que ocasionan cambios en el proceso de activación del óvulo en los bovinos, el uso de redes neuronales para la determinación del género de especies de gorriones y el estudio de la suplementación proteica en colonias de abejas.



Ensilados de *Moringa oleifera* inoculados con probióticos lácticos para alimentación animal.

Cruz Liliana Velázquez Velázquez ■ Cid R. González González ■ María del Carmen Cuevas Díaz
Areli del Carmen Ortega Martínez ■ Oswaldo Guzmán López

Facultad de Ciencias Químicas.
Universidad Veracruzana campus Coatzacoalcos, Veracruz
lilivelazquez03@gmail.com

1. Resumen

En este trabajo se estudió un inoculante con bacterias probióticas de *Bifidobacterium lactis* en ensilados de hojas del árbol de *Moringa oleifera*, y se determinó la posibilidad para utilizarse como alimento para ganado. Se realizaron ensilados con cinco diferentes tratamientos en donde se suplementaron con melaza, urea y sales. Se llevaron a cabo análisis bromatológicos para determinar el pH y los porcentajes de humedad y proteína con la finalidad de probar si la inoculación de *Bifidobacterium lactis* en ensilados de *Moringa oleifera* tiene un efecto positivo en el enriquecimiento nutricional. A los 45 días de fermentación se observó una disminución de pH que puede deberse al crecimiento de las bacterias lácticas, mientras que en el contenido proteico se encontró que el tratamiento donde se adiciona melaza y urea se favorece el porcentaje de tal forma que resultaron similares a los reportados en ensilados utilizados para engorda de toros y novillos.

2. Introducción

Una alternativa para evitar los daños causados por el método tradicional, que es el pastoreo, es la implementación de ensilados como principal fuente de alimentación para ganados de engorda y productores de leche. La conservación de forrajes a través de la henificación y el ensilaje, son prácticas tecnológicas indispensables para asegurar la buena alimentación de los animales durante la estación de menor disponibilidad de forrajes. El ensilado es una técnica que permite conservar los alimentos para el ganado y se fundamenta en una fermentación láctica de los azúcares por bacterias ácido lácticas. A través de este proceso el forraje es almacenado en tiempos de cosecha conservando la calidad



y palatabilidad, lo cual permite posteriormente tener forraje en buenas condiciones nutricionales durante la época de escases.^[1]

El forraje proveniente de árboles y arbustos, puede ser una herramienta valiosa para sustituir el pastoreo y una alternativa para la suplementación de ganado bovino disminuyendo las altas demandas de otro tipo de alimentos como lo son los granos y pastizales, disminuyendo costos y la infertilidad de suelos. Uno de estos árboles forrajeros es *Moringa oleífera* (MO), este árbol tiene la capacidad de adaptarse a diversos tipos de suelos ya sean alcalinos o ácidos; tiene ventajas como frutos nutritivos y hojas que no dejan de ser producidas en periodos donde fallan otros cultivos, por lo que genera alimento vegetal que sustituye la escasez de otros. El follaje arbóreo, por lo general presenta un alto contenido de nitrógeno y puede servir de suplemento, incrementando los niveles de proteína en la dieta, mejorando el consumo y la digestibilidad del alimento ingerido.^[2]

Las bacterias ácido lácticas (BAL) son empleadas por lo general debido a la beneficencia que otorga a la digestión de ganado bovino y estas a su vez son producto de la fermentación realizada durante el proceso de ensilaje, estas fermentan los carbohidratos hidrosolubles del forraje produciendo ácido láctico y, en menor cantidad, ácido acético. Al generarse estos ácidos, el pH del material ensilado baja a un nivel que inhibe la presencia de microorganismos que inducen la putrefacción^[1]. Dentro de las BAL se encuentra *Bifidobacterium lactis* que es una bacteria intestinal con actividad heterofermentativa, Gram positiva y anaerobia estricta. Para este trabajo se propuso utilizar una cepa probiótica de *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* (BLC1) que es utilizada por las industrias alimenticias como el ingrediente activo de varios alimentos funcionales^[3]. El objetivo de este estudio es evaluar si la interacción de *Bifidobacterium lactis* con ensilados de hojas de *Moringa oleífera* tiene un efecto en el aumento del valor nutricional de los ensilados.

3. Condiciones experimentales

3.1 Material vegetal

Se recolectaron hojas del árbol de *Moringa oleífera* con un año cultivado en un suelo de la región de Coatzacoalcos, Veracruz; que se sometieron a secado durante 72 horas a 40 °C, de acuerdo con lo reportado por Mendieta-Araica^[4].

3.2 Inóculo

El inculante probiótico fue una bacteria ácido láctica comercial, *Bifidobacterium animalis ssp. lactis* BLC 1, la cual se reactivó en caldo MRS durante 48 horas a 37°C



bajo una atmósfera de anaerobiosis mediante una jarra GASPAC, al término de este tiempo se realizó una resiembra en medio triptona caseína de soya (TPS), utilizando las mismas condiciones de crecimiento ya mencionadas y se realizó un recuento de unidades formadoras de colonias, obteniendo una concentración de 105-106 UFC/ml^[5], esta concentración se trasladó a caldo MRS, este último se utilizó para la inoculación de los ensilados.

3.3 Preparación de los ensilados

Los ensilados fueron estudiados en 5 tratamientos por triplicado y se añadieron 20 g de hojas secas de moringa, se depositaron en frascos de vidrio con tapa hermética, de iguales tamaños para cada tratamiento empleado y fueron suplementados de distintas formas para así evaluar el mejor efecto de *Bifidobacterium lactis* en lo ensilados. En la tabla 1 se presenta la composición de los tratamientos, en el cual se incluye el inóculo y los diferentes suplementos con 35% de melaza, 1% de urea y 5% de sales minerales y común.

Tabla 1. Composición de los tratamientos (T) que se analizaron bromatológicamente.

Tratamiento	<i>Moringa oleifera</i>	<i>Bifidobacterium lactis</i>	Melaza	Urea	Sales
T1	+	-	-	-	-
T2	+	+	-	-	-
T3	+	+	+	+	-
T4	+	+	+	+	+
T5	+	+	-	-	+

Los microsilos se incubaron durante 45 días a 25 °C^[4]. Pasado el tiempo determinado se realizaron los análisis bromatológicos para determinar el efecto de *Bifidobacterium lactis* en el valor nutricional de los ensilados de Moringa.

3.4 Análisis bromatológicos

Para evaluar el valor nutricional de los ensilados se le realizaron las siguientes pruebas bromatológicas: proteína por el método Kjeldahl, cenizas y determinación de fibra cuda se realizaron de acuerdo con las técnicas descritas por la AOAC: Oficial Methods of Analysis, 1990^[6]. La materia orgánica, materia seca y humedad se realizaron por métodos gravimétricos y para determinar el pH se utilizó un potenciómetro.



4. Resultados y discusión

En la figura 1 se presentan los cambios de pH de cada uno de los tratamientos, en los que se puede observar una disminución a partir de los 21 días hasta el final del tratamiento que fue de 45 días. El tratamiento 4 fue el que presentó la mayor disminución con un pH de 5.1, este contenía melaza, urea, sales y el inóculo.

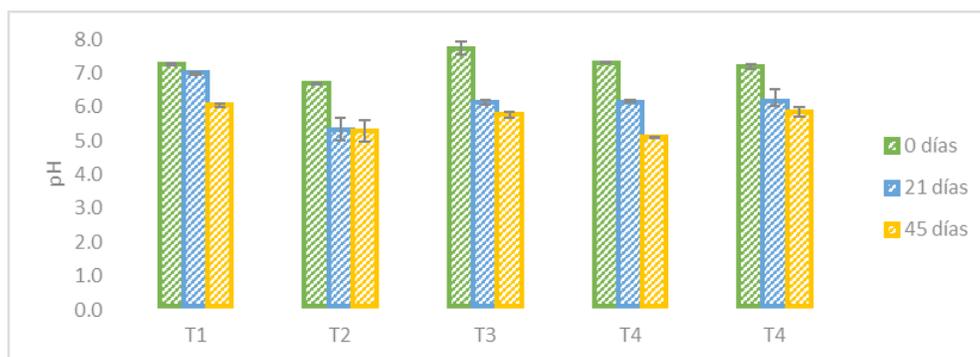


Figura 1. Valores de pH de los ensilados con *Moringa oleifera*.

Esta acidificación observada en los ensilados se debió a la presencia de *Bifidobacterium lactis* y es lo esperado debido a que el pH es un parámetro importante para del ensilaje debido a que determina la eficacia de este proceso; este mismo comportamiento lo han reportado otros autores [6].

En la figura 2 se muestran los porcentajes de humedad de los tratamientos al término de la fermentación, en los que se observa el aumento de humedad en los tratamientos suplementados e inoculados. En el caso del T1 podemos ver que su porcentaje es muy bajo y esto se debe a la falta de suplementación que existe en él.

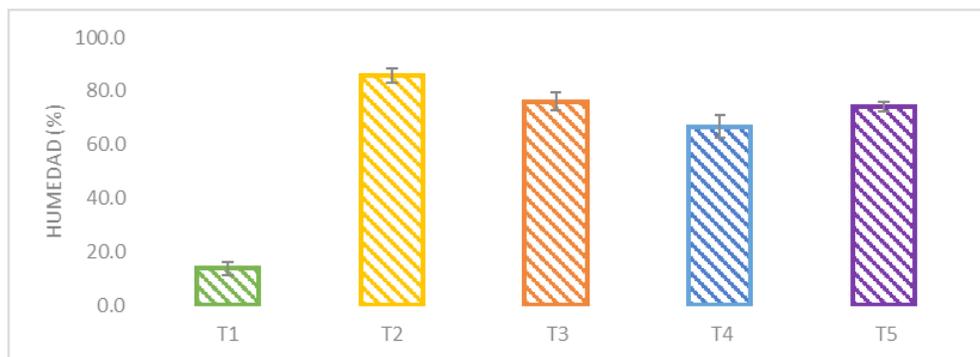


Figura 1. Porcentaje de humedad de los ensilados de *Moringa oleifera*.



Los resultados obtenidos fueron los esperados debido a la suplementación que se llevó a cabo en los tratamientos. De acuerdo con la bibliografía citada un ensilado se considera adecuado cuando la humedad es de 60-70%, punto óptimo para terminar el proceso y así evitar enmohecimiento de los ensilados [7].

En la figura 3 se presentan los porcentajes de proteína obtenidos de cada tratamiento al término del proceso de ensilaje, en los que se observa un aumento de valor proteico en los tratamientos suplementados con urea, melaza e inóculo (T3 y T4).

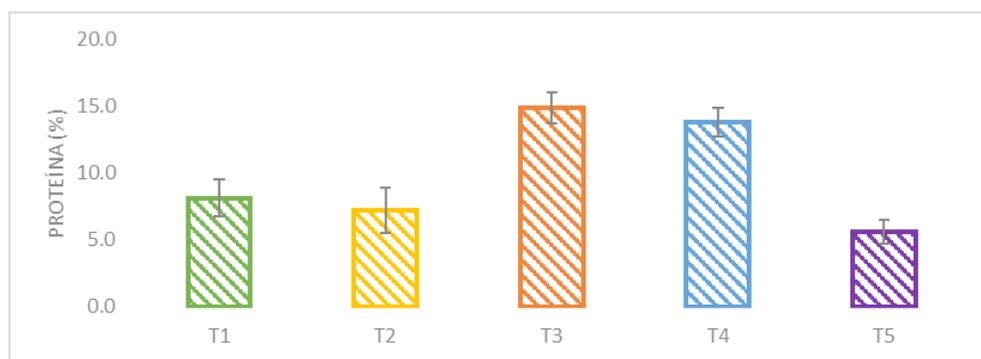


Figura 3. Porcentaje de proteína de los tratamientos, obtenidos mediante el método de Kjeldahl (1883)

Este aumento proteico observado en T3 y T4 se debe a la suplementación y el inóculo añadido a estos tratamientos. En T3 se obtuvo un porcentaje de 14.9% y en T4 se obtuvo un valor de 13.8% de proteína disponible después del proceso de ensilaje, estos tratamientos están de acuerdo con la bibliografía citada en el cual el porcentaje proteico requerido para el engorde de toros y novillos debe ser aproximado a 11.1-12.8% [8].

5. Conclusión

Se obtuvo un ensilado con *Moringa oleifera* inoculado con un probiótico láctico (*Bifidobacterium lactis*) y adicionado con urea y melaza, que presenta un contenido de proteína cercano a lo reportado para el engorde de ganado bovino. El uso de probióticos podría tener impactos positivos en la microflora del rumen, mientras que el uso de la moringa podría mejorar los rendimientos de la producción de la leche. El uso de urea y melaza como aditivos mejora el valor proteico en los ensilados, es posible que la melaza al presentar altos contenidos de azúcares disponibles permita la proliferación de *Bifidobacterium lactis* mientras que la urea mejora la digestibilidad del rumen promoviendo el crecimiento de los microorganismos probióticos.



6. BIBLIOGRAFÍA

1. Flores Nájera, M. J., Sánchez Gutiérrez, R. A., Gutiérrez Luna, R., Echavarría Cháirez F. G., (2014). Microsilos: una alternativa para pequeños productores. SAGARPA.
2. Rodríguez, R., Sosa, A., Rodríguez, Y. (2007). La síntesis de proteína microbiana en el rumen y su importancia. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(4), 303-311.
3. Bottacini, F., Dal Bello, F., Turroni, F., Milani, C., Duranti, S., Foroni, E., Ventura, M. (2011). Complete Genome Sequence of *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* BLC1 [versión electrónica]. *Journal of Bacteriology*, 193(22), 6387–6388.
4. Mendieta-Araica, B., Spörndly E., Reyes-Sánchez, N. y Spörndly, R., (2011). Feeding Moringa oleifera fresh or ensiled to dairy cows—effects on milk yield and milk flavor. *Trop Anim Health Prod* 43,1039–1047.
5. Weinberg, Z., Muck, E. R., & Weimer, P. J. (2003). The survival of silage inoculant lactic acid bacteria in rumen fluid [versión electrónica]. *Journal of Applied Microbiology*, 94, 1066-1071.
6. Zeng, B., Sun, J. J., Chen, T., Sun, B. L., He, Q., Chen, X. Y., Zhang, Y. L. & Xi, Q. Y. (2017). Effects of *Moringa oleifera* silage on milk yield, nutrient digestibility and serum biochemical indexes of lactating dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(1), 75-81.
7. Pérez R. J., Sosa R. E., Cabrera T. E. 2010. Conservación de forraje en silos rústicos: una opción para pequeños productores. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Chetumal. Centro Regional del Sureste. Folleto para Productores No. 3. 32 p.
8. Centro de estudios agropecuarios (CEA) (2001). Engorde de toros. Editorial Iberoamericana S.A. de C.V. México, D.F. Pp 15-21.



Bioprospección microbiológica en aguas residuales no domésticas de industria farmacéutica como alternativa para un tratamiento biológico.

Paola Andrea Bautista Duarte ■ Silvia Narvárez Florez ■ Laura Pramparo

Facultad de Ingeniería.

Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

u7700111@unimilitar.edu.co

1. Resumen

El impacto de las Aguas Residuales no Domésticas sobre los cuerpos de agua cada día es más preocupante puesto que, ingresan distintos contaminantes que los ecosistemas no pueden asimilar. Es así, como se inicia a mencionar a diferentes sustancias como contaminantes emergentes, tal es el caso de Analgésicos no Esteroides de venta libre. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales no se encuentran preparados para reducir este tipo de sustancias y por esto, los tratamientos de tipo biológico comienzan a tener interés. En este trabajo se realizó la bioprospección a muestras de ARnD de tres puntos en un sistema de tratamiento en una industria farmacéutica y se encontró 82 morfotipos diferentes presentes, de los cuales, el 38,9% presento alguna actividad hidrolítica; además, se encontraron 85 morfotipos que pueden ser resistentes a los AINES y el 82% de estos, los utilizan como fuente de carbono y energía.

2. Introducción

El agua es uno de los compuestos más importantes del planeta y su aprovechamiento para consumo humano, industrial, preservación de flora y fauna, está dado por las características físicas, químicas y biológicas, las cuales, pueden verse modificadas por la entrada de efluentes o escorrentía ^[1]. Históricamente, el desarrollo de la industria y centros urbanos se da cerca a cuerpos de agua para suplir el abastecimiento de la población, por lo anterior, el incremento de descargas municipales e industriales a los cuerpos de agua generan un desequilibrio en los parámetros físicos, químicos y biológicos afectando las características propias del cuerpo receptor ^[2,3]



En los últimos años ha aumentado la preocupación porque en diferentes sistemas acuáticos, están apareciendo diferentes fármacos como lo son ibuprofeno, acetaminofén, meloxicalm, entre otros, y su procedencia puede relacionarse, bien sea, por vertimiento de las Aguas Residuales no Domésticas - ARnD de la industria farmacéutica, veterinaria o en aguas domésticas por ser analgésicos de venta libre y consumo frecuente [4,5].

A nivel mundial la regulación sobre contaminantes emergentes, como son los analgésicos de venta libre, es escasa debido al desconocimiento de sus efectos sobre los ecosistemas; además que, no se tiene un inventario de todas las especies químicas que pueden estar presentes en el ambiente debido a limitaciones analíticas [6].

Las aguas residuales de la industria farmacéutica presentan diferentes compuestos complejos que pueden llegar a ser tóxicos y de difícil remoción [7]. Adicionalmente, presentan bajo nivel de biodegradación y las plantas de tratamiento de aguas residual convencionales no están diseñadas para eliminar muchos los fármacos que llegan a ellas [8]; diversos estudios muestran que compuestos como el Ibuprofeno y el Naproxeno pueden llegar hasta en un 30% a 40% a los cuerpos de agua después de que el ARnD pasó por un tratamiento en plantas de depuración convencionales [9].

Por lo anterior, se hace necesario evaluar e implementar otro tipo de tratamientos para las ARnD, donde las alternativas pueden estar entre tratamientos fisicoquímicos, procesos de oxidación avanzada y biológicos [10]. Dentro de los tratamientos de tipo biológico, el aprovechamiento de microorganismos se convierte en una alternativa atractiva, ya que, pueden degradar los contaminantes por diferentes rutas metabólicas, incluyendo procesos de co-metabolismo y de esta manera evitar que ciertos contaminantes lleguen a los ecosistemas [11].

El objetivo de este trabajo, es establecer la presencia de microorganismos presentes en ARnD de industria farmacéutica, que puedan ser aprovechados a futuro como parte de un tratamiento biológico y disminuir la cantidad de contaminantes emergentes que llegan a los cuerpos de agua receptores y por ende reducir el impacto que tienen los vertimientos en los ecosistemas.

3. Condiciones Experimentales

3.1. toma de muestra

Se tomaron muestras de agua en los meses de junio y septiembre del año 2017 en 3 puntos de muestreo que corresponden: al afluente de ARnD que proviene del proceso de producción de la farmacéutica (punto 1), el segundo en uno de los baffles de la trampa de grasas (punto 2) y un último punto en la salida hacia la caja de inspección (punto 3).



3.2. aislamiento de microorganismos

De las muestras de agua colectadas en los 3 puntos, se realizó diluciones seriadas y se sembraron en placa en Agar Nutritivo, Mac Conkey, Cetrimide, Agar PDA (marca Merck), llevadas a incubación por 48 horas a una temperatura de $30^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, aquellos microorganismos que tuvieran características morfológicas distintas (color, forma, elevación, bordes), fueron llevadas a sembrar en agar almidón, agar skim milk, agar suplementado con tween 80, para establecer su capacidad enzimática.

3.3. consumo de analgésicos no esteroides (AINES) por parte de microorganismos

De los microorganismos con características morfológicas diferenciales, fueron sembrados en un erlenmeyer que contenía 90 mL de medio Bushnell Hass (BH) suplementado con uno de los fármacos AINES (acetaminofén, ibuprofeno, diclofenaco y meloxicam), en una concentración final de 50 ppm. Este proceso se realizó por duplicado con un total de 24 ensayos iniciales, los cuales se incubaron a temperatura ambiente y en agitación a 120 rpm durante 8 días.

4. Resultados y discusión

4.1. aislamiento de microorganismos

Durante los dos muestreos realizados en el periodo de Junio y Septiembre se observaron concentraciones de heterótrofos en un rango de 10^4 a 10^9 UFC/mL observando la mayor concentración en el punto 2 (Caja) durante el mes de junio con una concentración de $1,25 \times 10^9$ UFC/mL (Figura 1). El grupo de heterótrofos está asociado a los microorganismos degradadores de materia orgánica.

De manera similar a lo reportado para heterótrofos, en el caso de hongos y levaduras las mayores concentraciones se obtuvieron en el punto 2 de muestreo con concentraciones del orden de 10^5 (Figura 2). La concentración de este grupo microbiano no presentó variaciones considerables entre los muestreos, manteniendo recuentos en rangos similares

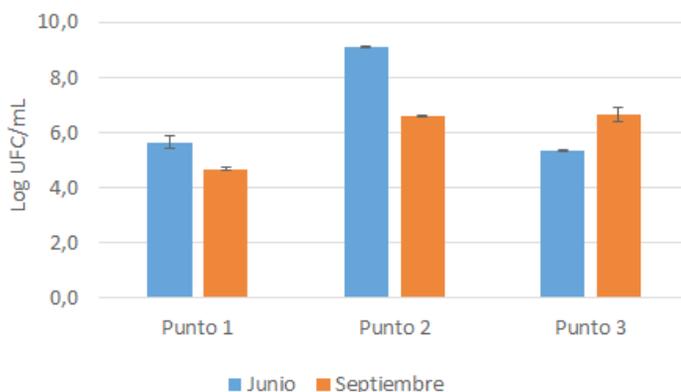


Figura 1. Concentración de Heterótrofos totales (log UFC/mL) en muestras de aguas residuales de empresa del sector farmacéutico.

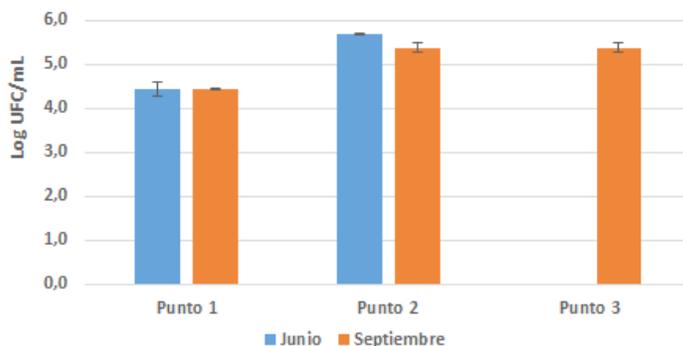


Figura 2. Concentración de Hongos y levaduras (log UFC/mL) en muestras de aguas residuales de empresa del sector farmacéutico.

Las poblaciones presuntivas *Pseudomonas* y *Bacillus*, microorganismos reconocidos por su diversidad metabólica y amplia capacidad de degradación de diferentes sustratos presentaron rangos de concentración similar a los reportados por los otros grupos microbianos (Figura 3). La presencia del grupo *Pseudomonas* es importante, teniendo en cuenta que este ha sido reportado ampliamente en la literatura como degradador de diferentes compuestos, entre los que se incluyen hidrocarburos, plaguicidas, plásticos y medicamentos.

En el caso de *Bacillus* las concentraciones en el punto 1 y 2 muestran una disminución cercana a una unidad logarítmica en el segundo muestreo sin identificar una causa definida (Figura 4). Este grupo también es conocido por su amplia capacidad



enzimática, que le confiere la posibilidad de ser empelado en diferentes aplicaciones biotecnológicas de tratamiento de compuestos contaminantes.

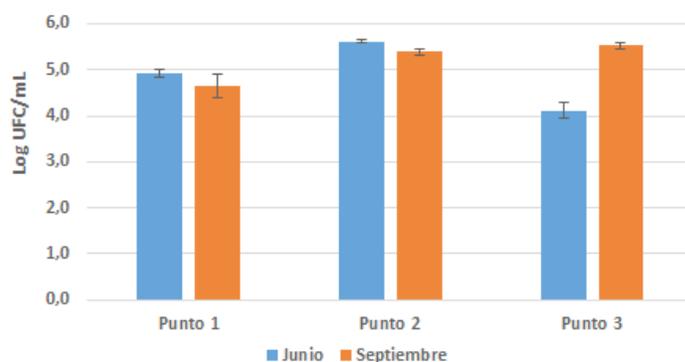


Figura 3. Concentración de *Pseudomonas* (log UFC/mL) en muestras de aguas residuales de empresa del sector farmacéutico (determinación presuntiva)

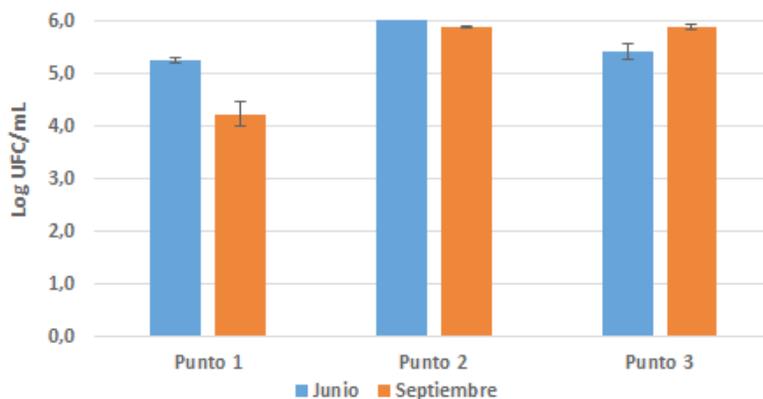


Figura 4. Concentración de *Bacillus* (log UFC/mL) en muestras de aguas residuales de empresa del sector farmacéutico (determinación presuntiva)

Con relación a los coliformes totales se observaron concentraciones de 105 a 1011, mientras que para *Escherichia coli*, entre 104 a 109 (Figura 5). En ambos casos la concentración más elevada se presentó en el punto 2 (Caja), lugar donde se concentra la mayor actividad microbiana. Los coliformes totales están asociados a la presencia de materia orgánica en los cuerpos de agua, donde pueden llegar por diferentes fuentes como vertidos de procesos industriales o aguas residuales domésticas. En el caso de *Escherichia coli*, indicador de contaminación fecal que hace parte del grupo



de los coliformes totales, se evidencio que con excepción del punto 2 en el primer muestreo, la *E.coli* represento entre el 80% al 90% de los coliformes totales.

En terminos generales, en ninguno de los grupos evaluados, se observó diferencia de las concentraciones de microorganismos en función del tiempo. En el caso de las estaciones de muestreo, el punto 1 es el que presenta menores concentraciones para los diferentes grupos microbianos.

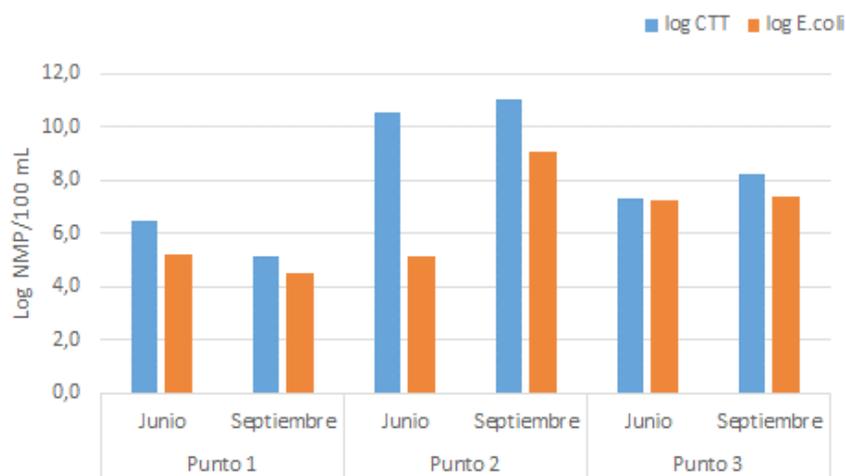


Figura 5. Concentración de Coliformes totales y *E.coli* (log NMP/100 mL) en muestras de aguas residuales de empresa del sector farmacéutico.

4.2. consumo de analgésicos no esteroides (AINES) por parte de microorganismos

Las aguas residuales constituyen una fuente de diversidad microbiana para la exploración de actividades metabólicas específicas. En este caso se logró el aislamiento y purificación de 82 cepas a partir de los medios para heterótrofos, *Pseudomonas*, *Bacillus*, Hongos y levaduras. Estos aislamientos fueron evaluados por su capacidad para producir diferentes enzimas hidrolíticas que puedan ser potencialmente empleadas para acelerar los procesos de degradación de materia orgánica en el sistema de tratamiento.

De estas 82 cepas, el 38,9% (37) presento alguna actividad hidrolítica. Ya sea la producción de amilasas para degradación de diferentes azúcares (12,2%), proteasas para transformación de diferentes proteínas (17 %) y actividad lipolíticas para degradación de grasas (17%) (Figura 6). Del total de aislamientos evaluados, 3 aislamientos tienen la capacidad de producir dos tipos de enzimas extracelulares (proteasas y lipasas) y 1 cepa tiene la capacidad de producir las tres enzimas. La capacidad enzimática



hidrolítica es fundamental en sistemas de tratamiento de aguas, ya que permite a través del metabolismo enzimático la transformación de proteínas, grasas y azúcares que conllevan a la reducción de valores de DBO y DQO.

De manera simultánea y teniendo en cuenta las características del efluente, a partir de la técnica de enriquecimiento selectivo se aislaron un total de 85 cepas resistentes a AINES (antiinflamatorios no esteroideos), de las cuales 24 fueron resistentes a acetaminofén, 17 de diclofenaco, 12 ibuprofeno y 32 meloxicam. Estos aislamientos fueron conservados y posteriormente evaluados por su capacidad de crecer en todos los medicamentos mencionados previamente. Del total cepas aisladas el 82% (70) fueron capaces de crecer en presencia de todos los compuestos como fuente de carbono y energía.

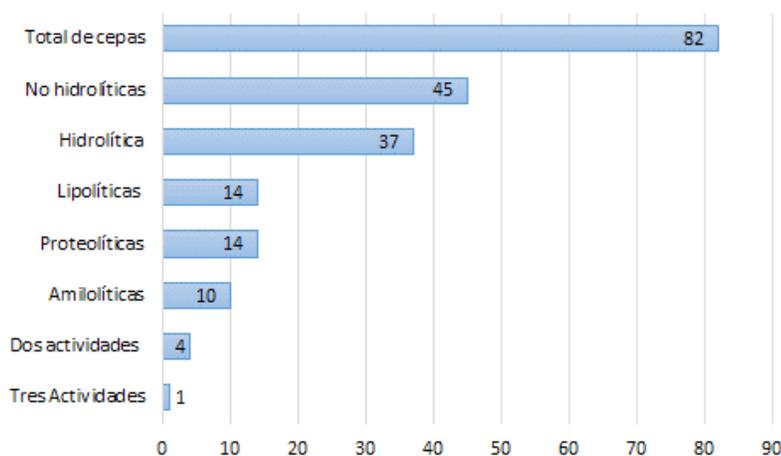


Figura 6. Actividad enzimática en aislamientos obtenidos a partir del sistema de tratamiento de aguas residuales de empresa del sector farmacéutico. Tres actividades corresponden a microorganismos con actividad amilolítica, proteolítica y lipolítica. Dos actividades: proteolítica y lipolítica

5. Conclusiones

La presencia de microorganismos no solo constituye un contaminante más en las ARnD sino que, pueden ser aprovechados para procesos de tratamiento biológico que en ocasiones pueden ser más efectivos y económicos que los tratamientos convencionales que se usan actualmente para el tratamiento de vertimientos industriales.

Los microorganismos encontrados tienen características que los hacen de interés biotecnológico y ambiental, ya que, pueden disminuir la materia orgánica presente en el ARnD gracias a las diferentes actividades enzimáticas, y además, usan los AINES como única fuente de carbono y energía; lo anterior, es una alternativa para la disminución de contaminantes emergentes en los cuerpos hídricos.



6. Bibliografía

1. Anbarasu, K., Anbuselvan, G. 2017. Physico-chemical parameter analysis of water in Musiri Taluk, Tamil Nadu, India. *World News of Natural Sciences* 6, 36-43.
2. Oliveira, H., Ferreira, P., Bueno, D., Schmidt, F., Fontes, M., Cintra, L. 2013. Characterization and genotoxicity evaluation of effluent from a pharmacy industry. *Revista Ambiente y Agua*. 8(2), 34-45
3. Mercado, I. D., González, G., Valencia, S. H. 2013. Remoción de Níquel y DQO presentes en las aguas residuales de la industria automotriz mediante electrocoagulación. *Revista EIA Escuela Ingeniería Antioquia*. 19, 13-21
4. Petrie, Bruce., Barden, Ruth., Kasprzyk-Hordern, Barbara. 2015. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water Research*, 72, 3-27.
5. Quiroga, J M., Quero-Pastor, M J., Acevedo, A. 2015. Tratamientos avanzados para la eliminación de fármacos en aguas superficiales. *Revista de Salud Ambiental* 15, 12-64
6. NACWA. 2012. Pharmaceutical in the water environment. association of metropolitan water agencies.
7. Gallagher, N. A. 2016. Theses: Isolation of pharmaceutical - Degrading Bacteria from lake sediments associated with wastewater effluents. Rochester, NY: Rochester Institute of Technology.
8. Quesada, P. E. 2009. Contaminación de las aguas con productos farmacéuticos. Estrategias para enfrentar la problemática. vol. 40, núm. 3., *Revista CENIC. Ciencias Biológicas.*, 173-179.
9. Guzik, U., Hupert-Kourek, K., & Wojcieszynska, D. 2014. Microbial degradation non-steroidal anti-inflammatory drugs. *Postepy Mikrobiologii*, 61-69.
10. Gil, J. E. 2012. Contaminantes Emergentes en aguas efectos y posibles tratamientos. *Produccion + Limpia Diciembre 2012 Vol. 7 No2* .
11. NEHA, e. a. 2016. BIODEGRADATION OF PHARMACEUTICALS BY USING MICROORGANISMS-A REVIEW. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, ISSN: 2321-9009, Vol-4, Iss-3, Spl. Issue-1 Aug, 220 - 225.



La PLC- ζ y gelsolina en el espermatozoide de bovino experimentan cambios de localización dependiendo del estado fisiológico y por el proceso de crioconservación

Lorena Itzel Sánchez Baz ■ Itzayana Mejía Flores ■ Icela Palma Lara ■ Miguel Ángel Cornejo Cortés
Alejandro Córdova Izquierdo ■ María de Lourdes Juárez Mosqueda

Departamento de Morfología
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Nacional Autónoma de México.
luerfco@unam.mx

1. RESUMEN

La crioconservación de semen es una técnica de rutina empleada en la industria de la reproducción bovina, sin embargo, se sabe que dicho proceso afecta la morfología espermática, lo cual influye en la capacidad fertilizante de la célula. Nuestro grupo ha identificado que los daños ocasionados involucran a la teca perinuclear (TP); entre otras proteínas la fosfolipasa C- ζ (PLC- ζ) ha sido detectada en la TP de los espermatozoides de mamíferos estudiados. La PLC- ζ ha sido señalada como el factor espermático activador del óvulo. Otra proteína de importancia es la gelsolina, que se activa previo a la reacción acrosomal (RA) y por lo tanto permite su ejecución. El objetivo de este estudio fue evaluar y comparar los cambios de localización de ambas proteínas entre espermatozoides frescos y descongelados. Los resultados indican que tanto gelsolina como PLC- ζ presentan cambios en su localización de acuerdo al estado fisiológico y a su estado de criopreservación.

2. INTRODUCCIÓN

Antes de adquirir su habilidad fertilizante, el espermatozoide experimenta una secuencia bien definida de etapas de maduración; la primera es la maduración epididimaria, seguida por la que se conoce como capacitación que da lugar a la última etapa llamada reacción acrosomal (RA) ^[1]. La crioconservación de semen de bovino es una técnica invaluable para la inseminación artificial que permite una diseminación a nivel mundial de individuos con una genética superior. Sin embargo, se sabe que la crioconservación daña a los espermatozoides teniendo como consecuencia una baja supervivencia y/o presentación de varios



cambios moleculares y fisiológicos que influyen en su capacidad de fertilización. A la fecha, de los espermatozoides congelados y descongelados solo sobreviven entre el 40 y 50% después de dichos procesos^[2,3]. Nuestro grupo ha sido el primero en identificar que los daños ocasionados por este proceso involucran a la teca perinuclear (TP)^[4]; una estructura citoesquelética que rodea al núcleo del espermatozoide de los mamíferos^[5]. La PLC- ζ , una proteína localizada en la TP^[6], es señalada como el factor espermático activador del óvulo^[7, 8, 9, 10]. De hecho, en el espermatozoide de humano se ha encontrado que anomalías en la localización de PLC- ζ llevan a una menor activación del óvulo^[11]. De manera fisiológica, en hámster y ratón, se ha reportado que cambios en el patrón de distribución de la PLC- ζ en los espermatozoides capacitados con RA, permiten de alguna forma la reubicación de la proteína en el sitio de la cabeza donde se da la unión del espermatozoide con la membrana del óvulo^[12]. Por otra parte, se ha reportado que *in vitro* durante la capacitación y reacción acrosomal la PLC- ζ sufre cambios de localización junto con actina^[13]. La gelsolina es una proteína de corte que es necesaria en la cabeza del espermatozoide para despolimerizar a la actina-F para que pueda ocurrir la RAI^[14]. El propósito de esta investigación es evaluar y comparar los cambios que PLC- ζ y gelsolina presentan en el espermatozoide después del proceso de crioconservación. Esto con la finalidad de determinar qué mecanismos moleculares involucrados en la capacitación y la reacción acrosomal se ven afectados en el espermatozoide criopreservado y que conlleven entre otras cosas a la disminución en la capacidad de fertilización.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

Las muestras espermáticas fueron obtenidas de toros maduros por medio de vagina artificial y se trasladaron al laboratorio de Morfología de la FMVZ de la UNAM en solución de triladyl/yema de huevo a 37°C. A su llegada se les realizó evaluación de viabilidad, motilidad progresiva y concentración espermática. Posteriormente la muestra fue sometida a 3 lavados con PBS, para a continuación ser divididas en 4 grupos diferentes: espermatozoides frescos (control), espermatozoides capacitados (incubados por 4 h a 39°C en medio TALPm), espermatozoides con RA (incubados por 5 h a 39°C en medio TALPm, y con A23187 la última hora) y espermatozoides crioconservados, los cuales también fueron sometidos a capacitación y RA. Se hizo separación de espermatozoides con y sin acrosoma empleando un gradiente de Ficoll al 20%, para ello se colocaron 2ml del Ficoll en tubos de ensaye y en su superficie un ml de muestra (30×10^6 espermatozoides/ml), posteriormente se centrifugaron a 2500 rpm por 20 minutos. Para la congelación las muestras fueron diluidas con Triladyl/ yema de huevo, se empajillaron (0.25ml a una concentración de 20 millones),



posteriormente se colocaron en refrigeración a 4°C por 3 hrs, después se sometieron por 10 min a vapores de nitrógeno, pasado este tiempo se sumergieron en nitrógeno y después se colocaron en tanques con nitrógeno líquido para su crioconservación. Se realizaron frotis de todas las muestras (control y criopreservadas). Para la inmunodetección de las proteínas (gelsolina y PLC- ζ), los frotis fueron primero hidratados por pases rápidos en alcohol a concentraciones descendentes (100, 90, 96, 80 y 70%), enseguida se permeabilizaron con solución para permeabilizar (Tritón 100 al 0.2%), luego se incubaron 3 veces con peroxidasa al 3% en PBS cada uno de 10 min, posteriormente se incubaron con el Kit comercial Background Sniper (Biocare Medical) por 30 min, en seguida se sometieron a la primera reacción antigénica (gelsolina y PLC- ζ) toda la noche a 4°C. Las muestras fueron lavadas con PBS, PBS-Tween-20 (1%) y TBS, seguidamente se les trató con el Kit comercial Starr Trek Universal HRP Detection System (Biocare Medical), siguiendo las instrucciones de la casa comercial. Después se realizó el revelado con 50 μ l de DAB por 5 minutos para ambas. Finalmente se realizó una contra-tinción con hematoxilina por 1 min, se deshidrataron las muestras con pases rápidos en concentraciones ascendentes de alcoholes (70%, 80, 90, 96, 100), xilol y se montaron las laminillas para su observación al microscopio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran que ambas proteínas se encuentran en el flagelo de todos los espermatozoides estudiados. Al comparar los resultados entre espermatozoides frescos y espermatozoides descongelados en el mismo estado fisiológico, para PLC- ζ (Tabla 1), se encontró que los patrones de la proteína cambiaron de manera notoria en los espermatozoides descongelados capacitados (DCAP) y en los descongelados con reacción acrosomal (DRA). En relación a los resultados obtenidos en los espermatozoides frescos, apoyan lo dicho por Mejía et al. ^[15] quienes mencionan que la PLC- ζ se va liberando durante la capacitación y RA. El que patrón acrosomal más flagelo (AcF) disminuyera en DCAP, mientras que en DRA el patrón acrosomal liberándose más flagelo (AcLF) aumentara, puede deberse a que la proteína está siendo mayormente liberada al medio, posiblemente debido al daño que la TP experimenta durante el proceso de congelación-descongelación^[4]. Para el caso del patrón postacrosomal más flagelo (PacF) vemos que el patrón aumenta en espermatozoides DCAP, lo que se explica también con el daño que experimenta la TP y por tanto se desenmascara a la proteína. Young et al. ^[16] y Kashir et al. ^[17] mencionan que los espermatozoides presentan dos o más poblaciones de PLC- ζ , cada una con una función específica o múltiples funciones. Fujimoto et al. ^[18] también mencionan que cada subpoblación juega un papel diferente dentro de la fertilización, la primera induce la activación y



la segunda modula algún aspecto de la fusión pronuclear. Nuestros resultados apoyan a estos autores debido a que observamos que en el patrón PacF se va exponiendo mientras avanza el proceso de capacitación, nosotros proponemos que una población de la proteína esta oculta y que mientras el proceso de capacitación va tomando lugar, la proteína se va desenmascarando. Por último, el patrón acrosomal, postacrosomal más flagelo (AcPacF) aumentó en los espermatozoides descongelados no capacitados (DNC), este resultado coincide también con los hallazgos de Kashir et al. [17] quienes reportan haber encontrado a la PLC- ζ en ambas regiones, sin embargo, en este trabajo es indicativo nuevamente de alteraciones en la TP.

Tabla 1. Distribución de PLC- ζ en los espermatozoides de bovino frescos y descongelados en los tres estados fisiológicos evaluados

PLC - ζ	FRESCOS			DESCONGELADOS		
	NC	C	RA	NC	C	RA
Patrón						
AcF	52.33 \pm 4.3 ⁱ	68.00 \pm 2.0 ^a	51.67 \pm 6.0 ⁱ	62.67 \pm 2.6 ^d	35.33 \pm 3.3 ^{b,e}	46.33 \pm 2.3 ^c
F	25.33 \pm 2.9 ⁱ	9.00 \pm 1.1 ^a	33.33 \pm 6.6 ^b	5.33 \pm 2.9 ^c	22.67 \pm 4.9 ^j	15.67 \pm 4.4 ^j
PaF	4.00 \pm 2.0 ^e	8.00 \pm 4.0 ^f	6.33 \pm 2.0 ^g	14.67 \pm 4.6 ^j	28.00 \pm 0.5 ^h	10.33 \pm 2.0 ⁱ
AcL F	10.67 \pm 1.2 ^c	11.67 \pm 1.7 ^f	10.67 \pm 1.8 ^g	10.67 \pm 2.4 ^h	5.0 \pm 1.0 ⁱ	24.33 \pm 3.3 ⁱ
AcPacF	2.0 \pm 0.5 ^a	6.0 \pm 1.0 ^j	6.67 \pm 1.4 ^j	14.00 \pm 5.2 ^b	8.333 \pm 1.3	2.67 \pm 1.7

Nota: Porcentaje (media \pm SEM) de diferente patrón (n=3). NC = no capacitado, C = capacitado, RA = con reacción acrosomal, AcF = acrosomal y flagelo, PaF = postacrosomal y flagelo, AcL F = acrosomal liberándose y flagelo, AcPacF= acrosomal, postacrosomal y flagelo.

Para los espermatozoides frescos y descongelados, filas con subíndices diferentes indica una diferencia significativa estadísticamente.

a-b, a-c, d-e, b-c P<0.05
 e-h, h-f, g-h, h-i P<.001
 j sin diferencia significativa

En el caso de gelsolina (Tabla2) los resultados al comprar muestras frescas con descongeladas en el mismo estado fisiológico fueron los DCAP y DRA; en donde podemos observar un visible aumento del patrón PacF en los DRA, lo que concuerda con lo dicho por Finkelstein et al. [19] quienes mencionan que la gelsolina se mueve del flagelo hacia la cabeza del espermatozoide. Nuestros resultados muestran un claro aumento de gelsolina en la cabeza. También Cabello-Agüeros [20] encontró a gelsolina en la región postacrosomal en espermatozoides capacitados y menciona que encontrar gelsolina en la región postacrosomal puede ser por un cambio en su conformación relacionado con la capacitación o su asociación con otras proteínas. Como sabemos gelsolina actúa en conjunto con actina, razón por la cual también encon-



tramos a gelsolina en el flagelo, ya que durante la capacitación la gelsolina se reduce para mantener altos niveles de actina F en esta estructura, lo cual es esencial para la hipermotilidad espermática [21]. En el caso de espermatozoides frescos y descongelados en diferente estado fisiológico observamos una disminución en el patrón AcLF en DC (3.67%), Breibart et al. [21] señalan que durante la capacitación esta proteína se encuentra inactiva en la cabeza y la activación previa a la reacción acrosomal permite su funcionalidad, encontrando más a la proteína en con este patrón en las células con RA, lo cual coincide con los resultados en este trabajo, indicativo que el proceso de criopreservación induce una criocapacitación prematura. Así mismo podemos observar un aumento en el patrón AcPacF en espermatozoides DC (38.33%) este resultado apoya lo mencionado por Finkelstein et al. respecto a su translocación a la cabeza, pero en este tipo de células se lleva acabo de manera no fisiológica.

Tabla 2. Distribución de Gelsolina en los espermatozoides de bovino sometidos a criopreservación en los tres estados fisiológicos.

Gelsolina	FRESCOS			DESCONGELADOS		
	NC	C	RA	NC	C	RA
Patrón						
AcF	52.67 ± 11.3 ^a	47.67 ± 8.4 ^c	16.33 ± 4.6 ^b	41.0 ± 2.5 ^k	24.00 ± 0.5 ^k	24.33 ± 0.6 ^k
F	29.0 ± 11.6 ^a	24.67 ± 1.4 ^b	58.33 ± 3.5 ^c	37.0 ± 2.5 ^k	19.33 ± 5.3 ^d	38.0 ± 2.0 ^k
PaF	8.67 ± 3.4 ^f	6.00 ± 3.0 ^g	8.67 ± 3.5 ^h	9.0 ± 1.5 ⁱ	38.33 ± 1.7 ⁱ	15.0 ± 5.0 ^j
AcLF	8.67 ± 1.3 ^a	11.0 ± 2.9 ^k	17.0 ± 4.5 ^b	10.33 ± 1.7 ^k	3.67 ± 1.2 ^k	16.0 ± 3.0 ^k
AcPacF	2.67 ± 1.7 ^k	11.0 ± 3.4 ^k	0.67 ± 0.6 ^a	2.67 ± 1.6 ^s	14.67 ± 4.7 ^b	8.0 ± 1.0 ^k

Nota: Porcentaje (media ± SEM) de diferente patron (n=3). NC = no capacitado, C = capacitado, RA = con reacción acrosomal, Ac = acrosomal, F = flagelo, Pa = postacrosomal, AcL = acrosomal liberandose.

Para los espermatozoides frescos y descongelados, columnas con subindices diferentes indica una diferencia significativa estadisticamente.

a-b, c-b, a-c, b-c, d-c P<0.05

f-g, i-g, h-g, j-h P<0.001

k sin diferencia significativa

5. CONCLUSIONES

La criopreservación altera el patrón de localización de PLC- ζ y el de la gelsolina, lo cual podría ser una de las principales razones por la cual hay una reducción de la calidad espermática y por consecuente una disminución en la fertilidad de los espermatozoides criopreservados. Estudios están siendo realizados para evaluar cómo afecta



esta alteración la fisiología espermática, y conocer si ambas proteínas interactúan junto con la actina en dichos procesos.

Agredecimientos

A la DGAPA-UNAM por el financiamiento de la presente investigación, a través del Proyecto PAPIIT IN219717.

6. REFERENCIAS

- 1) Del Rio MJ, Godoy A, Toro A, Orellana R, Cortes ME, Moreno RD, Vigil P. La reacción acrosómica del espermatozoide: avances recientes. *Rev Int Androl.* 2007. 5 (4): 368-73.
- 2) Mostek A, Dietrich MA, Slowinska M, Ciereszko A. Cryopreservation of bull semen is associated with carbonylation of sperm proteins. *Theriogenology*, 2017; 92: 95-102.
- 3) Guthrie HD, Welch GR. Impact of storage prior to cryopreservation on plasma membrane function and fertility of boar sperm. *Theriogenology*, 2005;63:396-410.
- 4) Martínez CO, Juárez MML, Hernández J, Valencia J. Cryopreservation of bull spermatozoa alters the perinuclear theca. *Theriogenology*, 2006. 66(8): 1969-1975.
- 5) Mujica A., Navarro GF, Hernández GE, Juárez MML, Perinuclear theca during spermatozoa maturation leading to fertilization. *Micros. Res. Tech.*, 2003;61(1):76-87.
- 6) Fujimoto S, Yoshida N, Fukui T, Amanai M, Isobe T Itagaki C. Mammalian phospholipase C ζ induces oocyte activation from the sperm perinuclear matrix. *Dev Biol.* 2004. 247:370-83
- 7) Saunders CM, Larman MG, Parrington J, Cox LJ, Royle J, Blayney LM, Swann K, Lai FA. PLC zeta: a sperm-specific trigger of Ca (2+) oscillations in eggs and embryo development. *Development*, 2002.129: 3533–3544.
- 8) Saunders CM, Swann K, Lai FA. PLCzeta, a sperm-specific PLC and its potential role in fertilization. *Biochem. Soc., Symp.* 2007.74: 23-36.
- 9) Swann K, Larman MG, Saunders CM, Lai FA. The cytosolic sperm factor that triggers Ca²⁺ oscillations and egg activation in mammals is a novel phospholipase C: PLCzeta. *Reproduction*, 2004.127:431–439.
- 10) Yoneda A, Kashima M, Yoshida S, Terada K, Nakagawa S, Sakamoto M. Molecular cloning, testicular postnatal expression, and oocyte-activating potential of porcine phospholipase Czeta. *Reproduction* 2006.132: 393-401.
- 11) Heytens E, Schmitt-John T, Moser JM, Jensen NM, Soleimani R, Young C, Coward K, Parrington J, De Sutter P. Reduced fertilization after ICSI and abnormal phospholipase C zeta presence in spermatozoa from the wobbler mouse. *Reprod Biomed Online.* 2010.21(6):742-9.



- 12) Yoon SY, Jellerette T, Salicioni AM, Lee HC, Yoo M, Coward K, Parrington J, Grow D, Cibelli DJ, Visconti PE, Mager J, Fissore RA. Human sperm devoid of PLC, zeta 1 fail to induce Ca²⁺ release and are unable to initiate the first step of embryo development. *The Journal of Clinical Investigation*. 2008.118 (11): 3671-3681.
- 13) Young C, Grasa P, Coward K, Davis LC, Parrington J. Phospholipase C zeta undergoes dynamic changes in its pattern of localization in sperm during capacitation and the acrosome reaction. *Fertil Steril*. 2009.91;2230-42.
- 14) Breibart H, Finkelstein M. Actin cytoskeleton and sperm function. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2017. (17) 32164-2.
- 15) Mejía FI, Chiquete FN, Palma LI, Uribe CS, Juárez MML. During capacitation in bull spermatozoa, actin and PLC- ζ undergo dynamic interactions, *Zygote*. 2017.20:1-9.
- 16) Young C, Grasa P, Coward K, Davis LC, Parrington J. Phospholipase C zeta undergoes dynamic changes in its pattern of localization in sperm during capacitation and the acrosome reaction. *Fertil Steril*. 2009.91;2230-42.
- 17) Kashir J, Jones C, Mounce G, Ramadan WM, Lemmon B, Heindryckx B, *et al.*, Variance in total levels of phospholipase C zeta (PLC- ζ) in human sperm may limit the applicability of quantitative immunofluorescent analysis as a diagnostic indicator of oocyte activation capability. *Fertil Steril*. 2013. 99(1):107-17.
- 18) Fujumoto S, Yoshida N, Fukui T, Amanai M, Isobe T, Itagaki C, Izumi T, Perry A. Mammalian phospholipase Czeta induces oocyte activation from the sperm perinuclear matrix. *Developmental Biology*. 2004. 274, 370-83.
- 19) Finkelstein M, Etkovitz N, Breibart H. Role and Regulation of sperm Gelsolin Prior to Fertilization. *The Journal of Biological Chemistry*. 2010. 285 (51); 39702-39709.
- 20) Cabello Agueros JF, Hernandez EOG, Mujica A. The role of F-actin cytoskeleton associated gelsolin in the guinea pig capacitation and acrosome reaction. *Cell Motility and the Cytoskeleton*. 2003. 56:94-108.
- 21) Breibart H, Cohen G, Rubinstein S. Role of actin cytoskeleton in mammalian sperm capacitation and the acrosome reaction. *Society for Reproduction and Fertility*. 2005. 1741-7899.



Evaluación del uso de nanopartículas para mantener la viabilidad de los espermatozoides de verraco sometidos al proceso de criopreservación

María de Lourdes Juárez Mosqueda ■ Roberto Díaz Torres ■ Alejandro Córdova Izquierdo ■ Erica Reneé Lara Juárez
Oscar Gutiérrez Pérez ■ Miguel Ángel Cornejo Cortés

Departamento de Morfología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
Universidad Nacional Autónoma de México.
luerfco@unam.mx

1. Resumen

El semen porcino es particularmente sensible a la criopreservación, lo cual limita el uso de esta tecnología en los programas reproductivos. En el presente trabajo se valoró la viabilidad del semen porcino criopreservado adicionado con nanopartículas poliméricas (N) como vehículos de trehalosa (NT) y lípidos de salmón (NL). Para ello se emplearon los siguientes protocolos de congelación: a) adición de las nanopartículas al diluyente conteniendo yema de huevo 20% (A) y glicerol 1.5% (B); b) pre-incubación de las células con las nanopartículas y su adición al diluyente A-B o únicamente A; c) pre-incubación de las células con las nanopartículas y su adición al diluyente A-B (0.5%) y; d) pre-incubación de las células con las nanopartículas en PBS (amortiguador de fosfatos salino). Los resultados de los diferentes medios de congelación se compararon contra espermatozoides criopreservados (1.5 o 0.5 % de glicerol) libre de nanopartículas. Las células criopreservadas en A+N y A+NT mostraron los mejores porcentaje de viabilidad (34.5 y 36.5, respectivamente); en los controles con 1.5% glicerol fue de 11.34%, sin embargo en el caso del control con 0.5% de glicerol fue del 28.99%. No se encontraron diferencias estadísticas al comparar los tratamientos entre machos, sin embargo si hubo diferencia ($P < 0.05$) entre tratamientos, donde el tratamiento PBS+N resulto ser el mejor tratamiento para mantener la viabilidad del semen de verraco. A pesar del último resultado la presencia de trehalosa dentro del espermatozoides porcino criopreservado en varios de los tratamientos permitió conservar la viabilidad, aunque no como se esperaba. En conclusión, la presencia de nanopartículas poliméricas podrían por si solas mantener la viabilidad espermática en ausencia de glicerol, después del proceso de congelación-descongelación.



2. Introducción

La criopreservación de semen es uno de los procedimientos más importantes en el desarrollo de biotecnologías para la reproducción asistida, sin embargo, a la fecha en la especie porcina los resultados de fertilidad para el semen criopreservado están en 10-20%, muy por debajo de los obtenidos con semen refrigerado, que está en una tasa media de 80%^[1,2]. Esta situación ha impulsado la búsqueda y desarrollo de numerosos protocolos de congelación para el semen de cerdo, donde una alternativa ha sido el empleo de la trehalosa en el medio de congelación. La trehalosa es un disacárido no reductor formado por dos moléculas de glucosa que es acumulado por algunos organismos para poder sobrevivir en ambientes secos o con bajas temperaturas^[3, 4], además tiene la capacidad de neutralizar los radicales libres responsables del estrés oxidativo^[5]. Recientemente se ha establecido que para obtener el mayor grado de protección conferido por este disacárido es necesaria su presencia a un nivel intracelular, por esta razón y debido a que la trehalosa es un crioprotector no permeable, se han tratado de establecer mecanismos para favorecer su integración al interior de la célula^[6].

Actualmente, la nanotecnología ha permitido el desarrollo de sistemas a escala nanométrica denominados nanopartículas poliméricas (PNPs, "Polymeric NanoParticleS"), donde una variedad de trabajos destacan el potencial de aplicación de este tipo de estructuradas, elaboradas con quitosán, en el campo de la biomedicina^[7]. Entre las ventajas que presenta el uso de estos sistemas es que son elaboradas con polímeros naturales por lo que el organismo vivo no lo reconoce como material extraño, son vectores sólidos de alta estabilidad, suelen encapsular en su interior a los fármacos u otras sustancias y pueden atravesar las barreras biológicas^[8,9]. Recientemente se publicó que *in vitro* PNPs elaboradas a base de quitosán, no afectan la integridad y viabilidad de las células MARC-145 a dosis inferiores a 50 µl/ml, ya que no indujeron cambios en la morfología celular, en la estructura de los filamentos de actina ni en la actividad mitocondrial y lisosomal^[10]. Dado que el desarrollo de estos sistemas es un campo prometedor, en el presente trabajo decidimos emplear a las PNPs de quitosán como vehículo de trehalosa y lípidos obtenidos de salmón, tratando con ello de disminuir los efectos negativos que este proceso tiene sobre los espermatozoides del verraco al incorporarlas al medio de criopreservación.



3. Condiciones experimentales

3.1 Elaboración de las nanopartículas

Las PNP se elaboraron siguiendo el método modificado de emulsificación-difusión^[11,12]. La saturación del solvente se realizó mezclando agua y acetato de etilo durante 20 minutos, posterior a la separación, ambas fases fueron recuperadas de manera independiente, desechando la interfase, 0.5 g de Pluronic F-127 fueron disueltos en la fase acuosa con 1 ml de ácido acético glacial y 150 mg de quitosán. La fase acuosa y orgánica fueron mezcladas y centrifugadas a 23000 rpm durante 60 minutos a 4° C, para la posterior recolección y esterilización de las nanopartículas. En caso de las PNP cargadas se adicionó trehalosa (150 mM) o lípidos de salmón (50 mg/100 ml).

3.2 Colección de semen

Se obtuvieron 6 eyaculados de tres sementales maduros (B, D, K) pertenecientes al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión de Producción Porcina (CEIEPP) de la FMVZ de la UNAM; dos eyaculados por macho por grupo experimental obtenidos en fechas diferentes, los cuales fueron recolectados por medio de la técnica de la mano enguantada, colectando únicamente la fracción rica en espermatozoides. El volumen se determinó en base al peso del eyaculado (1kg = 1lt). La concentración espermática se calculó por conteo en una cámara de Neubauer. Los eyaculados se diluyeron 1:1 (vol:vol) en medio Betsville Thawing Solution (BTS) para su transporte al laboratorio, que se realizó en caja de poliuretano.

3.3 Método de congelación

3.3.1 Congelación de rutina

Se siguió el protocolo a dos tiempos (refrigeración y glicerolización)^[13]. Brevemente, se retiró el diluyente y el plasma seminal por centrifugación (1500 rpm por 10min), la pastilla se reconstituyó agregando la mitad del volumen final del diluyente de congelación (fracción A libre de glicerol, etapa de refrigeración), ajustando la concentración espermática a 600×10^6 espermatozoides/ml. Las muestras estabilizadas a 16°C por dos horas se colocaron en refrigeración (4°C) por 2 horas, posteriormente se les agregó la segunda mitad del diluyente (fracción B, etapa de glicerolización), la cual fue agregada de forma gradual en cuatro tiempos (5, 10, 15 y 20% del volumen total de esta fracción), con intervalos de 10 minutos entre cada adición. Como último paso se almacenó en pajillas de 0.5 ml. La concentración espermática final fue de 300×10^6 espermatozoides por pajilla. Cada pajilla fue sellada con alcohol polivinílico, después de lo cual se expusieron a vapores de nitrógeno líquido (-130 a 150°C) du-



rante 20 min. Posteriormente fueron almacenados en un tanque de nitrógeno líquido (-196°C).

Las formulación del diluyente de congelación de rutina (control: A+B) se especifica en el cuadro 1.

Cuadro 1. Formulación del diluyente de congelación de rutina

Ingrediente	Diluyente A	Diluyente B
Dextrosa (g)	0.399	0.399
Yema de huevo 20% (ml)	1	1
Gentamicina (ml)	0.05	0.05
Glicerol (ml)	-	0.3
Agua desionizada cpb (ml)	5	5

3.3.2 Congelación con nanopartículas poliméricas.

En el cuadro 2 se muestran las condiciones experimentales que se emplearon para evaluar la posible actividad crioprotectora de las nanopartículas poliméricas, como vehículo de trehalosa y lípidos de salmón, sobre la viabilidad del semen porcino (para cada condición se empleó el semen de dos machos).

Se emplearon 100 μ l de nanopartículas/ml de diluyente y la congelación se realizó siguiendo el protocolo de congelación de rutina. En el caso de la preincubación de las células con las PNP, antes de la congelación los espermatozoides fueron preincubados (35×10^6 células/ml) en PBS con las nanopartículas (100 μ l/ml de diluyente) por 10 min a 37° C, después los espermatozoides fueron centrifugados a 2500 rpm por 3 min y resuspendidos en los diluyentes a una concentración de 300×10^6 células /ml.

3.3.3 Descongelación de las muestras

Se realizó en baño María a 37° C por 30 segundos, inmediatamente después el contenido de las pajillas es colocadas en tubos de ensayo conteniendo el diluyente de larga duración BTS, en un volumen 1:6 y se mantuvieron por 10 min a temperatura de 37° C y después poder aplicar los protocolos de evaluación.

3.3.4 Evaluación de las muestras

La valoración de las muestras se realizó antes y después del proceso de criopreservación, para ello se emplearon la tinción vital de eosina-nigrosina, que sirve para valorar la integridad de la membrana y la prueba de azul brillante de Coomassie para valorar integridad del acrosoma^[15]. El porcentaje de motilidad progresiva, se valoró subjetivamente mediante la observación de muestras alícuotas al microscopio óptico, por lo



que todas las observaciones fueron realizadas por el mismo evaluador para minimizar el sesgo.

Cuadro 2. Formulación del diluyente de criopreservación con las nanopartículas

	Diluyente A	Diluyente B	PBS	PNPs	PNPsT	PNPsL
1. PNPs adicionadas al diluyente (D y B)*						
Control	+	+				
A+N	+			+		
A+NT	+				+	
A+NL	+					+
PBS+N			+	+		
PBS+NT			+		+	
PBS+NL			+			+
2. Preincubación de las células con las PNPs (B y K)*						
Control	+	+				
A+B+N	+	+		+		
A+B+NT	+	+			+	
A+B+NL	+	+				+
A+N	+			+		
A+NT	+				+	
A+NL	+					+
3. Preincubación de las células con las PNPs y B 0.5% de glicerol (B y K)*						
A+B0.5	+	+				
A+B0.5+NT	+	+			+	
A+B0.0+NL	+	+				+

*Las letras B, D y K corresponden a la identificación del macho del cual provenía el semen que fueron utilizados por separado en cada tratamiento.

3.3.5 Análisis estadístico

Los resultados fueron evaluados empleando las siguientes pruebas estadísticas:

U De Mann-Whitney, para determinar si el porcentaje de espermatozoides vivos y muertos eran estadísticamente diferentes; χ^2 2 vías, para determinar si la efectividad del tratamiento dependía del macho y; Anova 2 vías, para determinar si el porcentaje de espermatozoides vivos dependía del tratamiento.



4. Resultados y discusión

En lo correspondiente a los espermatozoides descongelados los tratamientos que presentaron el mayor porcentaje de espermatozoides vivos pertenecieron al grupo experimental 1 (Cuadro 3) donde el denominado A+NTD presentó el porcentaje más alto de viabilidad, seguido de A+ND y PBS+NTD, donde el porcentaje de acrosoma integro fue de 75.8, 76.5 y 53.72 respectivamente; en los tres casos los porcentajes de espermatozoides vivos fueron mayores al 30% y pertenecieron al macho D. En cuanto a la motilidad esta fue de 20%, 15% y 0%, respectivamente.

En cuanto a los grupos experimentales 2 y 3 los mayores porcentajes de espermatozoides vivos estuvieron por arriba del 20% (Cuadro 3). En el caso del grupo experimental 2 correspondieron, de manera descendente, a los tratamientos A+BNB, A+NTB, A+NB y A+BNTB, mientras que los porcentajes de espermatozoides con acrosoma intacto fueron 54.95, 52.21, 44.76 y 38.25 y de motilidad de 10, 0, 10, 0, respectivamente; los cuatro tratamientos correspondieron al semen del macho B. En Este mismo grupo experimental el tratamiento A+NTK presentó un 21.29% de espermatozoides vivos, 50% de espermatozoides con acrosoma integro y 0% de motilidad; el semen provenía del macho K. Para el grupo experimental 3 el tratamiento que presento el mayor porcentaje de células vivas fue únicamente el A+B0.5K con 69.02% de células con acrosoma y 0% de motilidad (Cuadro 3).

Estadísticamente se encontró que la viabilidad (porcentaje de espermatozoides vivos) en los tratamientos no dependieron del macho pero si del tratamiento, encontrándose que a este respecto el mejor tratamiento fue PBS+N ($p < 0.05$) (Cuadro 4).

Los resultados indican que el tratamiento que mantiene la mejor la viabilidad (porcentaje de vivos) es el de PBS conteniendo PNPs de quitosán (PBS+N). La hipótesis del presente trabajo aventuró la idea de que si en otros organismos celulares la presencia intracelular de trehalosa mantiene su viabilidad en estados de estrés por desecación o congelación, ésta también mejoraría la viabilidad de los espermatozoides de cerdo criopreservados mediante su introducción empleando como vehículos a las nanopartículas de quitosán que se prefiere para el suministro de diversos constituyentes activos tales como ADN, fármacos, oligonucleótidos y proteínas, además por su baja toxicidad y estabilidad. Sin embargo, en este estudio las PNPs acarreado trehalosa no mostraron ser mejores para mantener la integridad del acrosoma, como se reporta en otros estudios en donde la thehalosa es adicionada al medio de congelación o introducida a la célula^[6,13].

Por otra parte, diversos estudios señalan que la reducción de la motilidad en los espermatozoides está muy influenciada por la congelabilidad de los eyaculados, ya que los eyaculados con baja congelabilidad presentan valores de motilidad significativamente menores que aquellos con buena congelabilidad^[14]. En el presente estudio



observamos una baja motilidad espermática en todos los tratamientos realizados, por lo que sugerimos que ello no fue debido al macho o al eyaculado; cabe señalar que de las muestras que presentaron motilidad los espermatozoides correspondieron a algunos de los tratamientos libres de glicerol que contenían a las PNS, lo que muestra el beneficio potencial de este tipo de estructuras para la congelación del semen de verraco. Watson^[15], menciona que aunque la calidad de la motilidad sea pobre, ello no afecta la fertilidad, ya que el transporte al sitio de fertilización suele requerir una capacidad mínima de motilidad progresiva, sin embargo también señala que ésta puede estar comprometida en la mayoría de los espermatozoides crioconservados.



Cuadro 3. Efecto del uso de nanopartículas sobre la viabilidad, integridad acrosomal y motilidad para la criopreservación del semen del verraco

Tratamiento	Macho	Espermatozoides vivos (%)	Acrosoma intacto (%)	Motilidad (%)
1	B*			
	Fresco	67.87	93.6	95
	A+B	9.60	24.89	0
	A+N	20.88	26.89	0
	A+NT	4.08	7.4	0
	A+NL	9.50	33.05	0
	PBS+N	20.0	22.27	10
	PBS+NT	1.32	12.5	0
	PBS+NL	2.55	0.47	0
	D*		92.18	80
	Fresco	77.0	50.90	0
	A+B	7.0	76.50	15
	A+N	34.5	75.80	20
	A+NT	36.5	52.82	15
A+NL	18.0	62.70	10	
PBS+N	25.0	53.72	0	
PBS+NT	31.9	26.60	0	
PBS+NL	1.5			
2	B*			
	Fresco	80.3	77.0	75
	A+B	17.43	16.1	3
	A+B+NL	2.0	23.17	0
	A+B+NT	24.38	38.25	0
	A+NL	5.0	5.0	1
	A+NT	26.0	52.21	0
	A+B+N	28.5	54.95	10
	A+N	25.5	44.76	10
	K*			
Fresco	78	62.5	85	
A+B	2.0	39.15	1	
A+B+NL	2.0	51.11	0	
A+B+NT	10.0	29.47	3	
A+NL	3.0	34.8	1	
A+NT	21.29	50.0	0	
A+B+N	14.5	35.75	0	
A+N	11.5	43.75	0	
3	B*			
	Fresco	87.17		
	A+B0.5	2	3.4	0
	A+B0.5+NL	1	9.45	0
	A+B0.5+NT	1.99	3.88	0
K*				
Fresco	91.79			
A+B0.5	28.99	69.02	0	
A+B0.5+NL	6.5	26.36	0	
A+B0.5+NT	7.5	23.74	0	

* Las letra corresponde a la identificación del macho del cual provenía el semen empleado en los tratamientos.



Cuadro 4. Comparación entre tipo de tratamiento y macho (valores de espermatozoides vivos expresados en %)

Tratamiento	B ^a	D ^b	K ^c
A + B ^t	13.52	7.0	2.0
A + N ^u	11.44	34.5	2.0
A + NT ^v	14.23	36.5	10.0
A + NL ^w	7.25	18.0	3.0
PBS + N^x	23	25.0	21.29
PBS + NT ^y	14.91	31.9	14.50
PNS + NL ^z	14.2	1.5	11.5

Diferencias entre % de espermatozoides vivo por verraco: a-b = 0.030 (indica igualdad), b-c = 0.043 (indica igualdad), a -c = 0.45 (indica igualdad).

Comparación entre tratamientos: t-u = 0.41, t-v = 0.12, t-w = 0.24, t-x ≠ 0.012, t-y = 0.6, t-z = 0.3, u-v = 0.1, u-w = 0.33, u-x ≠ 0.002, u-y = 0.06, u-z = 0.073, v-w = 0.01, v-x ≠ 0.043, v-y = 0.23, v-z = 0.09, w-x ≠ 0.001, w-y = 0.23, w-z = 0.34, x-y ≠ 0.049, x-z = 0.7, y-z = 0.01. El Tratamiento "PBS+N", es el más efectivo para mantener un mayor % de espermatozoides vivos (p < 0.05).

Hasta hoy no tenemos conocimiento del uso de este tipo de sistemas para la criopreservación del semen. Los resultados obtenidos en el presente estudio parecen indicar que este tipo de sistemas podrían ser utilizados como potenciales crioprotectores para ser empleados para la congelación del semen de verraco, sin embargo es necesario realizar la caracterización de las mismas.

5. CONCLUSIONES

El uso de las PNP de quitosán como vehículos acarreadores de trehalosa para su introducción intracelular no cumplió con nuestras expectativas de mejorar significativamente la viabilidad del semen de cerdo durante el proceso de congelación-descongelación del semen de cerdo. Sin embargo nuestros resultados sugieren que la adición de PNP solas al medio de congelación en ausencia de glicerol, puede disminuir el daño ocasionado por el proceso de criopreservación.



Agredecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la DGAPA-UNAM para el financiamiento de la presente investigación, a través del Proyecto PAPIIT IN219717.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Yeste Marc, Rodríguez Gil Joan E. y Bonet Sergi. 2017. Artificial insemination with frozen-thawed boar sperm. *Molecular Reproduction Development* 2017, 1-12.
2. Williams S., Fernández V., Gavazza M., Marmunti M, Zeinsteger P y Prenna G. Congelación se semen porcino: resultados y avances en la técnica. *ANALECTA VET.* 2015, 3(1), 17-25.
3. Chen T, Acker P. J, Eroglu A, Cheley S, Bayley H, Fowler A, Toner M. Beneficial effect of intracellular Trehalose on the membrane Integrity of Dried Mammalian Cells. *Cryobiology* 2001, 43:168-181.
4. Elliot G D, Xiang-Hong L, Cusick JL, Menze M, Vincent J, Witt, Hand S, Toner. Trehalose uptake throught P2X7 purinergic channels provides dehydration protection. *Criobiology* 2006, 52:114-127.
5. Bucak M N, Atessahim A, Varisli Ö, Yüce A, Tekin N And Akcay A. The influence of trehalosa, taurine, cysteamine and hyaluronan on ram semen: Microscopic and oxidative stress parameters after freeze-thawing process. *Theriogenology* 2007, 67:1060-1067.
6. Nieves-Osorno M.M, Juárez-Mosqueda M.L, Jácome-Sosa E, Domínguez-Mancera B and Barrientos- Morales M. Spermatic quality after thawing of pig semen treated with Streptolisin and Trehalosa. *Res. Opin. Anim. Vet. Sci.* 2017, 7(1): 1-7.
7. Jabr-Milane L, Van Vlerken L, Devalapally H, Shenoy D, Komareddy S, Bhavsar M, Amiji M. Multi-functional nanocarriers for targeted delivery of drugs and genes. *J Control Release* 2008, 130:121-128.
8. Munawar A. Mohammed, Jaweria T. M. Syeda, Kishor M. Wasan and Ellen K. Wasan. An Overview of Chitosan Nanoparticles and Its Application in Non-Parenteral Drug Delivery. *Pharmaceutics* 2017, 9 (53): 1-26
9. de Oliveira Pedro Rafea, Hoffmann Stefan, Pereira Susana, Goycoolea Francisco M., Schmitt Carla C., Neumann Miguel G.. Self-assembled amphiphilic chitosan nanoparticles for quercetin delivery to breast cancer cells. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 2018, 131: 203-210
10. Jardon Samantha, García Carlos G., Quintanar David, Nieto José L., Juárez María de Lourdes, Mendoza Susana E. Effect of two glycyrrhizinic acid nanoparticle carriers on MARC-145 cells actin filaments *Applied Nanoscience* 2018, 8:1111–1121.



11. Akbar Ali, Shakeel AhmedA. A review on chitosan and its nanocomposites in drug delivery. *International Journal of Biological Macromolecules* 2018, 109:273–286.
12. Anupriya Baranwal, Ashutosh Kumar, A. Priyadharshini, Gopi Suresh Oggu, Ira Bhatnagar, Ananya Srivastava, Pranjal Chandra .Chitosan: An undisputed bio-fabrication material for tissue engineering and bio-sensing applications. *International Journal of Biological Macromolecules* 2018, 110:110–123 .
13. Gutiérrez-Pérez O., Juárez-Mosqueda ML., Mota D., Trujillo ME. The disruption in actin-perinuclear theca interactions are related with changes induces by cryopreservation observe don sperm chromatin nuclear decondensation of boar semen. *Cryobiology*, 2011, 62: 32-39.
14. Yeste M, Estrada E, Casas I, Bonet S, Rodríguez-Gil JE. Good and bad freezability boar ejaculates differ in the integrity of nucleoprotein structure after freeze-thawing but not in ROS levels. *Theriogenology*, 2013, 79:929-939.
15. Watson PF. The causes of reduced fertility with cryopreserved semen. *Anim Reprod Sci*, 2000, 60(61):481-492.



Efecto de la suplementación proteica en colonias de *Apis mellifera*

Juan Manuel Vargas Romero ■ Francisco Lenin Bartolo Reyes ■ Alejandra González Franco
Hermenegildo Román Losada Custardoy ■ José Cortés Zorrilla ■ Jorge Eduardo Vieyra Durán
Viridiana Alemán López ■ Melina Espinosa Méndez ■ Lorena Luna Rodríguez

Departamento de Biología de la Reproducción.
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
dianoia08@gmail.com

1. Resumen

La calidad biológica de las proteínas que alimentan a las abejas melíferas es determinante en el crecimiento de la colonia y este a su vez determinará la producción de miel. Las tortas proteicas que se ofrecen a las abejas en épocas de estiaje pueden no cubrir sus requerimientos nutricionales, si el balance de aminoácidos no es el adecuado. El objetivo de este trabajo fue evaluar el nivel de aminoácidos en las tortas proteicas utilizadas en la época de estiaje. Los resultados muestran que las tortas proteicas con un mejor nivel de Lisina y Metionina fomentan el crecimiento de las colonias de abejas melíferas; también se observó que las abejas que no recibieron una torta proteica enriquecida con Lisina y Metionina, interaccionaron con el ambiente para cubrir sus necesidades nutricionales, sin el mismo resultado que aquellas colonias alimentadas con tortas proteicas enriquecidas con Lisina y Metionina.

2. Introducción

En las abejas melíferas la nutrición juega un papel muy importante en el desarrollo, crecimiento y mantenimiento de las colonias, también es uno de los pilares en las barreras inmunológicas ante el ataque de enfermedades. Estos insectos tienen una dieta altamente especializada, alimentándose casi en su totalidad del néctar y el polen de las plantas, estos le proporcionan los carbohidratos y las proteínas necesarias para el cuidado, alimentación de las crías y termorregulación de la colonia ^[1].

En particular, el contenido de aminoácidos es un componente clave en la nutrición de abejas melíferas, ya que la formación de proteínas, depende de los aminoácidos contenidos en la dieta ^[2]. Actualmente, existen una amplia varie-



dad de fórmulas para realizar tortas proteicas comerciales, que muchas veces no son evaluadas en campo por lo que se desconoce su eficacia y cómo afecta su impacto en los costos de producción [3]. Aunque el valor nutritivo es alto, a menudo reducen la vida útil de las abejas melíferas debido a los efectos nocivos de las proteínas artificiales en el tracto [4].

El siguiente trabajo surge debido a la poca información que existe sobre la alimentación proteica artificial en abejas melíferas y su experimentación en campo en el Estado de México, así como su impacto en la colmena.

3. Condiciones experimentales

3.1 Ubicación

El trabajo experimental se desarrolló en el ejido San Juan Atzacualoya, del Municipio Tlalmanalco, Estado de México. El lugar se encuentra entre los paralelos 19° 09' y 19° 16' de latitud norte, entre los meridianos 98° 38' y 98° 52' de longitud oeste y está a una altitud 2 444 m. Esta zona tiene un clima templado subhúmedo C(w) con lluvias en verano, con un rango de precipitación entre 700 y 1 200 mm [5]. La presente investigación comenzó en abril de 2018 y concluyó en julio de 2018.

3.2 Unidades experimentales

Se utilizaron 30 núcleos de abejas (*Apis mellifera*) del apiario de la SPR Miel Ixta-popo, ubicado en Tlalmanalco, Estado de México. Los núcleos se formaron con 3 bastidores de cría, uno de alimento (miel y polen) y un alimentador interno; los cuales se instalaron dentro de colmenas tipo canadiense. Después de transcurridas 24 h, siguiendo la metodología de Fert (2003) [6] se realizó la introducción de abejas reinas procedentes de un criadero certificado (SAGARPA, 2018) [7] ubicado en Teocelo, Veracruz. Todas las reinas eran hermanas y obtenidas del mismo traslarve.

3.3 Tratamientos

Después de 30 d de haber introducido a las reinas, se seleccionaron los 24 núcleos más fuertes. Se suministró el suplemento proteico en 2 tratamientos (T1 y T2) y un grupo control (T0) con 8 repeticiones cada uno. En el T1 se utilizó la torta proteica diseñada por la Asociación Ganadera Nacional de Criadores de abejas Reinas y Núcleos (ASGANAREN) y en el T2 se excluyeron los aminoácidos (lisina y metionina) (Tabla 1). Al grupo control (T0) no le fue suministrado suplemento proteico.



3.4 Elaboración de los tratamientos

Los ingredientes (tabla 1) se pesaron en una báscula electrónica (Metrology, BPP-40, capacidad 0.005-40.00 kg), y los aminoácidos en una balanza analítica (Ohaus, Pa220). Se mezclan los ingredientes sólidos (excepto el azúcar) y líquidos por separado. La parte líquida se lleva a una temperatura de 40 °C y se le adiciona el azúcar, posteriormente cuando esta mezcla es homogénea se adiciona los componentes sólidos restantes. Se deja enfriar por 45 min, se envasan porciones de 200 g y se conservan a 4 °C para su posterior uso.

3.5 Administración de los tratamientos

Se suministró una ración de 200g del tratamiento correspondiente para cada uno de los núcleos, y después de transcurridos 8 d se retiró la cantidad rechazada y se colocó una nueva ración. Adicional a los tratamientos se suministró 1 L de jarabe en solución 1:1 (1 L de agua por 1 kg de azúcar) cada 8 d. Lo anterior durante 8 semanas.

3.6 Determinación de ganancia de peso y consumo

El método para medir la ganancia de peso fue por incremento de la masa (kg) de la colmena. Los núcleos fueron pesados al iniciar el periodo de suplementación con una báscula electrónica, a las 0800 h. Se repitió el pesaje cada 8 d por 8 semanas en condiciones iguales.

El consumo se determinó mediante la diferencia entre el rechazo del suplemento proteico y el suplemento ofrecido, esto fue medido cada 8 d por 8 semanas.



Tabla 1. Inclusión de ingredientes utilizados en las tortas proteicas.

Ingrediente	Inclusión (%)	
	T1*	T2
Azúcar granulada	56.6	56.7
Levadura de cerveza amarga	18.1	18.1
Huevo en polvo	6.8	6.8
Aceite canola	4.5	4.5
Agua	4.5	4.5
Alta fructosa	6.8	6.8
Vitaminas	0.79	0.79
Minerales	0.05	0.05
Metionina	0.08	-
Lisina	0.08	-
Jugo limón	1.69	1.69

*ASGANAREN- Asociación Ganadera Nacional de Criadores de Abejas Reina y Núcleos.

3.7 Análisis de los datos

El consumo de la torta proteica y la ganancia de peso, fueron analizados mediante una prueba de ANOVA de un factor, que está indicada para la comparación de varios grupos en una variable cuantitativa. Después de encontrar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (grupos) se realizó una prueba de Tukey, para determinar la diferencia entre los tratamientos evaluados ^[8] utilizando el programa estadístico PASW Statics 18.

4. Resultados y discusión

El consumo de la torta proteica fue diferente ($p < 0.001$) entre los grupos que la recibieron (T1 y T2), el grupo que recibió semanalmente la torta proteica sin aminoácidos adicionados presentó un consumo más bajo ($153 \text{ g semana}^{-1}$) que el grupo que fue alimentado con la torta que fue enriquecida con aminoácidos ($180 \text{ g semana}^{-1}$). Los resultados de la Ganancia de Peso (GP) se muestran en la Tabla 2.



Tabla 2. Ganancia de Peso en colonias de *Apis mellifera* suplementadas con diferentes tortas proteicas.

Tratamientos	n	Media	Desviación Estándar	Error Estándar
T0	8	2.74 ^a	0.721	0.272
T1	8	3.91	0.671	0.253
T2	8	1.91 ^a	0.963	0.393

T0: sin torta proteica; T1: Torta proteica con aminoácidos adicionados; T3: Torta proteica sin aminoácidos adicionados.

^a literales diferentes en las columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$)

El análisis de ANOVA-una vía, mostró que existió diferencia entre los grupos ($p < 0.001$); y en la prueba de Tukey se encontró que los tratamientos T2 y T0 fueron diferentes al T1. Esto evidencia que las colonias que no recibieron torta proteica y las que recibieron una torta deficiente tuvieron un comportamiento productivo similar ($p > 0.173$); mientras que las colonias que recibieron una torta proteica enriquecida con Lisina y Metionina tuvieron un comportamiento productivo superior a los otros dos tratamientos (Tabla 2).

De acuerdo con Raubenheimer y col. (2009)^[9], estos organismos deben de interactuar con el ambiente para obtener los nutrientes que requieren en las diferentes etapas de sus vidas, las abejas son capaces cubrir estas necesidades con el polen y néctar de la región o los suplementos ofrecidos por los apicultores. En este sentido, las colonias de abejas que no recibieron la alimentación proteica suplementaria (T0), tuvieron la necesidad de buscar en la cercanía del terreno el polen y el néctar que necesitaban en esta etapa productiva; logrando un consumo y valores nutricionales similares a los que se ofrecieron en la torta proteica no enriquecida con aminoácidos (T2), de acuerdo a Hendriksma y Shafir (2016)^[10] este comportamiento compensatorio sucede naturalmente en este tipo de insectos; también hay autores que refieren que en ocasiones el agua turbia o sucia pudiera funcionar como un buen complemento de la alimentación de las abejas y que ellas lo buscan de una manera “instintiva”; entonces, estas colonias que no recibieron la torta proteica pudieron tener este tipo de conducta que se enfoca a cubrir las necesidades nutricionales^[11].

En condiciones naturales, el polen y el néctar no siempre cubren las necesidades de las abejas, por lo que en época de estiaje o escasas de floración las abejas pueden no cubrir sus demandas nutricionales óptimas^[12]; entonces, las condiciones ambientales en las que se desarrolló el presente estudio, no fueron las óptimas para lograr un desarrollo adecuado de la colonia; y el valor nutricional de la torta ofrecida sin aminoácidos adicionados (T2) tampoco alcanzó los requerimientos de estas colonias.



Solamente la adición de aminoácidos en la torta, pudo cubrir los requerimientos nutricionales de las colonias en esa época del año, o al menos acercarse a ellos.

5. Conclusiones

En condiciones naturales, las colonias de abejas que no reciban una alimentación suplementaria con tortas proteicas son capaces de buscar por sus propios medios en las inmediaciones del terreno, el polen y néctar necesarios que garanticen la supervivencia y crecimiento de su población; sin embargo, las condiciones ambientales de Tlalmanalco no proveen los requerimientos nutricionales de las abejas melíferas, por lo que es necesaria el enriquecimiento de las tortas proteicas ofrecidas que garanticen un mejor valor biológico de la proteína ofrecida en las tortas proteicas.

6. Bibliografía

1. Farrar C. L. Productive management of honey bee colonies. *American Bee Journal*, 113, 8-12. 1973.
2. Alaux C., Brunet J., Dussaubat D., Mondet F., Tchamitchan S., Cousin M., Brillard J., Baldy A., Belzunces L. P. y Le Conte Y. Interactions between *Nosema* microspores and a neonicotinoid weaken honeybees (*Apis mellifera*). *Environmental Microbiology* 12: 774-782. 2010.
3. Szymas B. y Jedruszuk A. The influence of different diets on haemocytes of adult worker honey bees, *Apis mellifera* *Apidologie* 34. 97-102. 2003.
4. Kaznowski A., Szymas B., Jazdzinska E., Kazimierczak M. y Paetz H. The effects of probiotic supplementation on the content of intestinal microflora and chemical composition of worker honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of apicultural Research* 44(1). 2005.
5. INEGI. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tlalmanalco, México. 2009.
6. Fert G. Cría de reinas. Gilles Fert, España, S.A. Mundi-Prensa Libros. 128p. 2003.
7. SAGARPA 2018. <http://dev.sagarpa.gob.mx/tramitesyServicios/Lists/Coordinacin%20General%20de%20Ganadera/Attachments/7/SAGARPA%2004-008.pdf>
8. Daniel W. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud. 4ª edición. Ed Limusa Wiley. ISBN 9789681861643 900 pp. 2005.
9. Raubenheimer D., Simpson S. and Mayntz D. Nutrition, ecology and nutritional ecology: toward an integrated framework. *Functional Ecology*. 23, 4–16. 2009. doi: 10.1111/j.1365-2435.2008.01522.x



10. Hendriksma H. y Shafir S. Honey bee foragers balance colony nutritional deficiencies. Volume 70, Issue 4, pp 509–517. April 2016.
11. Bonoan R., O'Connor L. y Starks P. Seasonality of honey bee (*Apis mellifera*) micronutrient supplementation and environmental limitation. Journal of Insect Physiology. Volume 107, Pages 23-28. May–June 2018.
12. Costa M.C., Morgano M., Ferreira M. M. y Milani R. Analysis of bee pollen constituents from different Brazilian regions: Quantification by NIR spectroscopy and PLS regression. LWT Volume 80, Pages 76-83. July 2017.



Potencial de especies para mitigar metano *in vitro*

Erika Méndez Manzano ■ Rosy Gabriela Cruz Monterrosa ■ Genaro Cvabodni Miranda de la Lama
Mayra Díaz Ramírez ■ Mayra Nuñez López ■ Adolfo Armando Rayas Amor

Departamento de Ciencias de la Alimentación.
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma
a.rayas@correo.ler.uam.mx

1. RESUMEN

La producción de metano (CH_4) por las heces de bovinos es de alto impacto ambiental, contribuyendo un 18% al calentamiento global. La manipulación de la dieta de los rumiantes se ha considerado como alternativa para reducir el metano. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la adición de hojas de ruda (*Ruta* sp.), pino (*Picea abies*) e higo (*Ficus carica*) con dos niveles de inclusión (3% y 6%) sobre la mitigación de metano y la digestibilidad de la materia seca *in vitro*. Los tratamientos evaluados consistieron en muestras de pasto nativo dominado por pasto kikuyo (*Penisetum clandestinum*) más la adición de 3 y 6 % de hoja de ruda, pino e higo con respecto a un control. El CH_4 se cuantificó a las 12, 24 y 48 horas post-incubación. Los resultados mostraron que se encontraron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre tratamientos en todas las horas de medición, PN-R6% y PN-H3%; PN-R6% y PN-P3%; PN-R6% y PN-H3% presentaron menor concentración de CH_4 a las 12, 24 y 48 horas, respectivamente. La digestibilidad de la materia seca *in vitro* (DIVMS) no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos a las 48 horas post-incubación; no obstante, el control presentó 6.6%, 3.5%, 7.6% mayor digestibilidad con respecto a los tratamientos PN-R6%, PN-P3%, PN-H3%, respectivamente. Se concluyó que PN-P3% y PN-R6% mitigaron el CH_4 en 38% y 34% a las 24 y 48 horas, respectivamente sin afectar la DIVMS.

2. INTRODUCCIÓN

Las emisiones de CH_4 significan pérdida de energía en un sistema de producción pecuario ya que parte de la energía ingerida por los rumiantes es perdida en forma de metano (CH_4), en lugar de ser asimilada por el rumiante y utilizarla



para producción de leche y/o carne. La implementación de dietas que contienen metabolitos secundarios que tienen la capacidad de alterar la población microbiana del rumen y los procesos de fermentación ruminal constituye una alternativa para reducir las emisiones de CH_4 entérico^[1]. Por lo tanto, el desperdicio de cierta porción de la energía en forma de CH_4 , no solamente afecta negativamente al ambiente, sino que también afecta la viabilidad económica del sistema. La ruda se ha utilizado en la medicina tradicional ya que tiene propiedades inhibitorias *in vitro* frente a *Erwinia amylovora*, *E. carotovora*, *Pseudomonas syringae* y *Xanthomonas campestris*. Asimismo, reveló propiedades sobre *Culex quinquefasciatus* y repelentes frente a *Popillia japónica*. y efecto inhibitor de los hongos *Epidermophyton floccosum*, *Trichophyton rubrum* y *T. mentagrophytes*; y bacteriostático contra *Micrococcus pyogenes var. aureus* y *Escherichia coli*. La especie de higo de mayor importancia comercial es *Ficus carica* L. (sinónimo de *Ficus kopetdagensis* Pachom.), también conocido como higo común. Se sabe que *F. carica* tiene propiedades antioxidantes, antimicóticas, antihelmínticas^[2]. Los pinos (*Pinus* sp) son árboles perennifolios, con abundante ramificación que, con su disposición, da lugar a copas de contorno cilíndrico-piramidal en la mayoría de los casos. El tronco, las ramas y las hojas están surcados por unas células organizadas en canales que sintetizan y acumulan resina que puede presentar propiedades bactericidas y/o bacteriostáticas. En este tenor, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la adición de hojas de ruda (*Ruta* sp.), pino (*Picea abies*) e higo (*Ficus carica*) con dos niveles de inclusión (3% y 6%) sobre la mitigación de metano y la digestibilidad de la materia seca *in vitro*.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

2.1 Ubicación del sitio de muestreo

El muestreo se desarrolló en el invernadero de la UAM Unidad Lerma (Figura 1) localizado en las coordenadas geográficas (19° 17' 31.38" N; 99° 30' 06.63" O) a una elevación de 2572 m.



Figura 1. Ubicación del sitio de muestreo de la pradera nativa.

Las muestras se secaron en una estufa de aire forzado a 60° C por 24 horas posteriormente las muestras se molieron con un molino a un tamaño de partícula cercano a los 2 mm^[3]. La producción de gas se cuantificó mediante la técnica de producción de gas *in vitro*^[4]. El líquido ruminal se colectó de una vaca fistulada, múltipara, raza Holstein con peso promedio de 550 kg y alimentación basada en 100% pradera nativa. La recolección de líquido ruminal se realizó a las 07:00 h, se filtró a través de cuatro capas de tela manta de cielo, y se colocó en un termo calentado previamente a 39° C, este se transportó rápidamente al laboratorio para la incubación. Se realizaron tres incubaciones por muestra utilizando botellas ámbar de vidrio con capacidad de 120 ml, se incubó aproximadamente 1 g de muestra en cada botella; en cada corrida de incubación se incluyeron cuatro blancos. A cada botella se le adicionaron 90 ml de solución nutritiva (Kansas State) la cual consiste en una solución A (10 g/L de KH₂PO₄, 0.5 g/L de MgSO₄*7H₂O, 0.5 g/L de NaCl, 0.1g/L de CaCl₂*2H₂O, 0.5 g/L de urea) y una solución B (9g de Na₂CO₃ y 0.6 g Na₂S*9H₂O diluidos en 60 ml de agua destilada), posteriormente se inoculó con 10 ml de líquido ruminal. La producción de gas metano se cuantificó con un sensor electroquímico acoplado a un analizador portátil (Aeroqual serie 500®) las mediciones se realizaron a las 12, 24 y 48 horas post-incubación. La calibración del sensor electroquímico se realizó en fábrica (Aeroqual Limited 109 Valley Road, Mt Eden, Auckland 1024, New Zealand). Se evaluó el efecto de tres especies localizadas comúnmente en el valle de Toluca sobre la mitigación de CH₄ *in vitro*; estas fueron, hoja de ruda (*Ruta* sp), hoja de pino (*Picea abies*) y hoja de higo (*Ficus carica*) ya que tienen propiedades bactericidas o bacteriostáticas.



2.2 Tratamientos evaluados

Los datos de producción de metano *in vitro* a las 12, 24 y 48 horas se evaluaron mediante un diseño factorial con bloques completos al azar; en donde los tratamientos estuvieron compuestos por el pasto nativo dominado por *Penisetum clandestinum* (80%) y malezas (20%); se le adicionó 3% y 6% de hojas de ruda, pino e higo (Cuadro 1). Adicionalmente se incluyó la pradera nativa como control.

Cuadro 1. Tratamientos y bloques que componen el diseño estadístico de bloques completos al azar

Tratamiento	Acrónimo	Bloque (horas)
Pasto nativo	PN	12
Pasto nativo más 3% de hoja de ruda	PN-R3%	24
Pasto nativo más 6% de hoja de ruda	PN-R6%	48
Pasto nativo más 3% de hoja de pino	PN-P3%	
Pasto nativo más 6% de hoja de pino	PN-P6%	
Pasto nativo más 3% de hoja de higo	PN-H3%	
Pasto nativo más 6% de hoja de higo	PN-H6%	

Los niveles en los tratamientos se adicionaron en base seca con respecto al peso del control (1 g).

2.3 Análisis estadístico

La producción de CH₄ y la digestibilidad *in vitro* se analizaron mediante un diseño de bloques completos al azar. El modelo general lineal fue: $Y = \mu + T_i + B_j + e_{ij}$; en donde, Y= variable respuesta (CH₄ *in vitro*) μ = media general, T_i = efecto debido al tratamiento en la *i*-ésima repetición (Cuadro 1), B_j = efecto debido a la hora de medición post-incubación (12, 24, 48) en el *j*-ésimo bloque, e_{ij} = error experimental de la *i*-ésima repetición en el *j*-ésimo bloque. Cuando se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los tratamientos se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey. El análisis estadístico se realizó con el software MINITAB v14.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se muestra los promedios de la concentración acumulada de CH₄ y la DIVMS cuando el pasto nativo se incubó con hojas de ruda, pino e higo con diferentes proporciones. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre tratamientos en todas las horas de medición, PN-R6% y PN-H3%; PN-R6% y PN-P3%;



PN-R6% y PN-H3% presentaron menor concentración de CH₄ a las 12, 24 y 48 horas, respectivamente.

Cuadro 2. Efecto de la adición de hojas de ruda, higo y pino sobre la concentración acumulada promedio de metano (CH₄) y la digestibilidad de la materia seca *in vitro* (DIVMS)

Tratamientos	Concentración de CH ₄ (g/ kg MS)						DIVMS (g/ kg MS)	
	12 h		24 h		48 h		48 h	
Control PN	0.4 ^{aA}	±0.1	2.1 ^{aB}	±1.6	7.0 ^{aC}	±2.8	651	±43
PN-R3%	0.4 ^{aA}	±0.2	2.6 ^{bB}	±2.1	7.7 ^{bC}	±2.2	617	±69
PN-R6%	0.3 ^{bA}	±0.2	1.7 ^{cB}	±0.9	4.6 ^{cC}	±1.9	608	±79
PN-P3%	0.4 ^{aA}	±0.2	1.3 ^{cB}	±0.6	5.7 ^{dC}	±2.5	628	±53
PN-P6%	0.5 ^{cA}	±0.1	2.1 ^{aB}	±0.5	7.4 ^{cC}	±0.6	652	±54
PN-H3%	0.3 ^{bA}	±0.2	2.8 ^{bB}	±0.6	4.9 ^{cC}	±0.9	601	±51
PN-H6%	0.4 ^{aA}	±0.1	2.4 ^{bB}	±1.6	7.0 ^{aC}	±0.8	613	±44
EEM	0.02		0.2		0.5		14	
Tratamientos	0.001		0.001		0.001		0.18	
Bloques	0.011		0.001		0.001			

Tratamientos como se indica en el Cuadro 1. Superíndices en minúsculas refieren a diferencias entre filas y superíndices en mayúsculas refieren a diferencias entre columnas

La DIVMS no presentó diferencias significativas entre tratamientos a las 48 horas post-incubación; no obstante, el control (PN) presentó 6.6%, 3.5%, 7.6% mayor digestibilidad con respecto a los tratamientos PN-R6%, PN-P3%, PN-H3%, respectivamente. En la Figura 2 se muestra la tasa de producción de CH₄ por hora. Los tratamientos PN-P3% y PN-H3% presentaron la tasa de producción de CH₄ más baja a las 24 horas; sin embargo, PN-R6% mostró la tasa más baja a las 48 horas post-incubación.

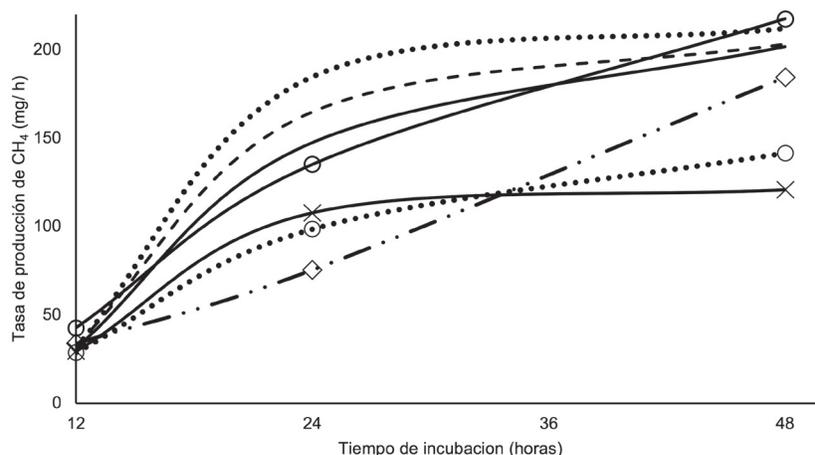


Figura 2. Efecto de la adición de seis especies sobre la tasa de producción de CH_4 *in vitro* por hora empleando pradera nativa como sustrato base. De arriba hacia abajo; línea punteada: pradera nativa + ruda 3%, línea con guiones: pasto nativo + higo 6%, línea sólida: control (pasto nativo), línea sólida con círculos: pasto nativo + pino 6%, línea sólida con taches: pasto nativo + ruda 6%, línea punteada con círculos: pasto nativo + higo 3%, línea guion-puntos con rombos: pasto nativo + pino 3%

Según la literatura, miles de especies de plantas han sido probadas *in vitro* contra diversas cepas bacterianas, y se ha demostrado que existe un buen número de extractos de plantas medicinales y compuestos puros activos contra bacterias gram-positivas y gram-negativas; por ejemplo, en las hojas y el latex del higo (*Ficus carica*) se han identificado compuestos tales como cumarinas, flavonoides, esteroides, ésteres, aldahidos, monoterpénos, sesquiterpénos, compuestos misceláneos. Adicionalmente en el látex se han identificado 14 ácidos grasos siendo el ácido palmítico, araquídico y behénico los principales ácidos grasos del contenido total de ácidos grasos^[5], en las hojas de pino de diversas especies se ha encontrado una química defensiva que incluyen; resinas, terpenoides, compuestos fenólicos, proantocianidinas (taninos condensados) y flavonoides acetilados, alcaloides de piperidina 2,6-disustituidos^[6]. Esta mitigación de CH_4 puede explicarse por dos mecanismos de acción; 1) varios autores han sugerido que el uso de compuestos tales como saponinas, taninos condensados y aceites esenciales reducen la síntesis de CH_4 en el rumen; Por otro lado, 2) la acción conjunta de estos compuestos puede ser bacteriostático en lugar de bactericida ya que pudieron haber inhibido el crecimiento logarítmico del organismo bacteriano entre las 24 y 48 horas post-incubación^[7].

3 CONCLUSIONES

Se concluyó que PN-P3% y PN-R6% mitigaron el CH_4 en 38% y 34% a las 24 y 48 horas, respectivamente sin afectar la DIVMS.



4 AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen enteramente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), México por el financiamiento de la presente investigación que se desarrolló dentro del proyecto titulado “Desarrollo de modelos de optimización para mitigar los gases de efecto invernadero provenientes de las explotaciones ganaderas” (proyecto numero 247825) y al Departamento de Ciencias de la Alimentación de la UAM Unidad Lerma por el acceso al Laboratorio de Alimentos.

5 BIBLIOGRAFÍA

1. Valencia Salazar, S.S., Piñeiro Vázquez A.T., Molina Botero I.C., Lazos Balbuena F.J., Uuh Narvárez J.J., Segura Campos M.R., Ramírez Avilés L., Solorio Sánchez F.J., Ku Vera J.C. (2018) Potential of Samanea saman pod meal for enteric methane mitigation in crossbred heifers fed low-quality tropical Grass. *Agricultural and Forest Meteorology*, 258, 108-116.
2. Mavlonov, G. T., Ubaidullaeva, K. A., Rakhmanov, M., Abdurakhmonov, I. Y., Abdukarimov, A. (2008). Chitin-binding antifungal protein from *Ficus carica* latex. *Chemistry of Natural Compounds*, 44, 216–219.
3. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2012. *Official Methods of Analysis*. 19th ed. AOAC: International, USA. pp: 34-36.
4. Theodorou M.K., Williams B.A., Dhanoa M.S., McAllan A.B., France J.A. 1994. Simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds. *Anim Feed Sci Technol*;48:185-197
5. Barolo M.I., Ruiz-Mostacero N., López S.N. (2014) *Ficus carica* L. (Moraceae): an ancient source of food and health. *Food Chemistry*, 164, 119-127.
6. Virjamo V., Julkunen-Tiitto R. (2018). Quality and quantity of piperidine alkaloids in needles and bark of Scotspine (*Pinus sylvestris*) seedlings. *Phytochemistry Letters*, 26, 106-109.
7. Vera-Ku M., Méndez-González M., Moo-Pucc R., Rosado-Vallado M., Simá-Polanco P., Cedillo-Rivera R., Peraza-Sánchez S.R. (2010) Medicinal potions used against infectious bowel diseases in Mayan traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 132 (1), 303-308.



Estudio de la actividad antiinflamatoria del extracto acuoso del Gorgojo Chino *Ulomoides dermestoides*.

Doris Teresa Gallegos Baños ■ Norma Angélica Noguez Méndez ■ Juan Francisco Palacios Espinosa
Carlos Tomás Quirino-Barreda ■ Ignacio González Sánchez ■ Jaime Pérez Villanueva ■ Olivia Soria Arteché

Departamento de Sistemas Biológicos.
Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco, México.
dorisgallegosbanos@gmail.com

1. Resumen

Desde hace varios años en nuestra cultura la especie *Ulomoides dermestoides* ha sido un ejemplo importante de esta práctica. En México Cupul-Magaña (2010) cita la coleopteroterapia al ingerir este escarabajo como medicina, refiriendo a una mujer de 48 años diagnosticada con fibromialgia y osteoartritis cuatro años antes, quien a los 47.6 años inició la ingesta del “gorgojo chino”, aunado al tratamiento prescrito por su médico, dijo haber notado una mejoría importante en su salud desde dicha ingesta, independiente de la proporcionada por la medicina alopática que llevaba consumiendo desde su diagnóstico. Aunque esta observación no tiene bases científicas, documenta por primera vez el uso de este escarabajo como medicina tradicional en México. El propósito de la presente investigación fue la evaluación de la actividad analgésica y antiinflamatoria de los extractos polares de *Ulomoides dermestoides* (Coleóptera, Tenebrionidae)

2. Introducción

En el contexto científico el uso terapéutico de insectos y de productos derivados de ellos es conocido como **entomoterapia**. Los conocimientos y prácticas de ésta son transmitidos en gran parte por medio de la comunicación oral de generación en generación, por lo que no tienen una difusión general. Aunque la utilización de especies de insectos como recursos medicinales es una práctica antigua, la entomoterapia aún es relativamente desconocida a nivel académico. Esto se debe, principalmente, a que el mayor uso de los insectos está en el campo gastronómico y aun se cuenta con poca información probada sobre las propiedades terapéuticas de los insectos^[1,2].



En 2011, Alves y Alves publicaron una revisión bibliográfica sobre el uso de fauna medicinal en Latinoamérica, estos autores reportaron el uso terapéutico de 73 especies de artrópodos en diversos grupos poblacionales. Estos datos, destacan el conocimiento tradicional actual acerca de las propiedades terapéuticas de los artrópodos por parte de los grupos indígenas y locales en Latinoamérica^[3].

Desde hace varios años en nuestra cultura la especie *Ulomoides dermestoides* ha sido un ejemplo importante de esta práctica. En México Cupul-Magaña (2010) cita la coleopteroterapia al ingerir este escarabajo como medicina, refiriendo a una mujer de 48 años diagnosticada con fibromialgia y osteoartritis cuatro años antes, quien a los 47.6 años inició la ingesta del “gorgojo chino”, aunado al tratamiento prescrito por su médico, dijo haber notado una mejoría importante en su salud desde dicha ingesta, independiente de la proporcionada por la medicina alopática que llevaba consumiendo desde su diagnóstico.

Con base en esta información, el propósito de la presente investigación es la evaluación de la actividad analgésica y antiinflamatoria de los extractos polares de *Ulomoides dermestoides* (Coleóptera, Tenebrionidae), ver fig.1.



Figura 1.0. *Ulomoides dermestoides* (Coleóptera, Tenebrionidae)

3. Condiciones Experimentales

3.1 Muestra

El cultivo de los escarabajos *U. dermestoides* se mantuvo en un área especial bajo condiciones controladas de temperatura (22 ± 2 °C), protegidos de la luz y alimentados únicamente con pan integral *ad libitum*^[4].

Se tomó una muestra de 5 g de escarabajos adultos vivos de 30 días de madurez^[5]; los cuales se trituraron manualmente por fricción en mortero durante 3 minutos con una solución amortiguadora de fosfatos.

3.2 Preparación del extracto

La extracción se realizó de acuerdo al procedimiento que reporta Santos^[7], con modificaciones; el cual consiste en la maceración de la muestra triturada en 10 ml de solu-



ción amortiguadora de fosfatos pH 7.00; posteriormente para eliminar los fragmentos sólidos del insecto (exoesqueleto), se centrifugó a 1500 rpm durante 5 minutos en centrífuga clínica. Se recolectó el sobrenadante y se centrifugó a 4°C durante 10 minutos a 12000 rpm para eliminar sedimentos. La fase líquida se congeló a -70°C y se liofilizó por 24 horas a -40°C y una presión de vacío de 0.2 mBar hasta obtener un polvo totalmente seco. Posteriormente se almacenó en viales de vidrio a temperatura de -20°C.

3.3 Evaluación de la actividad antiinflamatoria *in vitro*

3.3.1 Preparación del cultivo celular de macrófagos en placa

Para el desarrollo de los experimentos *in vitro* se utilizaron las líneas celulares de macrófagos J774A.1 y RAW264.7, las cuales se mantuvieron en crecimiento en el Medio de Eagle Modificado por Dulbecco (DMEM) adicionado con 10% de Suero Fetal Bovino y 1% de antibiótico (penicilina-estreptomicina) en cajas de cultivo de 10 cm de diámetro a 37 °C con aire humidificado al 5 % con CO₂. Las células mostraron un típico crecimiento adherente en monocapa, ver fig.2

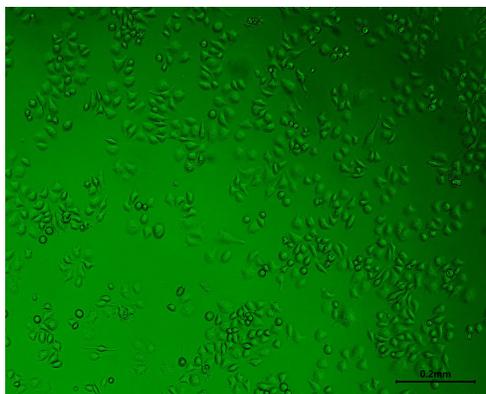


Figura 2.0. J774A.1 células sin tratamiento (objetivo 10x)

Las células se cosecharon mecánicamente con una solución de PBS-EDTA y fueron sembradas a una densidad de 5,000 y 10,000 células por pozo en placas de 96 pozos, en un volumen de 200 µl de medio fresco e incubadas durante 6 horas a 37 °C con 5 % CO₂.

Media hora antes de aplicar el estímulo de LPS 1 µg/ml, las células fueron pretratadas con concentraciones de 25, 50, 100, 200 y 400 µg/ml de extracto de *U. dermatoides* o los controles positivos indometacina (20 y 50 µM) y dexametasona (20 y 50 µM). Se incubaron durante 24 horas a las condiciones antes mencionadas, ver fig. 3.

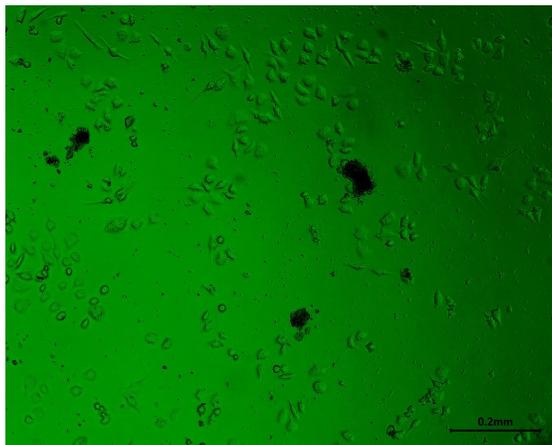


Figura 3.O. J774A.1 formación de precipitados en las células tratadas con el extracto a partir de concentraciones de 50 µg/mL (objetivo 10x)

3.3.2 Cuantificación de nitritos por el método de Griess

Se tomaron 100 µl de sobrenadante de cada pozo e inmediatamente se adicionó un volumen igual del reactivo comercial de Griess. Se dejó reaccionar protegido de la luz durante 10 minutos a temperatura ambiente. La concentración de nitritos se determinó midiendo la absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro con lector de microplacas. Se utilizó una curva estándar de NaNO_2 como referencia.

4. Resultados y discusión

La cantidad de nitrito, el cual es un metabolito estable del Óxido Nítrico (NO por sus siglas en inglés) fue determinado por el método colorimétrico con el reactivo de Griess. En las células no estimuladas de las líneas celulares RAW264.7 y J774A.1 los nitritos producidos fueron casi indetectables, en comparación con las células tratadas con 1 µg/ml de LPS, las cuales tuvieron un notable incremento en la acumulación del metabolito. Ambas líneas celulares presentaron un comportamiento similar en las dos densidades sembradas (5,000 y 10,000 células), con una disminución de nitritos en presencia del extracto a las diferentes concentraciones evaluadas (figuras 4 y 5).

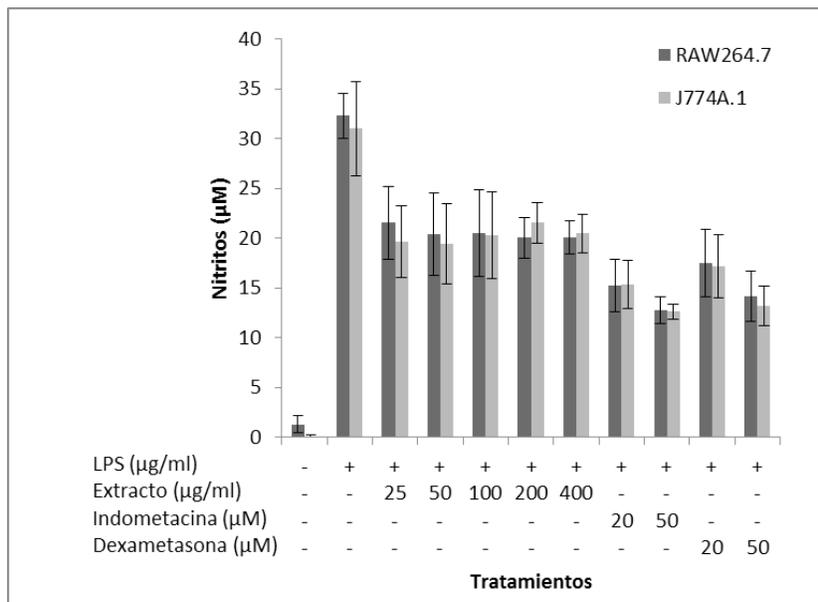


Figura 4.0. Producción de nitritos en las líneas celulares RAW264.7 y J774A.1 a la densidad de 5,000 cel/pozo. Las células fueron incubadas en presencia del extracto de *U. dermestoides* a concentraciones de 25, 50, 100, 200 y 400 µg/ml en combinación con 1 µg/ml de LPS.

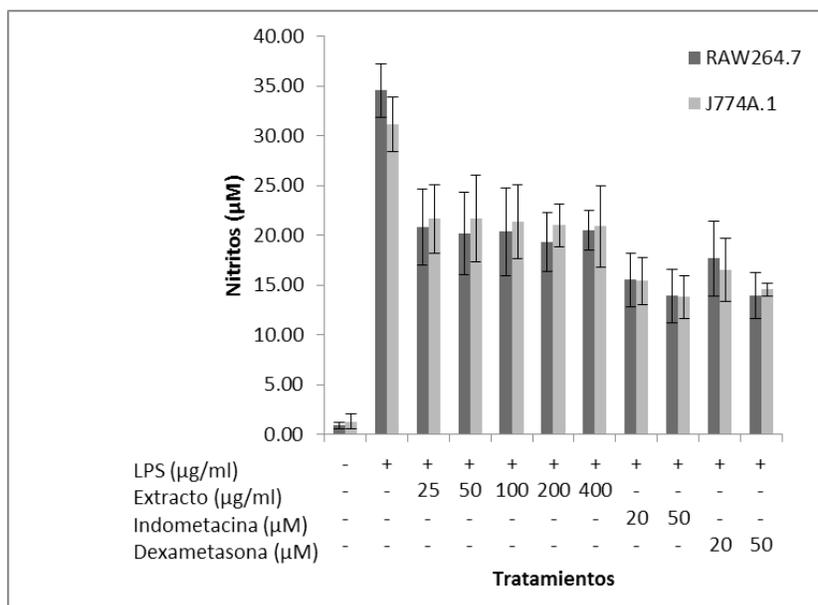


Figura 5.0. Producción de nitritos en las líneas celulares RAW264.7 y J774A.1 a la densidad de 10,000 cel/pozo. Las células fueron incubadas en presencia del extracto de *U. dermestoides* a concentraciones de 25, 50, 100, 200 y 400 µg/ml en combinación con 1 µg/ml de LPS.



5. Conclusiones

La cantidad de nitritos que se acumula en el sobrenadante de las células tratadas con el extracto disminuyó aproximadamente un 30 % con respecto a las células que solo recibieron el estímulo de LPS.

6. Bibliografía

1. Alonso-Castro A.J. Use of medicinal fauna in Mexican traditional medicine Journal of Ethnopharmacology, Volume 152, Issue 1, 27 February Pages 53-70. (2014)
2. Neto, E. C., & Ramos-Elorduy, J. Los insectos comestibles de Brasil: etnicidad, diversidad e importancia en la alimentación. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa, 38, 423-442.(2006)
3. Cahuich-Campos, D. Los artrópodos utilizados en la medicina tradicional maya mencionados en los libros de Chilam Balam de Chan Cah Tekas y Nah e Ixil. Etnobiología, 16. (2013)
4. Cupul-Magaña FG. Sobre el uso de Ulomoides dermestoides, (Coleoptera, Tenebrionidae, Diaperini) en la coleopteroterapia: informe de un caso en Ixtapa, Jalisco, México. Boln Asoc esp Ent. 34 (3-4): 419-22. (2010)
5. Saavedra A, S. (2013). Chemical composition and anti-irritant capacity of whole body extracts of *Ulomoides dermestoides* (Coleóptera, Tenebrionidae). Vitae, 20(1), 41-48.
6. Villaverde, M.L., Girotti, J.R., Mijailovsky, S.J., Pedrini, N., Juárez, M.P., 2009. Volatile secretions and epicuticular hydrocarbons of the beetle *Ulomoides dermestoides*. Comp. Biochem. Physiol. Part B Biochem. Mol. Biol. 154, 381-386).
7. Santos, R. C. V., Lunardelli, A., Caberlon, E., Bastos, C. M. A., Nunes, F. B., Pires, M. G. S., & de Oliveira, J. R. (2010). Anti-inflammatory and immunomodulatory effects of *Ulomoides dermestoides* on induced pleurisy in rats and lymphoproliferation in vitro. Inflammation, 33(3), 173-179



CAPÍTULO 3

Ingeniería y tecnología



INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

La Ingeniería es una disciplina que aplica los conocimientos científicos para solucionar problemas, necesidades humanas y para mejorar las condiciones de vida de la sociedad, innovando, desarrollando o proponiendo, por medio de técnicas diversas, nuevas soluciones a problemas en diversos campos y sectores de nuestra sociedad. El dominio y el perfeccionamiento de esas técnicas han generado lo que se conoce como Tecnología. Actualmente, gracias a la relación directa con la ciencia y su interacción con otras disciplinas del conocimiento, la Ingeniería es uno de los motores principales de la evolución tecnológica de nuestra sociedad.

Ha quedado atrás la imagen del pasado, del ingeniero como constructor y edificador de emporios industriales, o productor de aleaciones de metales en las naves industriales, o aún como constructor de vías de ferrocarril. Actualmente, gracias a su educación científica, su bagaje tecnológico y su interacción con investigadores y profesionales de otras disciplinas, el ingeniero ha descubierto nuevos horizontes que le permiten transformar la materia prima en productos innovadores, siendo capaz de producirlos en masa. La aplicación de sus conocimientos científicos, y su dominio de la tecnología han resultado esenciales para resolver problemas de nuestro tiempo, por ejemplo, el mejoramiento de la calidad y la eficacia de las redes de telefonía móvil, la administración óptima de la red de distribución de electricidad, en caso de un apagón generalizado, la elaboración de dispositivos técnicos capaces de contrarrestar los peligros derivados de las vibraciones no deseadas de un puente o controlar el flujo de agua con turbulencia, en un barco de movimiento rápido.

La Ingeniería y la Tecnología constituyen por excelencia, la aplicación de los conocimientos derivados de la ciencia, para desarrollar soluciones prácticas a problemas y necesidades sociales, industriales o económicas.



Mediciones eléctricas en líquidos con sensor capacitivo de doble sonda y desplazamientos lineales

Gloria Mata-Hernández ■ Asur Guadarrama-Santana

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología.
Universidad Nacional Autónoma de México.
asur.guadarrama@icat.unam.mx

1. Resumen

El presente trabajo describe una metodología de medición eléctrica utilizando un sensor capacitivo de doble sonda, la cual se basa en la interacción de un campo eléctrico entre un electrodo con geometría en punta y un líquido sobre un sustrato dieléctrico que se encuentra colocado sobre un electrodo plano que realiza desplazamientos lineales XY. Un voltaje de excitación alterno aplicado entre los electrodos genera un campo eléctrico entre estos y cuando se deposita una muestra líquida de solvente de $10\mu\text{l}$ entre los electrodos, se presentan perturbaciones del campo eléctrico las cuales se detectan como variaciones temporales de corriente eléctrica por medio de mediciones diferenciales. La señal temporal de corriente obtenida está directamente en función de los cambios de la impedancia que experimenta la muestra líquida en un intervalo de tiempo determinado, en este caso se analiza la componente imaginaria de la corriente eléctrica con el fin de obtener los resultados en términos de la capacitancia eléctrica. Los resultados muestran que es posible registrar eléctricamente el proceso de evaporación de una gota de $10\mu\text{l}$ de un líquido solvente sobre un sustrato dieléctrico con electrodos punta-plano dentro de una superficie determinada.

2. Introducción

La investigación, el análisis teórico y las aplicaciones prácticas con el uso del concepto de impedancia, y de manera específica el asociado a la capacitancia ha tenido una gran evolución, proyección y relevancia en diversas disciplinas científicas como la electroquímica, biociencias, biomedicina, energía renovable, sensores, electrónica y otros campos afines, tanto en sistemas aplicados como



en experimentales ya establecidos, emergentes y aun los no convencionales [1,5,10]. En este contexto, las investigaciones y aplicaciones potenciales son la actividad eléctrica en células, análisis biológicos, biosensores, control de corrosión, monitoreo de propiedades electrónicas, almacenamiento de energía y muchos otros más [10].

Existen diseños de sensores capacitivos dinámicos utilizados en semiconductores con mecanismos de suspensión de un electrodo o con una estructura móvil [8,9,15,19,20] que se han aplicado en múltiples disciplinas, así como algunos trabajos puntuales [5,12,14,16] con el uso de sondas con electrodos de diferente geometría en escala micrométrica y en movimiento con gran proyección tecnológica, de ahí la importancia de esta investigación experimental.

Con base en las investigaciones y desarrollos referidos anteriormente, el presente trabajo aborda una investigación experimental en la que se propone una metodología de medición para detectar perturbaciones del campo eléctrico debido al cambio de la función dieléctrica del proceso de evaporación de líquidos mediante un sensor capacitivo de doble sonda (SCDS), una se utiliza para sensado y la otra como referencia. Cada una se encuentra simétricamente en posición vertical con respecto a un electrodo plano los cuales se encuentran montados sobre una platina xyz. Estos pueden estar fijos o en movimiento lineal dentro de un área de sensado máxima de 9mm^2 cada uno.

3. Condiciones Experimentales

Las mediciones experimentales de corriente compleja se realizaron con dos sondas capacitivas aplicando un voltaje alterno de excitación $V_e = 1V_{\text{rms}}$ entre los electrodos punta-plano. Debido a este potencial se presenta un campo eléctrico entre los electrodos y cuando se deposita una gota de líquido entre estos se produce una perturbación del campo eléctrico la cual es registrada como una corriente eléctrica por el sistema de medición.

Se utilizó un Sistema de Medición Diferencial (SMD) de corriente para verificar experimentalmente la interacción del campo eléctrico presente entre un electrodo con geometría en punta y un líquido sobre un sustrato dieléctrico que se encuentra colocado sobre un electrodo plano [7,11,12]. Al SMD se añade una estructura complementaria que incluye el Sensor Capacitivo de Doble Sonda (SCDS) con electrodos punta-plano, acoplado sobre una platina XYZ con el fin de desplazar horizontal y verticalmente a los electrodos planos. La medición diferencial de corriente compleja es función de las perturbaciones del campo eléctrico que se presentan cuando se deposita una gota de líquido solvente sobre el electrodo plano aislado con un sustrato dieléctrico y con una diferencia de potencial aplicada entre los electrodos punta-pla-



no, considerando condiciones estáticas y en movimiento de estos. Para realizar la medición de la componente compleja de la corriente se utilizó una etapa de acondicionamiento electrónico de señal junto con un amplificador Lock-In (ALI). Conociendo esta variable fue posible calcular la capacitancia de forma indirecta a partir del análisis de admitancias del circuito eléctrico equivalente que representa la muestra líquida.

3.1 Sistema de Medición Diferencial (SMD)

El SMD se describe, en términos generales, mediante el diagrama de bloques de la figura 1. Este se divide en dos conjuntos: Componentes de medición y Componentes de software y aplicaciones.

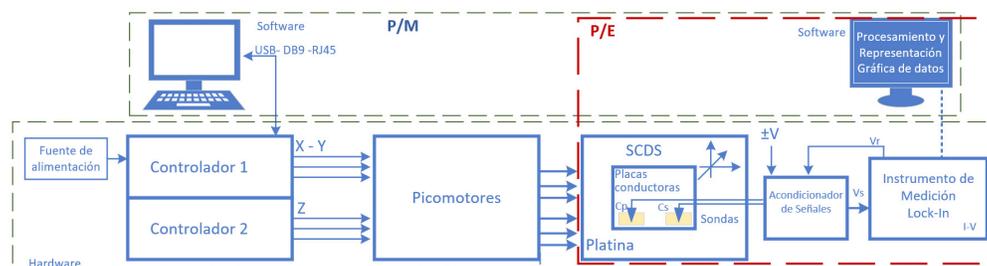


Figura 1. Diagrama de bloques del Sistema de Medición Diferencial.

El SMD funciona bajo dos esquemas: Platina Estática (P/E) y Platina en Movimiento (P/M). En el diagrama de bloques de la figura 1, el esquema P/E comprende los bloques del cuadro marcado en rojo. El esquema P/M, corresponde a todo el diagrama de la figura 1, marcado en azul.

Los componentes de medición (hardware) incluyen: Platina XYZ, Red de picomotores modelo 8095, Controladores New Focus 8753, Sensor Capacitivo de Doble Sonda (SCDS), Acondicionador de Señales, Amplificador Lock-In SR-850.

Los componentes de software y aplicaciones incluyen: Programa *Sis_Platina.exe* para el manejo automático de picomotores y Programa *SisGrafP* para la representación gráfica de datos obtenidos del ALI.

3.2 Sensor Capacitivo de Doble Sonda (SCDS)

El SCDS se compone por dos sondas, cada una formada por dos electrodos de diferente geometría, un electrodo de excitación de punta fina curvada y otro como electrodo sensor plano. Ambos electrodos interactúan bajo la presencia de un campo eléctrico generado por una señal senoidal de excitación con amplitud $V_e = 1V_{rms}$ y



una frecuencia $f_r = 10\text{kHz}$, aplicada al electrodo de punta fina. En las figuras 2(a) y 2(b) se muestran las representaciones esquemáticas de los electodos punta-plano del SCDS, así como la vista física del sensor en figura 2(c). Los electodos planos corresponden a una superficie conductora de cobre de 100mm^2 depositada sobre un sustrato dieléctrico, PCB.

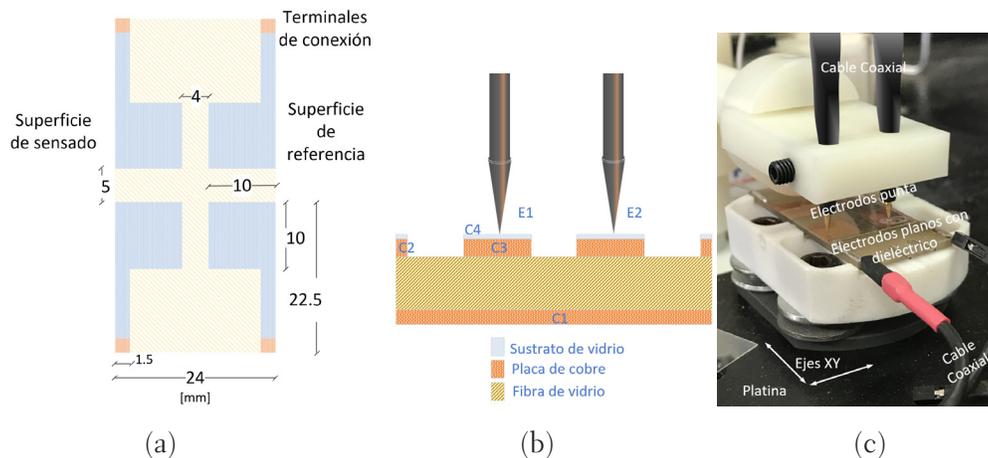


Figura 2. Vistas esquemática y física del Sensor. a) Electrodo punta-plano, b) Electrodo plano y c) Sensor Capacitivo de Doble Sonda.

El par de sondas capacitivas está dispuesto de forma simétrica, separadas 15 mm entre una y otra punta y cada una se encuentra en forma perpendicular a un electrodo plano. La separación entre los electodos punta-plano es de aproximadamente $300\mu\text{m}$. Una sonda es de sensado (Ss) y otra de compensación (Sc). Ambos vértices de los electodos en punta están separados $150\mu\text{m}$ de la superficie del sustrato de vidrio, figura 2(c).

La muestra de líquido de interés se deposita sobre un sustrato de vidrio de $150\mu\text{m}$ de espesor que se encuentra sobre el electrodo plano de Ss, figura 2(a). Sc se usa para compensar capacitancias parásitas y así poder obtener una señal base de referencia a partir de la cual se detectan las variaciones de corriente eléctrica en la medición.

3.3 Etapa de Acondicionamiento de Señales (EAS)

Un aspecto importante para la medición diferencial es el acondicionamiento de señales previo a la medición con el amplificador Lock-In (ALI). La etapa de acondicionamiento electrónico se diseñó y desarrolló en el Grupo de Sensores del ICAT-UNAM y se ha utilizado en proyectos previos^[7, 11, 12]. La estructura de medición se basa en el esquema de la figura 3.

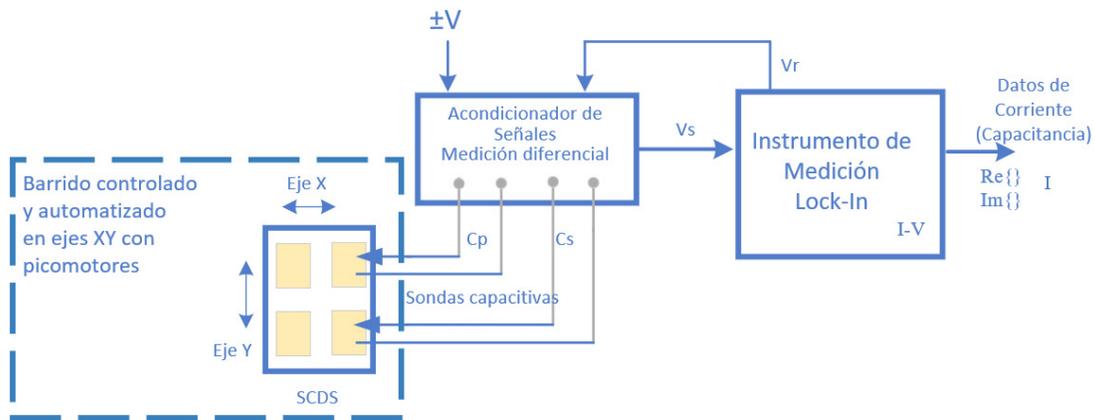


Figura 3. Esquema general de las etapas de acondicionamiento de señales y amplificación Lock-in.

La función principal de esta etapa es la de igualar los voltajes de salida de las sondas de sensado, sin muestra líquida, y de compensación por medio de ajustes en fase y amplitud de la señal de referencia fr. Estas entran a una etapa diferencial con el fin de obtener una señal base con mínimo offset la cual se procesa en el ALI. Esta señal base será el nivel de referencia con mínimo ruido a partir del cual se detectan las señales temporales de una muestra de líquido. Estos ajustes se realizan con el fin de compensar al máximo las disparidades físicas del SDSC y las capacitancias parásitas no deseadas presentes en el sistema antes de efectuar una medición. Los parámetros principales utilizados en el ALI para las mediciones de corriente compleja fueron con un voltaje de referencia senoidal $V_r = 1V_{rms}$ a una frecuencia de referencia $f_r = 10kHz$ y la salida en función de un filtro pasa-bajas con una constante de tiempo $t_c = 100s$, ancho de banda $AB = 1.2Hz$ y decaimiento de 12dB.

3.4 Control de desplazamientos lineales de los electrodos planos

La estructura del SCDS está conformada por un montaje mecánico ajustable de cinco grados de libertad en donde se fija la posición final de los electrodos de punta fina. Los electrodos planos se encuentran montados sobre una platina, la cual tiene acoplados mecánicamente 6 picomotores para el control de posición en los ejes XYZ, figura 4(a).

Una vez establecida la posición en el eje Z de los electrodos en punta se realizan los desplazamientos lineales de la platina en forma horizontal y vertical y por consecuencia también los electrodos planos se desplazan de forma simultánea y paralela, abarcando cada uno una superficie de barrido de las mismas dimensiones.

El desplazamiento controlado en los ejes XY de los electrodos planos se realiza en una trayectoria de avance y de retroceso, mediante la programación de un panel



de control digital de movimiento (a velocidad y aceleración constantes) y posicionamiento fino de los picomotores por medio de sus respectivos controladores en un área máxima efectiva de movimiento de hasta 9mm^2 , figura 4(b).

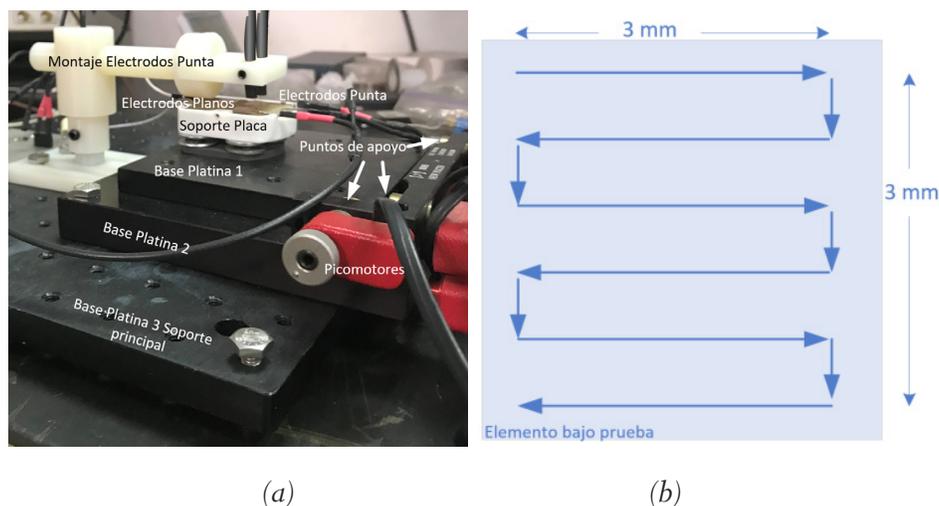


Figura 4. a) Montaje mecánico de los electrodos punta-plano del SCDS y b) Dirección de los desplazamientos lineales XY de los electrodos planos dentro del área de sensado de 9mm^2 .

La resolución de los picomotores es de alrededor de 25nm de desplazamiento en los tres ejes. La distancia máxima de recorrido en los ejes XY es de 3.6mm y en el eje Z de 6.0mm .

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de realizar cualquier medición con una muestra de líquido solvente se realizaron ajustes de mínimo offset y ruido de la señal base. En este caso primero se obtuvo la señal base con la platina en modo estático (P/E) y posteriormente en movimiento (P/M) programando los controladores de los picomotores montados en la platina para realizar desplazamientos lineales horizontales y verticales de los electrodos planos y así registrar los datos con el ALI para obtener el ruido RMS base de la señal de corriente.

La figura 5 muestra la señal de corriente imaginaria temporal registrada por el ALI de forma continua. La distinción de los desplazamientos lineales programados se procesa fuera de línea con datos obtenidos de la aplicación ejecutable para el movimiento controlado de los picomotores y de los datos de configuración del ALI. En la gráfica también se muestran las direcciones de los desplazamientos con cuatro trayectorias XY y las distancias recorridas en micrómetros. Además están marcados



los identificadores D1, D2 y D3 que son los segmentos que corresponden al nivel de ruido base en un determinado lapso de tiempo. El primer segmento D1 con P/E, el segundo D2 con P/M y el tercero D3 de nuevo en condiciones estáticas con P/E. La línea punteada en los segmentos corresponde a la tendencia del ruido base en ese lapso de tiempo con P/E. El identificador D2 corresponde al barrido en un área programada YX de 60µm x 30µm. El avance horizontal de la platina está denotado como Y1 y Y3 y el retorno horizontal está marcado como Y2 y Y4. Mientras que los desplazamientos verticales a estos se identifican como X1, X2, X3 y X4.

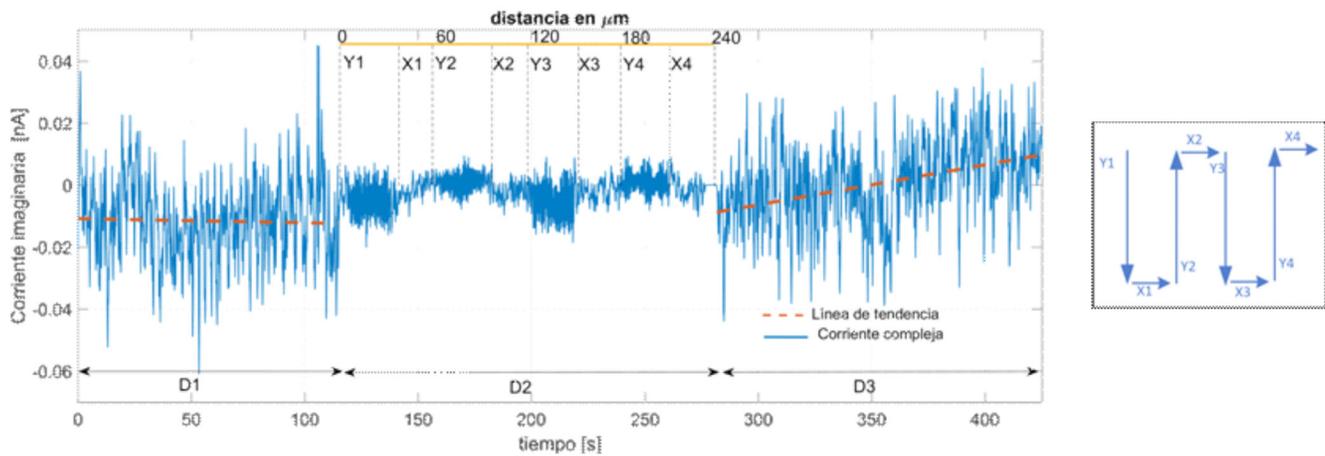


Figura 5. Nivel de ruido base con P/E y P/M con un barrido XY en 4 trayectorias.

Los parámetros del nivel base de ruido N^{RMS} en cada segmento se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Niveles de ruido RMS base en los segmentos Dn.

Segmento	N_{RMS} [nA]	N_{RMS} [nA/ \sqrt{Hz}]
D1, D3	0.0147	0.0134
D2	0.0147	0.0043

En la gráfica se puede apreciar que las señales de ruido base en P/E presentan alteraciones con respecto a P/M aún utilizando filtros en la línea de alimentación del sistema de medición. Estas presentan algunas características cuando los picomotores están en movimiento principalmente en un efecto de atenuación en la señal de ruido base.

Una vez caracterizada la señal de ruido base con P/E y P/M se realizaron las mediciones temporales de la componente imaginaria de la corriente con muestras de un líquido solvente, en este caso se utilizó acetona. Se depositaron tres gotas en avance



y tres en retroceso sobre el sustrato de vidrio de forma que las gotas hicieran contacto con el electrodo de punta de la sonda de sensado. Cada gota de acetona fue de 10µl de volumen y se depositaron en forma manual utilizando una pipeta graduada. Los datos se obtuvieron con las condiciones de ruido base y configuración de parámetros del ALI mencionados anteriormente. Debido a que se utilizó el SCDS fue posible realizar mediciones diferenciales que permitieron eliminar al máximo capacitancias parásitas no deseadas dejando solamente la impedancia de la muestra de líquido de interés. Los valores diferenciales de capacitancia $\Delta C(t)$ se calcularon en función de los datos de la componente imaginaria de la corriente diferencial $\Delta Im_{LI}(t)$ obtenidos con el ALI, por medio de la expresión de $\Delta C(t) = \Delta Im_{LI}(t) / \omega V_e$, donde $\omega = 2\pi f_r$ y $V_e = 1V_{rms}$. Esta expresión se derivó de un análisis de admitancias del circuito eléctrico RC que representa solamente la impedancia de la muestra de líquido. En la figura 6 se muestra la gráfica de corriente diferencial imaginaria con sus respectivos valores de capacitancia diferencial, ambas variables temporales, con 6 gotas de acetona en avance y retroceso.

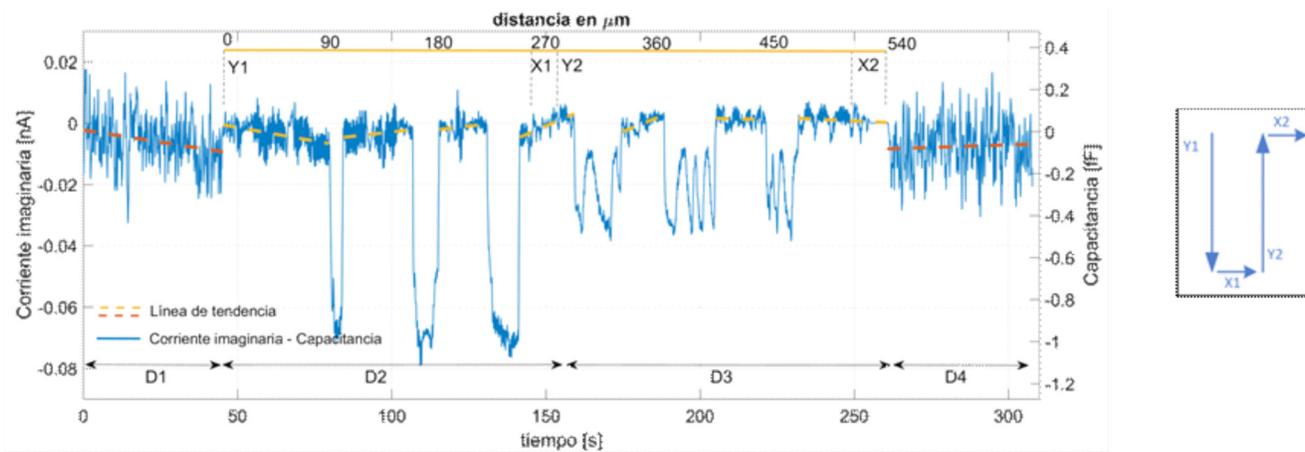


Figura 6. Gráfica de señales eléctricas de capacitancia de 6 gotas de acetona con desplazamientos horizontales y verticales.

La gráfica muestra la presencia de 6 gotas de acetona de 10µl cada una, tres en avance y tres en retorno entre el electrodo de punta y el sustrato de vidrio. En la gráfica se marcan 4 identificadores: D1 es el nivel base de ruido con P/E, D2 el nivel base de ruido con P/M en avance y la respuesta al depositar tres gotas de acetona, D3 el nivel base de ruido con P/M en retorno y la respuesta al depositar de nuevo tres gotas de acetona, D4 es el nivel base de ruido con P/E al desactivar los picomotores. Las líneas punteadas representan la tendencia del nivel de ruido base en cada segmento. Los desplazamientos se realizaron dentro de un área de cobertura de 250µm x 40µm, en donde se observa que el nivel de ruido base se atenúa al igual que la amplitud de las señales registradas con los picomotores en retorno. Las señales registradas con



mayor amplitud representan la presencia de las gotas de solvente así como el tiempo de evaporación de cada una, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Tiempos de evaporación de cada muestra de líquido solvente en su respectivo segmento.

Segmento	No. de gota	volumen	Tiempo de evaporación [s]
D2	1	10 μ l	4.72
D2	2	10 μ l	8.9
D2	3	10 μ l	11.1
D3	1	10 μ l	15.9
D3	2	10 μ l	17.6
D3	3	10 μ l	11.6

Cuando se deposita una gota de líquido solvente entre los electrodos en punta y plano aislado se produce una perturbación del campo eléctrico presente entre estos. Esta perturbación temporal es debida al proceso de evaporación del líquido solvente hasta que se disipa totalmente en el ambiente. La perturbación temporal del campo eléctrico se traduce como una señal de corriente eléctrica también temporal $I(t)$ debido al cambio de la impedancia $Z(t)$ que sufre la muestra líquida en su cambio de fase a vapor. Este cambio de fase se representa con la señal eléctrica de $\Delta Im_{LI}(t)$ que registra el ALI y que se puede expresar en términos de $\Delta C(t)$ de forma indirecta en función de $\Delta Im_{LI}(t)$.

La atenuación se presenta en la señal de ruido base y también en las señales de las muestras líquidas, sobre todo en el sentido de retroceso de los picomotores. Esto se debe a que existe interferencia generada por los controladores de los picomotores y por estos mismos puesto que son del tipo piezoeléctrico. Sin embargo en una dirección si es posible obtener una buena relación señal a ruido y es posible identificar las muestras de líquido solvente y el proceso de evaporación que sufren estas en un cierto tiempo. Los datos del ruido RMS y la relación señal a ruido máxima ambas obtenidas en las mediciones realizadas con P/E y P/M se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Ruido RMS y máxima relación señal a ruido obtenidas en cada segmento D_n .

Electrodos planos	Segmento	N_{RMS} [nA]	N_{RMS} [fF]	N_{RMS} [fF/ \sqrt{Hz}]	SNR_{MAX}	SNR_{MAX} [dB]
P/E	D1, D4	0.008	0.13	0.12		
P/M	D2, D3	0.004	0.061	0.056	20.6	26.3



5. CONCLUSIONES

Los resultados preliminares obtenidos con los SCDS permitieron validar el sentido eléctrico de una gota de 10 μ l de un líquido solvente y de su proceso de evaporación utilizando dos electrodos de diferente geometría, punta-plano, realizando desplazamientos lineales del electrodo plano con una platina XYZ.

El ruido base RMS obtenido en las mediciones diferenciales de señal con máxima amplitud fue de $N_{\text{RMS}} = 0.004$ [nA], lo que permitió obtener una relación señal a ruido máxima de hasta 26.3dB. Sin embargo, se presentaron interferencias de los controladores que alimentan a los picomotores, los cuales provocaron una atenuación de la señal eléctrica de corriente, más acentuada en un sentido que en el otro. A pesar de la atenuación que presentó la señal durante el desplazamiento de los electrodos planos fue posible detectar eléctricamente variaciones de la función dieléctrica de la muestra de líquido durante su proceso de evaporación realizando desplazamientos lineales de avance de los mismos obteniendo una mejor relación señal a ruido. Corrigiendo el efecto de atenuación es posible obtener una señal temporal continua sin atenuación en avance y retroceso dentro de una superficie máxima de 9mm², lo que permitiría obtener eléctricamente información más detallada del proceso físico-químico que experimenta alguna muestra líquida en estudio.

Es necesario mejorar el diseño de los electrodos y del aislamiento eléctrico del sistema de medición para evitar ruidos e interferencias de los controladores de los picomotores, con el fin de mejorar la relación señal a ruido obtenida.

Es posible realizar una caracterización eléctrica de diferentes líquidos y de procesos físico-químicos como el de evaporación aplicando esta metodología de medición diferencial de impedancia utilizando electrodos punta-plano y obteniendo las componentes real y compleja de la corriente que pasa por una muestra líquida así como obtener su componente capacitiva en función de la componente imaginaria de la corriente medida.

6. Bibliografía

1. Aslam, M. T. (2014). Differential capacitive sensor based interface circuit design for accurate measurement of water content in crude oil. *2014 5th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS) Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), 2014 5th International Conference*. IEEE.
2. Baby K. Cyril, A. S. (2016). Finite element analysis of differential capacitive PUF sensors. *Sensors Applications Symposium (SAS) Sensors Applications Symposium (SAS)*. IEEE.



3. Boby George, J. K. (2017). *Advanced Interfacing Techniques for Sensors*. Springer International Publishing .
4. Chatterjee Karunamoy, M. S. (2015). An interfacing circuit for differential capacitive sensor and its performance analysis. *2015 International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth (ICEPE) Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth (ICEPE)*. IEEE.
5. Hrach, D. F. (2008). Investigation of field electrode geometries in capacitive flow measurement. *IEEE Sensors*. SENSORS.
6. Hu, H. G. (2016). A weak capacity measurement system with vector ratio method based on phase sensitive detection. *IEEE International Conference on Electronic Information and Communication Technology (ICEICT)*, . IEEE International Conference on. 337, 2016. ISSN: 978-1-5090-0729-5.
7. Jiménez, F. P. (2011). Diseño de un Sensor Capacitivo para Monitorizar Procesos en Coloides. *Tesis de licenciatura, UNAM*. México.
8. Jun Ge, Y. P. (2015). A high-precision detection circuit for capacitive sensor. *Conference: 2015 IEEE 16th International Conference on Communication Technology (ICCT)*.
9. Liao Ming-yan, T. Y., & Ke-hua, W. (2010). Micro-capacitance Measurement Based on Phase-Sensitive Detection. *010 Third International Symposium on Information Science and Engineering Information Science and Engineering (ISISE), 2010 International Symposium on. :375-378 Dec, 2010*. Shanghai, China, China: IEEE Conference.
10. Lvovich, V. F. (2012). *Impedance Spectroscopy*. Wiley.
11. Martín, J. A. (2017). Diseño y caracterización de sensores capacitivos coplanarios sobre substratos dieléctricos para caracterización de procesos físico-químicos y biológicos. *Tesis Maestría, UNAM*. México.
12. Martínez, M. A. (2015). Desarrollo e implementación de un sistema de medición capacitivo portátil de bajo ruido basado en instrumentación virtual para aplicaciones en caracterización eléctrica de procesos físico-químicos en materiales. *Tesis Maestría, UNAM*. México: UNAM.
13. Miguel A. Pérez García, J. A. (2004). *Instrumentación Electrónica*. Madrid, España: Thompson.
14. Moojin Kim, W. M.-R. (14 August 2006,). A new capacitive displacement sensor with high accuracy and long-range. *Sensors and Actuators A: Physical*,, Volumes 130–131, Pages 135-141.
15. Sakai, M. (n.d.). Capacitive dynamic quantity sensor . *US6841840B2*. Denso Corp.
16. Santana, A. G. (2010). Caracterización no destructiva de recubrimientos con sensores de capacitancia eléctrica. *Tesis Doctorado, UNAM*. México.
17. Stanford Research Systems (SRS), R. 2. (1992). Model SR850 Lock-In DSP Amplifier .
18. Stanford Research Systems(SRS), V. R. (n.d.). Model SR715 LCR Meters.



19. Terry Zhu, N. B. (2007). Arrangements for and fabrication of mechanical suspension of a movable structure. *Intel Corp.* Intel Corp.
20. VandanaJain, A. H. (2017, Pages 224-233). Dynamic capacitive sensing of droplet parameters in a low-cost open EWOD system. *Sensors and Actuators A: Physical.* Elsevier.



Análisis multicriterio para selección de metodología para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos teniendo en cuenta la ley 1672 de 2013 para Mipymes del sector de las telecomunicaciones que distribuyen aparatos eléctricos y electrónicos en Bogotá, Colombia

Alexandra Gómez Ojeda ■ Ricardo Enrique Gutiérrez-Carvajal
Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
u21100005@unimilitar.edu.co

1. Resumen

La innovación y desarrollo tecnológico junto con la dinámica del mercado, han creado necesidad y dependencia al uso de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) en todos los campos de la vida (Empresas, instituciones, hogar, ocio), aumentando su demanda con los años, problematizando su eliminación y desencadenando problemas ambientales, sanitarios y para la salud humana. Durante los últimos años, los gobiernos, productores, recolectores y encargados del tratamiento de estos residuos, han creado leyes y sistemas de gestión, con el fin de mitigar el impacto de la nula o mala gestión. En este trabajo, se evalúan cuatro alternativas para la gestión de los RAEE en Mipymes que comercializan AEE en Bogotá, Colombia que incluyan los criterios contenidos en la Ley 1672 de 2013 utilizando la escala de Saaty y el método VIKOR. La Alternativa seleccionada corresponde a la “Propuesta plan de manejo ambiental para el uso de residuos de aparatos electrónicos y eléctricos en la empresa T-shirt lab”

2. Introducción

Los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) se han convertido en parte fundamental de las actividades cotidianas, y sin estos productos, la vida moderna no sería reconocible ^[1]. Al finalizar la vida útil, estos aparatos son descartados, convirtiéndose en desechos y desencadenando un problema emergente y una oportunidad comercial de importancia cada vez mayor, debido al volumen generado y al contenido de materiales valiosos en ellos ^[2]. Estos desechos son deno-



minados comúnmente como Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) o basura electrónica^[3].

Cuando los RAEE no se gestionan correctamente, y se eliminan o reciclan sin el debido control y procedimiento, desencadenan impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana; ya que estos desechos contienen sustancias tóxicas que crean emisiones de dioxinas cuando son quemados ^[4]. Teniendo en cuenta esta problemática, entidades internacionales y el estado de algunos países, han centrado la atención en cómo gestionarlos y las formas en que se pueden reducir los RAEE, con el fin de mitigar el impactos y controlar el crecimiento de estos desechos ^[5] ^[6]. Diferentes países han generado normatividad específica para la gestión de estos residuos, que ha ido evolucionando debido a la innovación y sustitución ^[7] ^[8]. En Colombia, existe regulación vigente que busca que todos los actores de la cadena de valor, asuman responsabilidad y acciones específicas, para gestionar adecuadamente los RAEE ^[1].

La literatura revela cuan complejo es seleccionar la mejor alternativa para la gestión de los residuos en un escenario particular ^[9] ^[10]. Algunas investigaciones, han diseñado guías, recomendaciones o metodologías para la gestión de residuos en países, sectores o empresas como los que se describen a continuación: En instituciones educativas de países desarrollados se presenta una metodología para la gestión de residuos sólidos teniendo en cuenta el ciclo de mejora continua ^[10]; en una empresa tecnológica ubicada en Bogotá, se propone un plan ambiental para el correcto manejo de los RAEE. Para generar el plan se identifica la situación de la empresa y se tienen en cuenta las políticas locales y los gestores aprobados por el gobierno distrital ^[11]; para la empresa T-Shirt Lab, se desarrolla un plan a la medida para gestionar de forma correcta los RAEE teniendo en cuenta la Ley 1672 de 2013. Debido a que la empresa es un proveedor de productos electrónicos, se recomienda hacer extensivo este plan a los clientes, contribuyendo con la responsabilidad social y ambiental^[12]; por último, para Mipymes cuyo objeto social sea la distribución de tecnología, se busca implementar un proceso de gestión RAEE^[13].

Las Micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes) distribuidoras de AEE están obligadas a gestionar sus residuos y a prestar servicio posconsumo para los equipos que distribuyen, además, deben brindar información clara y oportuna para que los gestores puedan disponer de los RAEE de manera adecuada; debido a que actualmente las Mipymes no están cumpliendo con su responsabilidad, en este trabajo, se presenta el selección de una metodología para el manejo de RAEE en Mipymes del sector de las telecomunicaciones ubicadas en Bogotá, Colombia, que cumpla con lo estipulado en la Ley 1672 de 2013 ^[14], utilizando la toma de decisiones multicriterio para seleccionar la mejor alternativa entre guías y metodologías a nivel mundial, evaluándolas de acuerdo a los criterios contenidos en la legislación y priorizados por las empresas encuestadas.



Teniendo en cuenta estas ideas, el resto del documento se organiza como sigue: la sección 3 presenta las condiciones experimentales, donde se explican los métodos utilizados y como se ejecutó la investigación; la sección 4 muestra los resultados obtenidos y la sección 5 las principales conclusiones de la investigación.

3. Condiciones Experimentales

En este estudio, se usa el método VIKOR para clasificar las alternativas entre las guías y metodologías a nivel mundial, basados en la evaluación de los criterios contenidos en la Ley 1672 de 2013, para gestionar de forma adecuada los RAEE en Mipymes del sector de las telecomunicaciones que comercializan AEE. Los pasos seguidos en este estudio, se muestran en la Figura 1.

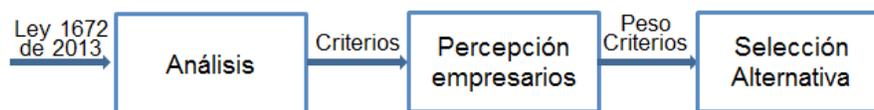


Figura 1. Metodología del estudio

Para la determinación del peso de los criterios, se realizó una encuesta a cinco (5) Mipymes en la cual dan puntuación a los criterios según sus conocimientos y experiencia, y después se utiliza la escala de Saaty, que permite tomar una decisión basándose en el conocimiento y la experiencia mediante el uso de comparación por pares^[15]. Para la selección de la mejor alternativa, se utiliza el Método VIKOR, el cual se enfoca en clasificar las alternativas en presencia de criterios conflictivos^[16].

Para el propósito de esta investigación, se identificaron los criterios que deben ser cumplidos por los comercializadores de AEE contenidos en la Ley 1672 de 2013^[14], estos fueron evaluados por las Mipymes encuestada para determinar su peso y fueron agrupados en cuatro categorías: Económica, Ambiental, Social y Técnica, como se presenta en la Tabla 1.



Tabla 1. Criterios a cumplir por los comercializadores

Categoría	Criterio	Notación
Económica	Administrar y financiar, por el modelo que elija, el sistema de gestión	K1
	Aceptar la devolución de los RAEE por parte del usuario final, sin costo alguno.	K2
Ambiental	Establecer y desarrollar un sistema de recolección y gestión ambientalmente segura de los residuos de los productos puestos por él en el mercado.	K3
	Disminuir el impacto ambiental de sus productos mediante estrategias de reducción y sustitución de presencia de sustancias o materiales peligrosos en sus productos.	K4
	Para AEE que contengan metales pesados o cualquier otro tipo de sustancia peligrosa, deberán garantizar junto con el gestor que durante el manejo de estos residuos, no se produzca contaminación al medio ambiente ni perjuicio a la salud humana.	K5
	Priorizar alternativa de aprovechamiento o valorización de los RAEE	K6
Social	Gestionar o manejar los RAEE solo con empresas que cuenten con la respectiva licencia, permiso o autorización ambiental	K7
	Brindar información a los usuarios finales sobre la prohibición de disponer RAEE, junto con los residuos sólidos domésticos.	K8
	Desarrollar campañas informativas y de sensibilización sobre la retoma y gestión adecuada de los RAEE.	K9
	Los productores podrán unirse y conformar uno o varios sistemas colectivos sin que esta entidad sustituya sus responsabilidades y obligaciones.	K10
Técnica	Brindar la información necesaria para el desmontaje e identificación de los distintos componentes y materiales a fin de incentivar el reúso y facilitar su reciclaje.	K11
	Informar a los usuarios los parámetros para una correcta devolución y gestión de los RAEE.	K12
	Informar cuando el aparato contenga componente o sustancias nocivas para la salud o el medio ambiente.	K13

3.1 Descripción de la elección de las alternativas

La selección de la guía o metodología, se hace con el objetivo de ser implementada en Mipymes comercializadoras de AEE en Bogotá, Colombia, que actualmente no están cumpliendo con la normatividad vigente. Se seleccionan cuatro alternativas que fueron implementadas con éxito descritas en: A1^[10], A2^[11], A3^[12] y A4^[13].



3.2 Valoración de los Criterios

La Tabla 2 muestra la valoración de los criterios individuales de cada una de las alternativas; se dieron valores numéricos de 0 a 10, donde 10 es el valor más alto. Se calificó con 10 cuando el criterio está contenido dentro de la alternativa, con 5 cuando lo contiene pero únicamente lo aplica en su empresa o con sus clientes y con 0 cuando no está contenido.

Tabla 2. Valoración de los criterios en las diferentes alternativas

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
A1	10	0	0	0	10	0	10	0	10	10	0	0	10
A2	0	0	10	10	10	0	10	0	5	0	10	0	10
A3	0	10	10	10	10	0	10	0	0	0	10	0	10
A4	0	0	10	0	10	10	10	10	0	0	10	0	0

Para la determinación de los pesos de los criterios, se promedian las respuestas obtenidas en la encuesta, después, se realiza comparación por pares. Se usa la escala de Saaty (De 1 a 9), donde una puntuación de 1 indica igual preferencia entre los dos criterios, 3 se usa para moderada, 5 para fuerte, 7 para muy fuerte y 9 para extremadamente preferida^[15].

VIKOR utiliza la normalización para garantizar que los pesos numéricos de los criterios reflejen la importancia relativa de los mismos, por lo cual, se debe calibrar la escala de puntuación^[9]. Se normaliza por columnas, es decir, todas las celdas de la columna se disminuyen proporcionalmente por la suma de la columna completa, lo que lleva a una nueva columna con suma de 1, y finalmente los pesos de los criterios se evalúan como el promedio de las respectivas filas^[9].

4. Resultados y discusión

Utilizando el peso normalizado de los criterios y la valoración de los mismos en las cuatro alternativas, se utiliza el Método VIKOR para clasificarlas, la Tabla 3 muestra los valores Q_S , Q_R y Q calculados, Q se da para diferentes valores de parámetro de compromiso (Coeficiente de estrategia) v ($v = 0,25$, $v = 0,5$, $v = 0,75$). Los valores de Q se deben calcular para el coeficiente de estrategia $v=0,5$, pero se usa $v=0,25$ y $v=0,75$ para verificar la estabilidad de la primera alternativa seleccionada.



La distancia mínima para cualquiera de los v es la alternativa 3, lo que significa que es la solución es estable y arroja como resultado que la mejor alternativa es “Propuesta plan de manejo ambiental para el uso de residuos de aparatos electrónicos y eléctricos en la empresa T-shirt lab” [12].

Tabla 3. Determinación mejor alternativa

A	S	R	QS	QR	Q(v=0.5)	Q(v=0.25)	Q(v=0.75)
A1	0.36	0.10	0.41	0.00	0.20	0.10	0.30
A2	0.35	0.10	0.30	0.00	0.15	0.08	0.23
A3	0.33	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A4	0.41	0.18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

5. Conclusiones

La Alternativa seleccionada es un plan de manejo para una empresa comercializadora de AEE en Colombia que incluye los criterios: K2, K3, K5, K7, K11 y K13. Estos criterios coinciden con los calificados como relevantes por las empresas encuestadas. Es importante resaltar, que este estudio es el único que contempla en su desarrollo la Ley 1672 de 2013.

El rango utilizado en las encuestas para la determinación del peso de los criterios (Escala de 1 a 5), demostró dificultad para determinar la importancia de los criterios, puesto que la mayoría fueron clasificados en el rango de 4-5, lo cual, puede complicar la selección de la alternativa óptima.

Para la comparación por pares de los criterios con la escala de Saaty, se realizó una tabla con la diferencia entre el valor de los criterios y subjetivamente se colocó un número de la escala para hallar la matriz; para próximas investigaciones se evaluará la opción de determinar dicha escala con expertos buscando que los resultados sean más exactos.

La combinación de VIKOR para la clasificación de las alternativas con la escala de Saaty para ponderar la importancia de los criterios seleccionados, permite tomar decisiones informadas, logrando un resultado óptimo en la selección de las diferentes alternativas para la gestión de los RAEE. VIKOR facilita la toma de decisiones, permitiendo manejar simultáneamente todos los criterios, sin importar la escala utilizada o la unidad.



6. Bibliografía

1. Magalini, F., Kuehr, R. & Baldé, C. P. eWaste en América Latina. eWaste en America Latina 1–38 (2015).
2. Townsend, T. G. Environmental Issues and Management Strategies for Waste Electronic and Electrical Equipment. *Journal of the Air & Waste Management Association (Air & Waste Management Association)* 61, 587–610 (2011).
3. Baldé, C. P., Forti, V., Gray, v., Kuehr, R. & Stegmann, P. The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows, and Resources Authored. (2017).
4. Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M. & Böni, H. Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review* 25, 436–458 (2005).
5. Ongondo, F. O., Williams, I. D. & Cherrett, T. J. How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. *Waste Management* 31, 714–730 (2011).
6. Lundgren, K. The global impact of e-waste: Addressing the challenge. *International Labour Office* (2012). doi:978-92-2-126898-7
7. Reagan, R. A Comparison of E-Waste Extended Producer Responsibility Laws in the European Union and China. *Vermont Journal of Environmental Law* 16, 662–687 (2015).
8. Queiruga, D., Gonzalez Benito, J. & Lannelongue, G. Evolution of the electronic waste management system in Spain. *Journal Of Cleaner Production* 24, 56–65 (2012).
9. Vučijak, B., Kurtagić, S. M. & Silajdžić, I. Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario: A municipal case study from Bosnia and Herzegovina. *Journal of Cleaner Production* (2016). doi:10.1016/j.jclepro.2015.11.030
10. Fagnani, E. & Guimarães, J. R. Waste management plan for higher education institutions in developing countries: The Continuous Improvement Cycle model. *Journal of Cleaner Production* 147, 108–118 (2017).
11. Castro Fajardo, V. H. Estudio de impacto ambiental para el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en la empresa de tecnología “Amadeus” en Bogotá – Colombia. (2013).
12. Rincón Arcos, J. F. Propuesta plan de manejo ambiental para el uso de residuos de aparatos electrónicos y eléctricos en la empresa T-shirt lab. (2013).
13. Echeverría Pardo, C. A. Gestión posconsumo para Mipymes distribuidoras de equipos electrónicos. (2015).
14. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ley 1672. 1–13 (2013).
15. Saaty, T. L. & Vargas, L. G. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. *Springer Science & Business Media* 175, 350 (2001).
16. Sayadi, M. K., Heydari, M. & Shahanaghi, K. Extension of VIKOR method for decision making problem with interval numbers. *Applied Mathematical Modelling* 33, 2257–2262 (2009).



La evolución de la informática: realidad aumentada y Hololens

Juan Carlos Rodríguez Campos ■ Mariana Rico Chagollán

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. México.
jurodriguez@itesi.edu.mx

1. Resumen

El presente artículo está basado en la realidad aumentada (AR) y los Hololens donde la evolución de los dispositivos móviles ha sido veloz y universal. Actualmente estos recursos multiplican sus aplicaciones y uno de los ámbitos de desarrollo es el uso en propuestas innovadoras.

La AR, interactúa con imágenes en tiempo real y la posición geográfica del usuario, con metadatos asociados y almacenados en un equipo informático, mientras que los HoloLens, nos ofrece interacción con realidad virtual-aumentada a través de unos sensores y visualización de hologramas, en dispositivos audio-visuales y sensores que interactúan con el usuario.

Por tal motivo esta investigación se realiza con alumnos del ITESI, para generar, habilidades, competencias genéricas y específicas obteniendo estructuras mentales previas, que se modifican a través del proceso de adaptación y construye su propia representación de la realidad, así mismo se hacen algunas propuestas para su aplicación educativa.

2. Introducción

Hologramas

Término que se usa normalmente para hacer referencia a un tipo de fenómeno del ámbito visual o de la fotografía mediante el cual el tratamiento que recibe una imagen respecto de la luz hace que parezca tridimensional por contar con varios planos al mismo tiempo. La holografía es una técnica de la fotografía que se interesa justamente por lograr este efecto y que es particularmente común hoy en día en lo que respecta a la creación de imágenes tridimensionales para el cine o el video.



El término holografía y el término holograma provienen ambos del idioma griego en el cual el prefijo *holos* significa todo, completo y *graphos* o *graphia* significa escritura. Así, la holografía es la forma de escritura (en este caso escritura de imágenes) que se caracteriza por representar todas las partes del objeto o de lo que se observa independientemente del tipo de superficie en la que se realice el dibujo o escritura. ^[1].

Sensores de ambiente y de usuario

La tecnología se alía con el ser humano para proteger uno de los legados que tienen que ser preservados con mayor urgencia, el medio ambiente. Las tecnologías de la información junto con las mejoras en las comunicaciones y en el hardware sensorial nos autorizan a monitorizar, procesar y actuar en función de las premisas programadas.

Las actuales redes sensoriales nos permiten distribuir sensores en la zona a proteger y tomar datos que pueden ser consultados en tiempo real, desde cualquier lugar con conexión a internet:

- Humedad (en ambiente, en suelo a distintas profundidades, en hoja)
- Temperatura
- Luminosidad y radiación solar y ultravioleta.
- Contaminación atmosférica
- Calidad del Aire
- Calidad del Agua
- Actividad de la fauna y de la flora
- Actividad Geológica
- Consumo de agua
- Infrarrojos (incendios)

Una vez instaladas las redes de observación y desde el primer momento y en tiempo real podemos observar la evolución de los datos recogidos, procesar esos datos y combinarlos para su posterior análisis y comprensión, facilitando la investigación y divulgación de esos datos. ^[2]

Mapeo del entorno físico

Puede utilizar un mapa para el fondo de la escena. Mapas de reflexión y refracción también utilizar mapas de entorno coordenadas en lugar de las coordenadas de textura.

Mientras que las coordenadas de textura proyecta a mapa en particular, el entorno de proyecto de la geometría de coordenadas de un mapa con el sistema de



coordenadas universales. Si se desplaza el objeto, el mapa permanece en su lugar. Si se desplaza el punto de vista, la vista del mapa cambia. Este tipo de sistema de asignación se utiliza con reflejos, refracciones y los mapas de entorno. [3]

Persistencia de hologramas

La persistencia de la visión se ha utilizado para dispositivos de visualización LED que componen imágenes mostrando una porción espacial a la vez en rápida sucesión (por ejemplo, una columna de píxeles cada pocos milisegundos).

Estos dispositivos también se pueden usar para dar la ilusión de una imagen flotando en el aire, mientras que una pantalla de persistencia de visión tridimensional a menudo se construye utilizando una grilla 2D de LEDs que se barre o gira a través de un volumen.

HARDWARE

Lentes

Microsoft comenzó con lo que llama “motores de luz”. Éstas son pequeñas pantallas de cristal líquido sobre silicio (LQoD). Estos dispararan imágenes, que deben pasar a través de un “combinador”; esto es lo que combina la imagen proyectada y el mundo real. HoloLens utiliza la reflexión interna total (TIR), que, dependiendo de cómo se forma en el prisma, puede rebotar la luz interna o apuntar a su ojo. Microsoft emplea es el uso de guías de ondas en las lentes. [4]

HPU

Es una unidad de procesamiento desarrollado de manera individual la empresa, la misma consta de un chip de 24 núcleos de señal digital de Tensilica que tiene niveles de rendimiento parecidos a los de una supercomputadora, capaz de realizar trillones de operaciones en un solo segundo Este chip de 28 nanómetros, construido por Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, tiene 65 millones de compuertas lógicas. [5]

Unity

Unity es un motor de videojuego multiplataforma creado por Unity Technologies. Unity está disponible como plataforma de desarrollo para Microsoft Windows, OS X, Linux. La plataforma de desarrollo tiene soporte de compilación con diferentes tipos de plataformas (Véase la sección Plataformas objetivo). A partir de su versión 5.4.0 ya no soporta el desarrollo de contenido para navegador a través de su plugin web, en su lugar se utiliza WebGL. Unity tiene dos versiones: Unity Professional (pro) y Unity Personal. [6]



Maya

El software Maya 2018 está integrado con el renderizador Arnold, lo cual ayuda a solucionar problemas de renderización complejos y facilita la renderización de imágenes de alta calidad de manera rápida y eficiente. [7]

3dmax

3ds Max es un software de modelado, animación, renderización y visualización 3D. Crea sorprendentes entornos de juego, visualizaciones de diseño y experiencias de realidad virtual. [8]

3. Condiciones Experimentales

Para el presente proyecto se realiza en dos fases la primera de ellas es la creación del diseño, por medio de software en maya, 3dMax, etc.

La segunda fase se enfoca en el reconocimiento y desarrollo de código de patrones o códigos utilizando la herramienta vuforia para que las aplicaciones de realidad aumentada y los lentes de Hololens puedan visualizar los hologramas en tercera dimensión.

Cabe mencionar que con esta estrategia de aprendizaje se ha podido visualizar la disminución del índice de reprobación y el aumento del interés en la carrera de sistemas computacionales específicamente en las materias de programación, simulación, graficación, páginas web y aplicaciones móviles.

El objetivo de la estrategia es generar proyectos integradores que promuevan competencias genéricas y específicas en los alumnos de la Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, tomando como eje central la aplicación de Hololens, una herramienta, que puede mostrar resultados tridimensionales.

Vuforia originalmente desarrollado por Qualcomm y recientemente adquirido por PTC, Vuforia está en su sexta versión. Su SDK está constantemente evolucionando y es compatible con Android, iOS, UWP y Unity. Desafortunadamente, Vuforia no es de código abierto, pero su rango de precio es razonable, puedes crear casi cualquier clase de experiencia de RA en las plataformas móviles.

Vuforia utiliza la pantalla de la cámara del dispositivo combinada con datos del acelerómetro y del giroscopio para examinar. Vuforia usa la visión de la computadora para entender lo que 've' en la cámara para crear un modelo de entorno.

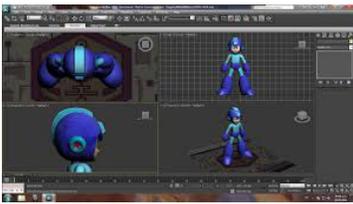
Después de procesar los datos, el sistema puede ubicarse de manera pura y dura en el mundo, sabiendo sus coordenadas: dónde es arriba, abajo, izquierda, derecha, etc.



Hay cientos de posibilidades para explorar con realidad aumentada, y solo estamos en la etapa inicial. Muchos creen que la RA será parte de nuestro futuro y que la usaremos diariamente.

Éste es un campo que promete crecer mucho en los siguientes años, y Vuforia nos proporciona magníficas herramientas para crear experiencias cautivantes. En la Tabla 1 se muestran algunos diseños que realizan los alumnos del Instituto.

Tabla 1.- Diseños para AR.

		
		
		
	 theFree3Dmodels.com	



4. Resultados y discusión.

Los resultados se han visto beneficiados reduciendo el índice de reprobación, así mismo la realización de proyectos integradores con otras materias se ve incrementado al realizar mejores proyectos utilizando este conocimiento y herramienta para los mismos. En la Tabla 2 de resultados donde se visualiza su incremento y desarrollo, tomando en cuenta dos generaciones 2016 y 2017. Donde la última se ve beneficiada al obtener resultados alentadores de desempeño en los alumnos.

Tabla 2.- Desempeño de alumnos en las diferentes materias y generaciones.





5. Conclusiones

Al establecer la realidad a aumentada (Hololens) como una estrategia para obtener resultados analíticos y de presentación gráfica dinámico para manejar los datos espaciales y consolidarlos de manera acorde a este tipo de datos para la presentación gráfica, nos permite motivar al alumno para realizar proyectos innovadores que favorezcan su aprendizaje significativo.

Para esto se debe invertir tiempo y esfuerzo ya que el cambio de paradigma exige más tiempo de los que está planeado, sin embargo involucra al mismo tiempo, que el docente esté preparado para enfrentar las nuevas demandas en las técnicas de información, como estudiantil.

El docente es parte fundamental para la realización de una metodología exitosa, debido a la incentivo e innovación de procesos para que los alumnos aprendan y puedan desarrollar proyectos por sí mismos, y así crear su propio conocimiento, para desenvolverse en el ámbito laboral y personal.

Sin olvidar que el alumno es motivado cuando se tiene un docente con la visión de enseñar, con los pilares de la educación “aprender a aprender, aprender a hacer y aprender a vivir”, por lo tanto la práctica docente es uno de los aspectos que se deben tener como prioritarios para el desarrollo de una sociedad.

6. Bibliografía.

- [1] <https://www.definicionabc.com/ciencia/holograma.php> 05/05/2018
- [2] <https://www.grupovermon.com/sensores-en-el-medio-ambiente/> 02/05/2018
- [3] <https://knowledge.autodesk.com/es/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ESP/3DSMax/files/GUID-34D36047-F87E-4FAC-912F-CDFD8CE82937-htm.html> 02/03/2018
- [4] Seth Colaner. What's inside microsoft's hololens and how it works, August 2016.
- [5] Alphr. Microsoft hololens release date, price and specs: Hololens developer edition has begun shipping, March 2016.
- [6] Unity Technologies Lands \$12 Million in Series B Funding Led by WestSummit Capital and iGlobe Partners».
- [7] <https://www.autodesk.mx/products/maya/overview>
- [8] <https://www.autodesk.mx/products/3ds-max/overview>



Sistema de control de inventarios de equipo de cómputo del Instituto de Geología, UNAM.

Francisco Montaña Cuahuilaz ■ Alejandro Silva Esquivel ■ Mario Fabricio Don Juan Sordel

Instituto de Geología.
Universidad Nacional Autónoma de México.
paco@geologia.unam.mx

1. Resumen

El proyecto está dirigido a hacer mejoras en el Instituto de Geología (IGL), en el área en la **Unidad de Sistemas, Tecnología de Información y Servicios**, en el área de cómputo.

Con base en las Tecnologías de Información se realizó una base de datos con un sistema de control de inventarios, en la cual se han capturado alrededor de 1300 equipos de cómputo y actualmente se están agregando más ya que constantemente se integra equipo de cómputo a los inventarios internos del IGL, UNAM.

Esta etapa de adquisición de datos está en proceso, como un soporte de apoyo administrativo ya que permite llevar el control de inventarios de cómputo y del almacén del IGL. Con la finalidad de ofrecer rapidez y seguridad en el manejo del inventarios IGL, UNAM.

2. Introducción

Dentro del Instituto de Geología, UNAM. Es de vital importancia tener un control de los bienes de cómputo; de aquí la relevancia del manejo de los inventarios.

El sistema de información de Control de Inventarios para Instituto de Geología, UNAM. Esta actualmente funcionando siendo efectivo para el área de cómputo. Y constantemente se realizan sincronizaciones con almacén en coordinación con la administración. Es por ello que constantemente estamos trabajando en captura de datos y corriendo proceso de comparación y actualización de información.



De forma particular, el presente proyecto analiza la situación del almacén en el Instituto Geología. Ya que es el área responsable de distribuir el equipo de cómputo y accesorios adquiere el Instituto para los diferentes departamentos del IGL, UNAM.

En este punto de entradas y salidas de insumos de cómputo es importante y relevante controlar sus insumos para después darles una etiqueta de salida ya con sus inventarios universitarios o inventario interno del IGL, UNAM. Al mismo tiempo estos números de serie se cargan en la base de datos.

3. Desarrollo de la propuesta

Objetivo: capturar e implementar un sistema de información que permita llevar el registro actualizado de los accesorios y equipo de cómputo, el control de las entradas y salidas de los mismos utilizando una base de datos en mysql.

Lograr acortar el tiempo para poner los números de inventario en los equipos de cómputo que llegan a almacén para después ser distribuidos en las áreas de los diferentes departamentos del Instituto de Geología.

Tener actualizada la base de datos de los inventarios para cuando los requiera la auditoría interna de la Universidad Nacional Autónoma de México.

4. Software de control en el IGL

El uso de un software para el control de inventarios es una herramienta que facilitará el proceso en las actividades de los usuarios del almacén. Dentro de este proyecto los beneficiados con esta implementación serán principalmente el personal que ahí labora (usuarios unidad administrativa), quienes otorgan atención y servicio de abastecimiento de mercancía tanto de artículos de oficina, como equipo de cómputo, material especializado de laboratorios, de limpieza, entre otros a los diferentes departamentos del Instituto, los cuales contarán con un servicio de atención más rápida, eficiente, oportuna para cubrir sus necesidades básicas.

Con el presente proyecto se pretende cubrir las necesidades del almacén del IGL, UNAM. Con una herramienta enfocada a un Sistema de información para tener organizada la información concerniente al manejo de actividades básicas de Inventarios acordes a las necesidades del Instituto, se considera que la mayoría de los dependencias universitarias usan un sistema propio, nuestro instituto no tiene un sistema de esa naturaleza y en base a este desarrollo se pretende cubrir esa necesidad a través de un sistema de control de inventarios.



Considerando que es de suma importancia llevar el control del almacén, para tener registrado de forma real las entradas y salidas del material en sus diversas categorías, la implementación del sistema tendrá muchos beneficios, entre los cuales se pueden citar algunos:

- Controlar el proceso de requisiciones de las diferentes áreas del Instituto para el almacén.
- Brindar seguridad al usuario para no permitir la manipulación de la base de datos.
- Generar aquellos reportes correspondientes para cada uno de los procesos del almacén del acuerdo al sistema. En conjunto con el sistema de control universitarios, UNAM.

El sistema de información está desarrollado en una plataforma multi usuario, se contempló que estuviera disponible en red, por políticas de los usuarios de continuar con sus actividades de acuerdo a las disposiciones propias del IGL, UNAM.

5. Software captura de datos IGL

Definido el concepto de software de captura IGL

- a. Software de sistema: Su objetivo es vincular adecuadamente al área de cómputo utilizando técnicas de captura adecuadas e interfaces de alto nivel, herramientas y utilidades de apoyo que permiten su mantenimiento preventivo que año con año se programan para ello necesitamos información o los detalles de la computadora en particular que se use, aislándolo especialmente del procesamiento referido a las características internas de: memoria, discos, puertos y dispositivos de comunicaciones, impresoras, pantallas, teclados, etc.
- b. Se capturan que tipo software de programación utiliza cada usuario del Instituto: Es el conjunto de herramientas que permiten al personal de cómputo IGL. Tome los datos de los programas informáticos, usando diferentes alternativas y lenguajes de programación, de una manera práctica según sea su aplicación de uso.
- c. Se capturan el tipo de software de aplicación: El cual es aquel que permite a los usuarios llevar a cabo una o varias tareas específicas como se muestra en la figura 1.

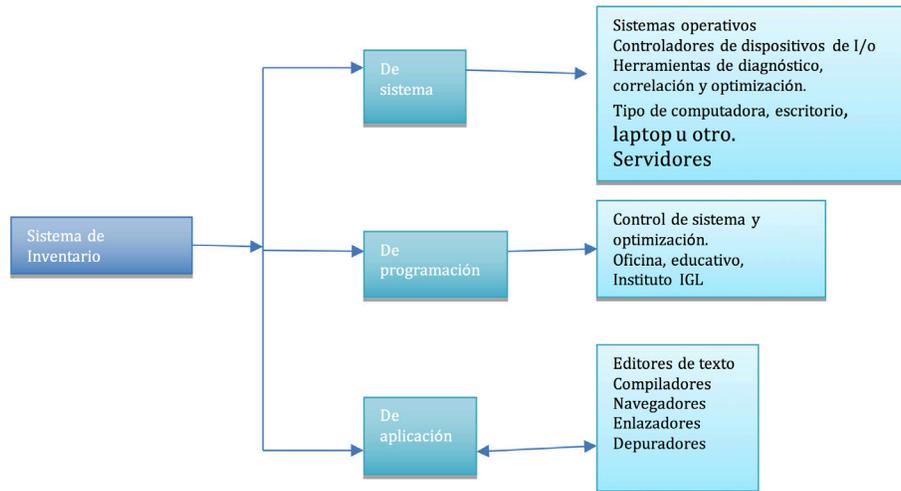


Figura 1. Describe las partes del programa que se están capturando en el sistema de control de inventarios en el área de cómputo del IGL.

7. Principales tipos de software a inventariar

- a. *Software de sistema*: estos ayudan a ejecutar el hardware y los sistemas de la computadora. El software de sistema es una colección de sistema operativo, controladores de dispositivos, servidores, sistema y utilidades. Este software ayuda a sistemas IGL, de aplicaciones en abstraer recursos del hardware, memoria y otros elementos internos de la computadora.
- b. *Aplicaciones*: Permite al usuario final realizar cierta tarea específica. Software para las bases de datos, son unas formas de aplicaciones. Diferentes procesadores de texto, que realizan una tarea específica del usuario, son ejemplos de aplicaciones. Para manejo de inventarios; utilitarios, ayudan en la rutina y manejo del computador tanto en software como hardware (defragmentadores de disco, antivirus); Software de respaldo y recuperación; etc.
- c. *Software de sistemas*: Está formado por todos aquellos programas cuya finalidad es servir al desarrollo o al funcionamiento de otros programas. Estos programas son muy variados: editores, compiladores, sistemas operativos, entornos gráficos, programas de telecomunicaciones, etc. pero se caracterizan por estar muy próximos al hardware.

Un ejemplo de captura es tipo de software son los sistemas operativos, como Windows y Unix, office, Corel Draw, Antivirus, Lenguaje C, Navegador Mozilla, y características de la computadora como Dell Vostro con número de serie UNAM. y



El tipo de uso de las computadoras personales y de uso generalizado. Aplicaciones típicas son los procesadores de textos, las hojas de cálculo, bases de datos, aplicaciones gráficas, etc.

8. Resultados

Dentro de los resultados del proyecto, se obtuvieron 1300 números de inventarios en la primera captura. Se han cruzado consultas con el sistema de control de inventarios que actualmente lleva almacén. Se obtuvieron las consultas e informes requeridos por los usuarios del almacén del Instituto de Geología y el personal responsable de bajas de cómputo.

En específico se logró dar un seguimiento y control de los accesorios de cómputo que entran y salen del almacén a los diferentes departamentos del IGL.

Lo anterior permitirá a los responsables del Instituto establecer los mecanismos requeridos para dar un seguimiento adecuado y cumplir con los objetivos del programa de Auditoría interna del IGL, UNAM.

9. Conclusiones

Cabe mencionar que este proyecto se encuentra funcionando y en la fase de adquisición información de datos para posteriormente incrementar los inventarios que se tienen en IGL. Se sincronizarán las bases de datos que actualmente se tienen en el almacén y el área de cómputo. Haciendo algunas pruebas de comparación de inventarios para que en un futuro, en el área trabajo del almacén, se corrijan las consultas e informes acordes a los requerimientos y necesidades de los usuarios del Instituto de Geología, UNAM. Posteriormente se pretende y actualizar la base de datos del almacén con el fin de que se disponga de la información que permita evaluar la efectividad y minimizar los tiempos para etiquetar o poner los números de inventario del IGL, UNAM.

Cabe destacar que también se pondrá una liga en los equipos cómputo del almacén. A la base de datos del área de cómputo.

Los usuarios del almacén van a poder entrar y visualizar los datos y con ello llevar una actualización de los equipos de cómputo que existen el Instituto de Geología, UNAM.



10. Bibliografía

1. <https://www.esumer.edu.co/images/centroeditorial/Libros/fei/libros/Fundamentosdelgestiondeinventarios.pdf>
2. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmnf/castillo_g_ka/capitulo1.pdf
3. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lii/luna_m_d/capitulo4.pdf
4. <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020147068.PDF>
5. https://www.researchgate.net/publication/220136846_Tecnologias_de_la_informacion_y_comunicacion_TICs_en_los_procesos_de_recepcion_y_despacho
6. http://www.euskara.euskadi.eus/contenidos/informacion/berripapera_historikoa/es_historik/adjuntos/183cas.pdf



Detección de fallas en piezas manufacturadas mediante técnicas de extracción de características y aprendizaje profundo.

Yanier Basulto-Rodríguez ■ Pamela Chiñas-Sánchez
José Alejandro Almeda-Rivas ■ Pedro Pérez-Villanueva

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales.
Saltillo, Coahuila, México.
ybasulto8804@gmail.com

1. Resumen

En la industria el principal desafío son los sistemas de inspección que aseguren la calidad del producto en el menor tiempo posible. La investigación propone un nuevo sistema de reconocimiento de fallas centrado en la integración de técnicas relevantes en su aplicación; la Función de Frontera de Objetos (BOF), por su rapidez en la segmentación de objetos, la Red Neuronal Convolutiva (CNN), la cual logra un mayor provecho en la extracción de características en las imágenes y las Maquinas de Soporte Vectorial (SVM), con la capacidad de clasificar datos linealmente no separables. Debido a que la extracción profunda de características (CNN) utiliza un mayor procesamiento, se implementa el BOF para reconocer las diferentes piezas elaboradas por una manufactura flexible y la CNN+SVM, para el reconocimiento de sus defectos. Se logró un sistema más robusto de detección de fallas en comparación con las técnicas aplicadas por separado.

Palabras Claves: Red Neuronal Convolutiva, BOF, SVM, detección de defectos.

2. Introducción

El control de calidad es un factor importante en la industria para garantizar que los productos cumplan con los estándares establecidos por los clientes. Algunas empresas requieren de sistemas complejos para análisis de la calidad, lo que demanda una gran cantidad de recursos humanos y económicos; éstos representan un costo significativo para las empresas. Como solución a estos problemas, se han desarrollado sistemas de visión artificial para procesos de inspección de



calidad en la detección de defectos, [1]. Tradicionalmente los sistemas de inspección visual son llevados a cabo por el personal de la empresa que trabaja como máquinas altamente especializadas, donde la calidad de los productos de la empresa está en manos del ser humano y su percepción visual [2]. El enfoque basado en la visión artificial ha traído grandes resultados en la búsqueda de la solución a los problemas de inspección visual en las industrias. Bajo este contexto ha sido útil el empleo de diferentes técnicas de inteligencia artificial en el reconocimiento de patrones en las imágenes como: la red FuzzyARTMAP [3], la Backpropagation, la Perceptron [4], [5] y los algoritmos basados en máquinas de soporte vectorial (SVM, por sus siglas en inglés) que es un clasificador muy eficiente [1]. Estas técnicas necesitan para realizar el reconocimiento y clasificación, patrones con características diferenciables, lo que podría traer consigo errores en el reconocimiento de patrones con alto grado de similitud. Además, los patrones que describen los defectos superficiales pueden tener tamaños arbitrarios, forma u orientación, por lo que los descriptores de características de este tipo a menudo conducen a resultados de clasificación insuficientes [6]. Con el surgimiento del aprendizaje profundo aparecen métodos como las redes neuronales convolucionales (CNN) que alcanzaron resultados más precisos que los métodos mencionados anteriormente [7], [8] y con la capacidad de detectar diferentes defectos en imágenes más complejas en cuanto a textura, color, forma, resolución de píxeles, entre otras características.

La red CNN realiza el reconocimiento de imagen a través de la convolución de la imagen de entrada con una máscara de convolución que tiene como resultado una nueva imagen con los puntos más significativos para el reconocimiento, lo que permite realizar una abstracción profunda de las características de la imagen. El rendimiento de CNN se puede mejorar integrando el algoritmo de obtención de la función frontera de objeto (BOF, por sus siglas en inglés), el cual determina el contorno de un objeto definiendo la distancia desde su centroide hasta los puntos de su perímetro [9]. Con el empleo del algoritmo BOF se podrá reducir el tiempo de procesamiento de la red debido a que no tendrá que determinar el contorno de la imagen para identificar el objeto y solo procesará otras características representativas de la imagen, que determinarán la calidad del producto manufacturado.

En México existen varias empresas que brindan estos servicios, pero en su mayoría son empresas extranjeras que implican un costo más elevado de sus servicios, principalmente para las pequeñas y medianas empresas. Gran parte de estos sistemas actualmente son sistemas estructurados, enfocados en exigencias muy particulares del cliente, donde se diseña un algoritmo para el reconocimiento de objetos y dependiendo de la pieza se tienen diseñados los algoritmos que detectan los defectos señalados por el cliente. Ante las problemáticas mencionadas anteriormente, se pretende emplear técnicas que posean un gran potencial en la extracción profunda de característi-



cas y en el reconocimiento de objetos, con el objetivo de aportar nuevas investigaciones que logren el diseño de sistemas de inspección con visión artificial más robustos y accesibles a todas las empresas a un menor costo. Por tanto, integrar la red CNN con el algoritmo BOF constituye el objetivo fundamental de la investigación y lograr un sistema preciso en el reconocimiento de piezas y detección de defectos.

3. Condiciones Experimentales

3.1. Software y Equipos

Para el desarrollo del proyecto de inspección de piezas manufacturadas, se utilizaron una serie de equipos y software en la experimentación. La adquisición de las imágenes se realiza con una cámara NI 1742 Smart Camera de la National Instrument, con sensor de imagen monocromático y resolución 640 x 480. Conectada a una PC con procesador Xeon (R) a 2.39Gz, memoria RAM (6Gb), tarjeta gráfica (NVIDIA Quadro FX 580) y sistema operativo Windows 7 Profesional, el protocolo de comunicación usado fue Ethernet / IP. El software de LabView se empleó para la interfaz entre cámara-PC y con el software de Matlab se realizó la programación de procesamiento de la imagen y detección de defectos.

3.2. Base de datos

Para la base de datos se eligieron dos piezas diferenciables en cuanto a formas y materiales, debido a que permite en el proceso de extracción de características, enfrentarse a diferentes fenómenos ocasionados por el reflejo de la luz en materiales disímiles y por tanto a un comportamiento desigual en el análisis de las intensidades de los píxeles (valor del píxel en la imagen) ante un proceso de filtrado. En la figura 1 se muestran las piezas empleadas en la experimentación, con las cuales se creó la base de datos ubicándolas en diferentes posiciones del área de captura y con posibles defectos de fabricación, además de someterlas a varias transformaciones de rotación y mirror (del inglés: espejo) para obtener mayor cantidad de ejemplos de entrenamiento, pertenecientes a cada clase.

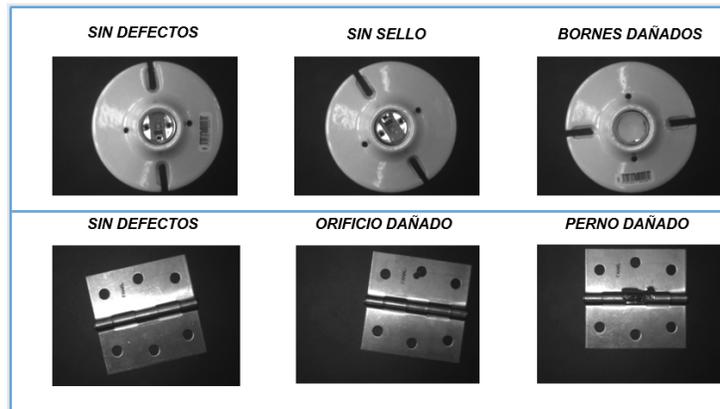


Figura 1. Piezas de entrenamiento. Bisagras y Soportes de lámparas.

3.3. Implementación del algoritmo BOF.

El vector descriptor de un objeto se puede determinar empleando el algoritmo BOF, el cual está compuesto por las diferentes distancias euclidianas entre el centroide del objeto y diversos puntos del contorno. La siguiente ecuación es para el cálculo de las distancias entre cada uno de los n puntos que conforman el contorno (P_x, P_y, P_x, P_y) y el centroide $(C_x, C_y)(C_x, C_y)$:

$$BOF(n) = \sqrt{(P_x - C_x)^2 + (P_y - C_y)^2} \tag{1}$$

Las coordenadas del centroide están definidas por la ecuación:

$$C_x = \frac{\sum_{x,y} j}{A}, C_y = \frac{\sum_{x,y} i}{A} \tag{2}$$

Donde A es el área que conforma el objeto y está dada la sumatoria de todos los píxeles que pertenecen a la forma del mismo.

$$A = \sum_i \sum_j \text{Píxeles}(i, j) \in \text{forma} \tag{3}$$

Para determinar el área es necesario utilizar una técnica de segmentación que defina el objeto del fondo y poder determinar todos los píxeles que pertenecen al objeto. En el proyecto se utilizaron dos técnicas, umbralización y algoritmo de Canny. El primero hace su segmentación a partir de un umbral que separa la pieza del fondo y el segundo realizando una detección de bordes en la imagen. Para determinar los puntos del contorno se programó un procedimiento a partir de la ubicación del objeto en un eje de coordenadas con su origen en el centroide, realizando en cada cuadrante



un barrido cada 5° para encontrar el último punto en la recta formada por cada ángulo que pertenece al objeto. Para ello se utilizó la ecuación de la recta y la pendiente:

$$y = mx + b \quad (4)$$

$$m = \arctan(\theta) \quad (5)$$

3.4. Reconocimiento de las piezas con Redes Neuronales.

Para reconocer el tipo de pieza que contienen los defectos, se utilizan los descriptores de BOF como entrada a una red Backpropagation, la cual se entrenó para la clasificación de dichas piezas. Se tomaron 28 vectores descriptores, 15 representaban las bisagras y 13 a los soportes de lámparas, se inició con una arquitectura básica con 9 vectores en la capa de entrada, 9 neuronas en la capa oculta y 1 neurona en la capa de salida.

3.5. Implementación de la CNN para el reconocimiento de defectos.

Para el desarrollo de la etapa de reconocimiento de defectos en la pieza se realizó un estudio de los diferentes filtros o kernels que más se utilizaban en la etapa de convolución para resaltar las características deseadas del objeto. El objetivo que se llevó a cabo fue tratar de mantener las características representativas de la pieza durante el proceso de reducción del tamaño de la imagen. La reducción de la imagen utilizando los operadores de sub-muestreo (agrupación por máximo y agrupación por promedio) es necesaria debido a que la resolución de las imágenes a inspeccionar es de 640x480 lo que equivale a un vector de entradas de tamaño 1x307200 para la clasificación por medio de una RNA, lo que elevaría el tiempo de procesamiento de la red, aumentando los tiempos de producción del producto. En el proceso de extracción de características se emplearon diferentes etapas de convolución aplicando una variedad de filtros que resaltarán los rasgos deseados de la imagen a través de filtros que resaltan bordes y atenuación de ruidos provocados por los efectos de la luz. De este proceso se obtiene el vector que describe las diferentes clases para su clasificación. La clasificación del tipo de defecto se realizó con el clasificador SVM, el cual lleva la representación de los datos de un espacio de proyección, a una dimensión mayor, logrando separar a través de un hiperplano los datos con un alto grado de solapamiento, figura 2.

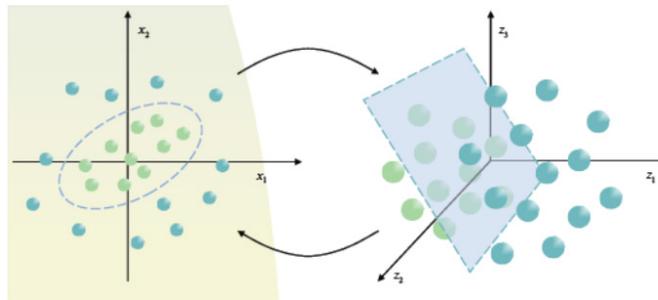


Figura 2. Proyección de un espacio de entradas a uno de mayor dimensión [10].

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el caso del reconocimiento de piezas aplicando el algoritmo BOF, se obtuvieron dos vectores descriptores que identifican la pieza a inspeccionar representados en la figura 3.

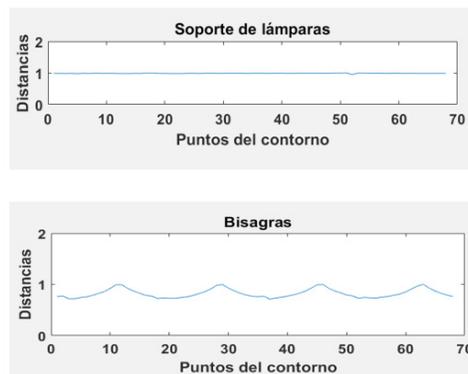


Figura 3. Patrones descriptores de la bisagra y el Soporte de lámparas.

Los vectores se clasificaron a través de la red neuronal Backpropagation la cual alcanzó una precisión de un 100% en el reconocimiento del tipo de piezas (Bisagras y Soportes de lámparas). Para el reconocimiento de los patrones que identifican los defectos de la pieza, se muestra en la figura 4, el proceso de extracción de características aplicando las etapas de convolución y submuestreo de la CNN, utilizando diferentes filtros de bordes y atenuación de ruidos como los filtros de Sobel, Laplacianos, Gaussianos, paso bajo entre otros.

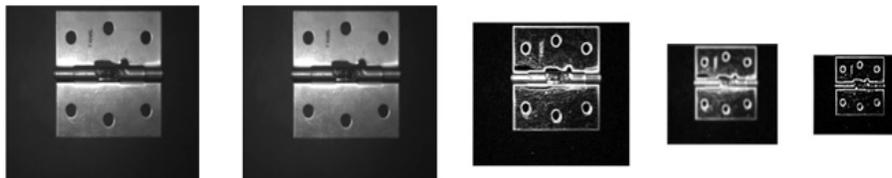


Figura 4. Procesamiento de imágenes aplicando diferentes filtros en la etapa de convolución.

Los vectores descriptores de los defectos obtenidos de la etapa de extracción de características de la CNN poseen un alto grado de solapamiento entre los datos que describen los diferentes defectos como se representa en la figura 5, por tanto, para el reconocimiento de las diferentes clases, se utilizaron las redes Backpropagation y la red Función de Base Radial (RBF), además de las Maquinas de Soporte Vectorial (SVM).

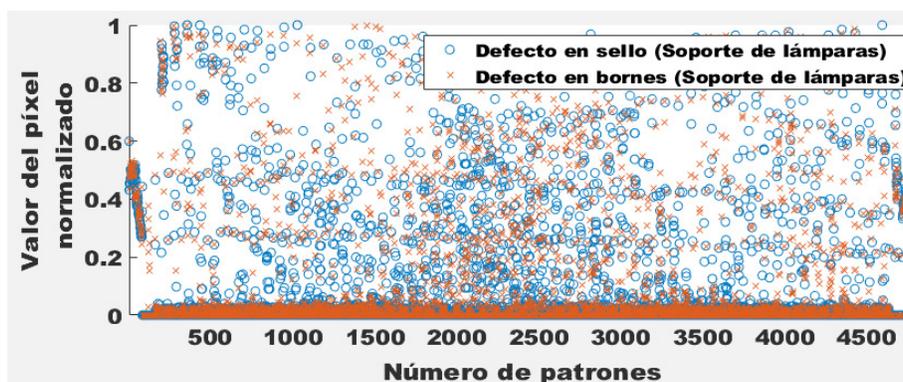


Figura 5. Gráfico de dispersión, vectores que representan dos defectos de los soportes de lámparas.

La clasificación obtenida con la SVM logró mejores resultados al realizar la separación de los datos por medio de un hiperplano, llevando los datos de su proyección en el espacio a un espacio de mayor dimensión. El desempeño de la SVM está sometido a los valores de los parámetros C y σ , las estrategias propuestas para el entrenamiento fueron la Búsqueda de Malla y Validación Cruzada para la sintonización de estos parámetros en el proceso de entrenamiento. La validación cruzada divide el conjunto de entrenamiento n en dos subconjuntos, uno para entrenar ($n-1$) y el otro para validar, variando estos subconjuntos hasta que todos los datos hayan sido utilizados como subconjunto de validación. La búsqueda de mallas se realiza variando los parámetros C y σ durante el entrenamiento para lograr los mejores valores de los mismos que realicen la clasificación deseada, los valores obtenidos de C y σ son 76.1093 y 0.00030779 respectivamente. Se logró una clasificación del 93% de los datos de validación.



5. CONCLUSIONES

Se diseñó un sistema de reconocimiento de piezas y detección de defectos con la integración del algoritmo BOF con la red CNN+SVM, donde el algoritmo BOF brindó un menor tiempo de procesamiento en la etapa de reconocimiento al generar vectores descriptores de tamaños 1×9 en un tiempo de 0.595s, a diferencia de los obtenidos por la red CNN (sin incluir el BOF) en la identificación del tipo de piezas que fueron de 1×1200 en 1.543s. En la detección de defectos, la CNN+SVM fue capaz de obtener un vector de tamaño mínimo de 1×3249 , con las características descriptivas de los diferentes defectos etiquetados, tanto de borde como defectos internos en la pieza. Debido a la poca diferenciación entre los datos se aplicó las SVM para la clasificación de las diferentes clases de defectos obteniendo valores mayores al 90 % de precisión de la red CNN+SVM.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. Cai, Y. Chen, G. Liu, G. Cen, H. Wang, and X. Chen, "A vision-based character inspection system for tire mold," *Assem. Autom.*, vol. 37, no. 2, pp. 230–237, Apr. 2017.
- [2] A. López, E. Valveny, and J. José Villanueva, "Real time quality control of surgical material packaging by artificial vision," *Assem. Autom.*, vol. 25, no. 3, pp. 223–229, Sep. 2005.
- [3] J. L. Navarro-Gonzalez, I. Lopez-Juarez, R. Rios-Cabrera, and K. Ordaz-Hernández, "Online knowledge acquisition and enhancement in robotic assembly tasks," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 33, pp. 78–89, Jun. 2015.
- [4] I. Lopez-Juarez, "The Use of Contour, Shape and Form in an Integrated Neural Approach for Object Recognition." 2012.
- [5] I. López-Juárez, R. Rios-Cabrera, M. Peña-Cabrera, G. M. Méndez, and R. Osorio, "Fast Object Recognition for Grasping Tasks using Industrial Robots," *Comput. y Sist.*, vol. 16, no. 4, pp. 421–432, 2012.
- [6] D. Weimer, B. Scholz-Reiter, and M. Shpitalni, "Design of deep convolutional neural network architectures for automated feature extraction in industrial inspection," *CIRP Ann.*, vol. 65, no. 1, pp. 417–420, 2016.
- [7] D. C. Cirean, U. Meier, L. M. Gambardella, and J. Schmidhuber, "Convolutional Neural Network Committees for Handwritten Character Classification," in *2011 International Conference on Document Analysis and Recognition*, 2011, pp. 1135–1139.
- [8] D. Cirean, U. Meier, and J. Schmidhuber, "Multi-column deep neural networks for image classification," in *2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2012, pp. 3642–3649.



- [9] J. I. Castro, M. F. J., Castelán, M., & López, “Light source intensity adjustment for enhanced feature extraction.” Paper presented at the Mexican Conference on Pattern Recognition., 2010.
- [10] H. C. Carrillo, “CONVERSIÓN DE TEXTO MANUSCRITO A FORMATO DIGITAL UTILIZANDO MÁQUINAS DE SOPORTE VECTORIAL T E S I S,” 2007.



Desarrollo de una pantalla interactiva mediante el dispositivo programable fpga de uso terapéutico para educación especial de niños entre 3 a 10 años con Síndrome de Down

Ricardo Isaac López Medina ■ Gaby Yolanda Vega Cano

Escuela Superior de Tizayuca.
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
gaby_yolanda@hotmail.com

1. Resumen

La educación básica es un derecho humano fundamentado en el artículo 3° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y en casos donde la naturaleza de la discapacidad impide la integración en cursos regulares que por derecho tiene cualquier mexicano, mediante los Centros de Atención Múltiple se proporcionan dichos servicios educativos para los niños con discapacidades. La importancia de la educación especial impacta no sólo en aspectos académicos, sino también en cuestiones cotidianas del desarrollo social y familiar.

En la presente investigación se realizará una Pantalla Interactiva con FPGA como apoyo para la impartición de la educación especial dentro del CAM num.14, del municipio de Tizayuca, Hidalgo; aplicando terapia de colores, juegos simples individuales o de grupo y la repetición de patrones de movimiento, en niños de 3 a 10 años con Síndrome de Down dentro de la institución y tener un mayor avance de su desarrollo escolar y social.

Palabras clave: Dispositivo programable, Pantalla Interactiva, Educación especial

2. Introducción

La tecnología ya es parte de la vida diaria del ser humano, se puede ver en todos lados: escuelas, hospitales, empresas y en el hogar, las nuevas generaciones viven con ella desde su nacimiento. El mundo se transforma día a día, haciéndolo mediante la tecnología y las nuevas innovaciones.

Datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) revelan que para el año 2010, 5 millones 769 mil 270 personas tienen



algún tipo de discapacidad lo que representa el 5.1% de la población total ^[1]. De acuerdo con la Clasificación Internacional del Funcionamiento de la Discapacidad y de la Salud, presentada en 2001, se define discapacidad como: “son aquellas que tienen una o más deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales y que al interactuar con distintos ambientes del entorno social pueden impedir su participación plena y efectiva en igualdad de condiciones a los demás” ^[2].

Está demostrado que las tecnologías favorecen el desarrollo de las personas con Síndrome de Down, pero no todos reaccionan de la misma manera, por lo cual se necesitan crear nuevas herramientas para facilitar su desarrollo.

Mediante las nuevas tecnologías se puede dar un apoyo para que las terapias sean más efectivas y causen mayor impacto en el desarrollo temprano de discapacidades, sin embargo, la mayoría de proyectos que demostraron ser de gran relevancia se realizaron en otros países dejando atrás a México, no obstante, esto no tiene que ser un impedimento para realizar nuevos y mejores proyectos para optimizar la educación especial para el beneficio de los niños con Síndrome de Down dentro del CAM num.14; del municipio de Tizayuca del estado de Hidalgo.

Mediante este proyecto se pretende lograr un respaldo que avale los beneficios de la implementación de una Pantalla Interactiva en niños de 3 a 10 años con Síndrome de Down que permita al CAM num.14 mejorar el aprendizaje dentro de las aulas.

3. Condiciones Experimentales

La investigación está enfocada a la implementación de una Pantalla Interactiva de 16x12 pixeles controlada por una aplicación en Visual Forms a través de conectividad Bluetooth con el objetivo de demostrar mejoría en el desarrollo intelectual al utilizar una determinada actividad y brindar de una herramienta de apoyo en la impartición de la educación especial.

La pantalla interactiva se trabajará por módulos principales: Hardware, Software y Firmware. El funcionamiento de la Pantalla se divide en dos diagramas de flujos generales: La Pantalla Visual para los Especialistas/Profesores del CAM y la Pantalla Física para los Alumnos con Síndrome de Down.

Para que la Pantalla Visual tenga éxito el diseño debe responder a las necesidades del sistema y que sea intuitivo para el usuario. Windows Form es utilizado para el desarrollo de aplicaciones de Microsoft Windows, basada en .NET Framework. Proporciona un conjunto de programación orientado a objetos y extensible de clases que permiten desarrollar aplicaciones de Windows.



La Pantalla Visual debe tener un control total de la Pantalla Física, y como todas las actividades son a través de ella, lo único que cambiará dentro de la aplicación serán las opciones que estarán disponibles para cada actividad.

Las acciones que se plantean para ser utilizadas en el periodo de prueba serán 4:

- Colores: Los alumnos podrán colorear la pantalla Física sin ninguna restricción.
- Imitación: El profesor tendrá que realizar un patrón y el alumno tiene que representar el mismo patrón de forma correcta.
- Gato: El tradicional juego de gato en donde los niños aparte de jugar podrán interactuar y desarrollarse en el ámbito social.
- Seleccionar: El profesor colorea la Pantalla Física de diferentes colores y el alumno tendrá que seleccionar únicamente los colores que el profesor indique.

Visualmente dentro de la aplicación debe tener una matriz de las mismas dimensiones de 16x12 pixeles, además, cada pixel pueda cambiar de color independientemente.

El color es muy importante, dentro de la Pantalla Visual, se colocará una paleta de los colores posibles que sean fáciles de identificar por los niños para colorear la Pantalla Física, además de un apartado para poder configurar cualquier color RGB de una resolución de 8 bits, solo tendrá que seleccionar el color para poder colorear el pixel.

Al seguir el orden del Diagrama General de Pantalla Visual (DGPV), primeramente, tendrá que realizar la comunicación Bluetooth con la Pantalla Física, y posteriormente elegir qué actividad va a realizar para que se habiliten las opciones de las actividades.

Dentro del Firmware se tiene el FPGA (Field Programmable Gate Array) que será el puente de la comunicación entre la Pantalla Visual y la Pantalla Física a través de Bluetooth HC06 y el Protocolo UART.

En lenguaje VHDL para tener un mejor orden de los procesos, es común trabajar por módulos o sub módulos, tantos como sean necesarios en el sistema. Por este motivo se va a dividir el sistema de Firmware en tres módulos principales como se muestra en la Figura 1 y cada uno tendrá sub módulos para su control:

1. UCS1903.- Encargado de almacenar y enviar la trama de bits de la resolución de RGB de los 192 PixelLEDs de la Pantalla Física.
2. HC06.- Encargado de recibir la trama de bits de la resolución de RGB de los PixelLEDs y enviar la matriz de Push-Button a través de la comunicación Bluetooth y el Protocolo UART.
3. HC165.- Encargado de monitorear, obtener y almacenar la matriz de Push-Button.

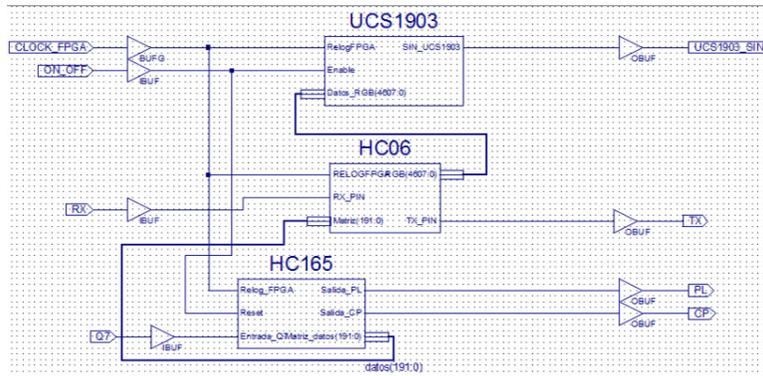


Figura 1. Módulos principales del FPGA

4. Resultados y discusión

La implementación se realizó como se muestra en la Figura 2 dentro del Centro de Atención Múltiple No.14 ubicado en la Carretera México-Pachuca kilómetro 54 en el municipio de Tizayuca, Hidalgo, con un total de 14 alumnos con Síndrome de Down entre 3 a 10 años, durante un periodo de 3 meses, con una capacitación de profesores para la familiarización de la pantalla interactiva, así mismo se realizó una evaluación inicial y una final a través de una lista de cotejo de cada actividad que se planteó en el proyecto calificando características específicas de cada una de ellas, para tener evidencia de los avances de los niños.



Figura 2. Capacitación de familiarización de los profesores del CAM 14

El periodo de implementación de la Pantalla Interactiva Figura 3, se realizó del 1 de agosto al 30 de octubre del 2017, formando dos grupos del total de los niños con Síndrome de Down, usando la Pantalla tres veces por semana durante 2 horas con cada grupo.

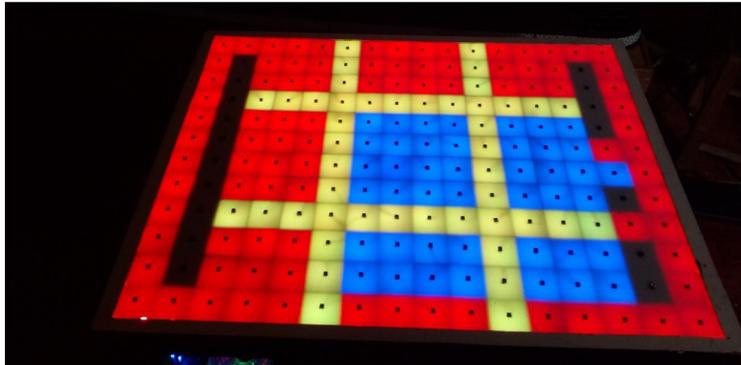
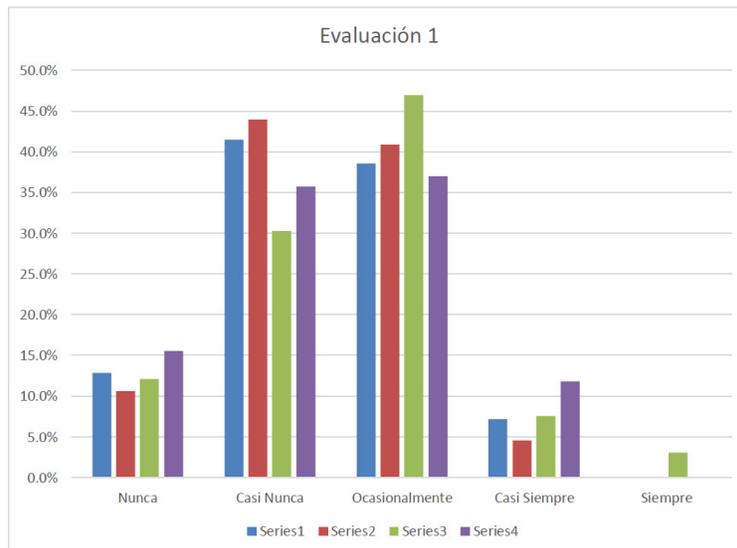


Figura 3. Pantalla Interactiva con la actividad de Gato

5. Conclusiones

En la gráfica 1: Evaluación_1 de diagnóstico se puede apreciar que entre el 10% y el 16% del total de los niños nunca entendía las actividades, este resultado podía ser predecible por ser la primera vez que los niños tenían acercamiento con la Pantalla Interactiva, pero el 35% y el 45% del total ocasionalmente entendía las actividades y el 5% al 12% casi siempre.

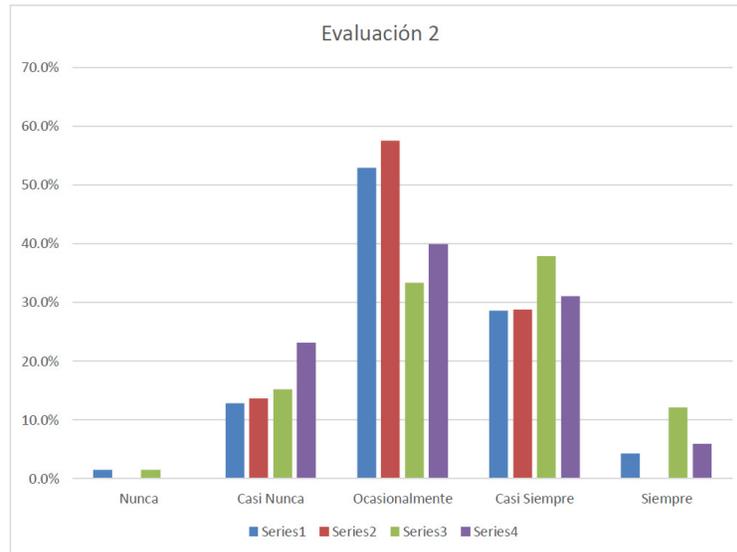


Grafica 1. Evaluación diagnóstica

En la gráfica 2: Evaluación_2 el porcentaje de niños que no entendía las actividades se redujo a menos de 5%, el porcentaje de los niños que ocasionalmente entendía la actividad aumento en algunas acciones, sin embargo, en otra descendió, el cual paso a aumentar el porcentaje de casi siempre al tener entre el 29% al 37% del total



de los niños, y la actividad 3 fue la que tuvo el mayor porcentaje de niños en entender siempre la actividad con un 13% del total.



Gráfica 2. Evaluación final

Como se puede apreciar en ambas gráficas, el uso de la tecnología es un apoyo para el aprendizaje de los infantes, sin embargo, es una herramienta importante para el aprendizaje de niños con Síndrome de Down, ya que en México son escasas las herramientas en esos centros de atención.

6. Bibliografía

1. INEGI. (2010). INEGI-Censo de Población y Vivienda. Obtenido de Discapacidad en México: <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx?tema=P>
2. Unidas, N. (29 de febrero de 2012). Asamblea General. Obtenido de Naciones Unidas: <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/66/149>



Efecto de parámetros eléctricos sobre la tasa de remoción de material en el maquinado ECDM de acero de alta resistencia

Jansel Leyva Bravo ■ Pamela Chiñas-Sánchez ■ Alejandra Hernández-Rodríguez
Gerardo Galo Hernández Alba ■ Ricardo Martínez-Alvarado

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales.
Saltillo, Coahuila, México.
jansel.leyva@comimsa.com

1. Resumen

El Maquinado Electroquímico por Descargas Eléctricas (ECDM) es un proceso no convencional, el cual es una hibridación de los procesos de Maquinado por Descarga Eléctrica (EDM) y el Maquinado Electroquímico (ECM). Debido a que el proceso ECDM es la combinación de dos procesos, en este intervienen varios parámetros de entrada y salida. En el presente trabajo se realiza un análisis de los efectos que provocan algunos de los parámetros eléctricos que intervienen en el proceso tales como voltaje entre los electrodos (V_g), corriente pico (I_p) y frecuencia (F); sobre la Tasa de Remoción de Material (MRR) en perforaciones en piezas de acero de alta resistencia mediante ECDM. Los resultados se obtuvieron a partir de la aplicación de un diseño de experimentos factorial completo 2^3 con dos réplicas y cuatro puntos centrales.

Palabras claves: ECDM, parámetros eléctricos, tasa de remoción de material

2. Introducción

El constante desarrollo industrial ha demandado la fabricación de moldes y piezas con geometrías complicadas. Además de la necesidad de maquinar materiales que presentan determinadas características de dureza, resistencia y fragilidad. Para tales condiciones se aplican procesos de maquinado no convencionales, entre estos se encuentran los procesos de electromaquinado: Maquinado por Descarga Eléctrica o Electroerosión (EDM, del inglés, Electrical Discharge Machining), Maquinado Electroquímico (ECM, del inglés, Electrochemical Machining), Maquinado Electroquímico por Descargas Eléctricas (ECDM, del inglés, Electrochemical Discharge Machining)^[1].



Los procesos ECM y EDM maquinan materiales conductores de energía eléctrica y tienen gran aplicabilidad en la industria automotriz, aeroespacial, electrónica, entre otras. El principio de remoción de material del proceso EDM radica en sumergir los electrodos sin que tengan contacto, ya que produciría cortocircuitos, en una solución dieléctrica. Los electrodos se denominan: herramienta de trabajo (cátodo) conectado al polo negativo de la fuente de voltaje; y pieza de trabajo (ánodo) conectado al polo positivo de la fuente de voltaje. Los cortocircuitos provocan que se detenga el maquinado con una consecuente retracción de la herramienta de trabajo. La remoción de material tiene lugar al aplicarse una corriente a través de los electrodos, la cual produce descargas entre estos, generando un aumento de temperatura en las áreas de la pieza de trabajo donde las chispas tienen lugar. Estos fenómenos conducen a que en estas pequeñas áreas donde inciden las descargas lleguen a la fusión^[2, 3]. En el maquinado ECM, los electrodos se sumergen en una solución de electrolito. La alimentación de los electrodos con una corriente elevada da lugar a la electrólisis, produciendo la remoción de metal por el desprendimiento de iones^[4]. En comparación con EDM, Chak^[5] expresó que en el proceso ECM se obtienen piezas con mejor calidad superficial, pues reduce la rugosidad de la superficie respecto a las obtenidas en EDM. Mientras que en EDM se obtiene mayor tasa de remoción de material y bordes más agudos que en ECM. Ambos procesos están destinados al maquinado de piezas de trabajo conductoras de corriente eléctrica.

Con el fin de emplear las ventajas y reducir las desventajas de los procesos ECM y EDM, ambos se combinan en el proceso de maquinado híbrido mediante descargas eléctricas en un medio electrolítico. El maquinado ECDM permite alcanzar mayor tasa de remoción de material y calidad superficial que sus dos procesos base por separados, así como maquinar piezas de trabajo tanto conductoras como no conductoras de energía eléctrica^[6]. Este proceso fue introducido por Kurafuji & Suda^[7] para el micromaquinado de vidrio, ésta fue la primera aplicación reportada del proceso ECDM. También permite maquinar otros materiales no conductores como: granito, alúmina (óxido de aluminio), plásticos reforzados con fibra, cuarzo, materiales cerámicos y compuestos^[8]. Respecto al maquinado con materiales conductores, algunos autores han desarrollado investigaciones en diferentes tipos de aceros empleados en la industria automotriz y aeroespacial como ANSI 304^[9], SUS304^[10], 100Cr6, X5CrNi18-8 empleados en la fabricación de sistemas de inyección de gasolina^[11], también aleaciones con base de níquel y cobalto que son empleadas en la fabricación de aspas para turbinas de motores en la industria aeroespacial^[12].

En varios trabajos^[13, 14], se ha resaltado la variedad de parámetros de entrada y salida que intervienen en el funcionamiento del proceso ECDM. Algunos de los parámetros de entrada empleados en la literatura son: voltaje de la fuente, voltaje entre los electrodos, corriente pico de las descargas, frecuencia de la señal de voltaje de la



fueron: duración de los pulsos eléctricos, ciclo útil de la señal de voltaje de la fuente, separación entre los electrodos, velocidad de avance de la herramienta; la concentración, temperatura y flujo del electrolito, entre otros. Como parámetros de salida, que son los indicadores de calidad del proceso se encuentran la Tasa de Remoción de Material (MRR, por sus siglas en inglés: *Material Removal Rate*), la Tasa de Desgaste de la Herramienta, la Rugosidad de la Superficie, el Radio o Diámetro de Sobrecorte, la Zona Afectada por el Calor, la conicidad de la perforación.

En el presente trabajo se presenta un análisis del efecto que provoca la variación de algunos de los parámetros eléctricos que intervienen en el proceso como: voltaje entre los electrodos, corriente pico y frecuencia de la señal de voltaje de la fuente sobre la Tasa de Remoción de Material en el maquinado híbrido ECDM en aceros de alta resistencia, material empleado en la industria para la fabricación de troqueles y herramientas, así como en chasis en la industria automotriz.

3. Condiciones Experimentales

La etapa experimental se desarrolló en una máquina EDM comercial marca River modelo 3, la cual fue adaptada para condiciones de trabajo del proceso ECDM, en el cual se emplea electrolito en lugar de agua desionizada. El ajuste del voltaje de la fuente (V_s) en dicha máquina presenta una codificación en el panel de control, la cual se basa en la selección de tres niveles: 1, 2 y 3. Por su parte la corriente es posible ajustarla entre 1 y 25 A, mientras que para la frecuencia se puede ajustar valores entre 5 y 100 kHz. El comportamiento real de los niveles de voltaje de gap, corriente y frecuencia fueron medidos mediante un osciloscopio Tektronix TDS 2004C y una sonda de corriente Tektronix A622 conectada al mismo osciloscopio, como se observa en la figura 1. A partir de las mediciones realizadas para cada nivel de V_s e I_p , se obtuvo que para el nivel 1 de V_s corresponde un V_g de alrededor de 50 V, al nivel 2 le corresponden alrededor de 60 V, mientras que para el nivel 3 un voltaje de gap alrededor de 70 V. Se observó además que durante el maquinado dichos valores fluctúan en aproximadamente ± 10 V alrededor del valor que se comentó para cada nivel.

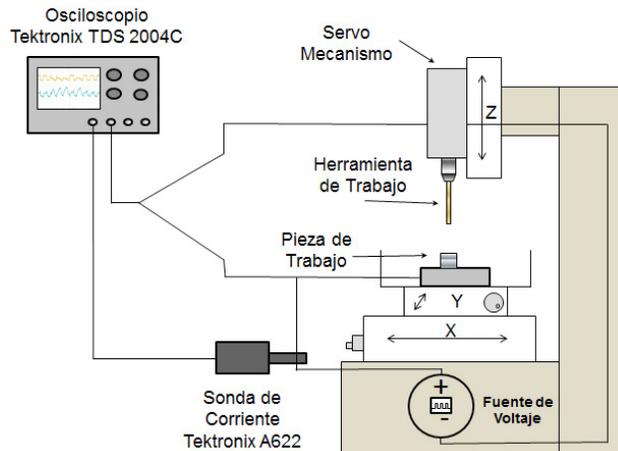


Figura 1. Esquema de conexión para la adquisición de datos.

Los parámetros que se mantuvieron constantes durante la experimentación se comentan a continuación. El material de las piezas de trabajo fue acero de alta resistencia (HSS, por sus siglas en inglés High Strength Steel), con una composición química de: 1.12% Mn, 0.21% C, 0.17% Cr, 0.15% Si, 0.037% Ti, 0.021% Mo, 0.013% P, 0.009% Cu, 0.009% V, 0.006% Ni, y 0.005% S. Se emplearon muestras en forma de prisma con dimensiones de 20 mm de largo, 20 mm de ancho y 7 mm de espesor. El material de la herramienta de trabajo fue de latón, con un diámetro de 1.93 mm. La velocidad de rotación fue 180 RPM y la separación inicial entre los electrodos fue de 0.150 mm (± 0.01 mm). El electrolito seleccionado fue Cloruro de Sodio (NaCl) debido a que es un compuesto común, no nocivo para la salud humana y mantiene el sistema de manufactura lo más simple posible en comparación con el uso de soluciones ácidas. Con base a Granda-Gutiérrez et al^[16], en el maquinado por ECM de acero de alta resistencia, realizó una comparación entre cuatro electrolitos: Cloruro de Sodio (NaCl), Bromuro de Sodio (NaBr), Bromuro de Potasio (KBr) y Nitrato de Sodio (NaNO₃), donde obtuvieron una mayor tasa de remoción de material con el NaCl. Con base en el trabajo de Granda-Gutiérrez et al^[16], la concentración del electrolito para la experimentación fue de 2.51 g/L, se prepararon 20 litros de cloruro de sodio a dicha concentración produciendo una conductividad de 4.35 mS/cm.

Para determinar los efectos que provocan los factores: voltaje entre los electrodos (V_g), corriente pico a través del gap (I_p) y frecuencia (F) de la señal de voltaje de la fuente (V_s); sobre la MRR se desarrolló un diseño de experimentos factorial completo de 3 factores con 2 niveles (2^3), con dos réplicas y 4 puntos centrales. Los valores de los niveles de cada factor se pueden observar en la tabla 1.



Tabla 1. Niveles de los factores para el diseño de experimentos.

Factores	Nivel Bajo	Nivel Central	Nivel Alto
Voltaje entre los electrodos (V)	50	60	70
Corriente pico (A)	10	15	20
Frecuencia (kHz)	10	25	40

3.1 Obtención de la Tasa de Remoción de Material

La tasa de remoción de material se obtuvo como una función del volumen eliminado durante el tiempo de maquinado, es decir, fue estimada como pérdida de volumen por unidad de tiempo. Ésta relación es expresada matemáticamente en la ecuación 1^[2]:

$$MRR = \frac{P_{wi} - P_{wf}}{\rho * t_{maq}} \quad [mm^3/min] \quad (1)$$

Dónde:

- o P_{wi} : peso inicial de la pieza de trabajo.
- o P_{wf} : peso final de la pieza de trabajo (después de maquinado).
- o ρ : densidad del material.
- o t_{maq} : tiempo de maquinado.

Las muestras fueron pesadas antes y después del proceso de electromaquinado utilizando una balanza de alta precisión marca OHAUS modelo Scout Pro SP602.

4. Resultados y discusión

Los resultados del diseño de experimentos fueron analizados a través del software estadístico Minitab. El efecto de los parámetros de entrada sobre la tasa de remoción de material se muestra en la figura 2. El aumento del voltaje incidió en un incremento de la tasa de remoción de material, corroborando lo obtenido por Krötz et al.^[11] y Paul & Korah^[17]. Quienes expresaron que el aumento del voltaje conduce a la generación de más burbujas resultando en una mayor capa de gas, por consiguiente mayor cantidad de energía de las descargas y por tanto mayor tasa de remoción de material. El aumento de la corriente también provocó un incremento en la tasa de remoción de material, efecto obtenido por Hocheng^[6]. Este efecto se debe a que el aumento de la corriente facilita la acción del proceso ECM, debido al aumento de la densidad de corriente.

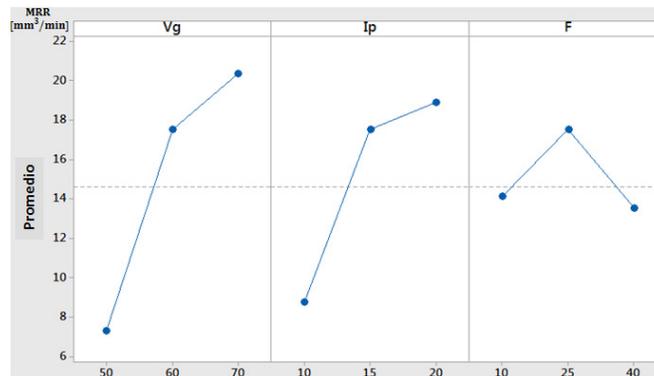


Figura 2. Gráfica de efectos principales para tasa de remoción de material (MRR)

El aumento de la corriente provoca mayor energía de las descargas eléctricas y por tanto el material se remueve a mayor velocidad. De la figura 2, se puede concluir que el mayor cambio de la tasa de remoción de material es entre 50 y 60 V, mientras que para la corriente el mayor cambio se presenta entre 10 y 15 A. Para el proceso es deseable obtener altas tasas de remoción de material, por lo tanto es necesario observar a detalle el efecto de los niveles de la frecuencia sobre la MRR. Con el fin de obtener altos valores de MRR y a partir del comportamiento de la frecuencia observado en la figura 2, se debe trabajar entre 10 y 25 kHz. El valor de 25 kHz, perteneciente al nivel del punto central del experimento, brindó mayores resultados de MRR en comparación con las corridas con valores de V_g e I_p menores a los valores de los puntos centrales y con el nivel alto de frecuencia. Las configuraciones que mejores resultados brindaron fueron las correspondientes a 70 V, 20 A y 10 kHz con 29.14 y 28.30 mm³/min en cada réplica. Sin embargo con la configuración de 70 V, 20 A y 40 kHz se obtuvo valores de MRR iguales a 28.50 y 26.00 mm³/min en cada réplica. A partir de estos resultados se tiene la apreciación que la variación de los valores de frecuencia empleados en la experimentación no influyen considerablemente en la tasa de remoción de material, por lo que se profundizar en el estudio de este parámetro en el proceso ECDM.

5. Conclusiones

En este trabajo se presentó un análisis del efecto de algunos de los parámetros eléctricos del proceso ECDM sobre la tasa de remoción de material, empleando como material de las piezas de trabajo: acero de alta resistencia. A partir de la experimentación desarrollada es posible concluir que el voltaje y la corriente son unos de los parámetros que juegan un papel determinante en la tasa de remoción de material. Se obtuvo que el aumento de ambos parámetros provocó un incremento en la tasa



de remoción de material, debido al aumento de la energía de las descargas y de la remoción electrolítica. Los valores de los parámetros de entrada para los cuales se obtuvo el máximo de MRR fueron: 70 V de voltaje entre los electrodos, 20 A de corriente pico y 25 kHz de frecuencia. Sin embargo, esta combinación no fue incluida en el diseño de experimentos, debido a que el valor relacionado con la frecuencia fue parte de los puntos centrales. Por lo anterior se recomienda incluir la combinación en estudios posteriores.

6. Bibliografía

1. Davim, J.P., *Nontraditional machining processes*. Vol. 39. 2013: Springer.
2. Shabgard, et al., Fuzzy approach to select machining parameters in electrical discharge machining (EDM) and ultrasonic-assisted EDM processes. *Journal of Manufacturing Systems*, 2013. 32(1): p. 32-39.
3. Xi, X.-C., M. Chen, and W.-S. Zhao, Improving electrical discharging machining efficiency by using a Kalman filter for estimating gap voltages. *Precision Engineering*, 2017. 47: p. 182-190.
4. Spieser, A.F.J., *Development of an electrochemical micromachining (μ ECM) machine*. 2015, Brunel University London.
5. Chak, S.K., *Electro Chemical Discharge Machining: process capabilities*. *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, 2016. 4(8): p. 42-53.
6. Hocheng, H., *Machining technology for composite materials: principles and practice*. 2011: Elsevier.
7. Kurafuji, H. and K. Suda, Electrical discharge drilling of glass. *Annals of the CIRP* 16 (1), 1968: p. 415-419.
8. Gupta, P.K., et al. Effect of Duty Ratio at Different Pulse Frequency during Hole Drilling in Ceramics Using Electrochemical Discharge Machining. in *MATEC Web of Conferences*. 2016. EDP Sciences.
9. Huang, S., et al., Electrochemical discharge machining micro-hole in stainless steel with tool electrode high-speed rotating. *Materials and Manufacturing Processes*, 2014. 29(5): p. 634-637.
10. Nguyen, M.D., M. Rahman, and Y. San Wong, Enhanced surface integrity and dimensional accuracy by simultaneous micro-ED/EC milling. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2012. 61(1): p. 191-194.
11. Krötz, H., R. Roth, and K. Wegener, Experimental investigation and simulation of heat flux into metallic surfaces due to single discharges in micro-electrochemical arc machining (micro-ECAM). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013. 68(5-8): p. 1267-1275.



12. Zhang, Y., et al., Drilling of film cooling holes by a EDM/ECM in situ combined process using internal and side flushing of tubular electrode. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016. 83(1-4): p. 505-517.
13. Paul, L. and S.S. Hiremath, Evaluation of Process Parameters of ECDM Using Grey Relational Analysis. *Procedia Materials Science*, 2014. 5: p. 2273-2282.
14. Rajan, J.J.J., M.D. Anand, and P. Gopu. A retrospective study based on the soft computing approach in Electro Chemical discharge machining. in *Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, 2014 International Conference on. 2014. IEEE.
16. Granda-Gutiérrez, E., et al., Remoción de Material en Diversos Electrolitos Durante el Maquinado Electroquímico de Aceros de Alta Resistencia. *Congreso Internacional en Ingeniería Electrónica*, 2015. 37: p. 25-30.
17. Paul, L. and L.V. Korah, Effect of Power Source in ECDM Process with FEM Modeling. *Procedia Technology*, 2016. 25: p. 1175-1181.



Propiedades mecánicas de un material compuesto de ácido poliláctico reforzado con quitina extraída de desechos de camarón.

Yaret Gabriela Torres Hernández ■ Alejandro Altamirano-Torres ■ Antonio Silvio De Ita de la Torre

Departamento de Ingeniería Metalúrgica y Materiales. ESIQUIE.
Instituto Politécnico Nacional.
yaghet@gmail.com

1. RESUMEN

La fabricación de un material compuesto de matriz polimérica de ácido poliláctico (PLA) reforzado con porcentajes crecientes de quitina (0, 1, 3, y 5% en peso) y su caracterización mecánica es presentado. La quitina utilizada fue extraída de exoesqueletos de camarón, los cuales fueron tratados químicamente, para eliminar proteínas y minerales; una vez obtenida fue caracterizada por medio de espectroscopía infrarroja y análisis térmico. Luego se preparó una mezcla mecánicamente con los pellets de ácido poliláctico, la cual fue extruída a una temperatura de 150°C para fabricar probetas de acuerdo a las normas ASTM, para la realización de los ensayos de flexión en tres puntos e impacto. El material compuesto con un porcentaje de quitina del 3% fue el óptimo, debido a que presenta mejora en las propiedades mecánicas de resistencia al impacto así como resistencia a la flexión, evaluadas con respecto a la matriz polimérica pura.

Palabras clave: quitina, ácido poliláctico, material compuesto, propiedades mecánicas.

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un creciente interés en producir materiales plásticos amigables con el ambiente ya sea por que estos sean biodegradables o estén constituidos por materia prima proveniente del reciclaje. La quitina es un biopolímero que se extrae generalmente de crustáceos en donde su función es darle mayor dureza a la coraza, aunque también se encuentra en algunos insectos y hongos. Su estructura está formada por poli $[\beta-(1,4)\text{-}2\text{-acetamida-}2\text{-desoxi-D glucopiranos}]$, la cual es muy parecida a la celulosa y su configuración $\beta\text{-}1,4$ le brinda rigidez a la estructura, además de poseer variedad de grupos funcio-



nales disponibles ^[1,2]. Biocompatibilidad, biodegradabilidad, son algunas de sus propiedades, que han estimulado la investigación de nuevos materiales por modificación química, sin embargo, la principal limitación de la quitina es la insolubilidad; por lo que también se ha empleado como un material de refuerzo, en la fabricación de materiales, como quitina/celulosa^[3], quitina/hidroxiapatita^[4] entre otros. El presente estudio utiliza la quitina proveniente de exoesqueletos de camarón que son considerados desperdicio como material de refuerzo para una matriz biopolimérica de ácido poliáctico (PLA), con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas y favorecer la degradación del material.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1 Extracción de la quitina

Se utilizaron desechos de camarón (exoesqueleto sin cabeza ni patas 4 Kg aproximadamente), fueron lavados con agua corriente para posteriormente secarse a 80 °C en una estufa; posteriormente fueron molidos y tamizados para ser tratados químicamente como se muestra en la figura 1.

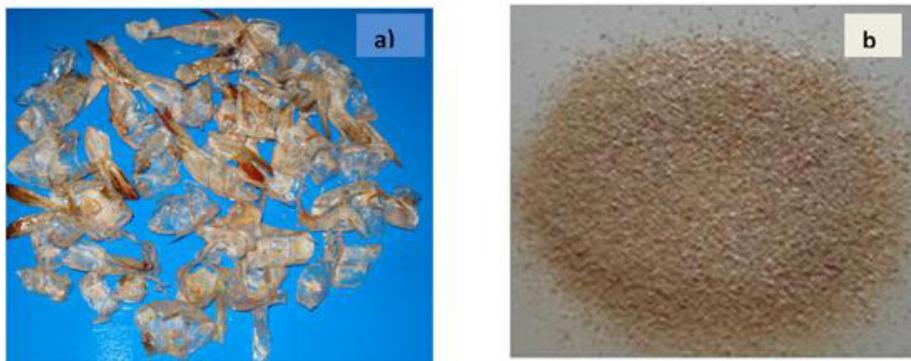


Figura 1.- a) exoesqueletos de camarón y b) polvo tamizado.

Tratamiento químico

Desmineralización.- El polvo obtenido fue tratado en una solución de HCl con 0.6 N en una relación 1:11 sólido-líquido a una temperatura de 30 °C durante 3 horas. El producto obtenido se filtró y se realizaron lavados con agua destilada hasta alcanzar la neutralidad del medio.

Desproteínización.- A continuación el producto obtenido anteriormente se puso en una solución de NaOH al 1 % a una temperatura de 28 °C durante 24 horas con agitación constante. El producto se purificó filtrando y realizando lavados con agua



destilada hasta lograr la eliminación del exceso de base; finalmente fue secado en estufa a 80 °C por 3 horas.

3.2 Identificación de la quitina

Espectroscopia Infrarroja

La quitina fue identificada mediante un espectrofotómetro VARIAN 3600 FT- IR. La región analizada fue la de 4000-400 cm^{-1} ; la metodología utilizada para obtener los espectros fue formar una pastilla mezclando la muestra con KBr en una relación en peso de 1:100.

Análisis Termogravimétrico (ATG y DTG)

El análisis térmico se llevo a cabo en un equipo DSC/DTA SDT Q600 (TA Instruments), la metodología utilizada para realizar el análisis se basó en la norma ASTM E- 1131-03. Se tomó una masa de 2.4670 ± 0.001 mg de muestra, se utilizó un intervalo de temperatura desde 30 hasta 600°C, con una velocidad de calentamiento de 5 grados/min y un flujo de nitrógeno de 20 ml/min.

3.3 Fabricación del Material Compuesto

Los polvos de quitina (300 μm), fueron mezclados mecánicamente con los pellets de ácido poliláctico y una vez obtenida la mezcla fue procesada en una extrusora monohusillo marca Beutel-Spacher, a una temperatura de 150°C, a fin de obtener las probetas para los ensayos mecánicos.

ENSAYO DE IMPACTO

Se utilizó un péndulo de impacto Izod de marca Tinius Olsen, los ensayos se llevaron a cabo a temperatura ambiente (25 °C), según la Norma ASTM D-256, todos los datos son registrados por el equipo.

ENSAYO DE FLEXIÓN

Se realizaron los ensayos, utilizando la máquina universal descrita anteriormente, para ello se fabricaron probetas del perfil obtenido por extrusión del biopolímero según la Norma ASTM D-790. Se utilizó una celda de 10 kN, una distancia entre apoyos de 72 milímetros y una velocidad de ensayo de 5 mm/min.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

El espectro obtenido (ver figura 2), confirma que el compuesto obtenido es quitina, al identificarse vibraciones de estiramiento correspondientes al grupo N-H que presentan frecuencias moderadamente intensas en la región 3450 y 3250 cm^{-1} . Los grupos funcionales de amida y carbonilo se observan en dos bandas intensas en la región de 1660-1560 cm^{-1} , además el espectro presenta un pequeño pico en el intervalo de 2885 cm^{-1} que corresponde a las vibraciones de tensión del enlace C-H, que generalmente indica la presencia de uno o más grupos alcanos, y por último se observan vibraciones de tensión del grupo C-O-C entre 1070 y 1020 cm^{-1} , en la tabla 1 se reportan los resultados, mismos que coinciden con los reportados en la literatura [5,6].

Tabla 1. Bandas de absorción de los grupos funcionales presentes en la quitina.

Región (cm^{-1})	Tensión
890	Glucopiranososa
3,450	N-H
2,880	C-H
1,660-1,560	C=O
1,070-1,020	C-O

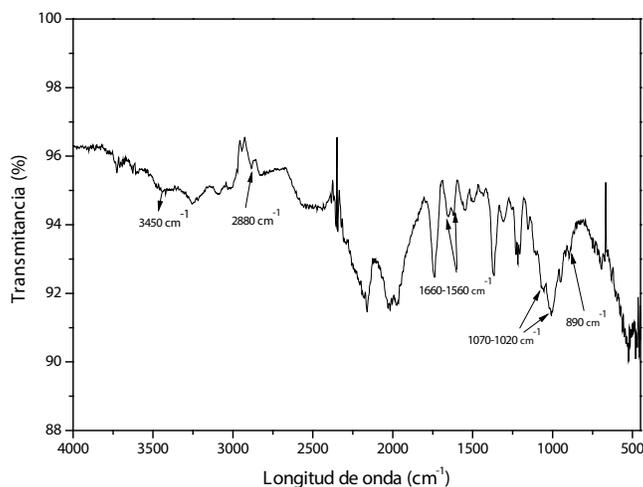


Figura 2.- Espectro infrarrojo obtenido para la quitina.

ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO (ATG y DTG)

La quitina presenta tres eventos térmicos importantes como se observa en la figura 3, el primero de ellos debido a la pérdida de humedad del material ($T_{\text{amb}}-200^{\circ}\text{C}$),



el segundo se relaciona con la despolimerización del material, descomponiéndose en productos volátiles de bajo peso molecular y carbono (200-389°C), por último el tercer evento es casi imperceptible y corresponde a la pirolisis por descomposición de los grupos aminas (por arriba de 389°C), dichos eventos pueden observarse con mayor claridad en la curva correspondiente a la derivada y concuerdan con estudios anteriores [1,2]

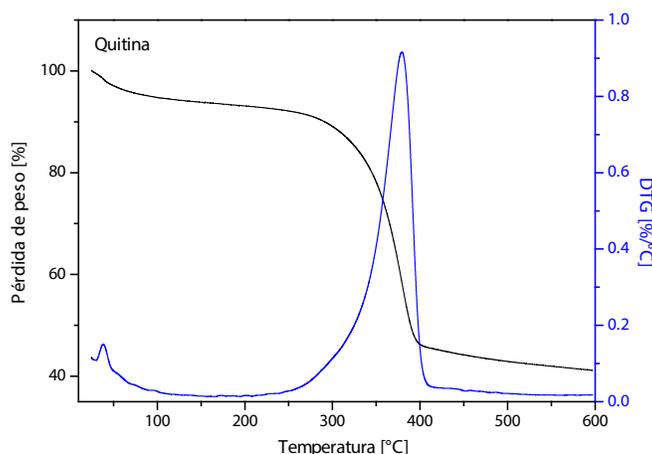


Figura 3. Curvas obtenidas para el TGA y DTG de la quitina.

ENSAYOS DE IMPACTO

Los resultados obtenidos del ensayo de resistencia al impacto Izod, exhiben una mejora en la tenacidad de hasta un 62% con respecto a la matriz polimérica pura, conforme se incrementa el porcentaje de quitina, como se presenta en la tabla 2, resultados similares han sido reportados anteriormente con otros polímeros [7,8].

Tabla 2.- Resultados del ensayo de impacto izod para las muestras estudiadas.

MUESTRA	RESISTENCIA AL IMPACTO[J/m]	INCREMENTO [%]	DESV. EST.
PLA	17.459	-	2.116
QUITINA 1%	24.189	34.69	1.373
QUITINA 3%	27.507	57.55	2.115
QUITINA 5%	28.398	62.65	1.045

La tendencia ascendente de los datos que se observa en la siguiente gráfica (figura 4), pone de manifiesto que factores como: morfología, tamaño y distribución de



la fase dispersa, fue adecuada y presenta buena adhesión, mejorando la tenacidad del material.

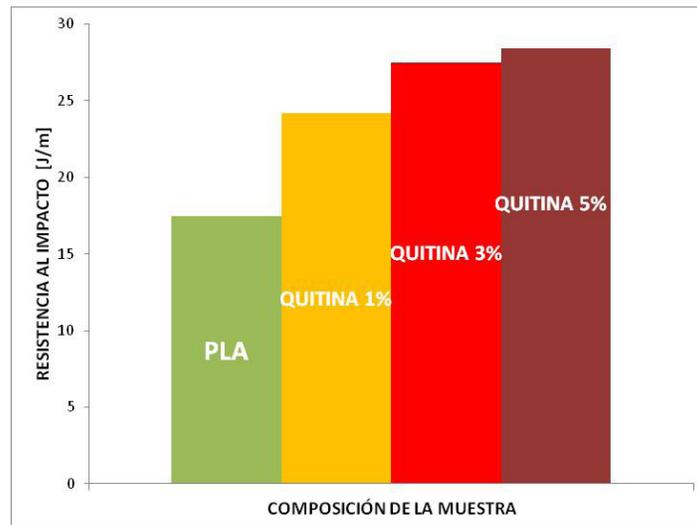


Figura 4.- Representación gráfica de los resultados obtenidos en el ensayo de impacto.

ENSAYOS DE FLEXIÓN

La introducción de partículas de quitina en el material, provoca un incremento en la resistencia a la flexión en las muestras con 1 y 3 %, para la muestra con 5 % de partículas aunque si hay un incremento este es mínimo; en todos los casos disminuye el porcentaje de deflexión hasta en un 20 % lo que indica una mayor rigidez del material con respecto a la matriz, como se observa en la figura 5.

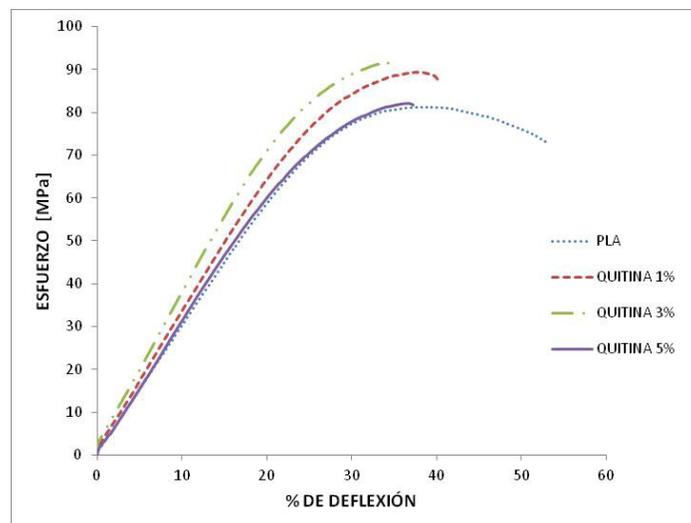


Figura 5.- Curva esfuerzo-deflexión para los diferentes materiales.



Se observa una tendencia creciente conforme aumenta el porcentaje de quitina, en la resistencia a la flexión, sin embargo encuentra su máximo en 3% ya que en 5 % disminuye pero aún es mayor con respecto a la matriz lo cual puede atribuirse a que el ácido poliláctico no recubre del todo las partículas de quitina siendo el 3% el porcentaje óptimo. Un resumen de estos datos se encuentra en la tabla 3.

Tabla 3.- Resultados del ensayo de flexión en tres puntos para las muestras estudiadas.

MUESTRA	% DE DEFLEXIÓN	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN [Mpa]	DESV. EST.	INCREMENTO %
PLA	39.1617	81.1689	0.3779	-
QUITINA 1 %	37.4625	89.3902	0.7572	10.13
QUITINA 3 %	33.4419	91.7064	1.0921	12.98
QUITINA 5 %	36.7413	82.1362	1.4369	1.19

5. CONCLUSIONES

La extracción de quitina a partir de desechos de camarón por el tratamiento químico realizado fue exitosa, lo que se comprueba con los diferentes análisis realizados. La forma y tamaño de partícula de la quitina obtenida permite su incorporación en una matriz biopolimérica, comportándose como un material reforzante lo que se refleja en un incremento en la resistencia al impacto y flexión con respecto a la matriz polimérica pura. El porcentaje óptimo de quitina fue de 3% ya que con porcentajes mayores el ácido poliláctico muestra la formación de aglomerados, lo que ocasiona un decaimiento en dichas propiedades. El material compuesto fabricado tiene aplicaciones potenciales como puede ser en el sector automotriz y/o médico.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Rinaudo, M. (2006), Chitin and chitosan: Properties and application, *Progress in Polymer Science* 31,603-632.
2. Majeti N.V., Ravi Kumar (2000), A review of chitin and chitosan applications, *Reactive & Functional Polymers* 46, 1-27,.
3. Setoyama M., Kadokawa J. (2012), Preparation of chitin/cellulose films compatibilized with Polymeric ionic Liquids, *Journal of Polymers and the Environment*.
4. Peniche C., Solís Y., Davidenko N., García R., (2010), Materiales compuestos de quitosana e hidroxipatita, *Biología aplicada*. Vol. 27, No.3.



5. Belandria J.C, Morillo N.J. (2008), Recuperación de quitina a partir de los residuos sólidos generados del procesamiento industrial de crustáceos, *Revista Cubana de Química*, vol. XX, No.3.
6. Entsar S. A., Khaled S.A., Maher Z. (2008), Extraction and characterization of chitin and chitosan from local source, *Bioresource Technology*, 99, 1359-1367.
7. Long J. F., Jin S (2008), Impact-strength improvement of epoxy resins reinforced with a biodegradable polymer, *Materials Science and Engineering A* 478, 402–405.
8. Sánchez Mora J.J. (2003), *Comportamiento térmico y mecánico del poli (etiléntereftalato) (PET) modificado con resinas poliméricas basadas en bisfenol-A*, Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Catalunya.



Ánodos de sacrificio para sustentar la vida y el medio ambiente.

Guillermo Fausto Sala Banuet ■ Andrea García Ortega
Néstor Osvaldo Toxtó Guerrero ■ José Guadalupe Ramírez Vieyra

Departamento de Ingeniería Metalúrgica.
Facultad de Química.
Universidad Nacional Autónoma de México.
salasb@unam.mx

1. Resumen

Los elementos de las aleaciones de aluminio, usadas como ánodos de sacrificio en medio marino para proteger estructuras base Fe, son tóxicos, creando problemas para la salud y el medio. Se proponen, evalúan y relacionan electroquímica y microestructuralmente elementos aleantes menos tóxicos (Bi, Zn, Ni, Mg, Mn y Ag), anticipando que deberían presentar ciertos microconstituyentes específicos para funcionar como ánodos.

Se obtuvieron valores de potencial de corrosión, pendientes de Tafel y rapidez de corrosión, con el método de extrapolación de Tafel, y la capacidad de drenar corriente midiendo su eficiencia; también se determinó el tipo de corrosión. Usando microscopía óptica se computaron los espaciamientos dendríticos secundarios y la cantidad relativa de las fases; sus composiciones químicas y distribución se obtuvieron con microscopía electrónica de barrido y microsonda. Ninguna aleación cumplió totalmente como ánodo, pero se establecieron las bases para ajustar las composiciones y obtener los comportamientos requeridos.

2. Introducción

La protección catódica es una técnica utilizada para proteger estructuras, principalmente de hierro y acero, que se deterioran debido a sus interacciones electroquímicas con el medio ambiente; su importancia está en extender su vida útil, reducir costos y evitar accidentes.

Los dos métodos empleados para la protección catódica son la aplicación de corriente impresa y el uso de ánodos de sacrificio o galvánicos, para crear una celda electroquímica ^[1]. En el caso de la corriente impresa se usa un ánodo inerte, suministrando corriente con un rectificador y, en el de los ánodos se usa



una aleación electroquímicamente activa (el ánodo) que funciona como una fuente de corriente (comúnmente elaborado con una aleación de aluminio, para ser usado en agua salada; de zinc, en agua dulce; y de magnesio, en tierra); el ánodo se consume y disuelve durante su funcionamiento y es por ello que aquí se busca que los elementos de las aleaciones usadas sean lo menos tóxicos posible para los seres vivos y que permitan la sustentabilidad del medio en el que se usan. También deben de impedir la pasivación del ánodo, fomentar su disolución homogénea, ser fácilmente adquiridos y tener bajo costo ^[2,3].

Los ánodos de sacrificio empleados para proteger estructuras de acero en un medio marino (plataformas petroleras, ductos transportadores de petróleo, barcos, trasatlánticos, puentes, etc.) son elaborados con aleaciones de aluminio con 0.3-5%Zn y 0.015-0.05%In o 0.02-0.05%Hg, pudiendo contener otros elementos cuyo máximo está determinado ^[2]. Ya disueltos, los elementos químicos son captados por algas marinas y algunas procariotas durante su proceso alimentario y se van concentrando con la cadena trófica durante su consumo por especies intermedias y luego por las superiores, que aglutinan los metales aumentando su toxicidad, las cuales son consumidas por el ser humano, haciendo que ingiriera una cantidad que perjudica su salud, a veces grave o mortalmente; se ha encontrado que su consumo provoca síntomas de envenenamiento -como pérdida de peso- edema pulmonar, neumonía necrótica, daño en la sangre y cambio degenerativo en el hígado y los riñones y, a veces, en el cerebro de fetos humanos. El medio ambiente también se ve afectado, pues al incrementarse la cantidad de iones disueltos en el agua se provoca una migración de especies marinas, que altera el equilibrio ecológico ^[4,5].

Dado que el uso de ánodos de sacrificio es, y parece que continuará siendo, el mejor método para proteger las grandes estructuras de acero, se planteó el objetivo de sustituir los elementos tóxicos y dañinos por otros que lo sean menos, y en menor cantidad, y evaluar sus aleaciones. Se estableció la hipótesis de que la microestructura de la aleación determina su comportamiento electroquímico, con lo que se estipuló que los microconstituyentes que debían formar todas las aleaciones deberían de ser: mayoritariamente, la solución sólida de aluminio (Al), secundariamente, un compuesto o un eutéctico y, también, precipitados del compuesto en el seno de la (Al). Con ellos se formarían microceldas electroquímicas de varios tamaños que evitarían la pasivación del ánodo, promoverían su corrosión uniforme e incrementarían su capacidad para drenar corriente. Para seleccionar los elementos aleantes se analizó la información relativa publicada ^[6-8]; en ella se menciona que deben de tener un potencial de reducción (E°) mayor al del aluminio (-1.66V). Se eligieron: bismuto (+0.32 V), manganeso (-1.18V), níquel (-0.25V) y plata (+0.80V). Para comparar y entender los comportamientos de las aleaciones, se optó también por el magnesio (-2.37 V), pues su potencial de reducción es menor al del aluminio, el Zn (-0.76 V) por ser



usado en las aleaciones comerciales y por el Al utilizado para fabricar las aleaciones. Con base al trabajo de Despić *et al.* [9], se esperaba que la reducción de la cantidad de los elementos aleantes escogidos no afectara el comportamiento de las aleaciones como ánodos.

3. Condiciones experimentales

Se escogieron diez aleaciones binarias base aluminio: tres con Mg (0.072%, 0.087% y 0.094%), tres con Mn (0.088%, 0.083% y 0.085%) y cuatro únicas, cada una con 2.946%Zn, 0.073%Ni, 0.045%Ag y 0.03%Bi. Se fundió el aluminio en crisoles de barro barnizados con óxido de zirconio, precalentados a 780°C; se removió la escoria, se agregó el elemento aleante, se agitó para su incorporación y se colaron en moldes cilíndricos de arena al silicato de sodio (de 1.6 cm de diámetro y 13 cm de altura), secados a 100°C por una hora.

A los cilindros obtenidos se les cortaron dos rodajas de 5 mm de espesor. Una para su preparación y observación metalográfica; usando microscopía óptica se computaron los espaciamentos dendríticos secundarios (EDS) de la fase principal y la cantidad relativa de los microconstituyentes; sus composiciones químicas y distribución se obtuvieron con microscopía electrónica de barrido y microsonda. La otra rodaja se usó para obtener las curvas de Tafel, utilizando un potenciostato y un electrodo de referencia (Ag-AgCl), en una solución al 3% de NaCl en agua y haciendo un barrido desde -300 hasta 1000 mV. Con cada curva se obtuvo el potencial de corrosión, que indica si la aleación se comportará como ánodo o cátodo frente a la estructura de acero; se midieron las pendientes anódicas, que prueban si la aleación estará activa, se pasivará o tenderá a pasivarse frente al Fe; y la rapidez de corrosión, que dice qué tan pronto se disolverá la aleación. El resto de los cilindros se maquinaron hasta tenerlos de 5 cm de altura y 1 cm de diámetro y se sometieron a la prueba de eficiencia de corriente, bajo norma [2], que mide la capacidad de drenaje de corriente (CDC) que sirve para proteger a la estructura. Se pesaron antes de colocarlos dentro de unas latas de acero que contenían una solución 3% de NaCl en agua -con lo que se formaron las celdas electroquímicas- las cuales se mantuvieron conectadas entre ellas (los electrodos de una de ellas se conectaron a un multímetro), a dos culombímetros y a un potenciostato, con lo que se formó un circuito durante 96h. Al sacar los cilindros se decaparon para eliminar los óxidos formados en su superficie, se pesaron nuevamente para determinar su pérdida de masa y con ella obtener la CDC (en Ah/kg) y el % de eficiencia de corriente. Por último, se hizo una inspección visual con la que se dictaminó el tipo de corrosión que presentó cada aleación, entre uniforme y localizada.



Con un equipo de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP), se realizó un análisis químico a las aleaciones fabricadas, encontrándose que todas contenían 0.20%Fe y 0.02%Ag y 0.02%Cu, lo que indicó un contenido excesivo de hierro en el aluminio utilizado para fabricarlas.

4. Resultados y discusión

Ninguna de las curvas de Tafel indica pasivación. Sin embargo, las curvas de las aleaciones 0.094Mg, 2.946Zn, 0.456Ag, 0.030Bi y Al Base, principalmente la de esta última, mostraron un aumento abrupto en su potencial, bajo el mismo aumento gradual de la densidad de corriente, indicando que hay formación y ruptura de capas inestables de óxidos, lo que significa una tendencia a la pasivación.

Los valores de potencial de corrosión, pendiente anódica, CDC y rapidez de corrosión obtenidos están contenidos en la Figura 1. Dado que los primeros son negativos, se tuvieron que multiplicar por -1, quedando sus unidades como (-mV); y como los últimos son muy pequeños, debieron multiplicarse por 1000.

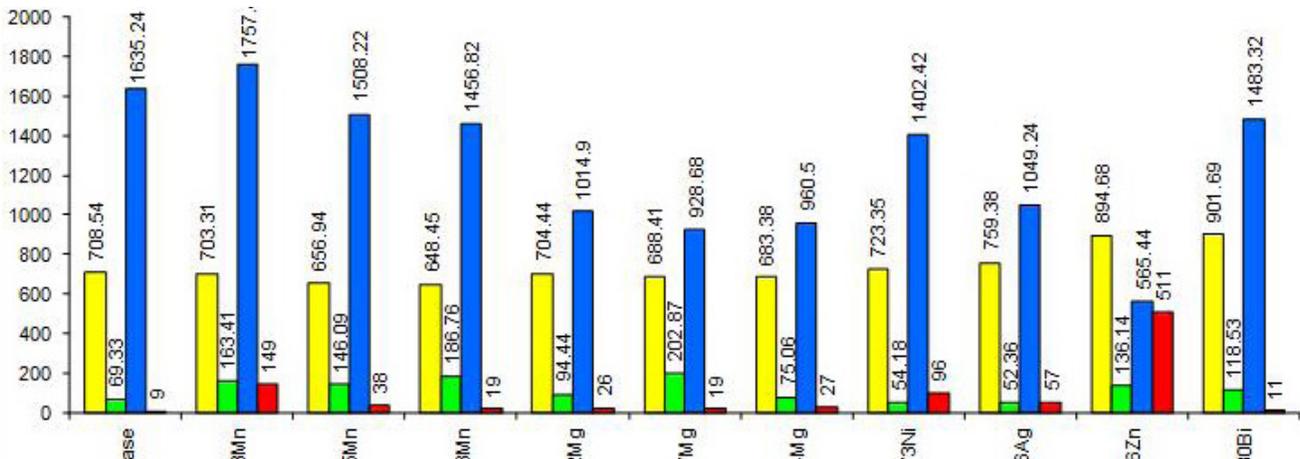


Figura 1. Comparación de los valores obtenidos con las curvas de Tafel y la prueba de eficiencia de corriente.

Se midió fácilmente la pendiente de la rama anódica de las curva de Tafel -sin que hubiera un cambio en ella, por lo menos en una década logarítmica- significando que la corrosión se llevará a cabo por control activacional y de forma homogénea; si no hubiese podido medirse, significaría que la corrosión sería localizada.

Para el aluminio, el valor del potencial de corrosión es -708.54 mV; se nota que las aleaciones con Ni (-723.35 mV), Ag (-759.38 mV), Zn (-894.68 mV) y Bi (-901 mV) presentan valores más negativos que el del Al, con lo que reaccionarán mejor con el medio, mientras que los valores de todas las aleaciones con Mn y Mg están



entre -704.44 mV y -648.45 mV. Solo la de Zn y la de Bi tienen un valor superior al del Fe (-800 mV).

Todos los elementos aleantes aumentaron el valor de la rapidez de corrosión del Al (valor real de 0.009 mm/año) -el más bajo de todas- ya que la formación de microceldas entre los microconstituyentes de las aleaciones, ayuda a romper la capa estable, pasivante, de Al_2O_3 ; las aleaciones presentaron valores entre 0.011 mm/año (la de Bi) y 0.511 mm/año (la de Zn, 46 veces mayor que la de Bi) significando que se disolverá muy rápidamente y que la razón de su uso en las aleaciones comerciales es evitar la pasivación; la aleación con Bi se consumirá lentamente manteniendo por más tiempo el flujo de electrones, presentando una ventaja extra a las ya mencionadas: más tiempo de protección y baja pérdida de material. El grupo de las de Mg presenta relativamente bajas rapidez de corrosión (0.019-0.027 mm/año), sin que exista una tendencia debida a la cantidad del aleante; mientras, las de Mn presentan una tendencia a aumentar la rapidez de corrosión al aumentar el contenido de este elemento, siendo notorio que la de menor contenido tiene un valor casi 8 veces mayor que las otras dos, lo que podría significar que al incrementar el contenido de Mn en pequeñas cantidades, se bajaría más la rapidez de corrosión.

La CDC es la cantidad de corriente que puede suministrar el ánodo, en una celda electroquímica, para proteger una estructura, siendo así el criterio más importante para evaluar un ánodo de sacrificio. Se puede apreciar que ninguna de las aleaciones cumple con el criterio de capacidad de drenaje de corriente mínima requerida, que es de 2500 Ah/kg. De cualquier modo, el valor máximo de CDC la tuvo la de Bi (1483 Ah/kg) y el mínimo la de Zn (565 Ah/kg), teniendo la primera un valor 2.6 veces mayor que el de la segunda, indicando que sería dos veces mejor como ánodo.

Se observó que todas las aleaciones presentaron una corrosión homogénea, aunque algunas se corroen más homogéneamente que otras; la de mayor homogeneidad es la aleación con 0.072%Mg (Figura 2A) y la de menor es la de Zn (Figura 2B), porque tuvo un ataque catastrófico. Este comportamiento podría ser explicado por su baja CDC, significando que parte de la salida de corriente es utilizada para romper las capas de óxidos que se forman en su superficie y no para proteger la estructura.

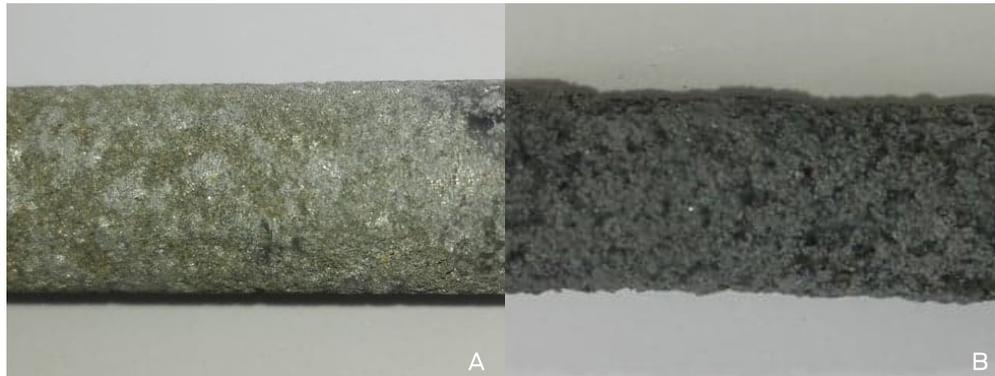


Figura 2. Inspección visual de las aleaciones A) con 0.072Mg y B) con Zn.

En las microestructuras de todas las aleaciones, observadas a 100X, es posible ver las dendritas primarias de (Al), así como un compuesto o eutéctico en las zonas interdendríticas; la Figura 3A es representativa de todas ellas. A mayores aumentos, entre 3000 y 7000X, se pueden distinguir los precipitados del compuesto dentro de la (Al); la Figura 3B es representativa. La Figura 3C (1750-7500X) representa los compuestos o, en su caso, los eutécticos presentes.

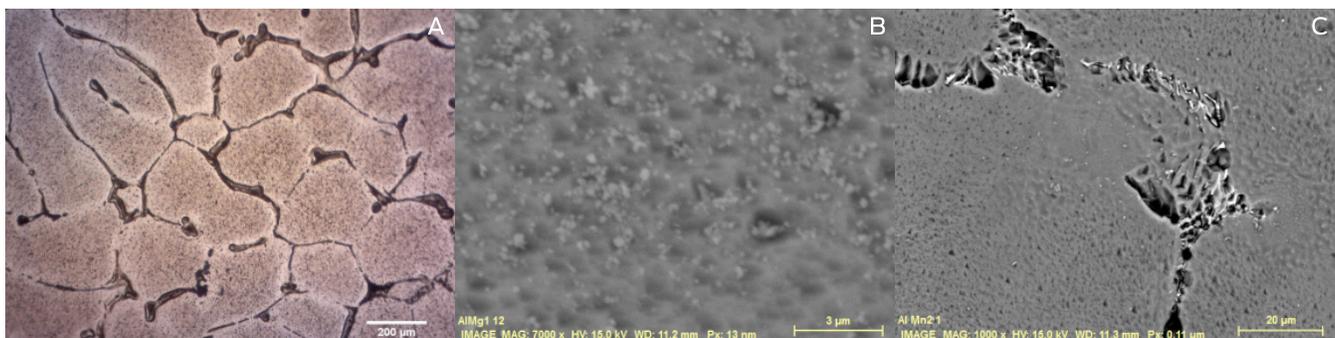


Figura 3. Microestructuras de las aleaciones: A) 0.094Mg; B) 0.087Mg; y C) 0.083Mn

La muestra del aluminio presentó dendritas de Al puro con Cu, Fe y Ag segregados por separado entre las dendritas; los dos últimos elementos se combinaron con los aleantes para formar los microconstituyentes interdendríticos. Las aleaciones que presentaron eutécticos fueron: la 2.946%Zn, con $(Al)_{Zn}$ y $FeAl_3$; la 0.030%Bi, con $(Al)_{Fe}$ y $(Bi)_{Al}$; y las 0.072%Mg y 0.087%Mg, ambas con $(Al)_{Mg}$ y $FeAl_3$. Las que presentaron compuestos: la 0.073%Ni, con Al_3Ni ; la 0.456%Ag, con $AlAg$; la 0.094%Mg, con $FeAl_3$; y las tres de Mn con $MnFeAl_6$ y con precipitados de Al_6Mn en las dendritas de (Al). También se pudo observar que, en todas, la corrosión inició en el seno de la (Al).



Se encontraron relaciones entre EDS y cantidad relativa del 2° microconstituyente con la rapidez de corrosión y la CDC, para los grupos de aleaciones de Mg y Mn. Para ambos grupos, a mayor EDS mayor rapidez de corrosión, aunque para las aleaciones de Mg esta es muy similar; mientras que la CDC de las aleaciones de Mn se incrementó con el aumento del EDS; cosa que no se encontró en el grupo del Mg. La cantidad relativa del 2° microconstituyente no dio alguna relación con el CDC ni con la rapidez de corrosión.

En resumen:

De las todas las aleaciones la de Bi tuvo el mejor comportamiento para funcionar como ánodo de sacrificio por presentar corrosión homogénea, baja rapidez de corrosión, no pasivarse y ser menos tóxico que los utilizados de manera comercial. Sin embargo, su CDC es 40% menor al de las aleaciones utilizadas actualmente para la protección catódica en medio marino. Modificando la cantidad de elemento aleante y la velocidad de enfriamiento, podría mejorarse el CDC.

El Mg como elemento aleante deteriora por completo las propiedades electroquímicas del Al, al no tener un potencial de reducción estándar menor al del Aluminio.

El Zn disminuye el potencial de corrosión del Al haciendo que se comporte como ánodo frente al Fe, pero incrementando de forma significativa su rapidez de corrosión.

Se encontró que los parámetros microestructurales que modifican el comportamiento electroquímico son el EDS y la distribución del elemento aleante.

La (Al) funciona como el metal que dona los electrones para proteger la estructura de Fe, mientras que los compuestos formados por elementos aleantes sirven para evitar la pasivación del ánodo.

5. Conclusiones

Todo indica que más importante que la diferencia de potenciales entre los elementos aleantes y el Fe, es la diferencia de potencial entre las fases que forman los microconstituyentes. Posiblemente, si se pudiesen fabricar grandes cantidades de ellas para tener muestras a las que se les pudiera medir el potencial, se entendería mejor lo que sucede.

Ahora, con los resultados de este trabajo se abre la posibilidad de manipular las cantidades de los aleantes y los parámetros estructurales modificables.



6. Agradecimientos

A Margarita Reyes Salas, por su amplia disposición a trabajar con nosotros en el MEB del Instituto de Geofísica. A Paola Roncagliolo, por ayudar a entender conceptos relativos a la corrosión. A Ciro Márquez, por su colaboración al realizar los análisis químicos de las aleaciones.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Loto, C.A and A. P. I. Popoola, A.P.I., Effect of anode and size variations on the cathodic protection of mild steel in sea water and sulphuric acid, *International Journal of the Physical Sciences*, V.6, 2861-2868 (2011).
2. Foundation Det Norske Veritas, *Cathodic Protection Desing*, Oslo, Noruega (2011).
3. Ávila, J., Genescá, J., “Más allá de la herrumbre II. La lucha contra la corrosión”, Fondo de Cultura Económica, México (1999).
4. Edding M., Tala, F., Vásquez J., “Fisiología vegetal”, F.A. Squeo & L. Cardemil, La Serena, Chile (2006).
5. Recursos educativos EduCaixa, Productores y Consumidores en el Mar, <https://www.educaixa.com/-/productores-y-consumidores-en-el-mar>, consultado el 3 de junio de 2018.
6. Medrano, W., Caracterización microestructural de los ánodos de sacrificio de Al-Zn-In, Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México (2007).
7. Hernández, L., Evaluación del desempeño de ánodos galvánicos Zn-22Al con 2, 4, 6 % en peso de Ag para Protección Catódica, Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, (2008).
8. Salas, G., Verduzco, L., Diseño de aleaciones para ánodos de sacrificio sustentables, *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, V. 16, 26-35 (2013).
9. Despić, A.R., Dražić, D.M., Purenović, M.M., Ciković, N., Electrochemical properties of aluminium alloys containing indium, gallium and thalium. *Journal of Applied Electrochemistry* V.6, 527-542 (1976).



Implementación de redes neuronales para la predicción de la penetración en uniones soldadas en una aleación de aluminio 5052-H32 referente a los parámetros de soldadura GMAW-P.

Enrique Alejandro Cavazos Hernández ■ Alejandra Hernández-Rodríguez ■ Pamela Chiñas-Sánchez
Fernando Macías López ■ Melvyn Álvarez-Vera

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales.
Saltillo, Coahuila, México.
eacavazoshdz@hotmail.com

1. Resumen

El proceso de soldadura GMAW-P semiautomatizado es reconocido como una de los más eficientes para soldar placas de aleaciones de aluminio, sin embargo, estas presentan defectos como falta de penetración debido al efecto del calor de entrada en las regiones soldadas. El problema general que se presenta durante el proceso soldadura GMAW-P semiautomatizado radica en el desconocimiento de la combinación adecuada de los parámetros para generar una soldadura con una calidad dentro de especificaciones. Debido a lo anterior, se proponen determinar las posibles combinaciones de parámetros utilizando un diseño 2^k y mediante redes neuronales realizar un modelo de predicción con el fin de generar cordones soldados con la calidad requerida. El objetivo de este trabajo es evaluar la influencia del voltaje y corriente sobre la penetración en una aleación de aluminio 5052-H32 utilizando un material de aporte ER5356 en placas de espesor de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

2. Introducción

El aluminio y sus aleaciones (serie 5xxx) han alcanzado una gran importancia debido a sus aplicaciones en la industria automotriz, aeroespacial y ferroviaria; en específico en vagones, rines, tanques criogénicos y latas de conserva ^[1]. Las aleaciones Al-Mg tienen propiedades como baja densidad, buena resistencia a la corrosión y buena soldabilidad ^[1]. Debido a la buena soldabilidad del material, se recomienda utilizar métodos de soldadura de arco protegido con gas inerte de argón el cual permite obtener un cordón más ancho en la superficie con una penetración no menor a $\frac{1}{4}$ de pulgada. Otro efecto del gas de protección determina la tendencia a la formación de poros y a la susceptibilidad al agrieta-



miento en caliente ^{[2][4]}. Los parámetros necesarios para que el proceso de soldadura genere la energía necesaria para obtener el cordón de soldadura son voltaje, corriente y velocidad de avance ^{[3][4]}.

Las aleaciones de aluminio de forja 5052-H32 unidas por el proceso GMAW-P semiautomatizado pueden presentar discontinuidades provenientes por la variación inherente de los parámetros que intervienen en la generación del calor de entrada, las cuales tienen una relación con la calidad. Debido a los parámetros utilizados (voltaje, corriente y velocidad de avance), existen problemáticas que se presentan en el área industrial al soldar aleaciones de aluminio, las cuales son provocadas por el desconocimiento de los parámetros adecuados para generar un cordón de soldadura con calidad pertinente.

Las RNA son modelos matemáticos desarrollados como emulación del proceso de aprendizaje del cerebro humano, cuyo elemento básico de procesamiento está inspirado en una mezcla de unidades llamadas neuronas que están conectadas unas con otras. Las RNA se han utilizado en un gran número de aplicaciones y han demostrado ser eficientes para el reconocimiento de patrones, el reconocimiento de voz, la detección de información relevante en un gran volumen de información y en la predicción ^{[7][8]}. Dicho lo anterior, las RNA permiten obtener un modelo con un conjunto de variables de entrada/salida con los cuales puede predecir el valor de salida. Diversos investigadores como Andersen, Kristinn et al. utilizaron el modelo de red neuronal BP (Backpropagation, por sus siglas en inglés) para modelar la geometría del cordón en un proceso de soldadura por arco GTAW (Gas Tungsten Arc Welding, por sus siglas en inglés) ^[9]. Reddy, N. S et al. aplicaron un algoritmo de RNA tipo BP para predecir el tamaño del grano en una aleación de aluminio Al-7Si ^[10]. O. Martin et al. propusieron la implementación de una RNA tipo BP para predecir la calidad de la unión soldada en chapas de acero unidos por RSW (Resistance Spot Welding, por sus siglas en inglés) ^[11]. Vahid, Moosabeiki et al. utilizaron las RNA para predecir y determinar la microdureza vickers en una aleación de aluminio 6061 unido por FSW (Friction Stir Welding, por sus siglas en inglés) ^[12]. De acuerdo a la literatura, varios autores utilizan las RNA en específico las BP para predecir las salidas de acuerdo a su investigación. Por lo tanto, se propone utilizar una RNA BP, la cual es una de las herramientas más utilizadas en el área tanto de materiales como de soldadura para predicción de salidas de interés.

3. Diseño de Experimentos y propuesta de redes neuronales

Al especificar los parámetros de las variables que se utilizarán para realizar las soldaduras en placas de aluminio 5052-H32 de ¼ de pulgada de espesor, se necesitará



definir si en la respuesta esperada se presenta algún impacto relevante originado por dos o más factores (voltaje, amperaje y velocidad de avance) con sus posibles combinaciones. En consecuencia se requiere implementar un diseño factorial 2^k , considerando que es un método apropiado para estudiar el efecto de dos o más factores con las posibles combinaciones e interacciones sobre una respuesta, de los cuales cada factor tendrá niveles definidos como “bajo”, “medio” y “alto”; cuya denotación se escribe con “-”, “0” y “+” [5][6]. A la vez, los parámetros serán utilizados como datos de entrada o patrones en la red neuronal artificial (ANN, por sus siglas en inglés) para la predicción de salida del proceso de soldadura GMAW-P semiautomatizado.

Para realizar el diseño de experimentos 2^k se planteó el análisis de dos parámetros de entrada de soldadura (voltaje y corriente) utilizados en la unión de placas de aluminio 5052-H32 con material de aporte ER5356 con 0.047 pulgadas de espesor como se muestra en la Tabla 1, con las dimensiones especificadas en la Figura 1. No se tomó en consideración el tiempo medido en el diseño de experimentos debido a que el proceso de soldadura GMAW-P semiautomatizado no cuenta con un control en la velocidad de avance, el cual es utilizado para la generación del cordón. Por esta razón, se plantea un diseño de experimentos 2^2 con dos réplicas y dos puntos centrales, cuyos datos generados mediante el diseño factorial proporcionará información para el modelo RNA. En el modelo se analizarán las observaciones de cada variable, tanto en la etapa de entrenamiento como en la etapa de validación; esto con el propósito de que la RNA aprenda y sea capaz de predecir la salida de interés (penetración). Como se mencionó anteriormente, se propone utilizar una RNA BP cuya topología tendrá una aproximada a la representada de la Figura 2.



Tabla 1.- Parámetros utilizados en el diseño de experimentos.

Variables/niveles	-	0	+
Voltaje	24	26	28
Corriente	170	205	240

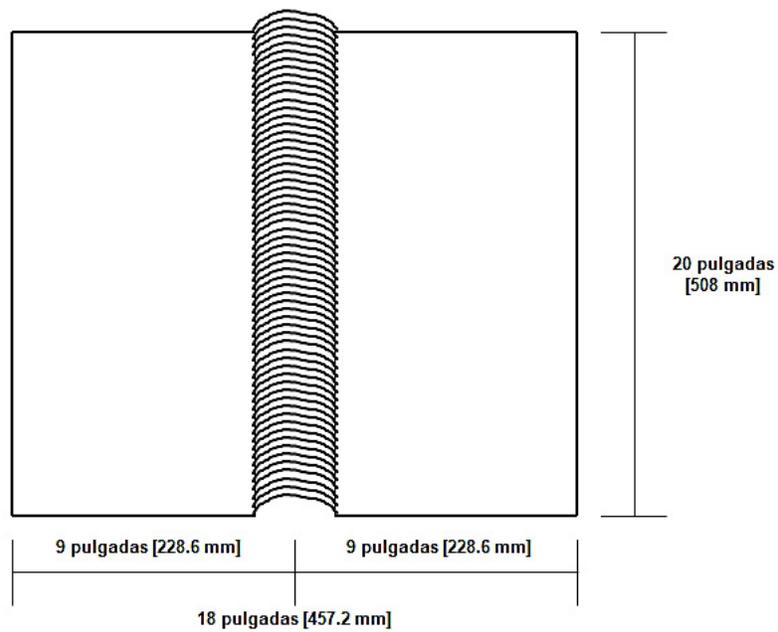


Figura 1.- Dimensiones de las placas soldadas utilizadas en el diseño de experimentos.

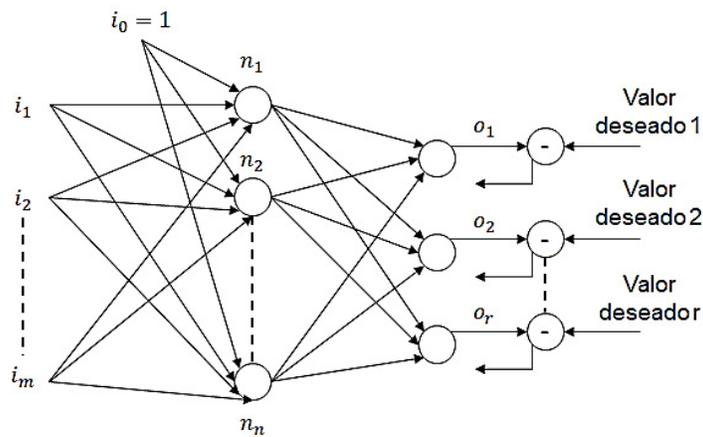


Figura 2.- Arquitectura de la RNA Backpropagation.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de analizar la literatura se observó que existen diferentes parámetros que influyen en la penetración de la unión de las placas de aluminio 5052-H32 de ¼ de pulgada de espesor tales como: el gas de protección, el tipo de electrodo, el voltaje, la corriente, la velocidad de avance, el ángulo del electrodo, la extensión del electrodo, entre otros. Los parámetros utilizados para generar el calor de entrada en la unión de las placas son el voltaje, la corriente y la velocidad de avance como se expone en la ecuación 1. Donde Q es el calor, E es el voltaje, I es la corriente, V es la velocidad de avance y η es la eficiencia del proceso (la eficiencia del proceso GMAW-P es 0.8 ^[13]). La eficiencia del proceso es una porción de energía proveniente de la fuente de calor, la cual es transferida a la pieza de trabajo y el remanente de energía se disipa en el entorno, por consiguiente $\eta < 1$ y se puede expresar como la Ecuación 1 (6):

$$Q = \frac{\eta 60EI}{1000V} \quad (1)$$

Debido a lo anterior, se realizó un diseño de experimentos 2^2 con dos réplicas y dos puntos centrales codificado/decodificado como se indica en la Tabla 2, con lo cual se satisfacen los 3 lineamientos para un diseño factorial ^{[5][6]}. Al establecer los parámetros de voltaje y corriente para generar el cordón de soldadura, se obtuvieron 10 uniones con las diferentes combinaciones de la Tabla 2 del diseño de experimentos. Algunas uniones presentan una penetración completa y/o insuficiente como se puede observar tanto en la Tabla 2 y en la Figura 3, esto como consecuencia del efecto de las variables inherentes que involucran a la generación del flujo de calor necesario para unir el material. En la Gráfica 1 se puede apreciar como el calor de entrada influye en la penetración de cada corrida; como se mencionó previamente el calor de entrada es un parámetro dependiente del voltaje, corriente y velocidad de avance. En el diseño de experimentos se observa que a pesar de utilizar los mismos parámetros (voltaje y corriente) con sus respectivos niveles, las penetraciones obtenidas son distintas, asimismo en cuatro corridas existe una falta de penetración (en este caso la corrida 3, 5, 7 y 10).



Tabla 2.- Calor de entrada aportado en las placas de aleaciones de aluminio 5052-H32 en el diseño de experimentos codificado/decodificado.

Corrida	Codificado		Decodificado		Calor (J/mm)	Penetración (mm)
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Corriente (A)		
1	0	0	26	205	27.22	9.82
2	+	+	28	240	28.86	8.78
3	+	+	28	240	25.39	5.64
4	-	+	24	240	23.66	8.60
5	-	-	24	170	17.13	4.78
6	-	-	24	170	23.36	9.64
7	+	-	28	170	24.98	6.85
8	-	+	24	240	27.21	9.64
9	0	0	26	205	26.50	9.57
10	+	-	28	170	32.12	7.67

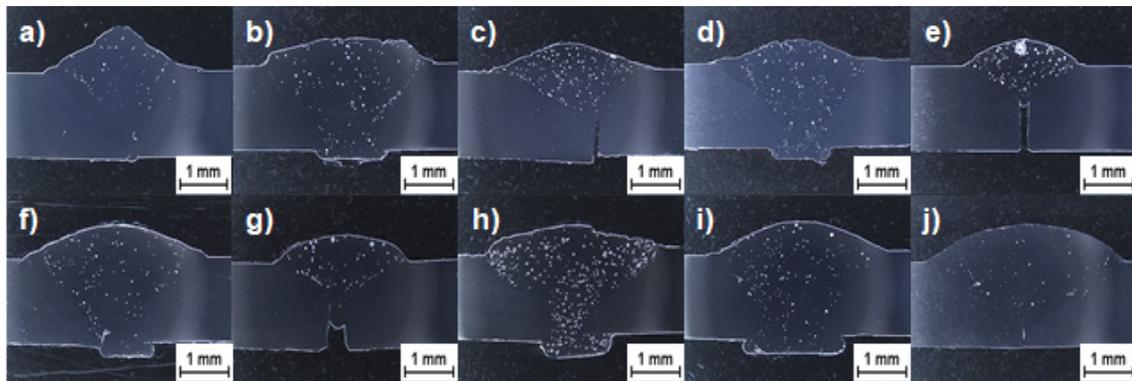
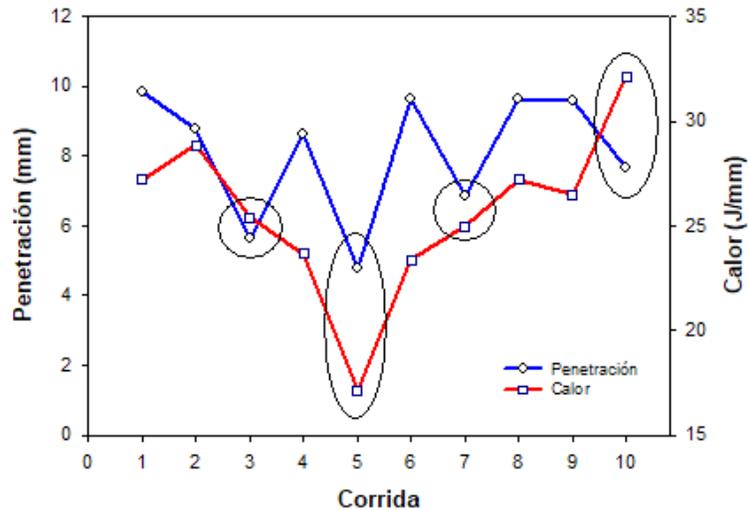


Figura 3.- Perfil de las uniones de soldadura del diseño de experimentos. a) corrida 1, b) corrida 2, c) corrida 3, d) corrida 4, e) corrida 5, f) corrida 6, g) corrida 7, h) corrida 8, i) corrida 9 y j) corrida 10.



Gráfica 1.- Corrida Vs Penetración (mm) Vs Calor (J/mm).

5. CONCLUSIONES

Como se mencionó anteriormente y como objetivo de esta investigación se tiene que, el proceso de soldadura por arco GMAW-P semiautomatizado es una de las herramientas más utilizadas para soldar aleaciones de aluminio debido que evita que el material funda por completo el material base. Como un aspecto relevante, el proceso GMAW-P semiautomatizado tiene como variables accesibles de control el voltaje y la corriente. Mediante el diseño factorial 2^2 se planteó como una herramienta necesaria para estimar los efectos de las interacciones de los factores voltaje y corriente, los cuales están intrínsecamente relacionados con la generación de calor. El calor de entrada no es igual en cada punto de la placa de la aleación de aluminio, ya que el calor calculado es el total aportado de la fuente de energía hacia el metal base. Del mismo modo, el aumento del calor es directamente proporcional al incremento de la penetración en la soldadura. Con base en el análisis de los parámetros y condiciones explicadas en el trabajo, se concluyó que la red neuronal BP es un técnica viable para la predicción de la penetración en las uniones de la aleación de aluminio 5052-H32, ya que al contar con una fase de entrenamiento y validación se espera que alcance un aprendizaje y predicción de la salida de interés.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P.Guliáev, A. Metalografía. s.l. : Mir Moscú. 0-766-4.



- [2] Enrique Esteban Niebles Nuñez, Jimy Unfried Silgado, Jaime Elías Torres Salcedo, Antonio J. Ramírez. Influencia de las mezclas de gases Ar-He y Ar-He-O₂ en la soldabilidad de la aleación de aluminio AA5083-O usando proceso GMAW-P automatizado. 2014. Vol. 19.
- [3] Kou, Sindo. Metalurgia de la soldadura. Segunda. Hoboken : John Wiley, 2003. 0-471-43491-4.
- [4] J.M. Gómez de Salazar, A.Ureña, E. Villaruz, S. Mazanedo e I. Barrena. Soldadura TIG y MIG de las aleaciones de aluminio 6061 y 7020. Estudios microestructurales y de propiedades mecánicas. Madrid : s.n., 1998.
- [5] Montgomery, Douglas C. Diseño y análisis de experimentos. Segunda. s.l. : Limusa Wiley, 2004. 968-18-6156-6.
- [6] Montgomery, Douglas C. Design and Analysis of Experiments. Séptima. s.l. : Jhon Wiley & Sons, 2009. 978-0-470-12866-4.
- [7] García, José Francisco Castro. Fundamentos para la implementación de red neuronal perceptrón multicapa mediante software. Guatemala : s.n., 2006.
- [8] Jamshidi, Ali Zilouchian & Mo. Intelligent control systems using soft computing methodologies. s.l. : CRC, 2001. 0-8493-1875-0.
- [9] Kristinn Andersen, Geroge E. Cook, Gabor Karsai y Kumar Ramaswamy. Redes neuronales artificiales aplicadas al modelado y control de procesos de soldadura de arco. s.l. : IEEE, 1990. Vol. 26.
- [10] N. S. Reddy, A. K. Prasada Rao, M. Chakraborty & B. S. Murty. Prediction of grain size of Al-7Si alloy by neural networks. s.l. : Materials Science & Engineering, 2005.
- [11] O. Martín, M. López y F. Martín. Redes neuronales artificiales para la predicción de la calidad en soldadura por resistencia por puntos. 2006. 0034-8570.
- [12] Vahid Moosabeiki Dehabadi, Saeede Ghorbanpour, Ghasem Azimi. Application of artificial neural network to predict vickers microhardness of AA6061 friction stir welding sheets. 2016.
- [13] Kou, Sindo. Metalurgia de la soldadura. Segunda. Hoboken : John Wiley, 2003. 0-471-43491-4.



Elaboración y caracterización de materiales compuestos de matriz acrílica y trihidróxido de aluminio (ath) a partir de un jarabe de polimetilmetacrilato (pmma/mma) pre-polimerizado vía radicales libres

Kelly Lucas Lizano ■ Adan Smith Arribasplata Seguin
Juan Carlos Rueda Sánchez ■ Julio Arnaldo Acosta Sullcahuamán

Facultad de Ciencias e Ingeniería.
Pontificia Universidad Católica del Perú.
jacosta@pucp.edu.pe

1. Resumen

El objetivo principal es desarrollar un material compuesto de matriz acrílica y trihidróxido de aluminio (ATH) de propiedades similares al material comercialmente denominado Krion®. En este sentido, se han elaborado materiales compuestos en 2 etapas: 1) Polimerización parcial vía radicales libres de metilmetacrilato, para obtener un jarabe de polimetilmetacrilato disuelto en su monómero y 2) Elaboración del material compuesto a partir de la mezcla del jarabe obtenido y partículas de ATH, y posterior curado de la mezcla para obtener muestras rectangulares. La polimerización parcial se llevó a cabo en un reactor durante 145 minutos a 85°C y los parámetros para obtener un jarabe con una conversión de PMMA de 25%, que evita el efecto de autoaceleración y precipitación de partículas de ATH, son: 0,1% PBO y 0,2% EGDM. Similarmente, los parámetros de elaboración de las muestras son: 0,1% PBO, 2% EGMA donde curado de la mezcla tiene lugar en un horno durante 7 horas a 65°C.

2. Introducción

La polimerización en masa vía radicales libres es aplicada frecuentemente a nivel industrial para la producción de jarabes acrílicos, gracias a la cual se consigue un jarabe de polimetil metacrilato disuelto en su propio monómero cuya síntesis está limitada por el fenómeno de autoaceleración^[1]. Estos jarabes son utilizados como matriz polimérica para elaboración de materiales compuestos reforzados con partículas inorgánicas que se denominan comúnmente como *solid surface materials*. Estos materiales se caracterizan por presentar una apariencia similar a las piedras naturales, pero de baja densidad y vienen siendo utilizados como materiales de construcción para fachadas y diseño de interiores por su capacidad para ser termoformados. Debido a sus buenas propiedades mecánicas



y alta calidad estética, estos materiales pueden ser utilizados para fabricar piezas de geometrías complicadas las cuales no se podrían obtener a partir de grandes bloques de piedras naturales, tales como de granito o mármol. Sin embargo, las características independientes de cada producto no son comparables, dado que las superficies sólidas provienen de un proceso químico y las piedras naturales son el resultado de la creación de la naturaleza. En 1963, Dupont desarrolla el primer material de superficie sólida a partir de la polimerización parcial de metil metacrilato, cuyo jarabe fue mezclado con partículas de trihidróxido de aluminio^[2-4], para mejorar la resistencia a la propagación al fuego. A partir del uso de partículas de trihidróxido de aluminio, diversas compañías han fabricados materiales compuestos de superficie sólida con formulaciones y propiedades similares. De estos materiales, el Krion[®], desarrollado por Systempool empresa del grupo Porcelanosa, se destaca por su apariencia similar a las piedras naturales y buenas propiedades físicas y estéticas. En este sentido, el objetivo principal de esta investigación es desarrollar un material compuesto de propiedades similares al material comercial de referencia (Krion[®]).

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1. Equipos y materiales

El monómero metil metacrilato (MMA, estabilizado) para la síntesis fue adquirido de MERCK, así como los reactivos peróxido de benzoilo (PBO), etilenglicol dimercapto acetato (EGDM) y etilenglicol dimetacrilato (EGDMA). El iniciador PBO se seca a 35 °C para remover el 25% de agua. Los otros reactivos se utilizan directamente sin alguna purificación. Para la caracterización del jarabe se utiliza solventes tales como cloroformo HPLC y n-heptano 99.5% HPLC suministrados por Merck y J.T respectivamente. Baker. Para la elaboración de los materiales compuestos se utiliza trihidróxido de aluminio (ATH) de 99,6% de pureza proveído por Huber Corporation, con un tamaño de partícula promedio de 30 micras (Onyx Elite 255). Los experimentos de polimerización se realizaron en un reactor cerrado marca Parr, modelo 5100 de 1500 ml de capacidad. Los materiales compuestos se elaboraron en un molde de Alumold de cavidad rectangular (280x75x12,7 mm) con tapa. Además se utiliza una presa hidráulica manual de 20 ton y un horno eléctrico capaz de alcanzar 350°C.

3.2. Metodología experimental

La elaboración de los materiales compuestos se lleva a cabo en 2 etapas: 1) Polimerización parcial vía radicales libre del monómero MMA en el reactor para obtener un jarabe de polimetil-metacrilato (PMMA) disuelto en MMA y 2) Elaboración de



materiales compuestos a partir de la mezcla del jarabe (PMMA/MMA) con partículas de ATH.

En la etapa 1, se estudian los parámetros del proceso de polimerización parcial del MMA, tales como: cantidad de iniciador (PBO), temperatura de reacción, tiempo de polimerización parcial y cantidad de agente de transferencia de cadena (EGDM) con el propósito de obtener un jarabe con porcentaje de conversión y viscosidad adecuados para evitar la precipitación de las partículas de ATH y el efecto de autoaceleración (efecto *Trommsdorff*) en el reactor (ver formulaciones en la tabla 1).

Tabla 1. Etapa 1 – Formulaciones para polimerización parcial del MMA (Jarabe)

Estudio	%PBO(*)	%EGDM(*)	Temperatura (°C)
Temperatura de reacción	0,1	0	{70; 80; 85}
Contenido de agente de transferencia de cadena	0,1	{0,1; 0,2; 0,3}	85

(*) Porcentaje en peso, respecto a la masa de MMA. En 350 ml de monómero MMA.

En la etapa 2 se pretende conseguir un material compuesto con propiedades mecánicas similares al producto comercial de referencia, denominado Krion®; para ello se estudia el efecto de los siguientes parámetros sobre las propiedades mecánicas del material obtenido: entrecruzador (EGDMA) y cantidad de ATH. La mezcla, del jarabe y las partículas de ATH, obtenida según cada formulación, es vaciada en el molde y colocada dentro del horno a 65°C durante 7 horas para lograr el curado de la mezcla (ver formulaciones en la tabla 2).

Tabla 2. Etapa 2 – Formulaciones para la elaboración del material compuesto (Jarabe/ATH) a 65 °C por 7 h para curado

Estudio	%PBO(*)	%EGDMA(*)	Jarabe(**)/ATH
Contenido de entrecruzador	0,1	{1; 1,5; 2}	60/40
Contenido de ATH	0,1	2	{40/60; 50/50; 60/40}

(*) Porcentajes en peso; masas calculadas respecto a la masa del jarabe utilizado.

(**) Determinado en la etapa 1.

3.3. Procedimiento experimental

3.3.1. Etapa 1: Polimerización parcial del jarabe (PMMA/MMA) y caracterización

En el vaso del reactor se disuelven PBO y EGDM en MMA según la formulación a evaluar (ver tabla 1). Luego, dicha solución es calentada bajo agitación constante (350 rpm). Para caracterizar el jarabe, se determina el porcentaje conversión del MMA (%PMMA) con ayuda de muestras tomadas del jarabe y disueltas en cloroformo.



mo. La solución obtenida es adicionada gota a gota en n-heptano para precipitar el PMMA y, posteriormente, este precipitado se seca en horno a 40 °C. El %PMMA se calcula con la ecuación 1.

$$\%PMMA = \frac{\text{peso de PMMA}}{\text{peso de muestra de jarabe}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Además, se determina la viscosidad inherente (n_{inh}) para calcular la masa molecular (M) del PMMA. Se disuelve PMMA seco en cloroformo destilado y se determina la viscosidad inherente utilizando un viscosímetro Ubbelohde. Los ensayos se realizan a 20°C y se anota el tiempo que demora en pasar el fluido a través de las marcas establecidas en el viscosímetro. Para calcular la viscosidad inherente se utiliza la ecuación 2, mientras que el peso molecular del PMMA (g/mol) se determina con la ecuación 3 (Mark-Houwink). Donde t y t_o son los tiempos de flujo de la muestra y del solvente puro respectivamente a 20°C; C (g/dl) es la concentración del PMMA seco y disuelto en el solvente a 20 °C. Las constantes de ecuación 3 para el PMMA disuelto en cloroformo a 20°C son: $K= 0,00485$ ml/g y $a = 0,8$ [5,6].

$$n_{inh} = \frac{\ln(t/t_o)}{c} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$M = \left(\frac{n_{inh}}{K}\right)^{1/a} \quad \text{Ecuación 3}$$

3.3.2. Etapa 2: Elaboración del material compuesto y caracterización

Se mezclan el jarabe (PMMA/MMA) obtenido en la etapa 1, iniciador (PBO), entrecruzador (EGDMA) y partículas de ATH según la formulación a evaluar (ver tabla 2). Se vierten 464 g de la mezcla en el molde y se aplica una fuerza de 20 toneladas sobre la mezcla con ayuda de la tapa del molde para remover las posibles burbujas de aire que quedan atrapadas en la mezcla y obtener un buen acabado superficial. Las placas del material compuesto resultantes son caracterizadas mecánicamente mediante ensayos de flexión (ASTM D790), dureza (ASTM D785) y resistencia al desgaste (ASTM G65).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Etapa 1: Jarabe (PMMA/MMA)

4.1.1. Estudio de la temperatura de reacción

La Figura 1 muestra como varía el tiempo de reacción y el porcentaje de conversión de PMMA en función de la temperatura de reacción cuando se utiliza 0,1% de PBO.



Los resultados obtenidos mostraron el efecto de la temperatura de reacción, relacionado con el tiempo de vida media del PBO ($t_{1/2}$), sobre la generación de radicales libres durante la descomposición térmica del PBO^[7] y su relación directa con la conversión del monómero. El tiempo de vida media del PBO a 70 °C es alrededor de 10 horas^[7]; de modo que la polimerización del MMA utilizando PBO a 70°C, necesitaría alrededor de 10 horas de reacción para descomponer a la mitad el contenido de iniciador y generar radicales libres. Es por ello que los experimentos de polimerización realizados a una temperatura 70 °C requieren de mayor tiempo de reacción para lograr el mismo porcentaje de conversión (%PMMA) en comparación con la polimerización a 85 °C. Así, para polimerizar el MMA con 0,1% de PBO, se logra alrededor del 20% de conversión a 85 °C con un tiempo de reacción de aproximadamente 300 min.

4.1.2. Estudio del contenido de agente de transferencia de cadena

La figura 2 muestra como varían la viscosidad inherente del PMMA y el porcentaje de conversión de PMMA en función del contenido de EGDM cuando se utiliza 0,1% de PBO y una temperatura y tiempo de reacción de 85 °C y 105 minutos respectivamente. Se observa que el uso de 0,3% de agente de transferencia de cadena generó un jarabe de muy baja viscosidad, debido a que se redujo considerablemente el peso molecular de PMMA, manteniendo la conversión del monómero.

En coherencia con Dupont ^[2,3], se ha determinado que un jarabe con un porcentaje de conversión entre 20 a 25% de PMMA tiene una viscosidad adecuada que evita el fenómeno de auto aceleración en el reactor y la precipitación de partículas de ATH en los materiales compuestos elaborados. Dicho jarabe se obtiene con 0,1% de PBO, 0,2% de EGDM y una temperatura y tiempo de reacción de 85 °C y 105 minutos respectivamente

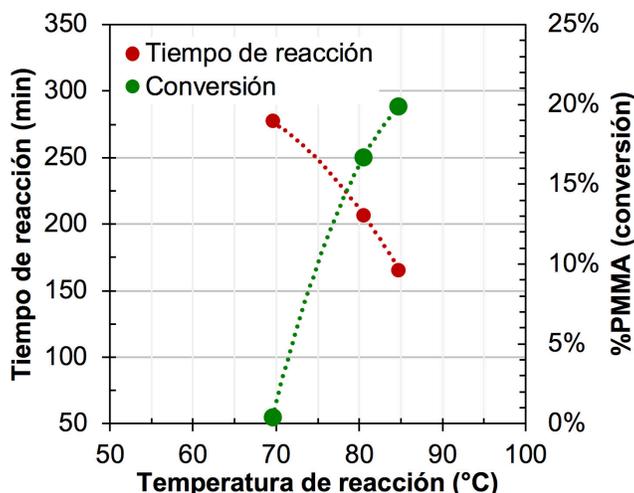


Figura 1. Efecto de la temperatura de polimerización en la conversión (%PMMA), utilizando 0,1% PBO.

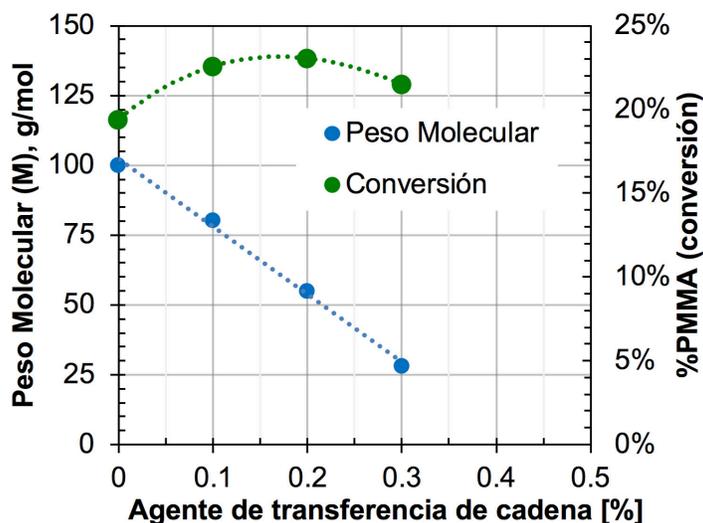


Figura 2. Efecto del EGDM en la conversión (%PMMA), con 0,1% PBO, a 85 °C y 105 min.

4.2. Etapa 2: Material compuesto (PMMA/ATH)

4.1.1. Estudio del contenido del agente entrecruzador (%EGDMA)

En la figura 3, se observa como varían la resistencia máxima, el módulo elástico, la dureza y pérdida de masa en función del contenido de EGDMA de los materiales elaborados mezclando el jarabe obtenido en la etapa 1 y 60% de partículas ATH. Se observa que, tanto la resistencia como el módulo elástico y la dureza crecen conforme aumenta con el contenido de EGDMA lo cual era de esperarse pues el EGDMA forma enlaces primarios con las macromoléculas; a mayor contenido de EGDMA, mayor cantidad de enlaces primarios entre macromoléculas y mejores propiedades. En el caso de la pérdida de masa, se observa que esta disminuye con el aumento contenido de EGDMA, lo cual es coherente, considerando que el material con menor pérdida de masa, es el material más duro. Los resultados muestran que el material con 2% de EGDMA presenta las mejores propiedades.

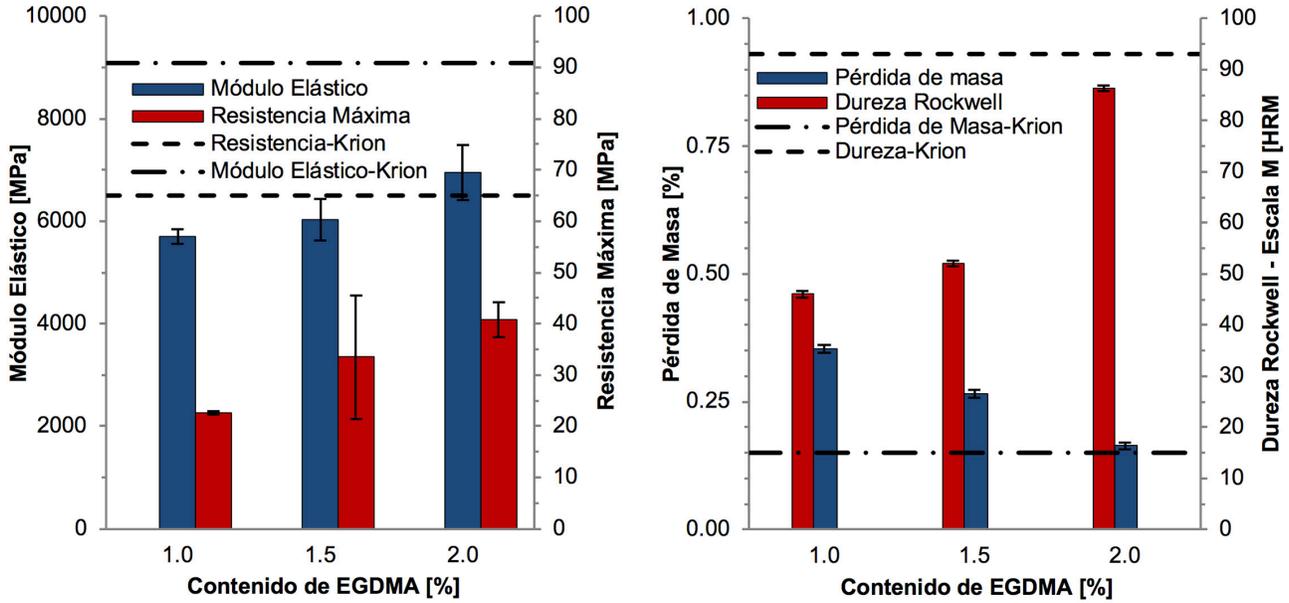


Figura 3. Efecto del contenido de EGDMA. Krypton: Material comercial de referencia.

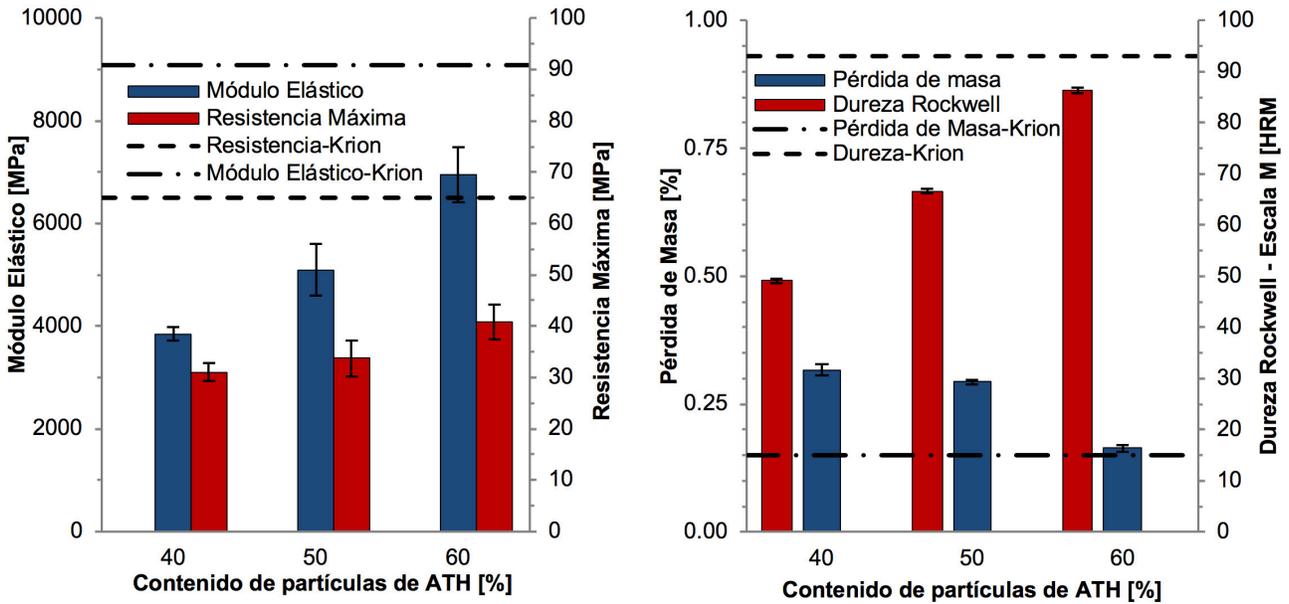


Figura 4. Efecto del contenido de ATH. Krypton: Material comercial de referencia

4.1.2. Estudio del contenido de trihidróxido de aluminio (% ATH)

En la figura 4, se observa como varían la resistencia máxima, el módulo elástico, la dureza y resistencia al desgaste en función del contenido de partículas ATH de los materiales elaborados con el jarabe obtenido en la etapa 1% y 2% de EGDMA. Se observa que, tanto la resistencia como el módulo elástico y la dureza crecen confor-



me aumenta con el contenido de ATH. Se observa que el material con 60% de ATH presenta las mejores propiedades.

5. Conclusiones

Se logra obtener un jarabe de polimetil metacrilato parcialmente polimerizado mediante una reacción en masa del metil metacrilato iniciada por radicales libres, con una conversión entre 20 – 25% en peso y con un peso molecular de alrededor 55000 g/mol. Los parámetros seleccionados para controlar la reacción y evitar el fenómeno de autoaceleración para la elaboración del jarabe son los siguientes: 0,1% en peso de peróxido de benzoilo, 0,2% en peso de etilenglicol dimercaptoacetato, 85 °C de temperatura de polimerización y por aproximadamente 105 minutos de tiempo de polimerización, los cuales se consideran parámetros experimentales adecuados para que el jarabe pueda ser utilizado como matriz de materiales compuestos. Así mismo, se definen los parámetros para la fabricación del material compuesto de matriz acrílica con partículas de trihidróxido de aluminio, determinado por una proporción en peso de Jarabe/ATH (40/60), 0.1% en peso de PBO, 2% en peso de EGDMA, 60°C de temperatura de curado por 7 horas. Este producto presenta una dureza promedio de 85 HRM, un módulo elástico en flexión de 6953 MPa, una resistencia a la flexión de 41 MPa y una resistencia al desgaste de 0,26 %wt/25 revoluciones.

6. Bibliografía

- [1] Elias H.G., “Free-radical polymerization,” in *Macromolecules*, D-69451 Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2005, pp. 359–473.
- [2] Munn G. E., “Patent USA N°3,154,600. Methacrylate syrups and their preparation, and preparation of reinforced plastic articles employing same,” 1964.
- [3] Duggins R.B., Chadds F., E.I. du Pont de Nemours and company, Patent N° 3,847,865. Use of Alumina Trihydrate in a polymer Methyl Methacrylate Article, 1974.
- [4] Elbasuney S., “Novel multi-component flame retardant system based on nanoscopic aluminium-trihydroxide (ATH),” *Powder Technol.*, vol. 305, pp. 538–545, 2017.
- [5] Billmeyer F. W. and Wiley J., *Textbook of polymer science*. Interscience publishing Inc., 1984.
- [6] Wagner H. L., “The Mark-Houwink-Sakurada Relation for Poly (Methyl Methacrylate),” *Journal of physical and chemical reference data*, vol. 16, no. 2. pp. 165–173, 1987.
- [7] Slocum D. H., “Patent N°27,093. Thick, cured polymethyl methacrylate article and process for its preparation.,” 1971.



- [8] Slocum D. H., "Patent N°27,093. Thick, cured polymethyl methacrylate article and process for its preparation.," 1971.
- [9] Duggins R. B., Drive M., and Chadde F., "Patent N°3,775,364. Process for curing methyl methacrylate in the presence of peroxy catalysts," 1973.



Developed of mortars block basic on recycle concrete reinforcing with basalt fibers

Amando José Padilla Ramírez ■ Jesús Antonio Flores Bustamante
Isaías Hernández Pérez ■ Mauricio Iván Panamá Armendáriz

Departamento de Departamento de Materiales.
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México.
ajpr@correo.azc.uam.mx

1. Abstract

This work was focused on development of mortar block using gravel and sand from recycling concrete and reinforcing with basalt synthetic fiber. Blocks were manufactured by industrial equipment and were designed using a specific content of gravel and sand from recycling concrete. Fibers content change from 1 to 2% weight over total formulation. Blocks were evaluated from three points of view: dimensional aspect, water absorption and axial compression resistance. Obtained results shown: block was agreeing to dimensional compliments and compression resistance was between 63 to 70 kg/cm² (6.17 to 6.86 MPa).

2. Introduction

concrete blocks manufacturing began in the middle of 1800. Actually, the building of walls using concrete blocks is an approval procedure, because they meet the technical and economical requirements for employing them at the low cost houses and buildings. The advantages of this kind of blocks are: low cost per square meter, reduction of labor hand and simplification of activities, reduction of mortar to joint block per square meter, smooth surface finishing which avoid the use of finish covers, metal bar installation is easier in this kind of blocks and offer great durability, and acoustical and thermal comfort.

From the point of view of the environmental protection, in Mexico, since 1990 environmental protection it is a priority. Mexico has a general law for waste management, which classifies debris as special management. Debris cannot be deposited in ravines, protected natural areas, wetlands or in flood zones, in order to avoid obstruction of water flow and possible landslides or erosion.



By other hand Basalt fiber has a similar chemical composition as glass fiber but has better strength characteristics, and unlike most glass fibers is highly resistant to alkaline, acidic and salt attack making it a good candidate for concrete, bridge and shoreline structures. Fortunately, single or reinforced concrete has a high potential to be recycled, it can be used in the generation of aggregates or filling material. In Mexico It is estimated that currently only 4% of the wastes from construction and demolition generated are used (3% recycling and 1% reuse)

For these reasons, this work was focused on the design, manufacture and evaluation of concrete blocks and cobblestone using gravel and sand from recycling concrete reinforcing with synthetic fibers.

3. EXPERIMENTAL

Experimental was conducted on hallow mortar block prepared by using sand and gravel coming from recycling concrete and basalt fiber addition into mortar at 0.9% and 1.8% weight. The objective of this work was to find out the effect of those types of fibers on the compressive strength.

Materials

Block concretes are manufactured using: R30 Portland cement, gravel and sand from recycling concrete and glass and basalt short fibers.

For this research, R30 Portland cement was used. This is a locally available cement. Specific gravity of cement was 3.15 kg/dm^3 .

Chopped Basalt fibers are relatively new in the market, which are recently used as micro-reinforcements for the concrete. In this work basalt fiber having length 18 mm and diameter is 13-micron size. Specific weight is 2.70 kg/dm^3 .

The characteristics of the fine and coarse aggregates are described below.

To have a formulation control, it is necessary to determinate the water absorption, specific weight and volumetric weight of filler materials (sand and gravel from recycling concrete), according to norm NMX-C-073-OONCCE. Table 1 shown these data.



Table 1. Water absorption, specific weight and volumetric weight of fillers.

Filler	Water Absorption %w	Specific weight Kg/dm ³	Compact Volumetric weight kg/m ³
Sand	13.4	2.165	1,105
Gravel	9.17	2.200	1,136

The recycled aggregate (gravel and sand) coming from concrete is constituted in general of original aggregate particles partially or totally covered with cement paste. The quality and quantity of this paste plays an important role in the properties of the final product, as well as the degree of deterioration of the concrete from which the aggregate is originated, and its demolition and crushing process. In general, as is in this case, the specific weight of aggregates from recycle concrete have a lower specific weight, which is generally of the order of 5% to 10% of the natural aggregates. This weight decreasing is the result of the large amount of old mortar adhering to the original particles.

Regarding to volumetric weight, the recycled gravel coming from concrete presents 3% less in its absolute volume and the recycled sand 7% less in comparison with aggregates of natural origin. This it is due to their form and texture. Recycled aggregates from concrete have a more irregular (angular) microscopic particle shape, a higher surface ratio and a coarser and rougher texture than the original aggregates. The rates of slabs and elongation are quite low, although they usually keep within the prescriptions for natural aggregates.

The rates of slabs and elongation are quite low, although they usually keep within the prescriptions for natural aggregates. Pictures of Figure 1, shown differences between original and recycle aggregates.



Recycling sand 0mm-5mm



Crushing natural sand 0 mm-5mm



Recycling gravel 5mm-10mm



Crushing natural gravel 5mm-12mm



Recycling gravel 10mm-20mm



Crushing natural gravel 12mm-20mm

Figure 1. Pictures of recycling sand and gravel (left side) and crushing natural sand and gravel (right side).

Water absorption property is one of the main dissimilarities presented by recycled aggregates coming from concrete with respect to natural aggregates and, in addition, it is substantially marked in recycled sand. The increase of absorption in recycled sand is due in large part to the porosity of the mortar of the original concrete. The recycled sands can present a general increase of 2.8 to 3.6 times, but the values can be increased up to ten times more than crushing natural sand.

For recycled gravel coming from concrete, the absorption values can vary from 3.6% to 11.6% compared to the 1.5% to 3.1% usual of natural gravels, the proportions reach values 2.5 to 4.5 times higher than the original aggregates.



Granulometry

This test is carried out base on Norm NMX-C-077. Granulometry leads to know the nominal size of the grave and the finesses modulus of the sand. In this case, nominal size of recycling concrete is 4.75mm and finesse modulus of sand is 2.57. Figure 2 shown the granulometry dispersion for gravel and sand.

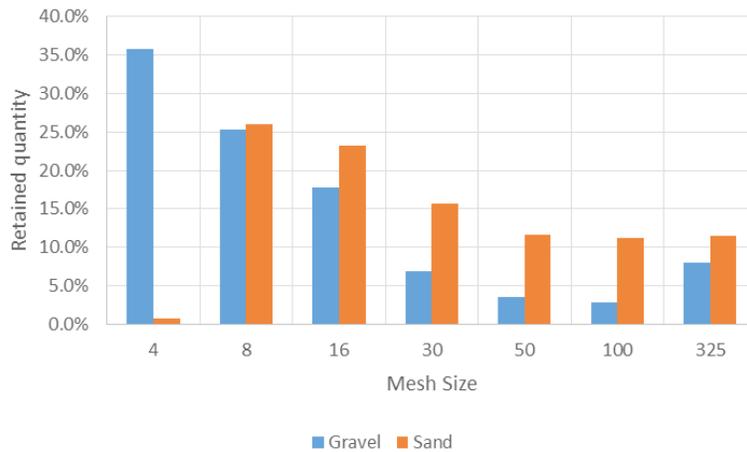


Figure 2. Distribution of particles retained in each mesh for recycled sand and gravel.

The distribution of gravel particles goes from mesh 325 (44 microns) to mesh 4 (4.75 mm), and sand particles sizes go from mesh 325 to mesh 8. in such a way if they combine in the relation they are used in the block, the accumulated particle distribution for sand and gravel meets the requirements establish by Norm NMX-C-077, as it can observe in Figure 3.

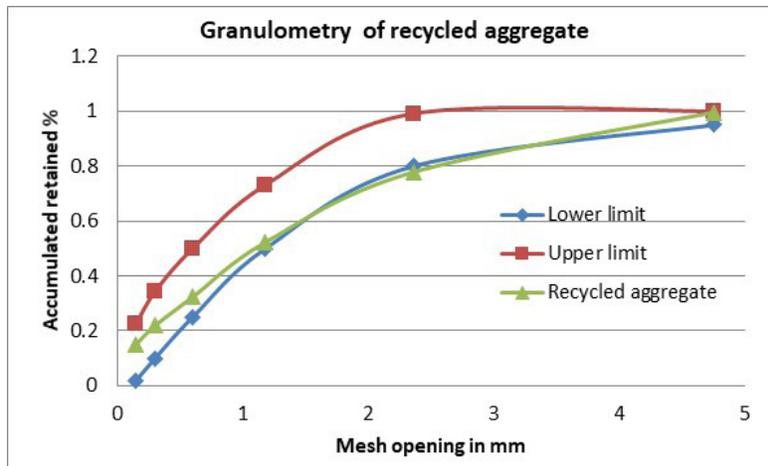


Figure 3. Accumulated particle distribution for the mix sand and gravel obtained from concrete recycling.



Block Manufacture

Hallow block manufacturing, was done using a semiautomatic block former from Ital Mexicana. Blocks have two cavities. Three blocks of size 15 x 20 x 40 cm were casted to work out the 7tr, 14th and 28th day's compressive strength of each formulation

The procedure consists in the following steps: first the fine aggregate (recycled sand) is poured into the mixer, emptying the material in the mixer slowly. Subsequently, the coarse aggregate (recycled gravel) is poured, also in a slow manner and the fine and coarse aggregates can mix for 3 to 5 minutes. Subsequently, the cement is poured, also in a slow manner to achieve a proportional dosage. Once again, the aggregates can mix for 3 to 5 minutes. In the case of addition of basalt fiber, it is carried out after cement addition and before water addition. The time varies according to the humidity presented by the fine and coarse aggregates, to obtain a mixture as homogeneous as possible. At the end, the water is poured into the mixture, which is poured at a moderately slow speed and into the center of the mixer. Finally, before emptying the mixture to the block former, check that the mixture has the proper humidity.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Initial Formulations

To determine the most appropriate formulation for the manufacture of the blocks, some formulations will be evaluated. These formulations were based on the industrial experience. As we mention before, water content is very important to get a good block compaction. Cement quantity is kept constant I all formulations, while water content varies from 12 to 14%.

These formulations were tested under compression at 7th day time cure. Compression resistance values change from 3.4MPa (35 kg/cm²) to 3.69 MPa. Table 2 shown compositions of the formulations and compression resistance of the blocks at 7th day cure.

Table 2. Composition of initial formulations for blocks.

Sample	Sand %w	Gravel %w	Cement %w	Water %w	water/cement	Compression resistance @7days MPa
T1	33%	33%	20%	14%	0.704	3.40
T2	27%	40%	20%	13%	0.621	3.69
T3	20%	47%	20%	12%	0.612	3.50
Average						3.53



Effect of glass and basalt fibers on compression resistance

Based on the results from formulations on Table 2, five formulations were designed according formulation T2 and under the consideration of reducing the cement content. This is due to reduce the cost of the block and to be competitive in cost. Table 3 shown the formulations for the three witness and two formulations reinforced with basalt fiber at levels of 0.9% and 1.8%w. Control formulations change slightly on sand and gravel content as in water cement relation.

Table 3. Blocks material formulations reinforcing with basalt fiber.

Sample	Sand %w	Gravel %w	Cement %w	Water %w	Basalt fiber %w	water/cement
W1	28%	42%	18%	12%		0.66
W2	28%	41%	18%	13%		0.70
W3	27%	41%	18%	13%		0.72
B1	28%	41%	17%	13%	1%	0.73
B2	27%	41%	16%	13%	2%	0.80

Five sets of blocks of each formulation were tested under compression at different times of cure. Table 4 shown the average compression data registered at 7th, 14th and 28th days of curing.

Table 4. Average compression resistance development in function of cure time (MPa).

Sample	Curing time in days		
	7	14	28
W1	4.17	5.38	6.40
W2	4.01	5.47	6.28
W3	4.18	5.48	6.20
B1	4.58	5.92	6.94
B2	4.33	5.74	6.79

According to the data obtained from the samples after 28 days of curing, the presence of basalt fibers increases the resistance to compression of the block. In this case the resistance increases to 6.90MPa with a 0.9%w of fiber and then decay to 6.79 MPa, when fiber content reach 1.8%w. These results suggest the existence of a maximum value depending on the fiber content. These data are reported in Table 5 and Figure 4.



The increase when adding 1% fiber is from 8% to 12% on the control samples, however, by increasing the fiber content to 2% the increase in the resistance is only between 6% to 10% on the control samples.

If one considers that mechanical properties of the concrete significantly depend on the microstructure, especially on the pore structure, and the pore structure of the concrete can be improved by using mineral admixtures, which alongside improves the properties of the fresh concrete, as stated by Khun et al, [2014], or the properties of hardened concrete [Ayub et.al., 2014], and the durability of the concrete [Ayub et al., 2013]. We can suppose glassfiber disrupt concrete microstructure, which causes a resistance decrease.

Table 5. Resistance compression in function of type and glass content.

Sample	Fiber type	Fiber %	Resistance compression MPa
W1	None		6.40
W2	None		6.28
W3	None		6.20
B1	Basalt	0.9	6.94
B2	Basalt	1.8	6.79

Regarding the use of basalt fiber for reinforcing block, results of this work are similar to some reports which was focused on mechanical properties. Research shown the use basalt fiber at concentration below 1% to reduce shrinkage cracking and use from 1 to 3% of the fiber weight for structural applications. For example, Tehmina A et.al (2014) report an increasing of compression resistance from 5 to 6% when basalt fiber is added from 1 to 3%.

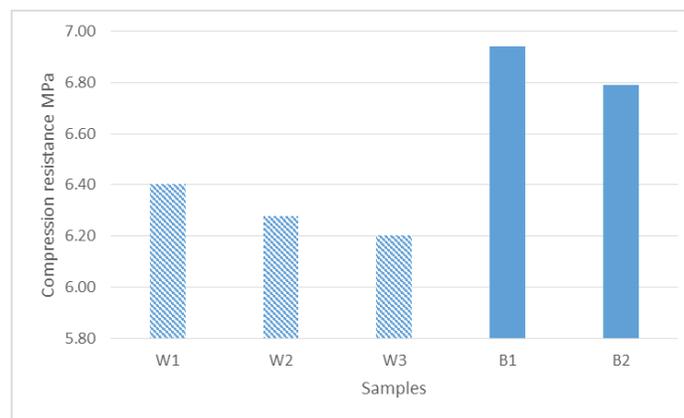


Fig. 4 Compression resistance of blocks based on sand and gravel form recycling concrete (W1, W2 and W3) and blocks reinforcing with 1% and 2% of basalt fiber (B1 and B2 respectively).



5. CONCLUSIONS

Derived from the studies and results presented in the paper, the use of sand and gravel waste from recycled concrete, for the manufactured of two-cell concrete blocks with dimensions of 15x20x40cm, is acceptable since it meets the minimum resistance established by the Standard NMX-C-036-ONNCCE-2013 ($70\text{kg}/\text{cm}^2$).

The use of concrete waste, in the case of the blocks, is limited to residues with a diameter equal to or greater than 4.45mm (mesh 40), since the size and geometry have an impact on the strength and appearance of the internal apparent faces of the masonry element due to the internal arrangement of the same in the mixture.

The compressive strength test of the elaborated blocks will be different from the parameters established by Standard NMX-C-036-ONNCCE-2013, however, although the grain size curve is at the lower limits, this optimal, perhaps because the conditions in which the mixture and the production process were manufactured, although they are not like those observed in a production plant for that purpose.

It is considered a cost of \$9 pesos per piece, with a profit of 15%, being its final price of \$11 to \$12 pesos, a cost that is below the commercial of similar pieces that are sold in the marked of lower quality, existing thus economic feasibility of the product.

The inclusion of basalt fiber provides mechanical stability, since the recycling concrete comes from different origins and therefore has variable resistances, it is worth mentioning that the recycling concrete emulated in these pieces is not yet recommended for structural purposes, its use being recommended in dividing walls and perimeter faces.

Based on the above-mentioned tests it is concluded that basalt fibers could be of great interest for the building industry. The benefit of using fiber is that it is non-corrosive. The strength is very good. The heat resistance power is very good which is extremely important for every building.

6. REFERENCES

1. S. U. Khan, M. F. Nuruddin, T. Ayub, and N. Shafiq, "Effects of different mineral admixtures on the properties of fresh concrete," *The Scientific World Journal*, vol. 2014, Article ID 986567, 11 pages, 2014.
2. T. Ayub, S. U. Khan, and F. A. Memon, "Mechanical characteristics of hardened concrete with different mineral admixtures: a review," *The Scientific World Journal*, vol. 2014, Article ID 875082, 15 pages, 2014.



3. T. Ayub, N. Shafiq, S. Khan, and M. Nuruddin, “Durability of concrete with different mineral admixtures: a review,” *International Journal of Civil, Architectural Science and Engineering*, vol. 7, no. 8, pp. 199–210, 2013.
4. L. J. Y. Y. Meng and Z. Yan, “Experimental research on the mechanical behavior of chopped basalt fiber reinforced concrete,” *Industrial Construction*, vol. 6, article 002, 2007.
5. Palmieri, A., Matthys, S., and Tierens, M., (2009) “Basalt fibers: Mechanical properties and applications for concrete structures” Taylor and Francis Group
6. Tehmina Ayub, Nasir Shafiq, and M. Fadhil Nuruddin, (2014), Effect of Chopped Basalt Fibers on the Mechanical Properties and Microstructure of High Performance Fiber Reinforced Concrete, *Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2014, Article ID 587686, 14 pages.



Ring compression test in evaluation of mineral and vegetable lubricants friction

Márcia Cristina Belício Alves Souza ■ Tatiane Oliveira Rosa ■ Isabela Ferreira Neves
Rhuan Costa Souza ■ Frederico Ozanan Neves

Federal University of São João del Rei, Brazil.
marciamecufs@gmail.com

1. Abstract

Promoting the material flow, friction is an important variable in forming, but could compromise the workpiece quality and reduce tool/die set durability. These effects can be minimized with the correct lubricants use. Among the known methods to quantify the friction coefficient value there is the ring compression test, which consists in the comparison of the internal diameters and heights variation of ring-shaped samples before and after compression tests with calibration curves obtained through software. The aim of this study was to verify the possibility of replacement of mineral oils for vegetables in mechanical forming processes, analyzing the introduction of solid components effect to vegetable oils, based on the lubrication ability of these in contact with steel and copper. In general, vegetable lubricants with solid particulates presented an efficient behavior in replacing studied mineral oil.

Keywords: Ring Compression Test; Friction coefficient; Vegetable lubricating; Mineral lubricating; PET particles.

2. Introduction

In mechanical forming a large influence variable on processes is friction, agent that assists in forming efforts, promoting the material flow, and at the same time generates die and tool wear, as well as Influence on formed workpiece external and internal surface quality^[1,2,3,4,5,6,7]. Therefore, this must be known and controlled in order to obtain high quality and reliability products, ensuring tool/die set durability, culminating with a process cost reduction^[4,6]. Friction is also an important computer simulation input parameter of various forming processes^[5].



The Coulomb and Shear friction models are the most used to describe the friction of materials forming processes^[1]. These models can be expressed, respectively, as:

$$\tau = \mu P, 0 \leq \mu \leq 0.577 \quad (1)$$

$$\tau = mK, 0 \leq m \leq 1 \quad (2)$$

$$K = \sigma_s/\sqrt{3} \quad (3)$$

where τ , μ , P , m and σ_s are shear stress by friction, friction coefficient, normal stress, shear friction factor and effective drain voltage, respectively.

The friction coefficient is not an intrinsic material property, but rather a particular characteristic of each materials pair is influenced by various factors, including the used lubricant in the test^[8].

Is characterized as a lubricant, solid materials, liquids or gases presenting low shear strength, reducing friction between two surfaces that have relative motion to each other, as for example the tool surface and conformed material^[7]. Wear reduction, corrosion protection, refrigeration and sealing against dust can be cited as for procedures main benefits^[2]. The actually industry employees lubricants are of mineral origin and their properties suit various used conditions. However, has given attention to the feasibility of replacement mineral-based lubricants for renewable base lubricants study^[1, 2, 9, 10], because despite several advantages, mineral oils are very harmful to human health and nature. In addition, disposal operations and reuse of these materials increase the process costs.

Among the known friction coefficient quantify methods, one being widely studied^[3, 4, 5, 6, 7, 8, 13] by generating good results and because of the relative ease of your achievement, is the test originated by Kunogi^[11] in 1956 and enhanced and presented useful for Male and Cockcroft^[12] in 1964, known as ring compression test. This technique consists in a ring shaped specimen, in accordance with the pre-established proportions of 6:3:2 outside diameter, inside diameter and height, respectively, compression between two flat plates^[6,7]. Martins and Schaeffer^[8] clarify that the ring-shaped samples choice can minimize the cross pressures and maximum tensions in the center of the workpiece effect, as it happens in cylindrical specimens under large deformations, which would generate, in this case, uncertain results. Calibration curves for different friction coefficients are generated through simulation software, relating height variation percentage with internal diameter variation percentage^[5,6]. The laboratory measured values, before and after compression tests are compared to calibration curves to find the friction coefficient value of the workpiece/tool/lubricant studied conditions. It is possible, too, through this method in that the variation of the internal diameter of the sample, carry out a qualitative analysis (Fig. 1). In the



presence of high friction, there is a reduction of this, while for lower friction the opposite occurs^[4,7].

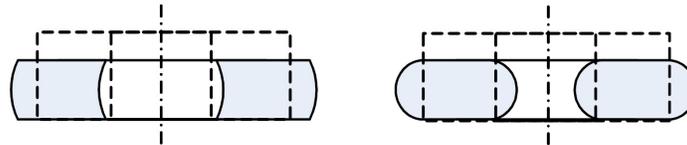


Figure 1. Ring compression test. Low friction (left) and high friction (right) (Hu, et al., 2015).

In this sense, this research aims to study the possibility mineral oils replacement for vegetables in forming processes and assess the effect of the solid components introduction to vegetable oils, based on the lubrication ability of these in contact with steel and copper.

2. Methodology

Rings workpieces (fig. 2), made from cylindrical SAE 1006 steel bars and ETP copper in dimensions: 15 mm outside diameter, 7,5 mm internal diameter and 5 mm height, respecting the 6:3:2 proportion, were used in the ring compression tests.

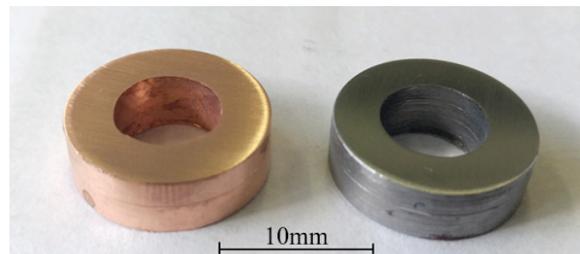


Figure 2. Used Samples.

For lubricants comparison, were used mineral oil Renoform MZA 20 (R), widely employed in the industry by owning extreme pressure property and be indicated for plastic forming at high and cold loads. Vegetable oils were linseed (L), cotton (A) and castor (M). Particles added were composed by thermoplastic polymer PET (polyethylene terephthalate), ground in manufacturing lab UFSJ, according to ISO 3310/1, in two different sizes, 50 and 80 μm (identification 1 and 2, respectively), obtained from the disposable bottles recycling. The particulates were mixed in vegetable oils in a 1:3 in volume proportion.

All samples were sanded in water sandpaper of 240 to 800 mesh on polishing machine Teclago Sander PL01.



The samples compression test, at room temperature, was carried out in lubricated hydraulic press model Shimadzu Autograph AG-Xplus under 0,25 mm/min speed, with equipment maximum strength as stopping criterion, just like 95 kN. Two specimens were used for each lubrication condition. Rings after submerged in the lubricant were placed on the test machine with a clamp. Between the tests, the equipment has been cleaned with alcohol for which a lubricant does not interfere in other result. The diameter and rings height before and after the tests were measured by digital caliper in two perpendicular directions in order to minimize measurement errors.

Variations in internal diameters and heights were calculated from the equations (4) and (5), respectively:

$$\Delta di = [(di_0 - di_f) / di_0] * 100 \quad (4)$$

$$\Delta h = [(h_0 - h_f) / h_0] * 100 \quad (5)$$

where Δdi , di_0 , di_f , Δh , h_0 and h_f represent internal diameter variation, inner inside diameter before and after test, height variation, height before and after test, respectively.

Compression tests with the same used parameters in the laboratory were simulated through DEFORM™ 3D software, for a range shear friction coefficient variation of 0 (without friction) to 1 (maximum friction situation), with the purpose of generate calibration curves for tested lubricants friction coefficients determination.

3. Results and discussion.

It is possible to note the copper (figure 3) and SAE 1006 (figure 4) calibration curves obtained by compression ring test simulation on DEFORM 3D™ software. In which the friction coefficients values used in the computational simulations are represented in their respective generated curves. The diameter variations values obtained through experimental tests, for each lubricant and lubricant/particulate analyzed, are also represented by scattered points in figures (3) and (4), where determines the friction coefficient values for each situation directly in simulated curve and compare the lubricants performance for SAE 1006 steel and copper.

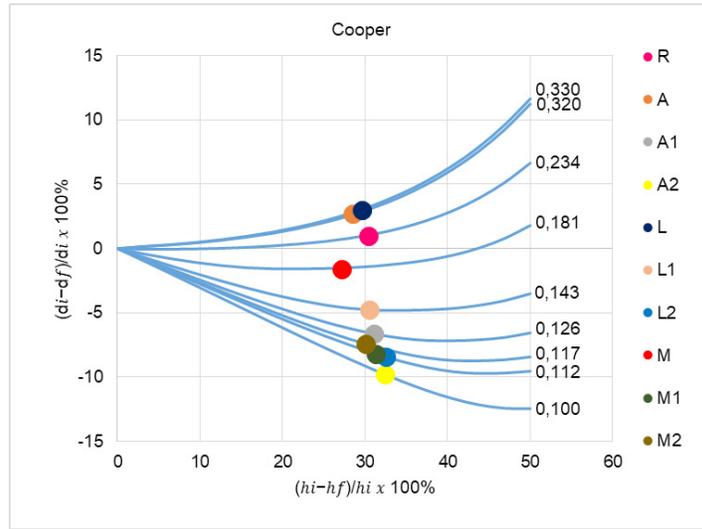


Figure 3. Calibration curves and dimensional variation for copper rings.

Legend: R-Renoform MZA 20, A-Cotton, M-Castor, L- Linseed, 1- 50µm Particulate and 2- 80µm Particulate.

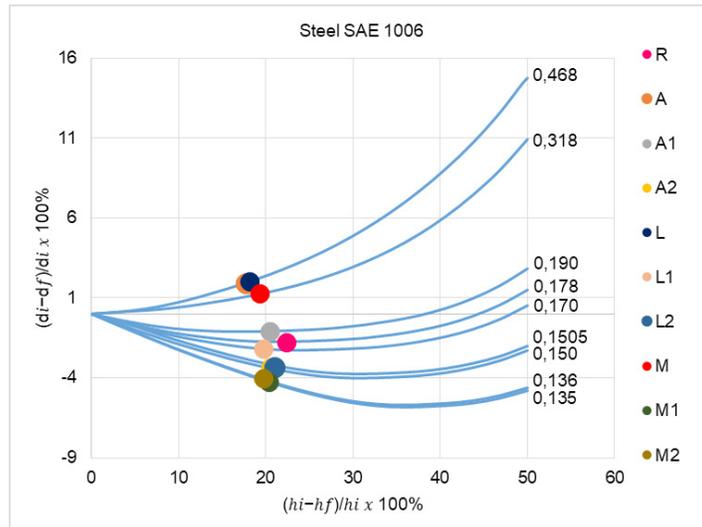


Figure 4. Calibration curves and dimensional variation for steel rings.

Legend: R-Renoform MZA 20, A-Cotton, M-Castor, L- Linseed, 1- 50µm Particulate and 2- 80µm Particulate.

Can be seen in the figure (3) that linseed (L) and cotton (A) pure oils in contact with copper obtained a lower performance than mineral oil (R) used as comparative, once presented the highest friction coefficient values. Castor oil (M) presented a better pure vegetable oils performance, better than mineral oil, which justifies it being a vegetable oil used in industry, as cited by Syahrullail et al.^[9]. Vegetable oils combined to solid particulates showed the best performances. According to the authors Zareh-Desari and Davoodi^[11], Syahrullail et al.^[9] and Valero et al.^[6], the oils performance are enhanced with the particulate additives addition, which corroborates the results



found in this study. For cotton and linseed, the best results were obtained in the mixtures using 80 μm particulates, for castor oil, the friction coefficients for 50 and 80 μm mixtures were very close, that means, the particulates insertion improved oil performance, but his size didn't have as much influence.

Analyzing the steel obtained results, the three pure vegetable oils showed higher friction coefficients than found to mineral. Linseed and cotton oils mixed to 50 μm particulates presented a close performance that of mineral oil, the cotton oil even with the 50 μm particulate presented a higher value. These oils had a better performance with the 80 μm PET addition, just as happened to the lubricants in contact with copper. And, also for steel, castor oil presented better results with the particulates addition, without much influence of the size particle, once they obtained close friction coefficients.

Another point that can be noted is that despite similar performing behaviors as the friction coefficient for the pure oils and these combined with solid elements, these coefficients values were different in contact with copper and steel, and for the steel these values were higher. This results proves that the friction coefficient is not a material property, it varies for each materials pair and is influenced by the used lubricant, as says Martins and Schaeffer^[8].

4. Conclusions

- The friction coefficient value varies according to the conditions studied, for the materials in contact, being influenced by the used lubricant between them.
- The pure vegetables lubricants castor oil, linseed and cotton, these combined with solid PET particulates and mineral lubricant Renoform MZA20 friction coefficients values in contact with SAE 1006 steel were bigger than copper values.
- Pure vegetable lubricants performance were worse than these combined with solid elements. To the cotton and linseed, the PET granulometry influenced in this performance, the same does not occur to castor oil.
- For the cotton and linseed oils, the best friction coefficients were obtained when combined to the 80 μm PET particulate.
- The castor oil lubricant stood out among the vegetables oils, showing smaller friction coefficients than the others under the same conditions.
- Based on the friction coefficient values, this study suggests the replacement of Reform MZA20, when in contact with the copper, by castor oil or by one of three vegetable oils mixed with PET ground in any of the two grain sizes. To steel, your replacement is valid only for linseed and castor oil with 50 μm particulate and for three vegetables oils with 80 μm adition.



5. References

1. Zareh-Desari B, Davoodi B, Assessing the lubrication performance of vegetable oil-based nano-lubricants for environmentally conscious metal forming processes, *Journal of Cleaner Production*. V. 135, 1198-1209 (2016).
2. Panchal T. M., Patel A., Chauhan D.D., Thomas M., Patel J. V. A methodological review on bio-lubricants from vegetable oil based resources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. V. 70, 65-70 (2017).
3. Zhu Y., Zeng W., Ma X., Tai Q., Li Z., Li X. Determination of the friction factor of Ti-6Al-4V titanium alloy in hot forging by means of ring-compression test using FEM, *Tribology International*. V. 44, 2074-2080 (2011).
4. Hu, C., Ou, H., Zhao, Z., An alternative evaluation method for friction condition in cold forging by ring with boss compression test, *Journal of Materials Processing Technology*. V. 224, 18-25 (2015).
5. Hu C., Yin Q., Zhao Z., Ou H. A new measuring method for friction factor by using ring with inner boss compression test, *International Journal of Mechanical Sciences*. V. 123, 133-140 (2017).
6. Valero J., Marín M.M., Camacho A.M. Influence of Load Application Methodology in the Performance of Ring Compression Tests, *Procedia Engineering*. V. 132, 306-312 (2015).
7. Ohdar R. K., Talukdar P., Israr Equbal Md. Evaluation of friction coefficient of 38MnVS6 medium carbon micro-alloyed steel in hot forging process by using ring compression test, *Technology Letters*. V. 2, N. 3, 12-16 (2015).
8. Martins V., Schaeffer L. Comparação entre lubrificantes pela verificação do atrito em alumínio e aço, *Corte e Conformação de Metais*. 44-62 (2009).
9. Syahrullail S., Zubil B. M., Azwadi C. S. N., Ridzuan M. J. M. Experimental evaluation of palm oil as lubricant in cold forward extrusion process, *International Journal of Mechanical Sciences*. V. 53, 549-555 (2011).
10. Emami M., Sadeghi M. H., Sarhan A. A. D., Hasani F. Investigating the Minimum Quantity Lubrication in grinding of Al₂O₃ engineering ceramic, *Journal of Cleaner Production*. V. 66, 632-643 (2014).
11. Kunogi M. A new method of cold extrusion, *J. Sci. Res. Institute*. V. 50, 215-246 (1956).
12. Male A.T., Cockcroft M.G., A method for the determination of the coefficient of friction of metals under conditions of bulk plastic deformation, *J. Institute Met*. V. 93, 38-45 (1965).
13. Martín F., Martín M.J., Sevilla L., Sebastián M.A. The Ring Compression Test: Analysis of dimensions and canonical geometry, *Procedia Engineering*. V. 132, 326-333 (2015).



Desarrollo de productos metal-mecánicos por estudiantes de ingeniería mecánica de la UAM-Azcapotzalco

Ernesto Montes Estrada ■ Zeferino Damián Noriega
Romy Pérez Moreno ■ Gilberto Domingo Álvarez Miranda

Área de Mecánica. Departamento de Energía.
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco.
eme@correo.azc.uam.mx

1. Resumen

Gracias a que vivimos en un mundo globalizado, en México podemos adquirir maquinaria, equipos, accesorios, aditamentos de origen principalmente taiwanés o chino o de otro país, para la manufactura de productos metal-mecánicos. En otras palabras, somos dependientes de tecnología extranjera.

Por tanto, es necesario desarrollar ingenieros mecánicos capaces de generar equipos, accesorios, aditamentos y maquinaria; como docentes tenemos la obligación de formar profesionistas que aporten tecnología para el desarrollo del país. Como ejemplo, alumnos de ingeniería mecánica han participado en estos desarrollos por medio de servicio social y proyectos de integración tecnológica (tesis).

Algunos productos que se han rediseñado son: accesorios para torno y fresadora, elementos de sujeción y algunas máquinas-herramientas sencillas. En base a estos ejercicios de desarrollo de productos, se han capacitado a estudiantes de ingeniería mecánica para que tengan la posibilidad de desarrollar productos en su ejercicio profesional y no depender de tecnología extranjera.

2. Introducción

La dependencia tecnológica de productos para la industria metal-mecánica es muy alta en nuestro país, la capacidad de los ingenieros mecánicos mexicanos es muy competitiva. Pero se les debe orientar a ser capaces de desarrollar productos, para no depender tecnológicamente de tecnologías extranjeras. En la UAM-AZCAPOTZALCO a los alumnos de ingeniería mecánica se les ha planteado desarrollar su servicio social y/o proyectos de integración (tesis) a realizar proyectos para desarrollar productos; han sido varios alumnos que han aceptado el reto. Como resultado se han realizado rediseños de productos tales como



elementos de sujeción, aditamentos para máquinas-herramientas y algunas máquinas sencillas. En algunos casos se han hecho prototipos, tanto estos productos físicos como los proyectados, se les presentan a los estudiantes para demostrarles de lo que pueden desarrollar en el futuro.

En estos trabajos se le orienta al estudiante a integrar conocimientos adquiridos y que realicen la aplicación y adquirir otros conocimientos extras que permitan desarrollar productos con mejoras en diseño y en funcionamiento. También se propone la fabricación en serie con equipo de CNC para calcular costos competitivos. Se incluye el diseño de dispositivos para maquinar en serie. Este trabajo se realiza en base a la metodología presentada en este trabajo.

Con estos proyectos de desarrollo de productos se contribuye a que los futuros ingenieros visualicen que se tiene la capacidad de generar nuestra propia tecnología y también a motivarlos a ser emprendedores.

3. METODOLOGÍA

3.1 Seleccionar producto.

En base a catálogos de accesorios o equipos, se selecciona el producto; puede ser un accesorio del taller o que aparezca en una exhibición de productos.

3.2 Extraer la tecnología de producto físico o Extraer la tecnología por imitación.

En caso de existir el producto físicamente y lo tengamos disponible, procedemos a “copiar” el producto; si se cuenta con catálogo se toma la información para hacer dibujos.

3.3 Rediseñar el producto.

Se parte del producto original, se analiza para proponer cambios con mejoras. En caso de que tenga un mecanismo, proponer otro diferente y agregar otra función para mejorarlo. No se puede hacer cambios sustanciales en todos los casos. Se proponen los cambios y se ponderan para definir el nuevo diseño. Se presentan las nuevas opciones virtualmente.

3.4 Realizar dibujos de definición y conjunto.

En base al diseño virtual se define el dibujo de conjunto, tomando en cuenta los materiales comerciales y la fabricación. Se realizan los dibujos de definición de cada componente.



3.5 Analizar la fabricación.

Definir la fabricación en serie, se establece la secuencia de maquinado siempre con equipo de CNC. Todos los componentes se partirá de fundición, en arena o de precisión; existen algunos casos que se tienen que fabricar con piezas soldadas. En este análisis se determinan los montajes para fabricar en serie.

3.6 Diseñar los montajes.

Para la manufactura económica o competitiva, se deben diseñar los montajes para que la fabricación sea de calidad y de bajo costo.

3.7 Fabricación de prototipo.

En pocos casos se han fabricado prototipos, debido al costo. El diseño del prototipo se convierte a diseño con fundición.

3.8 Calcular costos.

Se calcula el costo de mano de obra, materiales, montajes. En caso de los montajes se prorrotea el costo en un lote para incluir este costo.

3.9 Reporte final del proyecto.

Se elabora un reporte final, principalmente incluye los dibujos de definición del producto y los dibujos de los montajes, la secuencia de maquinado, así como la definición del costo.

4. Ejemplos de Productos desarrollados:

4.1. en Servicio Social

4.1.1 Prensa auto-centrante lineal.

El proyecto de esta prensa se inició en un servicio social de alumno de ingeniería mecánica; una prensa de tornillo fue el producto inicial, esta prensa tiene un sistema de apriete que permite que la fuerza de apriete se aplica a 45° , esto quiere decir que aplica una fuerza horizontal y una vertical que permite “asentar” la pieza. En el proyecto se presentaron 4 posibilidades de sustituir el diseño inicial y se llegó a un diseño diferente; por medio de eslabones en lugar de una pieza fundida con un plano de aplicación de la fuerza a 45° . Se diseñó la prensa autocentrante como un prototipo fabricado de placas, armadas con tornillos y pernos localizadores. Ver figura 1.

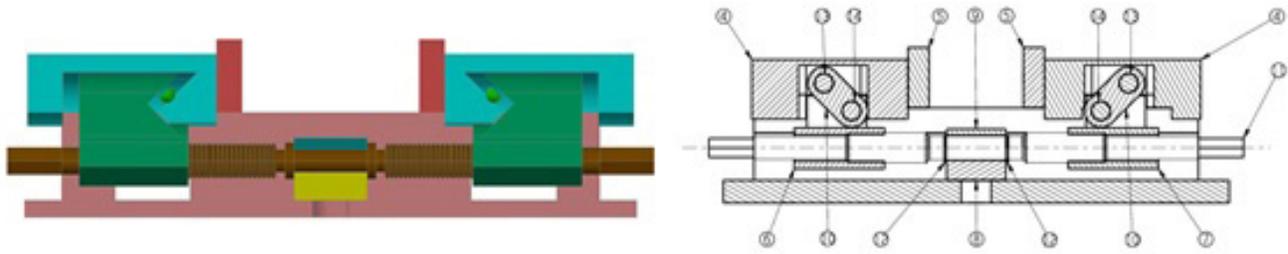


Figura 1. Prensa original y la nueva propuesta.

En un proyecto de integración (tesis) con otros 2 alumnos se desarrolló el producto para la fabricación en serie con piezas fundidas. Se fabricó el prototipo. Ver la figura 2.



Figura 2. Prensa fabricada con placas y armada con tornillos y pernos localizadores.

4.1.2 Prensa auto-centrante con pivotes.

En un proyecto de Servicio Social se desarrolló este producto partiendo de una prensa física y con la ayuda de un catálogo. Se desarrolló como prototipo, fabricada con placas de nylon y cortados con chorro de agua; se maquinaron algunas superficies para dar dimensiones críticas. Los pernos pivotes, el tornillo cuerda derecha-izquierda y sus tuercas fueron fabricados en acero. Ver figura 3.

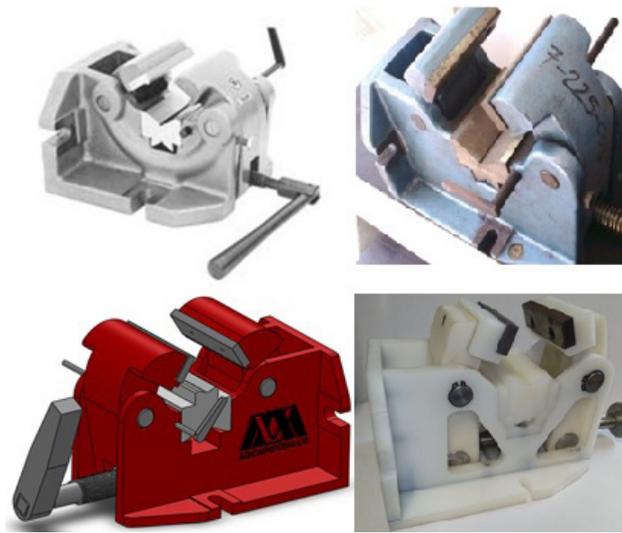


Figura 3. Prensa en catálogo, física, virtual y prototipo en nylon.

4.1.3 Elementos de sujeción.

Estos elementos de sujeción se agruparon en un proyecto de servicio social, en base principalmente en un catalogo industrial y en algunas piezas físicas. Se hicieron 2 grupos de elementos de sujeción, uno con mucha variedad en su forma y otro de conjuntos de bridas.

El primer grupo de piezas variadas lo desarrollo el mismo alumno del SS, se re-diseñaron todos los elementos, se indicó todo el proceso de fabricación y se diseñaron los montajes para su fabricación en serie. Se presentó la fabricación por medio de fundición de precisión de la mayoría de piezas y maquinadas en en CNC. Ver figura 4.

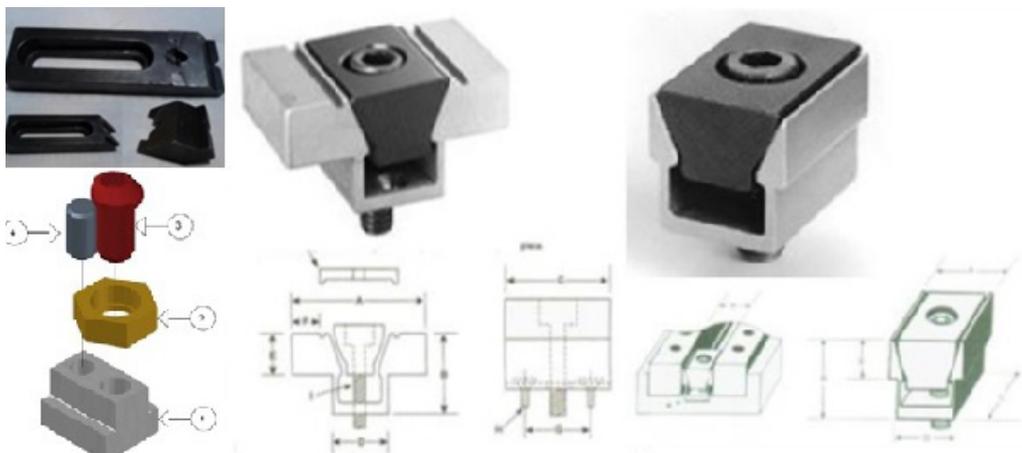


Figura 4. Brida con apriete a 45°, tuerca exagonal física y otros elementos de sujeción.



4.2 Proyectos de integración.

4.2.1 Familia de bridas.

En base a la agrupación de las bridas, toda la información se tomó de un catálogo industrial. De los 7 juegos de bridas, el proceso se definió partiendo de una mordaza “maestra” que tenía las mismas características básicas: en cada tipo de conjunto se le agregaban las características correspondientes. Ver figura 5.

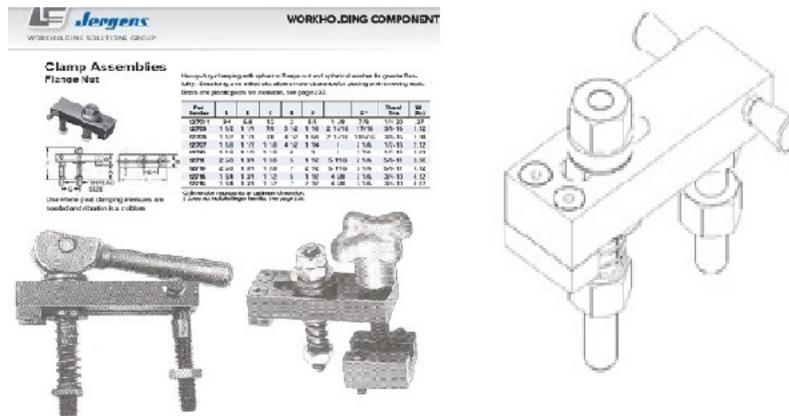


Figura 5. Brida con apriete por medio de palanca con leva, en catálogo y virtual.

4.2.2 Pistón hidráulico con giro.

Este pistón con giro sirve para sujetar piezas durante el proceso de fabricación de miles de piezas. El objeto del giro de 90° es para sujetar la pieza por la parte superior; al cargar o descargar la pieza de trabajo, el pistón al quitar o aplicar la presión hidráulica gira 90°, para no estorbar. El cuerpo del pistón está hecho de a hierro nodular fundido. Tiene un mecanismo para que tenga la posibilidad de giro a la derecha o izquierda, se rediseñó con un mecanismo por medio de una cremallera. Ver figura 6.

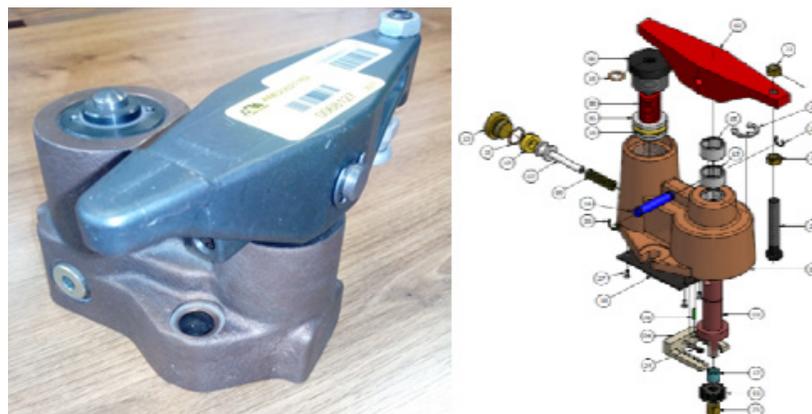


Figura 6. Pistón físico y virtual con mecanismo de cremallera.



4.2.3 Prensa para fresado en torno.

Esta prensa es un aditamento para un torno paralelo, se monta en lugar de la torreta sobre el carro auxiliar; la herramienta de corte se instala en el mandril del torno, la prensa tiene un desplazamiento vertical permitiendo hacer planos, ranuras a la pieza que está sujeta en la prensa. Se partió de un catalogo y de una muestra instalada en un torno de exposición. Ver figura 7.

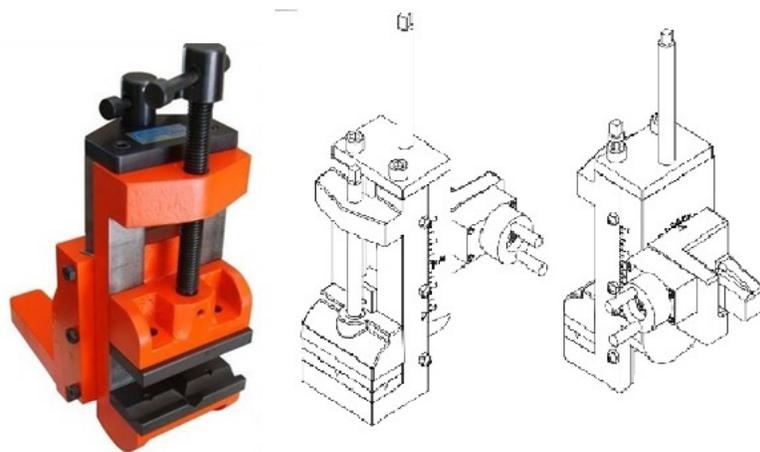


Figura 7. Prensa para fresado en torno física y prensa virtual con rediseño.

Se rediseñó el producto inicial, se le agregó un mecanismo (corona-tornillo sin fin) para que pudiera realizar fresado de superficies cilíndricas. Se definió toda su fabricación con piezas fundidas y maquinadas en CNC. Se diseñaron 14 montajes para su fabricación en serie, se calculó el costo total.

4. Resultados y discusión

Estos trabajos de servicio social y proyectos de integración son una muestra de desarrollo de productos, demostrando al futuro ingeniero mecánico que es capaz de desarrollar tecnología, que puede ser emprendedor. Estos proyectos son ejercicios de ingeniería y ejemplo para otros alumnos que desean hacer trabajos productivos para un futuro.

Estos proyectos son parte de un proyecto de investigación del área académica de mecánica; no forman parte de una investigación didáctica. Son parte de ejemplos para ejercer la capacidad de los alumnos, para que “abran sus ojos tecnológicamente”. Sirve para aportar un “granito de arena” al desarrollo de futuros ingenieros y del país.



El resultado se aprecia al terminar el proyecto de desarrollo de productos, los alumnos se sienten más capaces, más ubicados, más seguros para enfrentar otros retos que les esperan en la industria.

5. Conclusiones

Estos proyectos le ayudan al estudiante aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera y agregar varios para poder resolver un problema tecnológico, que puede desarrollarse por ellos mismos o que algún empresario lo tome para realizarlo en su empresa.

El fruto de estos proyectos se verá con el tiempo, al ir desarrollando la ingeniería a lo largo de su carrera en una industria.

Se tiene la convicción de que son prácticos estos proyectos para los futuros ingenieros mecánicos.

6. Bibliografía

1. S. Villanueva., J. Ramos., “Manual de métodos de fabricación metalmecánica”, Editorial Agt Editir, S.A., México.
2. A. Chevalier., J. Bohan., Tecnología de diseño y fabricación de piezas metálicas., Editorial Limusa., 1998.
3. Catalogo industrial Jergens ,www.jergensinc.com
4. Catalogo industrial Swiftsure., reimpresión 1996, St. Louis MO,
5. E. Juarez “Diseño de prensa autocentrante” Agosto 2013.
6. C. Acevedo “Diseño de prensa auto-centrante” Julio 2014.
7. M. Rodríguez “Sujetadores mecánicos normalizados” Abril 2014.
8. M. Rodríguez “Desarrollo de sujetadores mecánicos normalizados” Julio 2014.
9. J. González, L. Martínez, “Diseño y análisis de fabricación de prensa para fresado en torno paralelo de 12 a 16 pulg de volteo” Abril 2016
10. N. Parra “Rediseño y manufactura en serie de conjuntos de bridas para sujeción normalizadas” Julio 2015
11. E. Oberg, F. D. Jones, H. L. Horton, H. H. Ryffel, Machinery`s handbook 24th Edicion, Industrial press inc. New York 1992



Sistema generador-volante de inercia para estabilizar variaciones de voltaje en un laboratorio de Unidad Azcapotzalco UAM

Eduardo Campero Littlewood ■ Mauricio Cano Blanco ■ Carlos Antonio Rosales Borrasca

Departamento de Energía.
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
ecl@azc.uam.mx

1. Resumen

En este trabajo se dimensiona un sistema generador acoplado a un volante de inercia, conocido como FESS (Flywheel Energy Storage System), para amortiguar los cambios de voltaje que se presentan en el Laboratorio de Hidroneumática de la Unidad Azcapotzalco de la UAM. A partir del análisis de las mediciones hechas en el tablero general del laboratorio, se identifica el transitorio más importante (causado por el arranque de un compresor), y con esa información se determina la necesidad de tener un sistema que almacene 50 kJ para lograr amortiguar el transitorio. El volante que se propone es un cilindro sólido de acero 4130 con una masa de 45.5 kg, un diámetro de 70 cm y un espesor de 1.5 cm. La capacidad del motor/generador de inducción (jaula de ardilla) que se propone para su acoplamiento al volante de inercia es de 15 hp.

2. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) se entienden como sistemas que interconectan **plantas de generación** que suministran la demanda eléctrica de grandes extensiones (estados o países) y normalmente operan con altos voltajes. La energía eléctrica se distribuye a los usuarios finales a través de subestaciones que disminuyen el nivel de tensión^[1]. La operación de los SEP depende de la demanda de los usuarios y la decisión de los administradores al respecto de las plantas generadoras que deben suministrarla. La presencia de cambios en la demanda y la rapidez con que se satisfacen provoca variaciones en el voltaje y en la frecuencia de la onda eléctrica. La operación de los equipos de las instalaciones de los usuarios se ve afectada por estas fluctuaciones y puede llegar a provocarles fallas.



Desde hace unos 20 años han empezado a conectarse a las redes eléctricas sistemas de generación, como son los paneles solares y los parques eólicos, que disminuyen el impacto de la generación eléctrica en el medio ambiente, pero la intermitencia de su funcionamiento afecta la estabilidad de los SEP y hace más difícil el control del suministro eléctrico, de las variaciones de voltaje y frecuencia, así como de la presencia de armónicas que distorsionan la forma de la onda^[2]. Por otra parte las instalaciones eléctricas de los usuarios pueden también tener elementos que provoquen caídas de voltaje como puede ser el arranque de motores eléctricos y la posible simultaneidad en el uso de equipos eléctricos^[3].

Para amortiguar los cambios producidos por las caídas de voltaje y proporcionar estabilidad en la red resulta práctico utilizar elementos que almacenen energía, de manera que ésta pueda utilizarse justo en los instantes en que el sistema lo requiera. Los volantes de inercia son una excelente opción para almacenar energía cinética que puede ser utilizada de manera instantánea para amortiguar los cambios que se presenten.

La red eléctrica que alimenta al Laboratorio de Hidroneumática de la Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) presenta cambios de voltaje y frecuencia debidos a la red de suministro y a las oscilaciones en la demanda de potencia de los aparatos eléctricos utilizados en el laboratorio. Con el propósito de mantener la estabilidad del voltaje, y evitar que sus cambios repercutan en los equipos electrónicos del laboratorio, se propone la especificación de un sistema generador-volante de inercia. El dimensionamiento del volante de inercia se plantea describiendo el fenómeno presente.

2.1 Sistemas de almacenamiento de energía basados en volantes

En la práctica, un volante de inercia es un elemento que almacena energía cinética. Un volante manifiesta su movimiento por inercia cuando varía el par motor que lo propulsa. De esta forma el volante de inercia se opone a las aceleraciones bruscas en un movimiento rotativo, con lo cual se consigue amortiguar las fluctuaciones de su velocidad angular. La energía que puede almacenar un volante de inercia depende de la velocidad angular y del momento de inercia del volante.

Los sistemas de almacenamiento de energía basados en volantes de inercia son mejor conocidos como “FESS” (por sus siglas en inglés, Flywheel Energy Storage System). Estos sistemas tienen la capacidad de almacenar energía mecánica que absorben de la energía eléctrica y después pueden devolverla al sistema. Los componentes principales de estos sistemas son: el volante de inercia, la máquina eléctrica, un convertidor (bidireccional) de potencia, los rodamientos y una carcasa donde se aloja al volante de inercia (Figura 1).

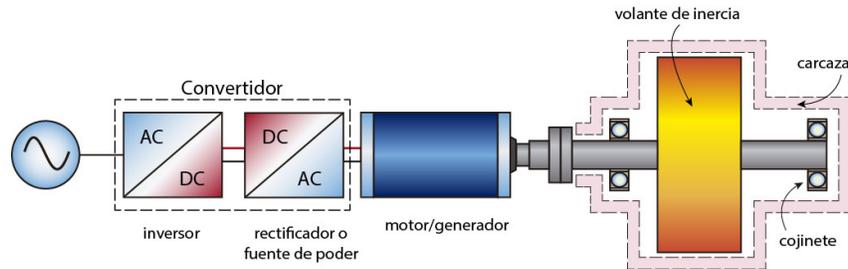


Figura 1. Componentes principales de un FESS.

3. Condiciones experimentales

Para determinar las variables de diseño del FESS que amortigüe las variaciones de voltaje y corriente del Laboratorio de Hidroneumática fue necesario analizar la instalación y detectar los equipos eléctricos que producían la mayor alteración momentánea en la red eléctrica (transitorios).

El laboratorio de hidroneumática es un espacio en el que se realizan tareas de investigación, docencia y desarrollo de proyectos. Diariamente, entre profesores y alumnos, laboran de 10 a 15 usuarios en jornadas de 14 horas. El espacio para la docencia dispone de un laboratorio con cinco bancos hidráulicos accionados con motores de 1 hp y cuenta con diez tableros neumáticos dotados de actuadores. Para suministrar el aire comprimido, las instalaciones cuentan con un compresor de pistón de dos etapas impulsado por un motor trifásico de 5 hp. Además, el laboratorio está equipado con diversas máquinas herramientas utilizadas para la manufactura de piezas mecánicas y modelos en madera y materiales plásticos. El compresor, una fresadora (motor trifásico), un torno (motor monofásico), una planta para soldar, una cortadora de metal, una sierra de inglete y diversos esmeriles son algunas de las herramientas de mayor potencia.

Mediante un analizador de redes eléctricas trifásicas, modelo 8335 de la marca «AEMC Instruments», se midió y registró el voltaje y la corriente en las tres fases de la red eléctrica del laboratorio. El equipo permite monitorear distintas variables eléctricas simultáneamente, así como medir magnitud y duración de transitorios. Tiene la ventaja de poder registrar hasta 256 datos por segundo (mediciones cada 4 milésimas de segundo) y así poder identificar transitorios y calcular la energía necesaria para amortiguarlos. La duración de las caídas de voltaje por fallas en el sistema de suministro o por arranque de motores grandes es típicamente de 0.5 a 30 ciclos. También existe la posibilidad de interrupciones momentáneas de entre 2 y 5 segundos^[4].



Las mediciones se realizaron en el tablero eléctrico del laboratorio (Figura 2). Para la medición de corriente se utilizaron pinzas de gancho (MN193) con capacidad de 5-100 A, y pinzas tipo caimán (SL261) para registrar el voltaje (220 V entre fases).

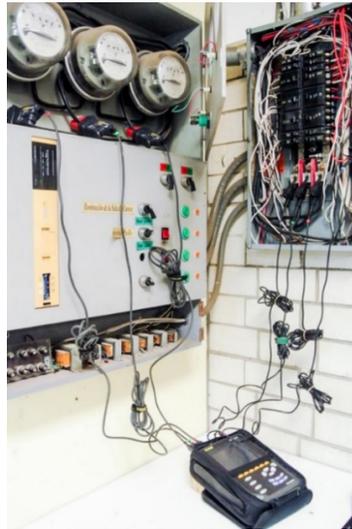


Figura 2. Componentes principales de un FESS

La opción del instrumento que se utilizó fue el modo transitorio. En este modo el equipo registra hasta 160 eventos y al detectar un transitorio, registra los siguientes cuatro ciclos.

3.1 Medición de los transitorios

Los transitorios en una red eléctrica se entienden como cambios repentinos en la corriente y el voltaje. Usualmente se producen por el accionamiento de un dispositivo de gran potencia o por cambios de voltaje o frecuencia en la red. Para caracterizar las variaciones en la red eléctrica se optó por poner en marcha diferentes equipos cuya potencia estaba identificada previamente, no se hizo registro de cambios en el suministro de energía en la red.

Tabla 1. Configuración en modo transitorio del analizador de redes

Periodo	5 minutos	Umbral de corriente	20%
Umbral de tensión	20%	Número máximo de registros	160 transitorios

Una vez configurado el analizador (Tabla 1), se accionaron los equipos eléctricos de mayor potencia del Laboratorio; en el siguiente orden: el compresor, la fresadora, el torno y la sierra de inglete. Cada equipo se puso en marcha en momentos distintos



y cuando se arranca un equipo, el o los equipos encendidos anteriormente se mantienen funcionando, se tuvo cuidado de hacerlo apegándose a una rutina, que permitiera diferenciar con facilidad los efectos de cada equipo en la red eléctrica:

- 1) Durante los primeros 30 segundos no se encendió ninguno de los equipos de mayor potencia.
- 2) En el segundo 30, se puso en marcha el compresor de aire (Figura 3)
- 3) En el segundo 60, se puso en marcha la fresadora
- 4) En el segundo 90, se puso en marcha el torno
- 5) En el segundo 120, se puso en marcha la sierra de inglete



Figura 3. Corriente y voltaje registrados en el instante en que se presenta el transitorio por el arranque del compresor.

3.2 Potencia de diseño

La consideración más importante para determinar la potencia de diseño fue la duración de dos segundos del transitorio. De las curvas de los transitorios, fue suficiente analizar sólo una de las líneas (A1, A2 y A3 con su respectivo voltaje) en su ciclo más significativo. El valor de la energía por ciclo se multiplicó por 120 (equivalente a los ciclos en dos segundos para una frecuencia de 60 Hz). Dado que el transitorio de mayor magnitud surge por el arranque del compresor, equipado con un motor trifásico, la última cifra se multiplicó por tres.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se calculó en cada punto el producto de la tensión por la corriente (potencia) para cada instante del que se tuvo registro. Dicho resultado está representado gráficamente en la Figura 4. El gráfico obtenido es la curva de la potencia para un ciclo y por lo tanto el área bajo la curva representa la energía consumida durante 1/60 de segundo, correspondiente a una energía promedio de 137 J.

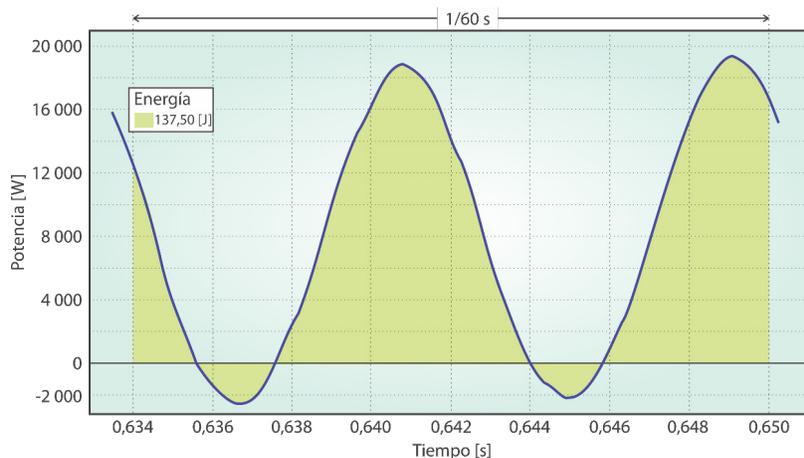


Figura 4. Curva de potencia para el transitorio provocado por el arranque del compresor

4.1 Capacidad del motor/generador

La energía consumida, durante dos segundos, por las tres fases es:

$$137,5049 \text{ [J]} \times 3 \text{ [número de fases]} = 412,5447 \text{ [J/ciclo]}$$

$$412,5447 \text{ [J/ciclo]} \times 120 \text{ [ciclos]} = 49\,501,76 \text{ [J]}$$

La estimación de la potencia del motor/generador se hace a partir de la energía que se debe amortiguar, del tiempo que se ha definido para la duración del evento y de la capacidad del motor/generador para entregar la potencia demandada por el transitorio. Para 49 501,764 J de energía y un tiempo de dos segundos, la potencia promedio que debe ser capaz de desarrollar el motor es:

$$P_{\text{ideal}} = (49\,501,764 \text{ J}) / (2 \text{ s}) = 24\,750,882 \text{ W} = 33,1915 \text{ hp}$$

Esta potencia solamente se requiere durante dos segundos, por lo tanto es posible proponer un motor de inducción más pequeño, que funcionando como generador pueda suministrar, durante dos segundos, la corriente demandada por el transitorio.



Los motores de inducción jaula de ardilla están diseñados para soportar corrientes de arranque de 6 a 7 veces la nominal y tienen capacidad para entregar un par máximo de 2 a 3 veces el de plena carga. Por lo tanto, se considera razonable proponer una capacidad de 15 hp, para el motor/generador que será capaz de suministrar la corriente demandada por el transitorio que se requiere amortiguar^[5].

4.2 Diseño del volante de inercia

Los materiales más utilizados en volantes de inercia son aluminio y acero para los sistemas de baja velocidad y en el caso de los sistemas de alta velocidad se utilizan fibras compuestas como fibra de carbón, vidrio E/Epoxi, grafito HM/Epoxi y grafito HS/Epox^[6].

En este trabajo se propone fabricar el volante con acero 4130, el cual es un acero de baja aleación y medio carbono; su templabilidad lo hace ser considerado como una buena opción en aplicaciones en donde se requiere dureza y tenacidad. Además de sus características y aplicaciones antes mencionadas el uso de este material para fabricar volantes de inercia se ha estudiado en^[7].

Al considerar un motor de 4 polos, las dimensiones del volante cuya geometría corresponde a un cilindro sólido fabricado con acero 4130, pueden calcularse aplicando el siguiente análisis.

El momento de inercia se puede calcular con la ecuación:

$$K = \frac{1}{2} J \omega^2 = \frac{1}{2} k m r^2 \omega^2$$

Para un motor de 4 polos, la velocidad de giro es: $\omega = 1\,800 \text{ rpm} = 188,5 \text{ rad/s}$.

$$J = 2 K / \omega^2 = 2 (49\,501,76 \text{ [J]}) / (188,5 \text{ [rad/s]})^2 = 2,78 \text{ kg m}^2$$

Para determinar la masa del disco, se propone un radio de 0,35 m:

$$J = \frac{1}{2} m r^2 \quad m = 2 J / r^2 = (2)(2,78 \text{ kg m}^2) / (0,35 \text{ m})^2 = 45,5 \text{ kg}$$

En el caso del acero 4130, la densidad es $\rho = 7\,850 \text{ kg / m}^3$. Por lo tanto, es espesor correspondiente es:

$$h = m / \pi \rho r^2 = 45,5 \text{ [kg]} / (\pi) (7850 \text{ [kg/m}^3]) (0,35 \text{ [m]})^2 = 0,015 \text{ m} = 1,5 \text{ cm}$$



5. CONCLUSIÓN

En este trabajo se propone el dimensionamiento de un sistema de almacenamiento de energía cinética mediante un sistema motor/generador y volante de inercia (FESS). El sistema propuesto podría ser utilizado como amortiguador de los transitorios eléctricos que se presentan en el Laboratorio de Hidroneumática. La metodología utilizada puede considerarse como una guía para dimensionar FESS en otros espacios de la Universidad.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Revista Educación en Ingeniería, Enero a Junio de 2013, “Evolución a las redes eléctricas hacia Smart Grid en países de la región andina”, vol. 8 No. 15, PP. 48-61.
2. Afinidad eléctrica autor artículo Víctor Sánchez Huerta División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Quintana Roo 2007 [fecha de consulta 28 abril 2017] disponible en: <http://www.afinidadelctrica.com/articulo.php?IdArticulo=165>
3. Enríquez Harper, “El ABC de las instalaciones eléctricas industriales” Preedición, Limusa, pp. 20, 298, 481, 2011.
4. Dugan, Roger C. (et al). “Electrical Power Systems Quality”. 2da. Ed., USA, Mc Graw Hill, pp. 43, 1996).
5. Catalogo “US Motors” pp. 273-276 disponible en: <https://www.dropbox.com/sh/u8faxkqbi5bfmj4/EltFuOQchI?preview=US+MOTORS+Full+Line+Sandard+Motor+Catalog+FL600.pdf>
6. Lluís Ripoll Masferrer, “Análisis Y Diseño De Volantes De Inercia De Materiales Compuestos”, 2005 disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6415/01LLrp01de01.pdf>
7. Publicación; Guía del almacenamiento de energía, Madrid 2011, Autor d. Rafael Peña Alzola, D. Rafael Sebastián Fernández. Cap. 6, pp. 135 [consultado 6 de mayo 2017] disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-del-Almacenamiento-de-Energia-fenercom-2011.pdf>



Síntesis y simulación de mecanismos.

Homero Jiménez Rabiela ■ Benjamín Vázquez González ■ Pedro García Segura ■ Gilberto Domingo Álvarez Miranda
■ José Luis Ramírez Cruz ■ Adrian Gustavo Bravo Acosta ■ Israel Barragán Santiago

Departamento de Energía.
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
bvg@correo.azc.uam.mx

1. Resumen

En el contexto de las tecnologías de la información aplicadas a la ingeniería mecánica, el objetivo es sintetizar dimensionalmente un mecanismo de cuatro eslabones generador de función. Partiendo de la hipótesis de que es posible lograrlo de manera virtual, paramétrica, tridimensional y que, adicionalmente es posible simularlo desde el punto de vista de la cinemática. Respecto a los métodos analíticos y gráficos sobre escritorio y con juego de geometría; los primeros son abstractos, los segundos son demasiado lentos. Usando hoja electrónica de cálculo y paquete gráfico, obtenemos un número infinito de soluciones; en las cuales se cumple teóricamente la función deseada. Para un conjunto de datos de entrada sintetizamos el mecanismo, con capacidad para actualizarse y simularse, cumpliendo con las características establecidas en la hipótesis. Del análisis y comparación de resultados es posible optimizar la síntesis, en un tiempo relativamente pequeño.

2. Introducción

La síntesis de mecanismos es una actividad preponderantemente cognitiva, sin ser ajena a procesos iterativos. La parte repetitiva puede ser resuelta con los ordenadores, la parte cognitiva no; este problema se busca resolver con el procedimiento que describimos. Otros investigadores han reportado trabajos relativos, entre ellos: McGovern y Sandor^[1] presentaron un método de síntesis de eslabonamientos planos generadores de función con un número finito de puntos de precisión involucrando velocidades prescritas; utilizando números complejos y programado para cálculo digital automático. Jiménez J. M. and Álvarez G^[2]. mostraron algunos ejemplos de eslabonamientos planos y tridimensionales a los



que aplicaron su método eficiente y simple para síntesis cinemática óptima. Puebla L. R. et al^[3] mostraron el desarrollo de una herramienta que simula el movimiento de mecanismo biela, manivela, corredera. Galeano U. C. H. et al.^[4] solucionaron el problema de síntesis de posición y velocidad de mecanismos de cuatro barras empleando diseño óptimo dimensional. Vucina D. and Freudenstein F^[5]., discutieron una alternativa aproximada para la síntesis dimensional de una estructura cinemática en términos de los puntos de precisión. El procedimiento que presentamos es sencillo, exacto, confiable y puede aplicarse en academia e industria; esta parte práctica justifica analizar el tema y profundizar en sus ventajas y desventajas. En la descripción del mismo utilizaremos grados para los ángulos y milímetros para las longitudes.

3. Condiciones Experimentales

Describiremos el método aplicándolo a la síntesis dimensional de un mecanismo generador de función ($y=x^2$), de cuatro eslabones con cuatro pares de revoluta, con $\Delta x = x_f - x_i$ para $\Delta y = y_f - y_i$, el eslabón de entrada (2) deberá girar $\Delta \varphi = \varphi_f - \varphi_i$ con respecto al eslabón fijo (1) y corresponder a un giro de $\Delta \psi = \psi_f - \psi_i$ del eslabón de salida (4), usaremos tres puntos de precisión (PP), la posición 1 del eslabón 2 será θ_2 y su longitud L_2 , análogamente L_1 será la correspondiente al eslabón 1. La variación $\Delta \varphi$ podrá ser positiva o negativa, la variación $\Delta \psi$ sólo podrá ser negativa y $|\Delta \psi| \leq |\Delta \varphi|$. Asumiendo una variación lineal de φ con respecto a x , así como para ψ con respecto a y , generamos el archivo gráfico y la hoja electrónica para controlarlo. Después de resolver la síntesis dimensional de manera unifilar, se utilizó ésta para construir los eslabones del mecanismo, a los cuales les aplicamos restricciones y efectuamos la simulación. Para diferentes valores de los parámetros de entrada, comprobamos la actualización de la solución y su exactitud.

3.1 Síntesis unifilar

Aplicando el procedimiento descrito por Hartenberg and Denavit con $x_i=5$ y $x_f=15$, determinamos los tres PP $x_1=5.66987298108$, $x_2=10$ y $x_3=14.33012701892$. Con las expresiones $(\varphi - \varphi_i) \Delta x = (x - x_i) \Delta \varphi$ y $(\psi - \psi_i) \Delta y = (y - y_i) \Delta \psi$, con $\Delta \varphi=80$ y $\Delta \psi=-70$, calculamos los datos de la Tabla 1 a la cual le adicionamos dos columnas: $\varphi - \varphi_1$ y $\psi - \psi_1$ no mostradas; de las cuales inferimos los parámetros siguientes: $\varphi_2 - \varphi_1 = 34.64101615138$, $\varphi_3 - \varphi_1 = 69.28203230276$, $\psi_2 - \psi_1 = -23.74838913246$ y $\psi_3 - \psi_1 = -60.62177826491$.



Tabla 1. Cálculos considerando variación lineal

punto	x	$\varphi-\varphi_1$	Y	$\psi-\psi_1$
i	5	0	25	0
l	5.66987298108	5.35898384862	32.14745962156	-2.50161086754
a	6	8	36	-3.85
b	7	16	49	-8.4
c	8	24	64	-13.65
d	9	32	81	-19.6
2	10	40	100	-26.25
l	11	48	121	-33.6
m	12	56	144	-41.65
n	13	64	169	-50.4
o	14	72	196	-59.85
3	14.33012701892	74.64101615138	205.35254037844	-63.12338913246
f	15	80	225	-70

Elegimos $L_1=60$, $L_2=17$ y $\theta_2=263$ para graficar una solución en primera posición de precisión, del número infinito que existen, ver Figura 1.

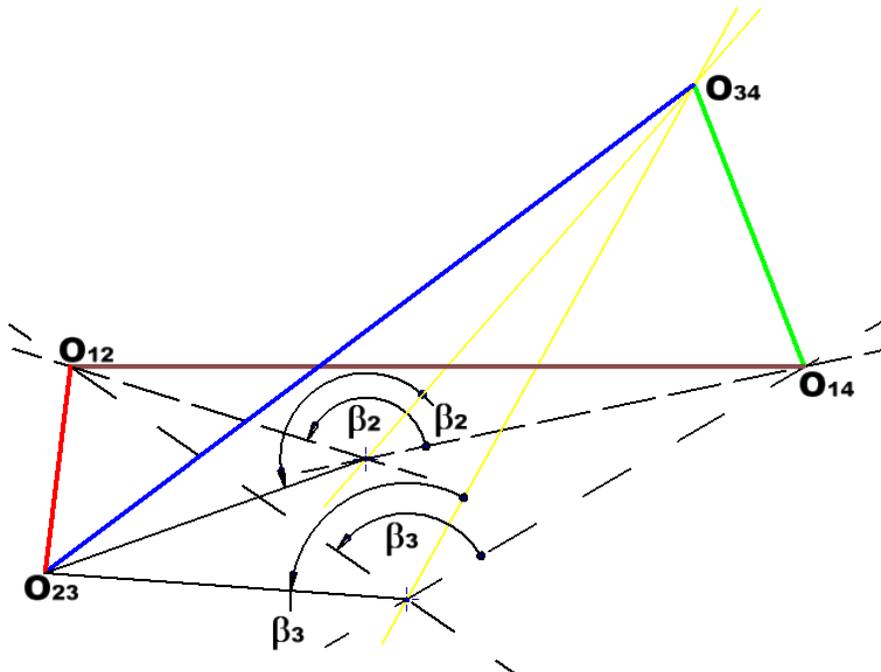


Figura 1. Síntesis dimensional



Consideramos $|\Delta\psi| \leq |\Delta\phi|$ y $L_2 < L_1$ para tener alta probabilidad, de acuerdo a la ley de Grashof, de obtener un mecanismo manivela oscilador; lo cual se logró. Las longitudes de los eslabones 3 y 4 encontradas fueron $L_3=66.4281802616$ y $L_4=24.7899702444$.

3.2 Eslabones del mecanismo

Usando la síntesis dimensional se construyeron los eslabones mostrados en la Figura 2. El fijo es el horizontal, el de entrada es el conectado a la izquierda del fijo, el de salida (4) está ensamblado a la derecha del fijo, el conectado al de entrada y al de salida es el acoplador (3). La restricción más importante del mecanismo es el ángulo dirigido entre ejes longitudinales de eslabones 1 y 2.

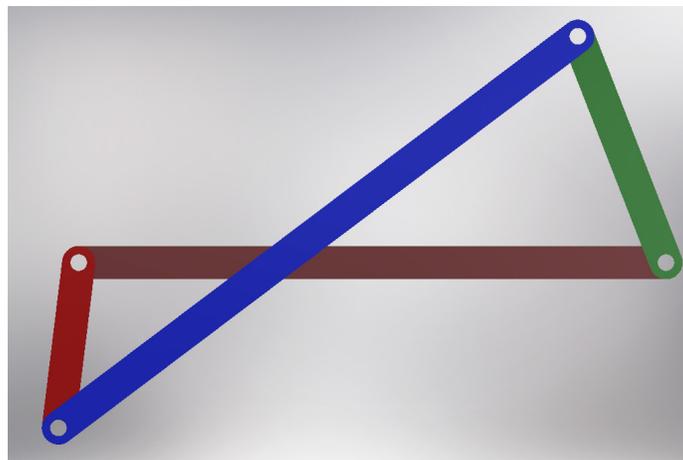


Figura 2. Mecanismo en primera posición de precisión

3.3 Simulación

Manejando la restricción de ángulo dirigido simulamos el movimiento del mecanismo como se muestra en las Figuras 3 y 4. Nótese que, por tratarse de posiciones de precisión, la función cuadrática se cumple sin diferencia entre valor medido y calculado.

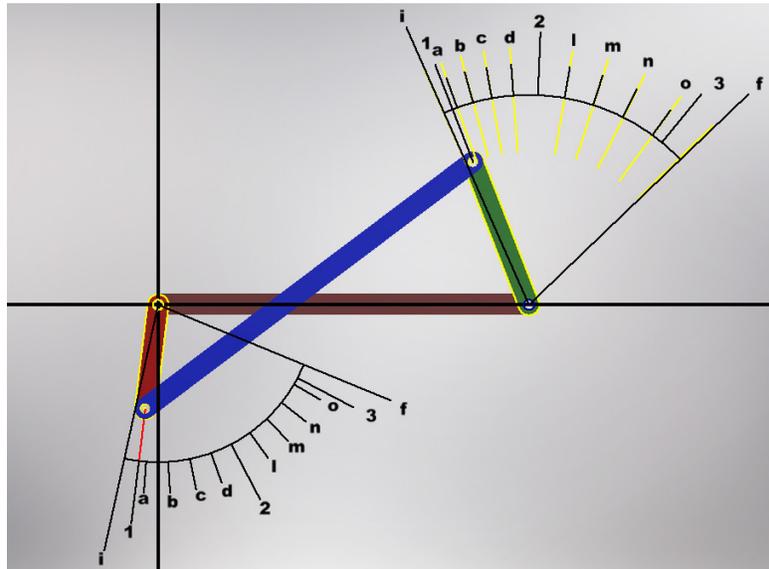


Figura 3. Mecanismo mostrando las escalas de entrada y salida, primera posición de precisión

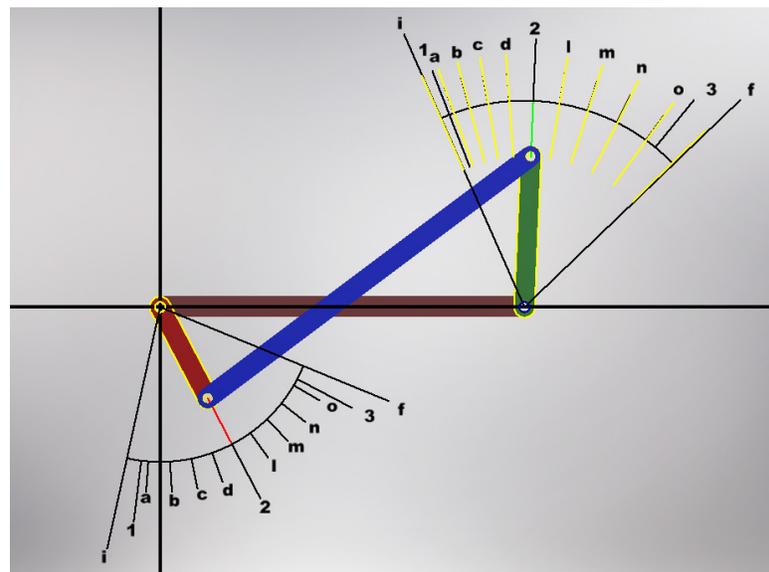


Figura 4. Mecanismo mostrando las escalas de entrada y salida, segunda posición de precisión

3.4 Parametrizado

Algunos de los parámetros utilizados, para obtener tantas soluciones como se desearon, se muestran en la Figura 5. Los denominados MF112N, MF113N, MSH112N y MSH113N; representan, respectivamente: $-\varphi_{12}/2$, $-\varphi_{13}/2$, $-\psi_{12}/2$ y $-\psi_{13}/2$. Con el mismo archivo de hoja electrónica de cálculo se controló tanto a los eslabones como al mecanismo.

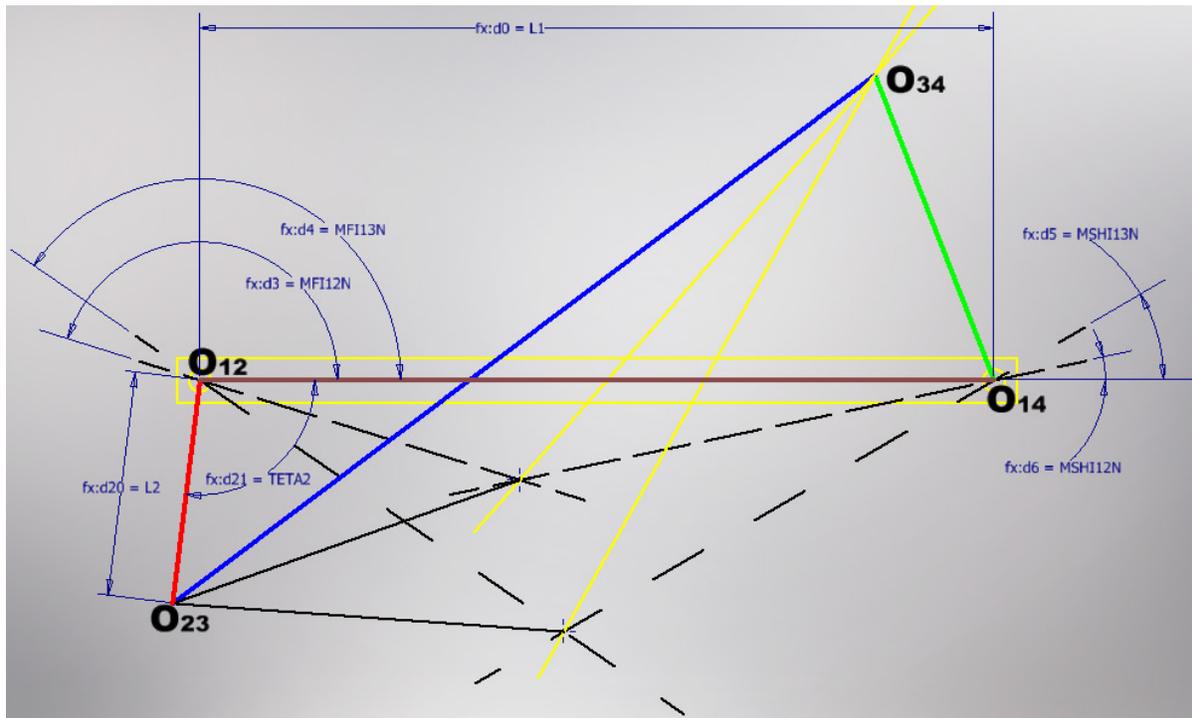


Figura 5. Ejemplo de parámetros utilizados

4. Resultados y discusión

Para evaluar la exactitud del mecanismo generador de la función cuadrática, se calculó el porcentaje de la variación de la posición angular medida, con respecto a la calculada, tomado como base el valor absoluto de $\Delta\psi$. Tal porcentaje fue cero en las tres posiciones de precisión; en las posiciones i, a, b, c, d, l, m, n, o y f; tales porcentajes fueron: 0.14330999863, 0.04631709800, 0.10681583825, 0.08441419688, 0.03155582975, 0.02870377800, 0.12319374350, 0.22090443625, 0.13229155925 y 0.56291187988; respectivamente. Sin perder de vista que se sintetizó un mecanismo generador de función cuadrática, el cual es conveniente que sea Grashof, que sea manivela oscilador, que la oscilación incluya como posibles (sin desarmar el mecanismo) las calculadas; se cambiaron datos de entrada obteniendo, efectivamente, tantas soluciones como se desearon. Con x_p , x_p PP, $y=x^2$ invariantes y con $\Delta\phi$, $\Delta\psi$, θ_2 , L_2 , L_1 variando; en la Tabla 2 se muestran tres soluciones que son Grashof, son manivela oscilador y constituyen solución teórica y real.



Tabla 2. Soluciones actualizadas

$\Delta\phi$	$\Delta\psi$	θ_2	L_2	L_1	L_3	L_4
90	-60	240	20	100	107.8877588146	29.6794942824
75	-55	245	25	72	72.7867686785	29.1896372552
45	-30	280	12	25	26.7529288087	17.5202007838

5. Conclusiones

Es posible sintetizar dimensionalmente cualquier mecanismo; de manera virtual, paramétrica y tridimensional; adicionalmente se puede simular para evaluar su comportamiento virtual con el deseado. El método presentado es suficientemente exacto y rápido; permitiendo obtener tantas soluciones como sean necesarias, ya que estas se actualizan al cambiar los datos de entrada.

6. Bibliografía

1. McGovern J. F. and Sandor G. N., Kinematic Synthesis of Adjustable Mechanisms-Part 1: Function Generation, *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 95, 2010.
2. Jiménez J. M. and Álvarez G., A Simple and General Method for Kinematic Synthesis of Spatial Mechanisms, Elsevier Science Ltd, *Mech. Mach. Theory* Vol. 32, Great Britain, pp. 323-341, 1997.
3. Puebla L. R. et al., Simulación de un Mecanismo Biela-Manivela-Corredera, 11° Congreso Nacional de Mecatrónica, ISBN: 978-607-95347-7-6, 2012.
4. Galeano U. C. H. et al., Aplicación de diseño óptimo dimensional a la síntesis de posición y velocidad en mecanismos de cuatro barras, *Universidad de Antioquia*, No. 47, pp. 129-144, 2009.
5. Vucina D. and Freudenstein F., An application of graph theory and nonlinear programming to the kinematic synthesis of mechanisms, *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 26 pp. 553-563, 1991.
6. Hartenberg, R. S., and Denavit, J., *Kinematic Synthesis of Linkages*, Mc Graw Hill, Nueva York, 1964.



Hacia el modelado de espectros de impedancia localizada: un caso ejemplo en la industria automotriz y en protección catódica

Rodrigo Mayen Mondragón ■ Rodrigo Montoya López ■ Juan Genesca Llongueras
Polo Universitario de Tecnología Avanzada. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México.
rmayen@unam.mx

1. Resumen

Se implementaron modelos unidimensionales y bidimensionales con el método del elemento finito (programa FlexPDE) para determinar espectros de impedancia global y localizada en sistemas electroquímicos reaccionantes. Se consideró transporte de masa por difusión, capacidad de la doble capa eléctrica y una capa porosa delgada depositada junto al electrodo. Se analizó la influencia de los mecanismos físicos participantes sobre el cambio de morfología de los espectros y se comparó cualitativamente con la morfología de espectros de impedancia experimentales (de pares galvánicos y ánodos de sacrificio) para su discusión. Se continúa trabajando en esta dirección para el desarrollo de modelos más avanzados.

2. Introducción

La Espectroscopia de Impedancia Electroquímica es ampliamente utilizada para el estudio de sistemas electroquímicos y de corrosión, gracias a su capacidad de resolver individualmente los diferentes mecanismos que participan en el proceso electroquímico (adsorción, reacción en la interfase, difusión, etc). Para el análisis de resultados los espectros se ajustan normalmente a un “circuito equivalente” que se construye con elementos eléctricos. La respuesta eléctrica individual o en grupo de éstos es similar a la de los mecanismos electroquímicos participantes. En la práctica, el análisis se suele complicar debido, en parte, a la heterogeneidad de las propiedades físicas de los componentes del sistema. Adicionalmente, con la introducción de la técnica de Espectroscopia de Impedancia Localizada (EIL) para realizar análisis puntuales en superficies, se han reportado espectros con morfologías significativamente diferentes a las



comúnmente observadas y cuyo ajuste a circuitos eléctricos convencionales es aún más complicado.

Con la finalidad de mejorar el entendimiento de las respuestas de impedancia localizada, nuestro grupo de investigación se ha dedicado a desarrollar modelos computacionales basados en el método del elemento finito. Se han incluido reacciones heterogéneas, transporte de masa por difusión, capacidad de la doble capa eléctrica y resistencia del electrolito. Se han considerado también propiedades distribuidas del electrodo (capacidad eléctrica y constante de velocidad de reacción heterogénea), y una película porosa junto a la superficie del electrodo (modelada como región homogénea con un coeficiente de difusión efectivo D_{ef}). El presente trabajo expone algunos resultados y compara cualitativamente con espectros experimentales de dos casos relevantes para corrosión: ánodos de sacrificio, y pares galvánicos en nuevos chasises automotrices.

3. Condiciones Experimentales

3.1 Determinaciones experimentales de impedancia

Como ánodo de sacrificio se seleccionó una aleación de Al-14% Zn-8% Mg, montada en un electrodo de disco rotatorio y sumergida en una solución acuosa de agua marina sintética. Los espectros de impedancia se determinaron a un potencial catódico $E_{cat} = -1.2$ V vs EEC (Electrodo Estándar de Calomel), barriendo de 10 kHz a 10 mHz. Detalles más específicos se pueden consultar en ^[1]. Como par galvánico se acopló una aleación de aluminio 6061 (AA) a una de acero al carbón (AC) y se sumergió en una solución de cloruro de sodio al 3%. Los espectros de impedancia localizada se determinaron al potencial de corrosión (E_{corr}), barriendo de 10 kHz a 10 mHz. Detalles más específicos se pueden consultar en ^[2].

3.2 Modelos computacionales

Los modelos en dominios unidimensionales y bidimensionales se implementaron con ayuda del programa FlexPDE v. 6.23 resolviendo un sistema de ecuaciones diferenciales parciales en el dominio complejo. En su forma más simple se resolvió la ecuación de difusión para una sola especie reactiva (A) y un producto (B), tal como se muestra en la Ecuación 1:

$$i\omega C_k + \nabla \cdot (-D_k \nabla C_k) = 0 \quad (1)$$



donde i es la unidad imaginaria, ω es la frecuencia angular de la perturbación de impedancia, D_k es el coeficiente de difusión de la especie k y C_k es la concentración de la especie k . Como condición de frontera en la superficie del electrodo se utilizó:

$$-D_k \nabla C_k = \frac{J}{nF} \tag{2}$$

donde J es la relación corriente-sobrepotencial para la reacción heterogénea en cuestión, n es el número de electrones transferidos y F es la constante de Faraday. En el seno del electrolito se utilizaron dos condiciones diferentes. Para frontera transmisiva se fijó el valor de concentración de las especies ($C_k = C_k^*$). Para frontera aislante (reflectiva) no hay flux de especies ($-D_k \nabla C_k = 0$). Los modelos se resolvieron utilizando valores arbitrarios de D_k , C_k^* , coeficiente de transferencia de carga (α_c) y constante estándar de velocidad de reacción (k^0). Lo cual fue suficiente para fines de comparación cualitativa.

4. Resultados y discusión

El modelo computacional unidimensional permite generar espectros de impedancia en el plano complejo con todas las características típicas, resultando de la competencia entre transporte por difusión de especies y reacción heterogénea en superficie de electrodo (Figura 1). A bajas frecuencias (A), la recta inclinada a 45° identifica la típica contribución por difusión semi-infinita (impedancia de Warburg). A mayores frecuencias (B) se observa un semicírculo capacitivo que combina la resistencia a la transferencia de carga en la superficie del electrodo y la capacidad de la doble capa eléctrica adyacente.

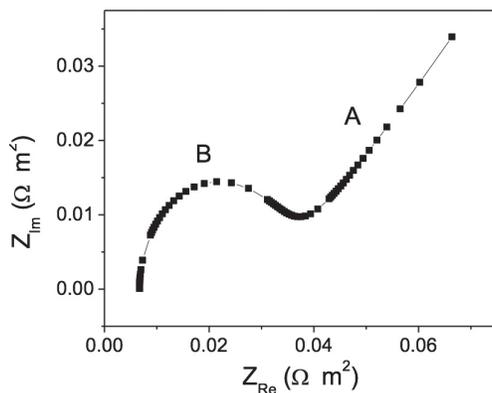


Figura 1. Diagrama de impedancia en el plano complejo obtenido con el modelo computacional unidimensional considerando transporte de masa (difusión semi-infinita), transferencia de carga heterogénea y capacidad de la doble capa eléctrica: A) zona de difusión, B) semicírculo capacitivo



Reduciendo suficientemente el espesor de la región disponible para el transporte de las especies o incrementando el coeficiente de difusión de las mismas, se pueden modelar dos casos distintos de impedancia con difusión de longitud finita. Si se considera el seno de la solución como una frontera transmisiva se obtiene el espectro de impedancia de la Figura 2a. A bajas frecuencias (A) se observa la zona de difusión como una especie de semicírculo cuya parte izquierda la conforma una recta inclinada a 45°. Dentro de dicha zona, para los valores más bajos de frecuencia, las especies encuentran tiempo suficiente para difundir hasta la frontera transmisiva, resultando en un perfil de concentraciones recto (no mostrado aquí). A medida que la frecuencia se incrementa, el tiempo disponible para el transporte se reduce y éstas ya no alcanzan a llegar a dicha frontera. De esta manera, el sistema retorna al modo de difusión semi-infinita que lleva a la recta inclinada a 45° en el plano complejo. A frecuencias más altas (B) se observa nuevamente el semicírculo capacitivo que combina la resistencia a la transferencia de carga y la capacidad de la doble capa.

Cambiando la naturaleza de la frontera en el seno de la solución de transmisiva a reflectiva se obtiene la Figura 2b. A bajas frecuencias (A), el semicírculo difusivo que se observaba en la Figura 2a se abre ahora en su extremo derecho simulando la respuesta de un condensador (frontera bloqueadora). Al igual que en la Figura 2a, para valores mayores de frecuencia se vuelve a observar la característica línea de difusión semi-infinita con pendiente de 45°. A frecuencias todavía más altas (B) se identifica el típico semicírculo R-C de la reacción heterogénea de electrodo.

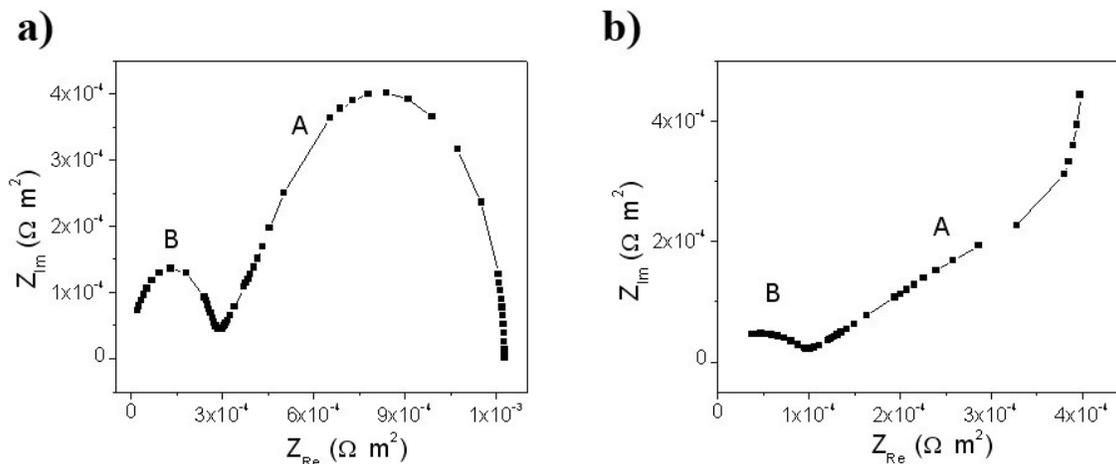


Figura 2. Diagramas de impedancia en el plano complejo obtenidos con el modelo computacional unidimensional considerando transporte de masa (difusión de longitud finita), transferencia de carga heterogénea y capacidad de la doble capa eléctrica.

- a) frontera transmisiva: A) zona de difusión, B) semicírculo capacitivo.
- b) frontera reflectiva: A) zona de difusión, B) semicírculo capacitivo



El modelo computacional bidimensional, aunque más complicado de resolver (numéricamente hablando), permite visualizar el efecto de propiedades físicas distribuidas (especialmente heterogéneas) sobre los espectros de impedancia. Adicionalmente, permite generar espectros de impedancia localizada y compararlos con los de impedancia global (obtenidos integrando las respuestas locales a lo largo de la superficie del electrodo).

La Figura 3a muestra la variedad morfológica que resulta en los espectros de impedancia (global y localizada) cuando la capacidad de la doble capa eléctrica se distribuye de forma Gaussiana sobre la superficie del electrodo. La Figura 3b muestra el efecto de una capa porosa adyacente a la superficie del electrodo (por ejemplo, capa de óxidos) sobre el espectro de impedancia global del sistema. Se consideró $D_{ef} < D_k$. La presencia de dicha capa introduce una componente adicional de difusión de longitud finita (frontera transmisiva) que aparece a las frecuencias más bajas (A). Posteriormente se observa la zona de difusión semi-infinita a través del electrolito líquido (B) y finalmente el semicírculo R-C (C).

Aún cuando los espectros experimentales de impedancia localizada son más difíciles de interpretar que los de impedancia global, debido a las morfologías tan poco convencionales que pueden llegar a presentar, el análisis con modelos facilita entender algunas de las características principales para correlacionarlas con los fenómenos físicos que se llevan a cabo.

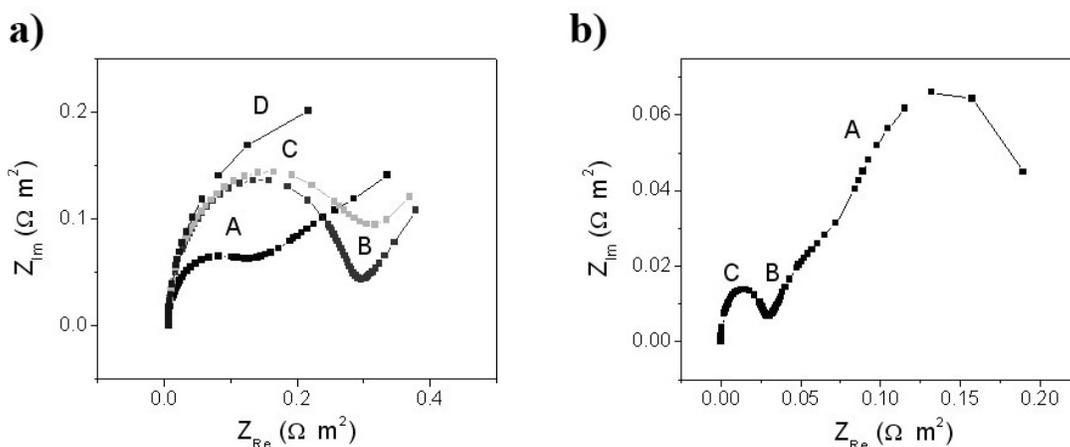


Figura 3. Diagramas de impedancia en el plano complejo obtenidos con el modelo computacional bidimensional considerando transporte de masa, transferencia de carga heterogénea y capacidad de la doble capa eléctrica. a) modelo de capacidad de doble capa eléctrica como función Gaussiana a lo largo del electrodo: A) espectro global, B) a D) espectros locales en regiones arbitrarias del electrodo b) espectro global incluyendo una capa porosa adyacente a la superficie del electrodo: A) zona de difusión (longitud finita), B) zona de difusión semi-infinita (electrolito), C) semicírculo capacitivo

La Figura 4a presenta cuatro espectros de impedancia localizada determinados sobre la superficie del par galvánico AA-AC (relación de áreas 0.5:1, respectivamen-



te), de interés en la industria automotriz. Sobre la superficie del aluminio (A, B) se observan zonas extendidas de control por transporte de masa (difusión finita). Estando el aluminio anódicamente polarizado, se disuelve con la formación de una capa porosa de productos de corrosión no estable. A través de dicha capa difunden los iones que reaccionan en la superficie del metal (H^+ , OH^- , Cl^-) [3]. El pequeño semicírculo capacitivo en la zona de altas frecuencias indica una rápida reacción heterogénea. En la región anódica la reacción es entonces controlada por transporte de masa. Por otro lado, en la superficie del acero, se observan semicírculos capacitivos de mayor diámetro, apuntando a una menor velocidad de reacción que es la reducción del oxígeno (control por activación). Aparentemente, las condiciones de medición permiten un suministro adecuado de oxígeno a la superficie y por ello no se observa control por transporte en el rango de frecuencias probado. Las variaciones de los espectros en la vecindad de la unión entre ambos metales pueden analizarse en función del cambio en los potenciales a través de dicha región. La Figura 4b presenta los espectros de impedancia global determinados sobre el ánodo de sacrificio de composición Al-14% Zn-8% Mg, a velocidades de rotación de electrodo de 3000, 5000 y 7000 RPM. Se observa claramente la zona de difusión de longitud finita a bajas frecuencias que se reduce al incrementar la velocidad de rotación. Esto resulta de la reducción en tamaño de la capa límite de difusión a través de la cual fluye el oxígeno como del cambio en espesor de la capa porosa de productos de corrosión [1]. Una ampliación en la región de altas frecuencias (Figura 4b inserto) muestra trazas del pequeño semicírculo capacitivo, indicando que la reacción de reducción del oxígeno es favorecida por el alto sobrepotencial catódico aplicado (recordar que el electrodo está catódicamente polarizado) [1].

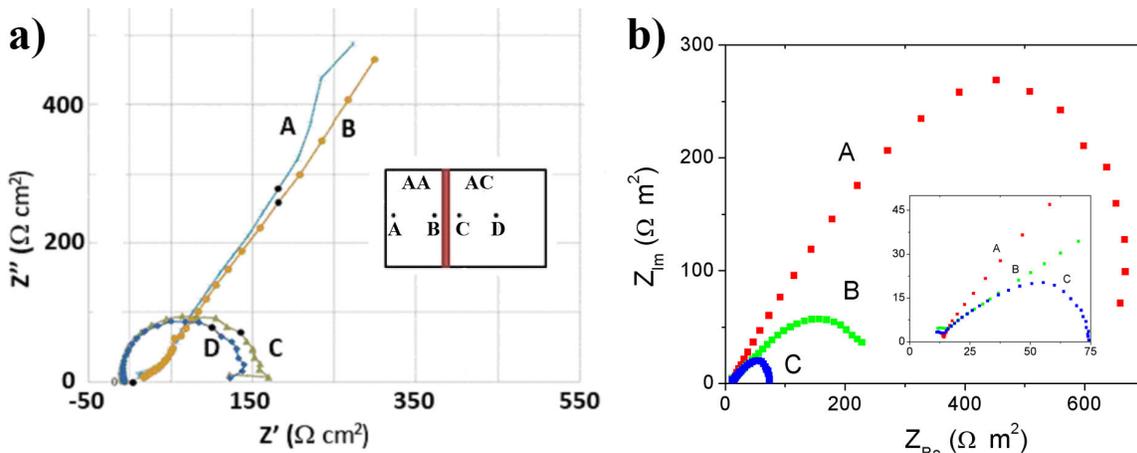


Figura 4. Espectros experimentales de impedancia en el plano complejo.

- a) impedancia localizada por galvánico aluminio 6061 (AA) y acero al carbón automotriz (AC), relación de áreas 0.5:1, solución 3% NaCl
- b) impedancia global ánodo de sacrificio Al-14% Zn-8% Mg a velocidades de rotación de electrodo de disco rotatorio: A)1000 RPM, B) 3000 RPM, C) 5000 RPM



5. Conclusiones

Los modelos computacionales desarrollados ayudaron a identificar mecanismos físicos participantes en espectros de impedancia experimentales con morfologías distorsionadas. Se requiere todavía desarrollar modelos más avanzados especialmente en relación a la capa porosa sobre el electrodo. Actualmente se está trabajando en ello.

6. Bibliografía

1. Quevedo M. C., Galicia G., Mayen-Mondragon R., Genesca Llongueras J., Role of turbulent flow seawater in the corrosion enhancement of an Al-Zn-Mg alloy: an electrochemical impedance spectroscopy (EIS) analysis of oxygen reduction reaction (ORR), *J. Mater. Res. Technol.* V.7, 149–157 (2018).
2. Rojas R., Galicia G., Genesca J., Borrego A., Tribollet B., Vivier V., Caracterización Electroquímica de CD-CA Aplicadas al Estudio del Par Galvánico Aluminio 6061-Acero al Carbono en Medio Salino, *Foro de Ingeniería e Investigación en Materiales.* V. 10, 320-327 (2013).
3. Mazhar A. A., Badawy W. A., Abou-Romia M. M., Impedance Studies of Corrosion Resistance of Aluminum in Chloride Media, *Surf. Coat. Tech.* V. 29, 335-345 (1986).



Desarrollo experimental de un sistema Disco-Stirling

Gustavo Pedro Jiménez-Placer ■ Daniel Zambrano ■ Amado Vitali
Martin Morandi ■ Nicolas Antonelli

Universidad Nacional de General Sarmiento. Argentina
gplacer@ungs.edu.ar

1. Resumen

La utilización de energías renovables es cada día más importante, no por el temor de falta de combustibles tradicionales, sino por su impacto en la salud de las personas y el ambiente. En este marco se desarrolló un proyecto cuyo objetivo fue ahondar en el camino señalado, experimentando en la generación y aprovechamiento de energía mediante una fuente inagotable como lo es la energía solar. Con este fin, se desarrolló, una plataforma compuesta por un concentrador solar parabólico y un motor de ciclo Stirling, que puede utilizarse con fines educativos y de investigación, sirviendo como prototipo para un modelo a escala real que se está implementado en la universidad. Para el caso particular de la investigación, se estudió la eficiencia del sistema, partiendo de la realización de un análisis termográfico para la determinación de la temperatura en el foco del concentrador parabólico del sistema. El objetivo educativo del proyecto se centra en la utilización del sistema para el desarrollo de prácticas que involucran asignaturas de distinto tronco, como electrónica, mecánica y electricidad, materias formativas dentro de la carrera Ingeniería Electromecánica que se dicta en la universidad.

2. Introducción

El uso eficiente de la energía solar, implica en algunos casos la utilización de concentradores solares de tipo paraboloide, permitiendo de esta forma concentrar la radiación en un área pequeña, siendo esta el foco correspondiente al paraboloide. Dentro de la zona de concentración de los rayos solares (foco) es posible instalar un sistema de transformación de energía solar a mecánica, para lo que en este caso se utiliza un motor de ciclo Stirling. Para optimizar el sistema



se adiciona una pantalla concentradora reflectora, y así obtener una mayor diferenciación entre la fuente fría y caliente dentro de la estructura del motor, mejorando de esta manera el rendimiento y funcionamiento del ciclo térmico. Este motor produce el movimiento de un generador eléctrico que se encuentra acoplado al eje, el que a su vez alimenta un conjunto de leds de alta luminosidad, simulando el consumo de energía. El sistema fue diseñado para generar y consumir en tiempo real la energía, no teniendo un sistema de acumulación.

Se diseñó y construyó un sistema de control, que permite mantener la orientación del paraboloide, aprovechando de esta manera la incidencia perpendicular de los rayos solares, mejorando la radiación directa y logrando mayor nivel de eficiencia.

Se desarrolló un sistema de orientación del tipo elevación-acimutal (Figura 1) que permite que el disco concentrador instalado, gire en un plano paralelo a la tierra (acimut) y en otro plano perpendicular a la misma (altitud). Estos sistemas proporcionan al colector la capacidad de rotar a izquierda / derecha y arriba / abajo mediante el uso de un servomotor de baja potencia.

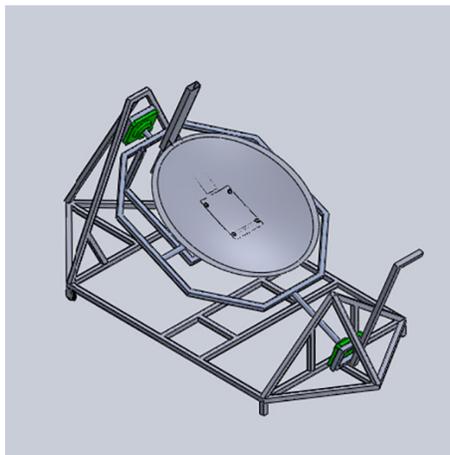


Figura 1. Diseño en 3D de la estructura desarrollada (elevación-acimutal)

3. Condiciones experimentales

3.1 Marco teórico

Los sistemas de Disco - Stirling pueden utilizar un régimen de seguimiento solar en uno o en dos ejes. El disco posee una superficie reflectante que, ya sea de metal, de vidrio o de plástico, que reflejan la radiación solar incidente en una pequeña región llamada foco, o zona focal. El tamaño del concentrador está determinado por el tipo de motor. El colector tiene un motor de combustión externa tipo Stirling ubicado en su foco. El colector realiza seguimiento solar continuo, de manera que los rayos solares son concentrados en la zona focal (receptor).



El motor Stirling utiliza la diferencia de temperatura entre la fuente fría (atmosfera) y la fuente caliente (zona focal).

El motor lleva acoplado un generador, de manera que dentro de un mismo bloque situado en el foco del colector se realiza la conversión termodinámica de la energía solar en electricidad que puede acumularse, inyectar en la red eléctrica o destinarla a consumo directo en alguna aplicación próxima al lugar de emplazamiento utilizado^[1].

La utilización del ciclo Stirling permite una fuente externa de calor que admite la utilización de un fluido cuasi ideal (aire, helio o hidrógeno) en el ciclo, lo que influirá en el rendimiento de este. Para el presente desarrollo se eligió una configuración mecánica particular (Gamma) dada su simplicidad y sencillez constructiva. Los elementos a tener en cuenta en el ciclo son el cilindro, el pistón, el fluido y el desplazador^[2].

3.2 Estructura del sistema concentrador

Para mejorar el aprovechamiento de la energía solar y lograr una mayor diferencia de temperatura en el ciclo, fue necesario desarrollar un concentrador solar que permite obtener una alta temperatura en su zona focal. Para este fin, fue adaptada una pantalla parabólica que normalmente se usa en el área de las telecomunicaciones, que se acondiciono mediante la adhesión de papel reflectante, que fue seleccionado después de diversas pruebas, teniendo en cuenta su índice de reflexión y su comportamiento ante los rayos UV. Para una mejor solución, se cubrió la superficie mediante la adhesión de recortes cuadrangulares, obteniendo menor dispersión de los rayos solares y por lo tanto una mejor concentración en la zona focal (Figura 2). Se realizaron determinaciones del factor de concentración de la pantalla concentradora. Para ello se tuvo en cuenta que idealmente, cuando un rayo incidente es paralelo al eje de simetría del colector, el rayo reflejado converge en un punto el cual es el foco del colector. Sin embargo, hay múltiples factores en la realidad que inciden en que el foco no sea un punto sino un área, llamada zona o área focal. Desde la Tierra, el sol se ve como un disco circular que subtende un ángulo de 32° de arco. Como una primera aproximación, se puede suponer que la intensidad de radiación es uniforme sobre el disco solar. En realidad, el sol es más brillante en su centro y decae hacia los bordes^[3].

Por este motivo se decidió calcular el factor de concentración para luego compararlo con el obtenido de manera experimental y obtener un indicador de la eficiencia del concentrador. El factor de concentración se puede calcular de forma teórica simplemente dividiendo la superficie del concentrador sobre la superficie del absorbedor del Stirling, de esta forma obtenemos un factor de concentración.



Figura 2. Parabola/ zona focal

Para la estructura de soporte se utilizó caño cuadrado de 20x20 con una sección de 1.2mm, material fácil de trabajar y que resulta versátil al diseñar y construir estructuras.

Determinados los ángulos que debían ser barridos por el concentrador, teniendo en cuenta el movimiento relativo sol-tierra, se determinaron los parámetros necesarios para que la estructura permita aprovechar la incidencia de los rayos solares. Para ello se utilizó el análisis de estudios realizados sobre estructuras existentes^[4] (Figura 3).

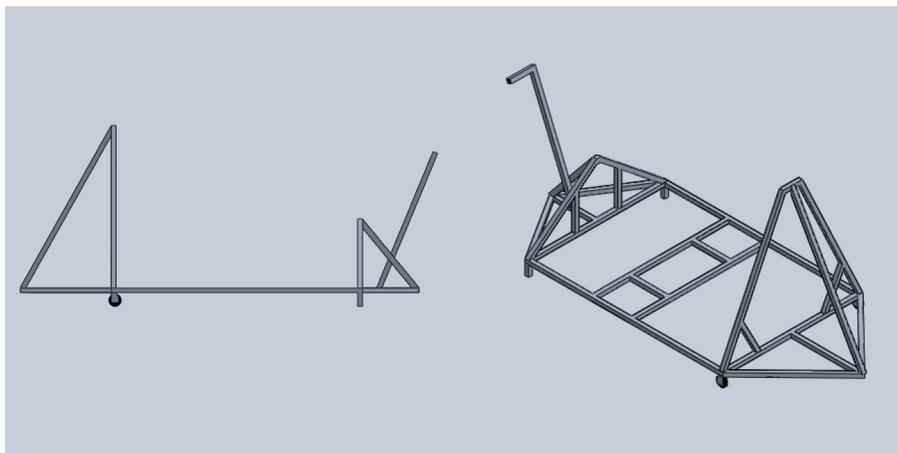


Figura 3. Dibujo 3D de la estructura general

Para obtener el movimiento del disco fue necesario diseñar las piezas que permiten el montaje de los motores y el sistema mecánico de seguimiento.

Finalmente, se le agregaron ruedas en la parte trasera y patas en la parte delante para que la estructura pueda ser fácilmente transportable. Se realizó un análisis de



tensiones en el marco estructural a fin de minimizar la cantidad de material a utilizar (Figura 4).

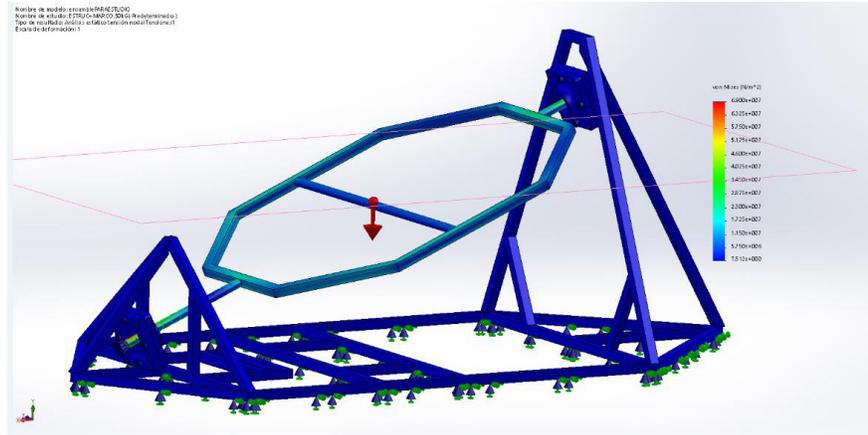


Figura 4. Análisis de tensiones de la estructura general

3.3 Control de movimiento y sensado

Debido a la necesidad de maximizar la concentración de los rayos solares en la zona focal, es necesario seguir al sol en su trayectoria diurna. Para permitir el seguimiento constante del sol tanto en el movimiento azimutal como en el cenital se colocaron sensores LDR's que transformen la energía obtenida del sol en energía eléctrica. Si bien estos no poseen una curva característica lineal a lo largo de todo el rango, se obtuvieron resultados razonables si se mantienen dentro del rango que va desde 125000 a 40000 Lux. Por esta razón se desarrolló un circuito de medición (Figura 5), para el cual se diseñaron y elaboraron, tubos y diafragmas que permitieron limitar la cantidad de luz que llega a los sensores para evitar el problema de la saturación que se ve cuando estos son expuestos al sol directamente, este sistema funciona básicamente limitando el ángulo de incidencia de los rayos solares que llegan al sensor, lo que se busca es que dicho ángulo sea igual al tamaño angular del sol, de esta forma el diafragma permite mantener las proporciones del ángulo para la precisión necesaria y seguir el sol de manera eficaz^[5].

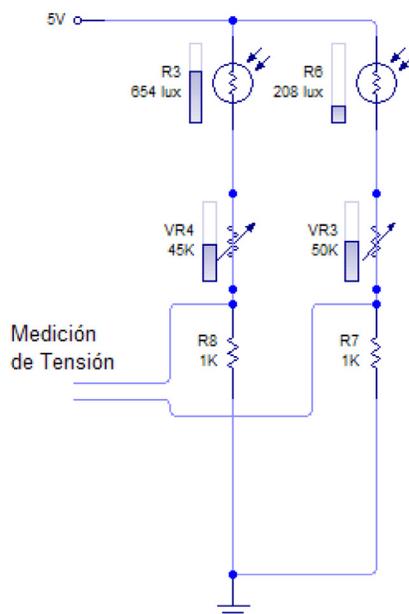


Figura 5. Esquema del circuito electrónico de medición

Para controlar el movimiento en el eje cenital, la solución más adecuada fue encontrar el ángulo de mejor aprovechamiento lumínico, la plaqueta controladora del sistema (desarrollo de la propia universidad) controla el movimiento en base a la época del año en que se encuentra. Se observó que la variación en el ángulo en este movimiento va desde 3° a 11° de un mes al siguiente, lo que significa que obtenemos un error máximo de $5,5^\circ$, incluso se puede reducir tanto como quiera al hacer el cambio de ángulo cada intervalos más pequeños.

El ángulo cenital según los meses del año varía, por lo que si deseamos reducir el error o estableciendo un error máximo de $2,75^\circ$, se debe realizar el cambio cada 15 días. Para la programación del sistema de control fue utilizado un microprocesador y una placa desarrollada en la universidad y se utilizó el entorno de programación Bascom AVR.

4. Resultados y Discusión

Para determinar con exactitud la ubicación de la zona focal se realizó una prueba con la cámara termográfica disponible en la universidad, se tomaron imágenes de la zona focal desde diferentes ángulos para que al compararlas se pudo estimar la ubicación del foco, además se midió temperatura de la parábola, con lo cual se pudo calcular con mayor precisión el factor de concentración. Con las pruebas realizadas se alcanzó en el foco una temperatura de 257°C (Figura 6).



Se considera que se cumplieron todos los objetivos planteados, y la experiencia adquirida en este desarrollo, se está utilizando para la construcción de un sistema Disco-Stirling de mayor tamaño (Disco de 2,30m).



Figura 6. Termografía zona focal

5. Conclusiones

La realización de este trabajo permitió adquirir la experiencia necesaria para la implementación de sistemas concentradores solares, y seguir de esta manera en el camino del desarrollo de sistemas más eficientes, con el agregado del sistema de seguimiento, lo que optimiza el aprovechamiento de la energía solar. La construcción y diseño de la maqueta permite contar con un dispositivo facilitador para la enseñanza y desarrollo de tecnologías vinculadas a las energías renovables, especialmente en el ámbito académico de la universidad y dentro de la currícula de la ingeniería electromecánica.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Steimle, Stirling Maschinen Technik, CF Müller Verlag Heidelberg, 1996, ISBN 3-7880-7583-X.
2. José E. Ruelas Ruiza, Nicolás Velázquez Limón b, Ricardo BeltránChacón c, Diseño de un Concentrador Solar Acoplado a un Motor Stirling Fijo. Ingeniería Mecánica Tecnología y desarrollo, Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica Vol 4 No.1 (2011).
3. A compendium of Solar Dish Stirling Systems -. William B. Stine, California State Polytechnic University and Richard B. Diver, Sandia National laboratories. January, 1994.
4. José Luis García Campuzano, Luis Santiago Paris Londoño, Diseño de un Sistema Prototipo de Conversión de energía solar en potencia mecánica compuesto por un



Concentrador solar y un motor Stirling. Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI2011), Engineering for a Smart. Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development, August 3-5, 2011, Medellin, Colombia.

5. Daniel Hoyos, Marcelo Gea, Carlos Cadena y Ricardo Echazú, INENCO-Instituto UNSa. – CONICET, Universidad Nacional de Salta, Diseño y Construcción de Seguidores Solares. Análisis y Comparación. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 12, 2008. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184



Análisis exergético del ciclo de refrigeración del propano

César Augusto Machuca Mejía ■ Carlos Rogelio Tapia-Medina

Departamento de Energía.
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco.
csr.machuca@gmail.com

1. Resumen

Se presenta el análisis exergético del ciclo de refrigeración por compresión usando como refrigerante el R-290 (propano). Para el cálculo de las propiedades termodinámicas es utilizada la ecuación de estado de Soave-Redlich-Kwong. Como herramientas matemáticas, se emplea el método de Cardano para encontrar las raíces de la ecuación cúbica del factor de compresibilidad (Z) y el método de Simpson 3/8 para calcular los cambios de entalpía y entropía de gas ideal. Los resultados obtenidos muestran una gran dependencia de la eficiencia exergética y el coeficiente de operación (COP), con la temperatura del condensador.

2. Introducción

Un ciclo de refrigeración por compresión de vapor, Fig. 1, consta básicamente de 4 etapas: 1.- Evaporación del refrigerante, suministrando calor al ciclo. 2.- Compresión, del refrigerante, aumentando su presión y temperatura, para este trabajo se considera una compresión isoentrópica. 3.- Condensación del refrigerante, disipando calor al exterior y 4.- Estrangulamiento del fluido, provocando una caída de presión isoentálpica.

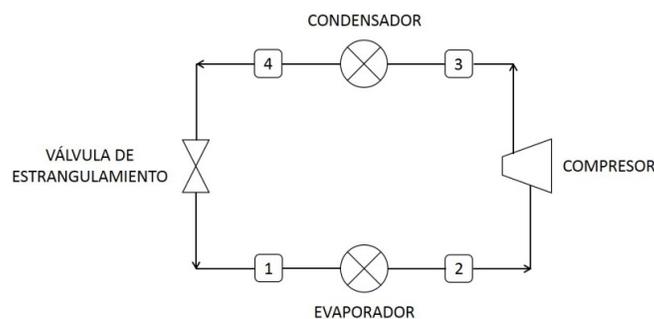


Figura 1. Ciclo de refrigeración por compresión.



En el ciclo descrito anteriormente, es de suma importancia la optimización de los recursos energéticos consumidos, ya que constituye la base del funcionamiento de tecnología indispensable para la vida diaria de la humanidad: refrigeración de infinidad de alimentos, medicinas, órganos, etc.; la climatización de zonas que de otra manera no tendrían un confort térmico; procesos industriales esenciales, como la licuefacción de gases, etc.^[1]

Durante mucho tiempo los compuestos clorofluorocarbonados fueron ampliamente usados y pese a su buen funcionamiento dentro de los ciclos de refrigeración, se han ido sustituyendo debido al daño que causan a la capa de ozono^[2]. Es por eso que este trabajo también versa sobre el uso del propano como alternativa a estos compuestos, habiendo sido reportados en la literatura estudios usando desde mezclas propano/butano^[3] hasta mezclas de agua-amoniaco empleando energía solar para incrementar la temperatura en la etapa de evaporación.^[4] El concepto termodinámico utilizado es el de la exergía, que combina las dos primeras leyes de la termodinámica para proporcionar la cantidad de trabajo útil que se puede obtener de un sistema, suponiendo la irreversibilidad del mismo y su interacción con las condiciones ambientales que lo rodea^[5].

3. Metodología

Fue empleada la ecuación de Soave-Redlich-Kwong^[6] para el cálculo del factor de compresibilidad (z), entalpía y entropía residuales, ecuaciones (1) – (3).

$$Z^3 - Z^2 + Z(A - B - B^2) - AB = 0 \quad (1)$$

$$\widehat{H}^R = \left[Z - 1 - \frac{A}{B} \left(1 - \frac{Tda}{adT} \right) * \ln \left(1 + \frac{B}{Z} \right) \right] * RT \quad (2)$$

$$\widehat{S}^R = \left[\ln(Z - B) + \frac{A}{B} \left(\frac{Tda}{adT} \right) * \ln \left(1 + \frac{B}{Z} \right) \right] * R \quad (3)$$

$$\widehat{\Delta H}^{gi} = \int_{T_1}^{T_2} (A + BT + CT^2 + DT^3) dT \quad (4)$$

$$\widehat{\Delta S}^{gi} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{(A + BT + CT^2 + DT^3)}{T} dT - R \int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{P} \quad (5)$$

Para la solución de la ecuación (1) fue empleado el método de Cardano^[7], una vez encontrado el factor de compresibilidad para vapor y líquido dependiendo de la



etapa estudiada, este valor era sustituido en (2) o (3) para encontrar la entalpía o entropía residual respectivamente.

El cálculo de los cambios de entalpía y entropía de gas ideal, ecs. (4) y (5) se realizó mediante el método de Simpson de $3/8$ ^[8]. Los resultados globales se muestran en la Tabla 1.

Para el análisis exergético fueron empleadas las siguientes ecuaciones^[9], siendo empleado el balance de exergía para un volumen de control:

$$\sum \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) \dot{Q} + \dot{W} + \sum \dot{m}_e \widehat{E}_e - \sum \dot{m}_s \widehat{E}_s - \dot{i} = 0 \quad (6)$$

Tenemos que aplicando el balance de (6) para el evaporador,

$$\dot{i}_{eva} = \dot{m} \left[\left(1 - \frac{T_o}{T}\right) (\widehat{H}_2 - \widehat{H}_1) + T_o (\widehat{S}_2 - \widehat{S}_1) - (\widehat{H}_2 - \widehat{H}_1) \right] \quad (7)$$

De manera similar para el compresor,

$$\dot{i}_{comp} = \dot{m} [T_o (\widehat{S}_3 - \widehat{S}_2) - 2(\widehat{H}_3 - \widehat{H}_2)] \quad (8)$$

Para el condensador aplicando (6),

$$\dot{i}_{cond} = \dot{m} \left[\left(1 - \frac{T_o}{T_{prom}}\right) (\widehat{H}_4 - \widehat{H}_3) + T_o (\widehat{S}_4 - \widehat{S}_3) - (\widehat{H}_4 - \widehat{H}_3) \right] \quad (9)$$

Donde la T_{prom} es la media entre la temperatura de entrada y salida del compresor. Finalmente la aplicando (6) a la válvula de estrangulamiento tenemos,

$$\dot{i}_{val} = \dot{m} T_o (\widehat{S}_1 - \widehat{S}_4) \quad (10)$$

Siendo la eficiencia exergética definida como la diferencia de las exergías másicas entre la salida y la entrada del evaporador y el trabajo utilizado por el compresor,

$$\eta_{exer} = \frac{\dot{m} (\widehat{E}_2 - \widehat{E}_1)}{W} * 100 \quad (11)$$

Donde,

$$\widehat{E}_i = (\widehat{H} - \widehat{H}_o) - T_o (\widehat{S} - \widehat{S}_o) \quad (12)$$



Los resultados generales se muestran en la Tabla 2.

4. Resultados y discusión

Tomando en cuenta un proceso isoentálpico a través de la válvula de estrangulamiento e isoentrópico en el compresor, obtuvimos los resultados abajo mostrados, cabe resaltar que consideramos a la corriente 2 como vapor saturado y la corriente 4 como líquido condensado, además de contar con un flujo de 18.14 kg/min.

Tabla 1. Resumen de los resultados de entalpía y entropía de las diferentes corrientes.

Corriente	Presión	Temperatura	Entalpía	Entropía
	(bar)	(°C)	(kJ/mol)	(J/mol K)
1	3.004	-15	5.8675	-59.3965
2	3.004	-15	20.4417	-3.1648
3	7	17.92	22.1813	-3.1648
4	7	17.92	5.8675	-60.1158

Tabla 2. Resumen de los resultados de exergía para los diferentes equipos.

Equipo	Exergía
	(MJ/h)
Evaporador	-1.6270
Compresor	9.6782
Condensador	270.0464
Válvula de estrangulamiento	5.2049

Con los valores arriba mostrados, obtenemos un COP de 7.68 y una eficiencia exergética de 1, esto quiere decir que estamos en la mayor eficiencia posible del sistema. Sin embargo, al variar la temperatura de condensación, vemos que la eficiencia exergética se ve severamente afectada.

Se detectó que al aumentar la temperatura, la eficiencia isoentrópica del compresor aumentaba, sin embargo la exergética disminuía. La Fig. 2 muestra la gráfica de eficiencia exergética del evaporador, la eficiencia isoentrópica del compresor y el COP.

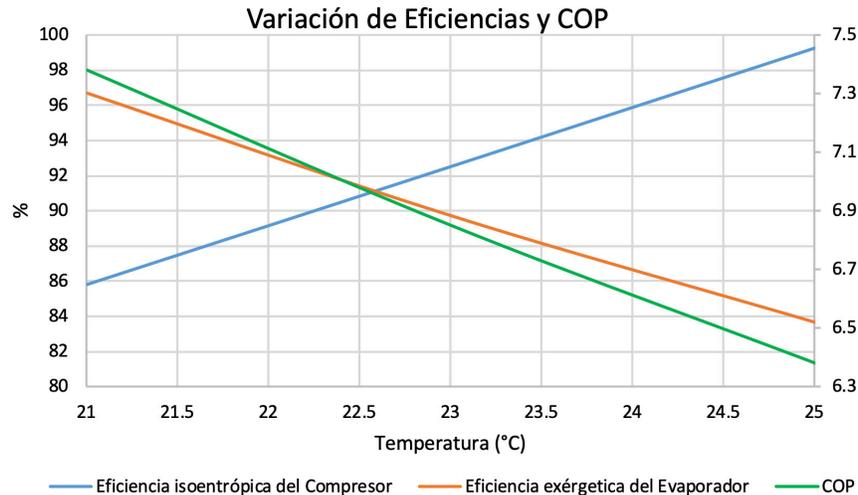


Figura 2. Variación de eficiencia isoentrópica del compresor, exérgica del evaporador y COP.

5. Conclusiones

El cálculo de la exergía es una herramienta que facilita el análisis de eficiencia de sistemas térmicos, usando como base la irreversibilidad de los mismos.

En este trabajo, encontramos que al aumentar la temperatura del evaporador, se incrementa la eficiencia isoentrópica del compresor, pero disminuyen tanto el coeficiente de operación (COP) del ciclo, como la eficiencia exérgica del evaporador. Tomando como base este comportamiento, podemos decir que el funcionamiento óptimo del ciclo se encuentra cuando el evaporador opera alrededor de los 22.5 °C.,

6. Siglas

- \hat{H}^R : Entalpía másica residual, en kJ/mol.
- $\Delta\hat{H}^{gi}$: Entalpía másica para gas ideal, en kJ/mol.
- Z : Factor de compresibilidad.
- A, B : Variables de la ecuación de SRK.
- T : Temperatura, en K.
- α : Factor acéntrico por la función de alfa, en $(\text{cm}^3/\text{mol})^2 \text{ bar}$.
- R : Constante de los gases ideales, en $\text{cm}^3 \text{ bar}/(\text{mol K})$ y también en $\text{J}/(\text{mol K})$.
- \hat{S}^R : Entropía másica residual, en $\text{J}/(\text{mol K})$.
- $\Delta\hat{S}^{gi}$: Entropía másica para gas ideal, en $\text{J}/(\text{mol K})$.
- P : Presión, en bar.
- T_o : Temperatura del estado muerto o ambiente, en K.



- \dot{Q} : Calor suministrado o extraído al sistema, en kJ/kg.
- \dot{W} : Trabajo aplicado al compresor, en kJ/h.
- \dot{m}_e : Flujo másico de entrada al sistema, en kg/h.
- \dot{m}_s : Flujo másico de salida al sistema, en kg/h.
- \hat{E}_e : Exergía másica de entrada, en kJ/kg.
- \dot{I} : Exergía o irreversibilidad del sistema, en kJ/h.
- \dot{I}_{eva} : Exergía del evaporador, en kJ/h.
- \dot{m} : Flujo másico del sistema, en kg/h.
- \dot{I}_{comp} : Exergía del compresor, en kJ/h.
- \dot{I}_{cond} : Exergía del condensador, en kJ/h.
- T_{prom} : Temperatura promedio entre la entrada y salida del condensador, en K.
- η_{exer} : Eficiencia exergética en el evaporador, en %.
- \hat{H}_o : Entalpía del estado muerto o ambiente, en kJ/mol.
- \hat{S}_o : Entropía del estado muerto ambiente, en J/(mol K).

7. Bibliografía

1. Parise, J., Pitanga-Marques, R. The Role of Heat Transfer in Refrigeration, Heat Transfer Engineering, V. 26 (2005).
2. Cenk, H., Emre. A. Energy and Exergy Analysis of Vapor Compression Refrigeration System Using Pure Hydrocarbon Refrigerants, International Journal of Energy Research, V. 33, 1070-1075 (2009).
3. Fatouh, M., El-Kafafy, M. Assessment of Propane/Comercial Butane Mixtures as Possible Alternatives to R134a in Domestic Refrigerators, Energy Conversion and Management, V. 47, 2644-2658 (2006).
4. Kaushik, S., Bhardwaj, S. Theoretical Analysis of Ammonia-Water Absorption Cycles for Refrigeration and Space Conditioning Systems, Energy Research, Vol. 6, 205-225 (1982).
5. Sato, N. "Chemical Energy and Exergy: An Introduction to Chemical Thermodynamics for Engineers", Chapter 10, Exergy. Elsevier Science and Technology Books, 2003.
6. Chung-Nin, P. "Thermodynamic Properties from Cubic Equations of State", Apéndice A. The University of British Columbia, 1988.
7. Lima. E. A Equação do Terceiro Grau, Matemática Universitária, V. 5, 9-23 (1987).
8. Chapra, S., Canale, R. Métodos Numéricos para Ingenieros, Capítulo 21, Fórmulas de Integración de Newton-Cotes. McGraw-Hill, 2007.
9. Recep, Y., Mehmet, K., Gelosa, D. Exergy Analysis of Vapor Compression Refrigeration Systems, Exergy, V. 2, 266-272 (2002).



Determinación del contenido de benceno, azufre y metales (Cu, Fe, Mn, Pb Y Zn) en la gasolina que se consume en la CDMX e interpretación/ consecuencias de los valores encontrados.

Fernando de Jesús Rosas Ramírez ■ Luis Antonio Ortiz-Medina
Nancy Jazmín Núñez Ramírez ■ Modesto Javier Cruz-Gómez

Facultad de Química.
Departamento de Ingeniería Química,
Universidad Nacional Autónoma de México.
iqfer_rosas@hotmail.com

1. Resumen.

La normatividad actual en México a través de la NOM-016-CRE-2016, establece las especificaciones de calidad que deben cumplir los petrolíferos. La correlación de la calidad y de las emisiones que se generan por el uso de gasolinas en los automotores que circulan en las megalópolis, es un tema de interés en el ámbito ecológico, ya que la calidad del aire que respiran sus habitantes tiene una relación directa con la calidad de aquellas. En la ZMVM, durante 2016 se consumieron 7.5 millones de m³ de gasolina (78% Regular y 22% Premium) (SEDEMA, 2016) y se sabe que en su mayoría es a través de automotores de gasolina. El consumo de gasolinas en la CDMX es creciente y por ende requiere de un monitoreo en términos de calidad. Dos de los parámetros más importantes en normatividad de calidad en gasolinas, son el azufre y benceno debido al impacto de sus emisiones contaminantes al aire, óxidos de azufre (SO_x) y compuestos orgánicos volátiles (VOC), respectivamente. Un parámetro que no está considerado en la normatividad vigente es el contenido de metales. En el presente trabajo se reportan los resultados analíticos obtenidos de 400 muestras de ambos tipos de gasolina, tomadas, la primera mitad en el 2017 y la segunda en el 2018, en 100 de las 352 gasolineras que existen en las 16 Delegaciones (Alcaldías) de la CDMX. Los contenidos promedio en gasolinas Regular y Premium fueron respectivamente: benceno = 0.366 y 0.271 % en volumen, azufre mercaptánico = 3.69 y 2.48 ppm, y azufre total = 16.98 y 15.25 ppm. Cuyos valores se encuentran por debajo de los rangos o valores permitidos por la norma citada. Se identificaron 14 muestras con trazas de Zn (en un rango de 0.36-1.77 ppm) y 6 con trazas de Fe (en un rango de 0.96-4.71 ppm). Los resultados evidencian que prácticamente toda la gasolina consumida en la CDMX es de



buena calidad, considerando los criterios de la normatividad vigente, sin embargo, es conveniente el que se siga monitoreando su calidad, ya que ésta actualmente es importada y se esperan cambios en PEMEX, con relación a las gasolinas, para el próximo sexenio.

2. Introducción.

La continua mejora en la calidad del aire, ha sido uno de los problemas más complejos a los que se ha enfrentado la Ciudad de México. El conglomerado urbano que integra la CDMX tiene un efecto desfavorable en la calidad del aire por la gran cantidad de fuentes de emisión de contaminantes que se concentran en un área geográfica relativamente pequeña. Esta situación se agrava por las características territoriales y meteorológicas de la cuenca de México que son propicias para la acumulación y transformación de la contaminación. El pasado 29 de agosto de 2016, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) expidió la NOM-016-CRE-2016 denominada: *Especificaciones de Calidad de los Petrolíferos*. Con ella, es obligatorio cumplir con lineamientos específicos de calidad de combustibles para que éstos puedan ser quemados en las diferentes regiones de México. En el caso específico de la gasolina consumida en la CDMX, se deben cumplir con 18 lineamientos específicos, los cuales abarcan propiedades fisicoquímicas (índice de octano, presión de vapor Reid, etc.), parámetros composicionales (azufre, benceno, aromáticos, etc.) y propiedades de desempeño (periodo de inducción, gomas lavadas, etc.). Dentro de las composicionales, el contenido de azufre ha sido el que históricamente ha tenido una evolución muy fuerte en su regulación, ya que en la NOM-086-ECOL-1994 se manejaban 1000 y 1500 ppm en gasolina Magna y Nova Plus (gasolinas admitidas para la CDMX) respectivamente, mientras que actualmente, los valores son de 30 ppm promedio y valores pico de 80 ppm máximo, para gasolina Regular o Premium. Para el caso del benceno, desde su modificación de 2 a 1 % volumen (NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005), no ha tenido más movimientos, sin embargo, es un parámetro fundamental y básico debido a su toxicidad y representatividad de los BTX (parámetro que aún era obligatorio por la NOM-EM-005-CRE-2015, pero actualmente derogado). Los parámetros de control para los metales han sido prácticamente despreciados desde que se inició en el año de 1991 el desuso del tetraetilo de plomo, aunque actualmente, se vigila indirectamente a través de la evaluación de formación de gomas (gomas lavadas y no lavadas). En el presente estudio, pretendemos valorizar la importancia de monitorear la calidad de las gasolinas distribuidas en la CDMX, a través de un análisis técnico profundo que permita abonar en recomendaciones técnicas para los controles de di-



cho combustible, y que consecuentemente repercute en la mejora de la calidad del aire y la preservación de la salud pública.

3. METODOLOGÍAS DE análisis.

Para determinar las concentraciones de los diferentes parámetros composicionales, nos remitimos a las normas ASTM marcadas en la NOM-016-CRE-2016: *Especificaciones de calidad de los petrolíferos*, para aquellos especificados.

Tabla 1. Parámetros y métodos de prueba.

Parámetro analizado	Método ASTM	Límites según la NOM-016-CRE-2016
Benceno	D5769 ¹	1 % en volumen máximo
Azufre total	D7220	80 ppm máximo (30 ppm promedio)
Azufre mercaptánico	D3227	20 ppm
Metales	D5059 ²	No especificado

¹Método análogo al D3606.

²Método no incluido en la NOM-016-CRE-2016, específico para medición de plomo en gasolinas, pero en este caso, acoplado para medición de Cu, Fe, Mn y Zn.

3.1 Equipos de detección y estándares.

Se realizaron dos muestreos de 100 gasolineras en la CDMX para ambos tipos de gasolinas (regular y premium). El primer muestreo se realizó durante febrero del 2017 (para el caso de estudio del benceno) y el segundo, durante julio del 2018 (para el caso del resto de parámetros), (Ver mapa al final del artículo). Dependiendo de la técnica ASTM que describe el análisis para cada parámetro, es necesaria la utilización de un sistema de detección apropiado. Asimismo, para cada variable fue requerida la utilización de un set de estándares para la construcción de una curva de calibración (excepto azufre mercaptánico) para la adecuada detección y cuantificación, según las normas ASTM.



Tabla 2. Técnica, equipo y set de estándares utilizados para cada parámetro.

Parámetro analizado	Técnica utilizada	Equipo	Estándares utilizados
Benceno	Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS).		Set de calibración para aromáticos (D-5769-CAL-IS-SET) AccuStandard.
Azufre total	Espectrometría de fluorescencia de rayos X por dispersión de energía (EDXRF).		Estándar de calibración para azufre en gasolinas (SG6-L-100) ASI Standards.
Azufre mercaptánico	Titulación automática.		AP0017.AT1112 ¹ R-SH (Thiol) in Petrochem.
Metales	Mismo que para azufre total.		Set de metales 100 ppm (HPS-1595-010) High Purity Standards.

¹Aplicación potenciométrica.

3.2. Evaluación y análisis de los parámetros Benceno, Azufre total/mercaptánico y Metales (Cu, Fe, Mn, Pb y Zn) en gasolinas de la CDMX

A continuación, se presentan los resultados de cada parámetro.

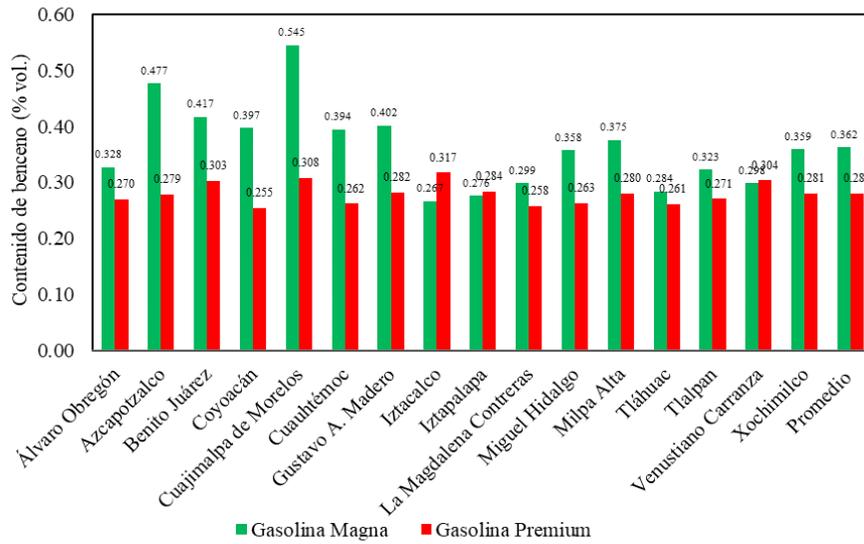


Figura 2. Contenido de benceno en las gasolinas de la CDMX durante febrero de 2017.

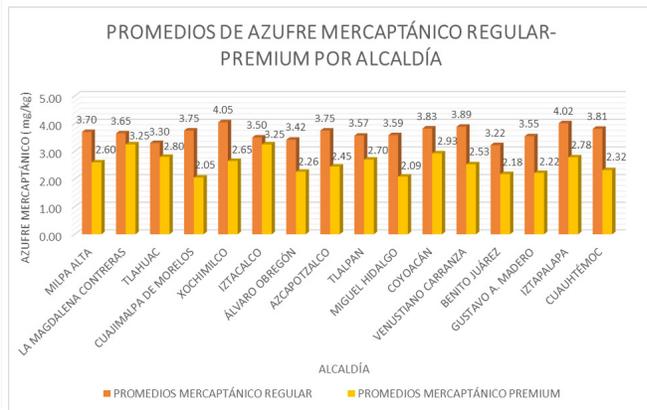
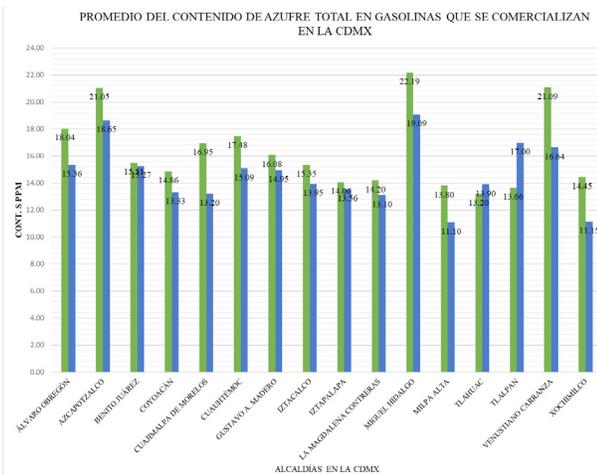


Figura 3. Contenido de azufre total y mercaptánico en las gasolinas de la CDMX durante julio de 2018.



Origen	Clasificación	Concentración [ppm]					Estadística descriptiva					
		Aldalía	Código	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	Error estadístico Fe	Límite detección Fe	Límite cuantificación Fe	Error estadístico Zn
Azacapotzalco	AZ-TO-5-METAL	ND	ND	ND	ND	1.7735	0.3011	0.9499	2.8496	0.1272	0.3227	0.9680
Coyoacán	CY-G5-2-METAL	ND	1.4986	ND	ND	ND	0.3355	0.9424	2.8273	0.1030	0.3201	0.9604
Coyoacán	CY-PX-9-METAL	ND	ND	ND	ND	0.4926	0.3099	0.9502	2.8505	0.1134	0.3228	0.9683
Coyoacán	CY-PX-9-METAL	ND	ND	ND	ND	0.8727	0.3201	0.9504	2.8512	0.1177	0.3228	0.9685
Cuajimalpa de Morelos	CM-G5-1-METAL	ND	0.9643	ND	ND	ND	0.3281	0.9427	2.8280	0.1034	0.3202	0.9606
Gustavo A. Madero	GM-BP-1-METAL	ND	ND	ND	ND	0.3672	0.3161	0.9501	2.8503	0.1119	0.3227	0.9682
Iztacalco	IC-HI-1-METAL	ND	ND	ND	ND	0.5422	0.3117	0.9507	2.8521	0.1140	0.3229	0.9688
Iztacalco	IC-HI-1-METAL	ND	ND	ND	ND	1.0222	0.3194	0.9497	2.8492	0.1192	0.3226	0.9679
Iztapalapa	IP-G5-15-METAL	ND	1.0632	ND	ND	ND	0.3326	0.9513	2.8538	0.1031	0.3231	0.9694
Iztapalapa	IP-PX-14-METAL	ND	ND	ND	ND	0.4181	0.3119	0.9499	2.8498	0.1249	0.3227	0.9680
Iztapalapa	IP-PX-12-METAL	ND	ND	ND	ND	0.5003	0.3082	0.9510	2.8531	0.1136	0.3231	0.9692
Iztapalapa	IP-G5-3-METAL	ND	ND	ND	ND	0.5721	0.3229	0.9497	2.8491	0.1127	0.3226	0.9678
Iztapalapa	IP-PX-9-METAL	ND	ND	ND	ND	0.6908	0.3173	0.9507	2.8522	0.1157	0.3230	0.9689
Iztapalapa	IP-PX-12-METAL	ND	ND	ND	ND	1.3267	0.3116	0.9491	2.8473	0.1224	0.3224	0.9672
Iztapalapa	IP-PX-7-METAL	ND	ND	ND	ND	1.5491	0.3119	0.9499	2.8498	0.1249	0.3227	0.9680
La Magdalena Contreras	MC-PX-2-METAL	ND	4.7157	ND	ND	ND	0.3796	0.9480	2.8441	0.1025	0.3220	0.9661
Venustiano Carranza	VC-PX-5-METAL	ND	1.2724	ND	ND	ND	0.3377	0.9575	2.8725	0.1031	0.3253	0.9758
Venustiano Carranza	VC-BP-1-METAL	ND	2.6479	ND	ND	ND	0.3538	0.9498	2.8494	0.1016	0.3226	0.9679
Venustiano Carranza	VC-PX-6-METAL	ND	ND	ND	ND	0.4612	0.3102	0.9509	2.8526	0.1131	0.3230	0.9690
Venustiano Carranza	VC-G5-2-METAL	ND	ND	ND	ND	0.9010	0.3077	0.9501	2.8503	0.1180	0.3227	0.9682

Figura 4. Contenido de trazas de metales en algunas gasolinas de la CDMX durante julio de 2018.

4. Resultados y discusión.

Para el caso del benceno, los niveles en promedio fueron de 0.36 y 0.28 % en volumen para las gasolinas Regular y Premium, respectivamente. Ninguna medición rebasó el 0.6%. Lo anterior está de común acuerdo con el límite máximo permitido para la CDMX (1% volumen máximo), sin embargo, se prevé en México un nuevo límite de 0.62% para el año de 2019. A excepción de Corea del Sur que desde el 2009 cuenta con un valor máximo de 0.7%, a nivel mundial se hace extensivo el límite de 1%. Incluso países como Singapur y Sudáfrica pasaron drásticamente en 2017 de 5 a 1 %.

En cuestión de azufre total, los niveles en promedio fueron de 16.98 y 15.25 ppm para las gasolinas Regular y Premium, respectivamente. Una cantidad diminuta de muestras mostraron niveles bajos (9-10 ppm) y medios (35-36 ppm), no obstante, están por debajo del límite máximo (80 ppm), e incluso más bajo que la concentración promedio (30 ppm), según la normatividad mexicana. Respecto a los mejores estándares internacionales, el nivel permisible más bajo es de 10 ppm (España, EUA, Japón, Alemania, etc.). Es de hacer notar que en los últimos 5 años se observa una tendencia a la baja, del máximo permitido de azufre, a nivel global. Por ejemplo, Sudáfrica bajó súbitamente de 1500 a 10 ppm en 2017, Arabia Saudita bajó de 1000 a 10 ppm en 2016 y Ecuador modificó de 650 a 10 ppm en 2014. En relación a azufre mercaptánico, los niveles en promedio fueron de 3.69 y 2.48 ppm para las



gasolinas Regular y Premium, respectivamente. Ninguna medición rebasó las 5 ppm. La NOM-016-CRE-2016 marca un límite de 20 ppm, el cual no ha sido modificado desde la NOM-086-ECOL-1994. A nivel mundial, únicamente algunos países como Costa Rica e Indonesia siguen incluyendo dicho parámetro composicional, sin embargo, en la gran mayoría ya es un parámetro obsoleto.

Para el caso de metales, de las 200 muestras analizadas, solo se encontraron 6 muestras con contenido de Fe por arriba del límite de detección (LD) y una sola con contenido por arriba del límite de cuantificación, (LC); y para el contenido de Zn, se detectaron 14 muestras con un contenido por arriba del LD, con 4 muestras con valores por arriba del LC. La normatividad vigente en México no contempla la medición de Fe y Zn, más el haber encontrado dichos metales, en el presente estudio, indica que se tiene algún deterioro y/o corrosión en las líneas de conducción y/o tanques de almacenamiento. En el presente estudio no se encontró ni Pb ni Mn. Sin embargo, para el contenido de Pb, en Costa Rica, Bolivia o Perú mantiene un límite de 0.013 g/L y en EUA y España mantienen un límite de 0.013 g/L. Para el contenido de Mn, en Ucrania mantienen un límite de 6 mg/L y en EUA mantienen un límite de 2 mg/L. En los últimos países mencionados sigue siendo extensiva la medición del contenido de Pb y Mn en las gasolinas que se expenden.

5. Conclusiones.

Con base en los resultados podemos mencionar que las gasolinas que se consumen actualmente en la CDMX son de muy buena calidad, respecto a los estándares nacionales e internacionales. Por mucho, los niveles encontrados de benceno, azufre total y mercaptánico cumplen con las normativas vigentes. Lo anterior tiene sentido si ponemos en contexto que durante los últimos 3 años se ha importado entre un 60 y 80% de la demanda nacional en gasolinas, y en la CDMX se consumió solo gasolina de importación. Con todo y esto es importante seguir monitoreando la calidad de las gasolinas en la CDMX, sobre todo en un futuro inmediato de posible reactivación de la industria de refinación del petróleo en México.

6. AGRADECIMIENTOS.

Se agradece a la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México (SECITI) por el financiamiento otorgado para la realización del proyecto SECITI/054/2016 titulado “Caracterización de las gasolinas que se comercializan en



la Ciudad de México, respecto a su contenido de azufre y benceno como ayuda para el control de la calidad del aire”.

7. Bibliografía.

1. Diario Oficial de la Federación (29 de agosto de 2016). NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos. Ciudad de México. www.dof.gob.mx
2. International Fuel Quality Standards and Their Implications for Australian Standards. Australia. 2014.
3. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. (2016). Inventario de emisiones de la CDMX 2014. Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México. www.sedema.cdmx.gob.mx
4. United States Environmental Protection Agency. EPA. <https://www.epa.gov/so2-pollution>.

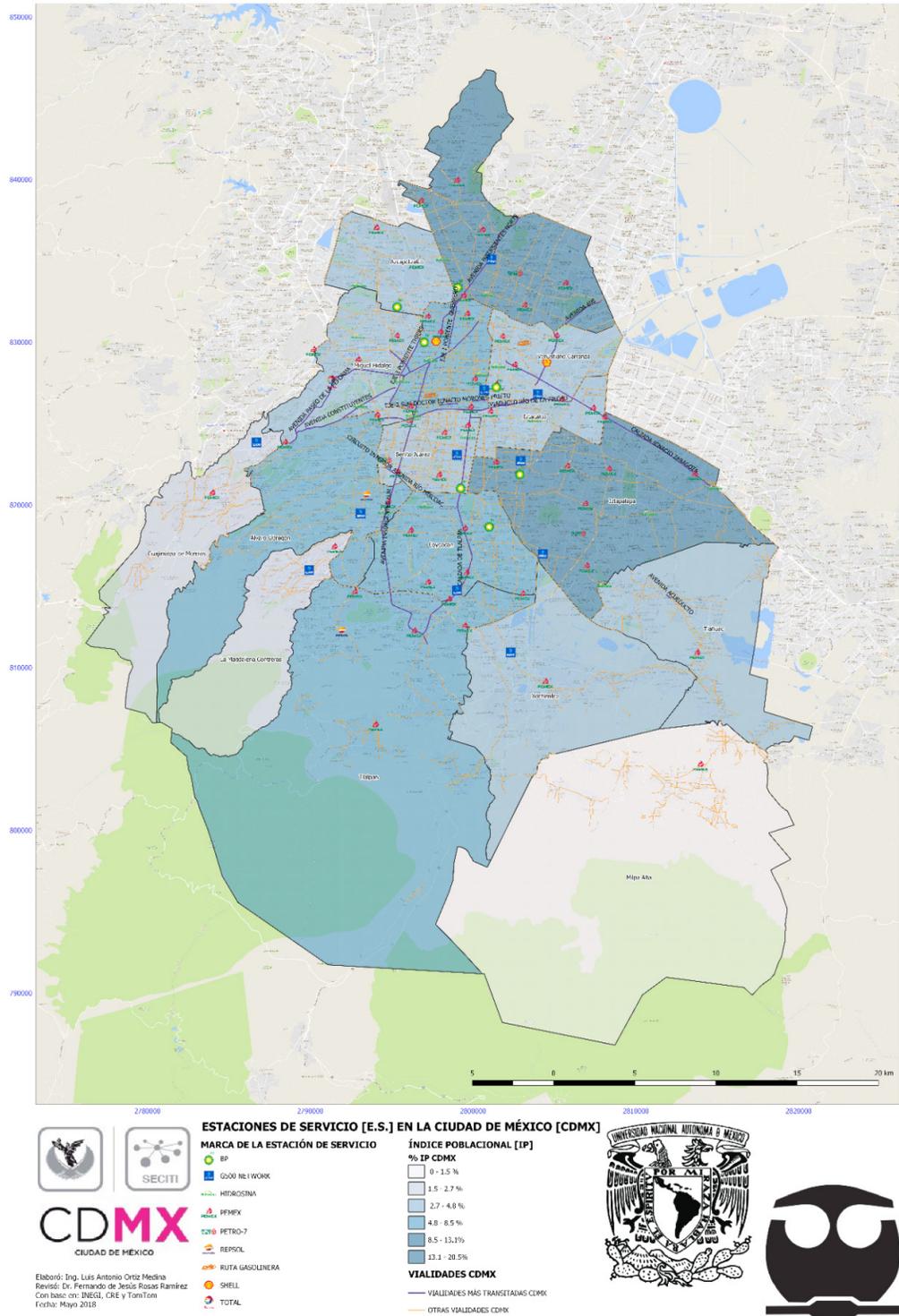


Figura 5. Mapa de muestreo CDMX 2018.



Análisis de datos de tiempos de vida a través de un modelo de regresión Weibull.

Data Analysis of life times through a Weibull Regression Model

Darelys de la Caridad Bernal Iznaga ■ David Salvador González González
Argelia Fabiola Miranda Pérez ■ Rolando Javier Praga Alejo

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales.

Saltillo, México.

darelys.bernal@becario-comimsa.mx

1. Resumen

En este artículo se realiza un tratamiento superficial de nitruración sobre un acero D2. En este sentido, el enfoque va dirigido a encontrar las condiciones del proceso de nitrurado, donde se maximice la resistencia al desgaste del acero tratado, en función del tiempo. Para ello es necesario realizar pruebas de desgaste “pin-on-disk”, y se propone representar su comportamiento mediante un modelo de regresión probabilístico, debido a la existencia de censura en las observaciones. La revisión de literatura evidenció que el modelo de regresión “Weibull” puede representar adecuadamente los tiempos de desgaste. Adicionalmente, el modelo muestra, a través de pruebas de hipótesis, los factores del proceso de nitrurado que tienen influencia significativa sobre la resistencia al desgaste. Finalmente, se establecieron los niveles óptimos de los factores del proceso. Los resultados indican que si es posible incrementar la resistencia al desgaste del acero tratado mediante el proceso de nitrurado.

Palabras claves: Pruebas de desgaste, tiempo de vida, Nitrurado, regresión Weibull.

Summary

In this article, a surface treatment of nitriding on a D2 steel is implemented. In this sense, the approach is aimed at finding the conditions of the nitriding process, where the wear resistance of the treated steel is maximized, as a function of time. For this it is necessary to implement “pin-on-disk” wear tests, and it is



proposed to represent their behavior by means of a probabilistic regression model, due to the existence of censure in the observations. The literature review showed that the “Weibull” regression model can adequately represent wear times. Additionally, the model shows, through hypothesis testing, the nitriding process factors that have significant influence on wear resistance. Finally, the optimum levels of the process factors were established. The results indicate that it is possible to increase the wear resistance of the steel treated by the nitriding process.

Key Words: wear resistance Test, time life, Nitride, Weibull Regression.

2. introducción

En la actualidad científicos e ingenieros desarrollan investigaciones enfocadas a la modificación de los materiales con los cuales se fabrican equipos, máquinas y herramientas utilizados en los procesos de manufactura; que producto a las exigencias funcionales y del entorno se ven afectados por un fenómeno muy variable y necesario de controlar, el desgaste.

Existen tratamientos superficiales con los cuales es posible mejorar la resistencia al desgaste de los materiales empleados para la fabricación de las mismas; entre los que destaca la técnica de nitrurado ^[1] ^[2]. Este es un proceso de endurecimiento superficial en el que, mediante la absorción de nitrógeno, se alcanza una mayor dureza en la superficie de las piezas de acero; siendo necesario identificar las condiciones del proceso, donde se logra obtener una mayor resistencia al desgaste del acero D2. Para ello, se requiere un modelo capaz de relacionar el tiempo observado en las pruebas de desgaste realizadas sobre la capa nitrurada, con las variables consideradas en el tratamiento superficial.

Existen modelos convencionales que pueden clasificarse como paramétricos y no paramétricos, dependiendo de las suposiciones realizadas acerca de la distribución estadística de los datos (tiempos de vida) en estudio ^[3], como son los modelos paramétricos, construidos a través de las distribuciones de soporte positivo: Exponencial, Weibull, Gamma, Log-Normal. Estos son empleados generalmente para representar tiempo de vida. Por ello que, para el análisis de un fenómeno como el desgaste, los investigadores destacan las ventajas de usar este tipo de modelos.

La distribución Weibull es muy flexible, dada su capacidad para simular un amplio rango de distribuciones como la exponencial y normal, entre otras ^[4]. Una parte importante para la realización de un análisis Weibull, es la obtención adecuada de los datos de tiempos de vida. Los datos de tiempos de vida (o ciclos de falla) son información para conocer la edad de los componentes o sistemas. El concepto de edad puede



representar el tiempo de operación, inicio y fin de actividad, ciclos de fatiga, ciclos de desgaste, parámetros, etcétera [5].

Zhao y Elsayed [6] proponen un modelo de vida acelerada general para las pruebas de paso a la tensión. Para ello presenta una formulación de una función de verosimilitud de modelos generalizados para las distribuciones Weibull y Log-Normal. El modelo utilizado en este proyecto proporciona una manera conveniente para interpretar los datos de estrés. Utilizando el método de estimación por máxima verosimilitud, la función de verosimilitud se formuló y se resolvió para los datos completos y censurados y de distribución Weibull de vida subyacente, Exponencial y Log normal. Las estimaciones de los límites de confianza se cuantificaron utilizando la matriz de varianza-covarianza.

Se considera el modelo de regresión lineal Weibull como competitivo al compararlo con otros modelos, como por ejemplo el modelo de regresión Gamma. Venegas *et al* [7], proponen algunas herramientas estadísticas como lo es un modelo Weibull generalizado de regresión lineal, como un medio alternativo para analizar datos positivos, continuos y sesgados. Debido a sus propiedades estadísticas, es muy competitivo con los modelos de regresión Gamma, mostrando que el modelo Weibull induce estimadores de máxima verosimilitud asintóticamente más eficiente que el modelo Gamma.

Los análisis estadísticos indican que el modelo Weibull ajustado en un grupo de datos, produce mejores ajustes que otros modelos alternativos. Se ha demostrado su versatilidad para ser usadas en muestras pequeñas y su flexibilidad para ser ajustada a una gran variedad de conjunto de datos [8].

3. Condiciones Experimentales

En la etapa experimental se aplicó un tratamiento superficial (nitrurado) sobre un acero D2. Las piezas después de templadas y revenidas se colocaron en una caja cerrada, a través de la cual se hizo pasar una corriente de amoníaco, que, al ser introducido en un horno con determinada temperatura, se descompone. En esta descomposición, el nitrógeno, más denso que el hidrógeno, se desplaza hacia la zona inferior de la cámara, entrando en contacto con la pieza y formando nitruros de hierro (compuesto duro y frágil) en la superficie [9].

Las variables, así como sus valores, a considerar para el nitrurado, se seleccionaron según la literatura consultada [10]. La temperatura (400 a 500°C), la densidad de corriente (1 a 2 mA/cm²) y el tiempo de nitrurado (4 a 6 h).

Se empleó un diseño de experimento central compuesto, para posteriormente ejecutar las pruebas de desgaste. Se tomaron los tiempos en el cual la capa nitrurada



se rompe, con la ayuda de un tribómetro dotado de un software llamado Tribometer Software. Se establecieron los parámetros para la prueba de desgaste: 2.5 mm de radio, 10 cm/s de velocidad y una carga de 8 N.

3.1 Obtención del modelo de regresión Weibull

Mediante el análisis de la distribución Weibull, se obtiene información necesaria para solución de problemas^[4]. La función de densidad de la distribución Weibull se define como:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp - \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta} \quad (1)$$

Donde:

β : Parámetro de forma.

η : Parámetro de escala.

El parámetro de forma es continuo y positivo, mientras que el de escala puede tomar valores discretos, y es conocido como la vida característica del componente en cuestión. A partir de esta función dada por la ecuación anterior se realiza una transformación lineal mediante el uso de logaritmos:

$$\ln(t) = \beta \ln\left(\frac{t}{\eta}\right) = \ln(\eta) + \frac{1}{\beta} \ln(z) \quad (2)$$

$$\ln(\eta) = \theta_0 + \theta_1(x_1) + \theta_2(x_2) + \theta_3(x_3) = X\theta \quad (3)$$

Por lo tanto el parámetro de escala $\eta = \exp(X\theta)$; se obtiene a partir de una sustitución en la ecuación , la media o valor esperado (MTTF) del modelo de regresión Weibull es:

$$MTTF(x_1, x_2, x_3) = \exp(\theta_0 + \theta_1(x_1) + \theta_2(x_2) + \theta_3(x_3)) \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (4)$$

Se construyó la función de log-verosimilitud dada por la ecuación (5) mediante la función de densidad para el modelo de regresión Weibull (1) considerando los datos de la tabla 1 de la sección 4.



$$L(\theta; y) = \prod_{i:Y_j \text{ no censurado}}^n f_i(Y_i; \theta) \prod_{i:Y_j \text{ censurado}}^n R_i(Y_i; \theta) \tag{5}$$

De esta manera, se obtienen los coeficientes correspondientes al ajuste del modelo de regresión Weibull, como se aprecian en la tabla 2 y así mediante la ecuación (4) se calculó la vida media del material acero D2 tratado superficialmente.

4. Resultados y discusión

Los tiempos obtenidos en el ensayo de desgaste (Pin-ON-Disk) ^{[11] [12]} se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Tiempos de la prueba de desgaste

No.	Temperatura	Densidad de corriente	Tiempo de nitrurado	Tiempo de desgaste (min)	F/C	No.	Temperatura	Densidad de corriente	Tiempo de nitrurado	Tiempo de desgaste (min)	F/C
1	510	2.5	6	480	Censura	11	455	1.75	6.68	300	Censura
2	455	1.75	3.31	100	Falla	12	455	0.48	5	20	Falla
3	547.5	1.75	5	18	Falla	13	455	1.75	5	360	Censura
4	510	1	4	20	Falla	14	510	2.5	4	19	Falla
5	400	1	6	10	Falla	15	455	1.75	5	26	Falla
6	400	2.5	6	5	Falla	16	510	1	6	32	Falla
7	400	1	4	23	Falla	17	400	2.5	4	20	Falla
8	362.5	1.75	5	35	Falla	18	455	1.75	5	13	Falla
9	455	1.75	5	7	Falla	19	455	1.75	5	34	Falla
10	455	1.75	5	75	Falla	20	455	3.01	5	300	Censura

Como se observa, al realizar las pruebas de desgaste, se obtuvieron datos censurados por la derecha, esto significa que la capa nitrurada del material D2 no se rompió durante el tiempo fijado.

Al realizar la prueba de bondad de ajuste se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.941, demostrándose así, que la distribución Weibull puede ser utilizada para modelar el comportamiento del tiempo de desgaste.

Se estimaron los parámetros de modelo de regresión Weibull mediante el método de máxima verosimilitud, obteniéndose un coeficiente de determinación , lo cual indica que se está explicando el 89% de la variabilidad con los factores del proceso de nitrurado considerados. La ecuación (6) representa el tiempo de desgaste promedio considerando el modelo de regresión Weibull.



$$MTTF(x_1, x_2, x_3) = \exp(-3.6546 + 0.0067(x_1) + 0.5425(x_2)1.3458(x_3)) \Gamma\left(1 + \frac{1}{0.7692}\right) \quad (6)$$

Para comprobar la significancia de los parámetros del proceso de nitrurado sobre el tiempo de desgaste, se utilizó la prueba de Wald, los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados obtenidos para cada parámetro mediante la prueba de Wald.

Coeficientes		Error estándar	Inferior	Superior	Valor P
α_0	-3.6546	4.1435	-11.7776	4.4684	0.37778
α_1	0.0067	0.0067	-0.0108	0.0243	0.45482
α_2	0.5425	0.5425	-0.1594	1.2445	0.12974
α_3	1.3458	1.3458	0.2199	2.4717	0.019115

Considerando un $\alpha=0.05$ para un 95% de confianza, se puede observar que solo el *valor p* correspondiente al α_3 es menor que 0.05, por lo que la densidad de corriente es el único parámetro significativo; es decir, la resistencia al desgaste depende en gran manera del nivel en el cual se fije este factor. Para validar la habilidad del modelo ajustado para realizar predicciones acerca del desgaste, se utiliza el estadístico R^2 press para el cual se obtuvo un valor de 0.7239, este estadístico nos indica la capacidad predictiva del modelo de regresión.

4.1 Condiciones óptimas del nitrurado

Teniendo en cuenta la región experimental de los parámetros del proceso de nitrurado, mostrada en la tabla 3, se establecieron las condiciones donde se incrementa la resistencia al desgaste, los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 3. Variables y condiciones del nitrurado.

Variables del proceso	Nivel inferior	Nivel Superior
Temperatura (°C)	362.5	547.5
Tiempo(Hrs)	3.32	6.68
Densidad (mA/cm ²)	1	2.5

Tomando como función objetivo la ecuación , los niveles óptimos obtenidos fueron:



Tabla 4. Variables y condiciones del nitrurado.

Temperatura	Tiempo de nitruración	Densidad de corriente
547.5	6.68	2.5

Se realizó la validación aplicando el tratamiento de nitruración sobre el acero D2, pero esta vez con las condiciones encontradas y se sometió nuevamente a la prueba de desgaste, la cual fue censurada a las 8 h sin que la capa se rompiera aún.

5. Conclusiones

- Mediante la distribución Weibull, se estableció un modelo de regresión probabilístico que considera la censura, en este caso particular por la derecha, que permitió ajustar los datos de tiempo y estimar predecir el tiempo de resistencia al desgaste considerando las condiciones de nitrurado.
- La validación del modelo ajustado sugiere que debido al estadístico press igual a 0.7239, el modelo ajustado es capaz de realizar predicciones acerca de la resistencia al desgaste del acero D2 luego de ser nitrurado.
- Finalmente, se comprobó, que efectivamente la resistencia al desgaste aumenta con dichos parámetros, obteniéndose un tiempo de min.

6. Bibliografía

1. A. Cabo, «Aplicación metalúrgica de tecnologías que hacen uso de plasma,» *Puente*, vol. 5, n° 2, pp. 9-14, 2011.
2. G.J. Schierloh, M. Regis, R. Charadia, E. L. Dalibon y S. Brühl, «COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AL DESGASTE DE UN ACERO AISI 1045 NITRURADO Y SEGUIDO DE UN TEMPLE POR INDUCCIÓN,» *Avances en Ciencia e Ingeniería*, vol. 7, pp. 1-8, 2016.
3. F. Harrell Jr, *Regression Modeling Strategies*, New York: Science+Business Media, 2001.
4. R. Abernethy, «The new weibull handbook,» Published and Distributed by Robert B. Abernethy, 2008.
5. M. A. Fuentes Huerta, *Plan de mantenimiento para sistemas reemplazados basado en un análisis de confiabilidad considerando modos de falla dependientes*, Coahuila, 2015.
6. W. Zhao y E. Elsayed, «A general accelerated life model for step-stress testing,» *IIE Transactions*, pp. 1059-1069, 2005.



7. L. H. Venegas y et al., «Diagnostic tools in generalized Weibull linear regression models,» *Journal of Statistical Computation and Simulation* , 2013.
8. P. Rosin y E. Rammler, «The LAws Governing the Fineness of Powdered Coal,» *Journal of the Institute of Fuel*, pp. 29-36, 1933.
9. Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, «Tratamientos Termoquímicos,» *Revista digital para profesionales de la enseñanza*, n° 14, pp. 6-9, Mayo 2011.
10. J. C. Días Guillen, «Effect of Nitriding Current Density on the Ssurface Properties and Crystallite Size of Pulsed Plasma-Nitrided AISI 3161.,» *Scientific Research Publishing.*, 2014.
11. Á. Aguirre Sánchez, «Optimización de los parámetros del proceso de plasma trasferido por arco (PTA) utilizado en la recuperación de componentes de acero grado herramienta D2,» Diciembre 2012.
12. J. Jiménez , N. Alamilla y M. Lóoez, «Pruebas de vida acelerada,» *Temas de Ciencia y Tecnología*, vol. 13, 2009.



Predicción de los movimientos en tren inferior por electroencefalografía y electromiografía de superficie mediante *soft computing*

Fredy David Bernal Castillo ■ Mauricio Plaza Torres

Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

fdbernalc@gmail.com

1. Resumen

En este documento se presenta el diseño, implementación y pruebas de funcionamiento de un sistema para la predicción de la intención de movimiento en tren inferior utilizando señales electrofisiológicas, usando señales de electromiografía de superficie y electroencefalografía. A las señales adquiridas se les realizó un proceso de obtención de características intrínsecas de cada señal, para posteriormente realizar mediante una red neuronal artificial, la identificación de patrones específicos para cada movimiento. Los movimientos estudiados se agruparon en 2 principales grupos (dar paso con pierna izquierda, dar paso con pierna derecha). Los resultados obtenidos muestran una eficacia en la predicción de la intención del movimiento a realizar superior al 91%.

2. Introducción

Los movimientos realizados por el cuerpo humano como caminar, sentarse, levantarse y correr son acciones que se realizan sin dificultad para una gran parte de la población, pero en personas con discapacidad o debilidad muscular, la dificultad se incrementa y en algunos casos hasta se impide la realización de estas acciones, esta clase de problemáticas han impulsado múltiples investigaciones y avances tecnológicos para el desarrollo de equipos como órtesis, equipos de asistencia al movimiento y o exoesqueletos, permitiendo facilidades en las tareas cotidianas y liberaciones de carga motriz en trabajos repetitivos o apoyo a personas con debilidades físicas^[1]. La principal desventaja de los dispositivos y exoesqueletos actualmente utilizados es su necesidad de ser controlados manualmente o la necesidad de tener un control a la reacción, es decir que, el



dispositivo se mueve en reacción al movimiento del usuario y no ayuda al inicio del movimiento, derivando en su poca practicidad para ser manejados [2].

Mediante el uso de señales bioeléctricas también conocidas como biopotenciales es posible predecir la intención de movimiento del usuario y efectuar la acción correspondiente antes de iniciar la acción a realizar [3], de esta forma se puede reducir considerablemente el retraso al inicio y detenimiento del movimiento en cuestión disminuyendo el retraso que se presenta en los exoesqueletos [4].

Para realizar la predicción del movimiento es necesaria la medición de las señales bioeléctricas, en este caso se analizan señales de electroencefalografía y electromiografía de superficie con el fin de identificar el tipo de movimiento a realizar [5]. Las señales eléctricas producidas por la actividad neuronal son conocidas como señales electroencefalográficas, estas señales se caracterizan por presentar amplitudes y frecuencias muy bajas, las amplitudes de las señales están en el orden de los micro voltios y las frecuencias están entre los 0.5 a los 30 Hz [6][7]. La medición de estas señales es comúnmente realizada mediante electrodos superficiales, los cuales utilizando un medio conductor y un electrodo de referencia miden las variaciones de potencial presentes en el cuero cabelludo, y por medio de procesamiento de señales son ampliadas y filtradas para su posterior digitalización y almacenamiento [8][9].

Por su parte las señales mioeléctricas son producidas el flujo de iones presente en la activación y relajación de las fibras musculares, este flujo genera un campo eléctrico que puede ser medido a través de electrodos (de aguja o superficiales) y equipos de amplificación y filtrado de señales. Los valores de estas señales tienen un rango que depende del tipo de medición a realizar para el caso de este trabajo se utilizó electromiografía de superficie con valores de frecuencia entre 2 y 500 Hz y voltajes entre $50 \mu\text{v}$ y 5mv [10].

El proceso de identificación se realiza a partir de procesamiento de señales obteniendo valores de intensidad y datos relevantes en tiempo y frecuencia necesarios para reconocer e identificar patrones relacionados por medio de inteligencia artificial específicamente una red neuronal artificial multicapa. [11].

En el estudio se analizaron y trataron las señales bioeléctricas, con la finalidad de predecir dos movimientos de tren inferior, paso con pierna derecha y paso con pierna izquierda, antes de iniciar a realizar el movimiento.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

Para el desarrollo del trabajo era indispensable la selección de los parámetros y características con suficiente información relevante para realizar una adecuada identificación del movimiento previo a la realización de este. Por lo tanto, el primer paso fue



la obtención de un grupo maestro compuesto por 30 sujetos de pruebas con edades entre 23 y 28 años de ambos sexos.

La obtención de señales electroencefalográficas se realizó por medio del dispositivo Emotiv EPOC+, siguiendo el método internacional de posicionamiento de electrodos 10-20, específicamente el Emotiv adquiere las señales de 14 posiciones. Por su parte, para la captura de las señales sEMG se utilizó el dispositivo BiosignalPlux con dos electrodos de electromiografía superficial ubicados en el musculo dorsal en el área toracolumbar, el procesamiento de la adquisición se muestra en la (Figura 1).

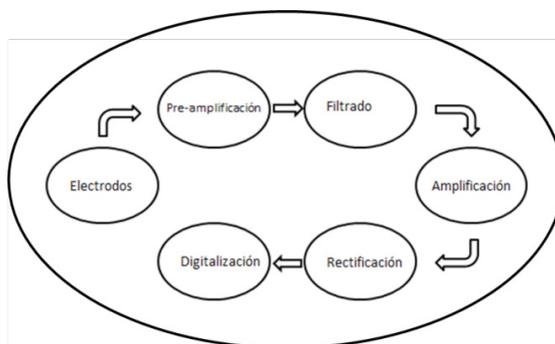


Figura 1. Proceso de adquisición de la señal utilizado por el EPOC+ y BiosignalPlux

Se realizaron pruebas en los 30 sujetos voluntarios, por medio del sistema mostrado en la (Figura 2), donde se solicitó que cada sujeto diera un paso adelante con la pierna izquierda y uno con la pierna derecha según las indicaciones dadas por el supervisor de la prueba, cada movimiento se repitió un total de 5 veces según los sujetos de prueba y fueron almacenados en una base de datos para su posterior análisis y utilización.



Figura 2. Sistema de captura de datos utilizado en las pruebas



Las señales obtenidas se procesaron por medio del software de ingeniería Matlab en su versión 2016^a, donde por medio de algoritmos para el procesamiento de señales se obtuvieron parámetros en intensidad, frecuencia y tiempo de las señales analizadas, específicamente: valor RMS, intensidad de las bandas de frecuencia por canal, Bereitschaftspotential, o potencial de preparación, pico de la señal, valle de la señal esto como lo evidencia [Osorio, 2007] presentan cambios evaluables y apreciables previamente a realizar los movimiento. Con el análisis previo se obtuvieron resultados con los cuales se eligieron las características más relevantes, estas se muestran en la (Tabla 1), así como la cantidad de características por cada señal.

Tabla 1. Resumen características relevantes en las señales

Señal	Intensidad Frecuencias (8-13 Hz)	Intensidad Frecuencias (13-22 Hz)	Intensidad Frecuencias (7.5-12.5 Hz)	Promedio de voltaje de la señal	Valor RMS	Total, datos por señal
EEG	12	12	12	12	12	60
EMG	0	0	0	2	2	4

Para el procesamiento de las señales se utilizó un computador portátil con las siguientes especificaciones: Procesador I5 segunda generación con 2 núcleos y velocidad de procesamiento de 2.4 GHz, 500 Gb de HDD, 6 Gb de memoria RAM.

Con los parámetros obtenidos se realizó la etapa de procesamiento de datos mediante redes neuronales específicamente una red neuronal con 2 capas ocultas, la red neuronal fue entrenada, con 64 entradas y dos salidas, mediante el algoritmo de retro-propagación utilizando como función activadora la tangente hiperbólica mostrada en la (Ecuación 1). Así mismo para el entrenamiento se utilizaron diferentes iteraciones, eligiendo como la óptima para el entrenamiento 1800 épocas.

$$Y = \tanh x = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (1)$$

Se realizaron diferentes configuraciones con redes neuronales, evaluando los resultados obtenidos se decide implementar una configuración de 64 neuronas de entrada, 150 neuronas en la primer capa oculta, 80 neuronas en la segunda capa oculta y 1 neurona en la capa de salida.

Para el entrenamiento de la red neuronal se utilizaron el 60% de los datos obtenidos en proporciones iguales de paso derecho y paso izquierdo, estos datos son elegidos de forma aleatoria en el universo total de muestras almacenadas para mejorar



el resultado del entrenamiento. En la fase de validación de la red se utilizó el 40% restante, al igual que en el entrenamiento las muestras se tomaron de forma aleatoria, posteriormente donde se almaceno el resultado entregado por el sistema de identificación y se comparó con el resultado esperado.

Las pruebas de validación se realizaron con 3 grupos de 20 señales para cada movimiento a identificar, en estas se obtuvieron los resultados arrojados por la red neuronal y se comparó con el resultado previamente conocido.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado obtenido se comparó con los movimientos realizados por el usuario, la comparación fue con el global de los datos almacenados sin distinción entre género o edad de los sujetos de prueba demostrando un porcentaje, de esta forma comprobar el uso global del sistema diseñado, las pruebas arrojaron errores promedio de 8.33% en paso derecho y 6.33% en paso izquierdo, estos errores se ven evidenciados en la (Tabla 2) y (Tabla 3).

Tabla 2. Error calculado en pruebas de paso derecho

Repetición	Aciertos	Fallos	% de Error
1	18	2	10%
2	19	1	5%
3	18	2	10%

Tabla 3. Error calculado en pruebas de paso izquierdo

Repetición	Aciertos	Fallos	% de Error
1	19	1	5%
2	19	1	5%
3	18	2	10%

Según lo mostrado se evidencia que existe una relación entre los movimientos efectuados, aunque el movimiento específico identificado tiene una probabilidad de acierto muy elevada (por lo menos del 90%), existe una posibilidad de presentar una identificación incorrecta de 7.45%.



5. CONCLUSIONES

En las pruebas realizadas para la validación del diseño se evidenció que la implementación de un algoritmo de Soft Computing para la predicción del movimiento se realiza de forma exitosa (91.66% para paso derecho y 93.66% para paso izquierdo) utilizando el sistema y los algoritmos descritos en este documento, en este caso específicamente la identificación de la intensidad de movimiento entre paso derecho e izquierdo arrojó resultados confirmando su efectividad, con un porcentaje de error cercano al 8%.

El trabajo realizado permitió identificar y comprobar la efectividad de parámetros importantes con información suficiente, extraídos de las señales EEG y sEMG para realizar una adecuada predicción de la intensidad de movimiento, como cantidad de electrodos, bandas de frecuencias importantes, cambios en el valor RMS de la señal.

Para el desarrollo del trabajo se utilizaron equipos comerciales con limitaciones en software y hardware limitando el alcance del desarrollo a aplicaciones offline (no es posible con estos equipos hacer predicciones en tiempo real).

Agradecimientos

Producto derivado del proyecto IMP-ING-2659 financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada- Vigencia 2018

6. BIBLIOGRAFÍA

1. D.P. Ferris *et al* *NeuroEngineering Rehabil.*, vol. 6, no. 1, pp. 1-3, 2009.
2. G. P. Réidei *et al* *Advances in Robotics Research*, pp. 335-346, 2009.
3. Sangwook Kim¹, Zhibin Yu², and Minho Lee¹, “Understanding Human Intention by Connecting,” *Neural Networks*, Feb. 2017
4. Ximena Omlin *et al* *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, vol. 60, no. 9, pp. 2645 – 2654, septiembre 2013.
5. Anjum Naeem Malik; Javaid Iqbal; Mohsin I. Tiwana, “EEG signals classification and determination of optimal feature-classifier combination for predicting the movement intent of lower limb,” in *2016 2nd International Conference on Robotics and Artificial Intelligence (ICRAI)*, Rawalpindi, Pakistan , 2016, pp. 45-49.
6. Lorena Alvarez Osorio, *Acondicionamiento de Señales Bioeléctricas*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira – UTP, 2007.
7. Guillermo Trout Marlon Martinez, “Conceptos básicos de electroencefalografía,” *Revista facultad de ciencias de la salud universidad del magdalena*, vol. 3, no. 1, pp. 18-23, 2006.



8. Ajeet Kumar Gautam, Yogendra Narain Singh Anita Pal, “Evaluation of Bioelectric Signals for Human Recognition,” in *International Conference on Intelligent Computing, Communication & Convergence (ICCC-2014)*, Bhubaneswar, Odisha, India, 2015, pp. 746 – 752.
9. Trans Cranial Technologies, “10/20 System Positioning,” Trans Cranial Technologies LTD, Hong kong, Manual 2012
10. Ramiro Ramos Mario, Vergara Betancourt Ángel, Vázquez Gerónimo Gustavo, Hernández García Edgar y Juárez Ramiro Luis., “Detección y Acondicionamiento de Señales Mioeléctri,” in *10 congreso Nacional de mecTRÓNICA*, Puerto Vayarta Jalisco, 2011.
11. Antti Koski, “Modelling ECG signals with hidden Markov Models,” *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 8, pp. 453-471, 1996.



Diseño de un gráfico de control Weibull difuso para lecturas individuales

Dayana Cruz-García ■ David Salvador González-González
Marco Antonio Fuentes Huerta ■ Rolando Javier Praga Alejo

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales.

Saltillo, México.

dayana.cruz@comimsa.mx

1. RESUMEN

Los gráficos de control para lecturas individuales se construyen bajo el supuesto de que las observaciones de la variable de estudio son independientes y siguen una distribución normal; lo que no siempre es sostenible en la realidad. En particular, se pueden encontrar lecturas auto-correlacionadas y adicionalmente los datos pueden ser modelados mediante una función de densidad no normal. Independientemente de esto, el desempeño del gráfico de control se afecta cuando no se tiene información suficiente, es decir, se requiere un tamaño de muestra considerablemente grande para no afectar la estimación de los parámetros y por consecuencia el cálculo de los límites de control. En este trabajo, se propone la utilización de números difusos para considerar la incertidumbre que genera un tamaño de muestra insuficiente cuando una variable independiente presenta distribución Weibull. Se aplica el gráfico de control propuesto en un proceso de ensamblado de chasis, obteniendo mejores resultados que con el método convencional.

Palabras clave: Gráficos de control, tamaño de muestra, incertidumbre, distribución Weibull, números difusos.

2. INTRODUCCIÓN

Los gráficos de control convencionales propuestos por Shewhart en la década de 1920 permiten detectar rápidamente si existen causas especiales que provoquen variación en el proceso, para tomar una medida correctiva antes que otras unidades sean manufacturadas. Contribuyen a determinar la capacidad del proceso y proveen información importante que permite realizar mejoras^[1].



Estos gráficos se construyen bajo los supuestos de que las observaciones de la variable de estudio son independientes y siguen una distribución normal. Sin embargo, en algunos casos es posible encontrar lecturas auto-correlacionadas, lo cual mostraría la necesidad de un gráfico de control para datos serialmente correlacionados. También, dependiendo de su naturaleza, los datos pueden ser modelados mediante una función de densidad no normal, de modo que las propiedades estadísticas de los gráficos de control comúnmente utilizados pueden ser potencialmente afectadas. Debido a su flexibilidad, la distribución Weibull es de las más utilizadas para representar comportamientos no normales asociados a productos, por la relación que tienen sus parámetros con el proceso. En consecuencia, bajo el supuesto de que las observaciones son independientes, un gráfico de control puede ser construido a partir de datos que siguen una distribución Weibull.

Para la construcción de los gráficos de control de Shewhart, se da por hecho que se cuenta con una muestra suficiente y representativa. Para hacer un estudio inicial del desempeño de un proceso y determinar los límites para un gráfico de control, es práctica usual obtener por lo menos de 20 a 25 subgrupos (muestras) de tamaño pequeño (5 y 10 generalmente)^{[1][2]}. Cuando la muestra no es suficiente, los parámetros estimados se alejan del valor poblacional, causando incertidumbres que disminuyen la precisión en los gráficos de control y aumentan el riesgo de cometer errores de tipo I al rechazar una pieza cuando realmente debía ser aceptada y errores de tipo II al aceptar una pieza cuando debía ser rechazada. En esta situación, la teoría de los números difusos es una herramienta útil para manejar la incertidumbre que genera esta muestra insuficiente de datos del proceso.

En relación con lo mencionado, son varios los artículos que se pueden utilizar como base para el diseño del gráfico que se desea. Cheng (2005)^[3] propone un enfoque alternativo para tratar con los juicios subjetivos de los expertos. Con base en los puntajes de calificación asignados por inspectores individuales a los elementos inspeccionados, los números difusos se construyen para representar los resultados imprecisos del proceso. Luego se construyen gráficos de control difusos a partir de los números difusos establecidos. Piña (2016)^[4] basado en un análisis de confiabilidad relaciona η y β con la característica de calidad y variabilidad del proceso y propone gráficos de control para monitorear un proceso Weibull. Senturk y Erginel (2009)^[5] transforman los límites de control numérico de un Gráfico de Control en límites de control difusos utilizando funciones de membresía. Pandurangan y Varadharajan (2011)^[6] también desarrollan los gráficos $\tilde{X} - \tilde{R}$ y $\tilde{X} - \tilde{S}$ utilizando el mismo enfoque que Senturk y Erginel (2009)^[5] pero esta vez con números trapezoidales difusos. Panthong y Pongpullponsak (2014)^[7] construyen un gráfico de control utilizando el Método de la Varianza Ponderada para datos con distribución asimétrica Weibull y Lognormal. Incluyen la Lógica Difusa para considerar la incertidumbre en los



datos generada por errores humanos, instrumentos de medición y condiciones ambientales, pero no considera la incertidumbre que puede surgir por el tamaño de muestra insuficiente.

En este artículo se propone la inclusión de la teoría de los números difusos en un gráfico de control Weibull para considerar la incertidumbre generada por una muestra insuficiente de datos del proceso. Los resultados de la aplicación muestran que el desempeño del gráfico de control Weibull Difuso propuesto es superior en comparación al gráfico de control Weibull convencional.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1 Distribución Weibull

La distribución Weibull es una de las más utilizadas en confiabilidad y estadística. Se caracteriza por su flexibilidad para ajustar diferentes tipos de datos. Su función de densidad está dada por la ecuación (1):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (1)$$

La distribución está determinada por dos parámetros: forma (β) y escala (η). La función de distribución acumulada está dada por la ecuación (2) [2] [8].

$$P[T \leq t] = F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (2)$$

3.2 Estimación de parámetros por máxima verosimilitud (MLE)

La estimación de los parámetros mediante el método de máxima verosimilitud encuentra los valores más probables de los parámetros de una distribución para un conjunto de datos, maximizando el valor de lo que se conoce como la “función de verosimilitud”, la cual se basa en la función de densidad para una distribución determinada. En el caso del modelo Weibull (η, β), es necesario recurrir a métodos numéricos para realizar las estimaciones. La función de log-verosimilitud para muestras completas con distribución Weibull es:

$$l(\eta, \beta | t_i) = n \ln(\beta) - n \beta \ln(\eta) - \frac{1}{\eta^{\beta}} \sum_{i=1}^n t_i^{\beta} + (\beta - 1) \sum_{i=1}^n \ln(t_i) \quad (3)$$



Donde n representa el número de observaciones independientes. Los estimadores de máxima verosimilitud se obtienen resolviendo las ecuaciones resultantes de igualar las dos derivadas parciales de $l(\eta, \beta|t_i)$ a cero [8].

A partir de la matriz información obtenida mediante MLE, es posible establecer los intervalos de confianza para los parámetros estimados $(\theta = \eta, \beta)$ [8]; se utiliza el método numérico Newton-Raphson para realizar la estimación.

$$\theta(LI, 1 - \alpha/2) = \frac{\hat{\theta}}{\exp\left(\frac{Z_{\alpha/2}\sqrt{I(2,2)}}{\hat{\theta}}\right)} \tag{4};$$

$$\theta(LS, 1 - \alpha/2) = \hat{\theta} \exp\left(\frac{Z_{\alpha/2}\sqrt{I(2,2)}}{\hat{\theta}}\right) \tag{5}$$

3.3 Lógica difusa

La teoría de la lógica difusa fue introducida por primera vez por Zadeh, (1965)^[9] y estudiada por varios autores ^[10] ^[11]. Se utiliza principalmente cuando los datos son atributos en la naturaleza y pueden expresarse en términos lingüísticos como “muy bueno”, “bueno”, “medio”, “malo” y “muy malo”^[6]. Los sistemas difusos son generalmente considerados para la definición de sistemas cuyo modelo exacto es difícil de obtener (es necesario introducir una aproximación).

3.3.1 Números Difusos

Un número difuso es una cantidad cuyo valor es impreciso, en lugar de exacto, como es el caso de los números ordinarios. Cualquier número difuso puede considerarse como una función cuyo dominio es un conjunto especificado. Los conjuntos difusos son caracterizados por sus funciones de pertenencia y estas pueden tomar valores en el intervalo $[0,1]$.

Un número difuso triangular \bar{N} está definido por tres números $a < b < c$ donde la base del triángulo es el intervalo $[a,c]$ y su vértice está en $x = b$, se escribe como $\bar{N} = (a / b / c)$. La función triangular es útil para definir situaciones en las que se tiene un valor óptimo central, el cual se va perdiendo conforme se aleja de él^[12].

El nivel α -corte de un conjunto difuso A es un conjunto clásico A_α , el cual contiene todos los elementos del universo que tiene valores de pertenencia en A mayores o iguales a α .

$$A_\alpha = \{x | \mu_A(x) \geq \alpha\} \tag{6}$$



Para cualquier número difuso \bar{Q} se sabe que $\bar{Q}[\alpha]$ es un intervalo cerrado para $0 \leq \alpha \leq 1$, que se escribe como^[12]:

$$\bar{Q}[\alpha] = [q_1(\alpha), q_2(\alpha)] \tag{7}$$

3.4 Los Gráficos de Control para lecturas individuales de Shewhart

En el diseño de un gráfico de control se debe especificar el tamaño de muestra y la frecuencia de muestreo. La situación más deseada para detectar cambios pequeños sería tomar grandes muestras frecuentemente en el proceso, sin embargo, esto no es económicamente factible^[1]. En caso de que los procesos que se deseen supervisar sean lentos, que no se cuenten con la información necesaria, que las observaciones se obtengan en períodos largos y por todo esto el tamaño de subgrupo utilizado sea 1, se utiliza el gráfico de control para lecturas individuales^{[1][2]}.

3.5 Gráfico de control Weibull difuso para lecturas individuales

Una vez identificado que las observaciones tomadas de una característica de calidad de interés se distribuyen Weibull, se estiman sus parámetros (de forma y escala) así como sus intervalos de confianza, mediante el método de máxima verosimilitud explicado en la sección 3.2. Posteriormente, se define un número difuso triangular \bar{N} para cada parámetro, teniendo en cuenta sus respectivos intervalos de confianza. De esta manera, se obtiene un número difuso triangular que se encuentra definido por tres números $a < b < c$, donde la base del triángulo la constituye el intervalo $[a, c]$ que en este caso correspondería al intervalo de confianza del parámetro, y su vértice está en $x = b$ que sería el valor del parámetro estimado (ver sección 3.3.1).

Una vez definidos los parámetros difusos $\bar{\eta}$ y $\bar{\beta}$, se establecen los valores de $\bar{\eta}[\alpha]$ y $\bar{\beta}[\alpha]$ para $0 \leq \alpha \leq 1$ y se procede entonces a iniciar el cálculo de los límites de control propuestos. Como la distribución de los datos no es Normal, los límites de control inferior, central y superior se definen como los valores de los percentiles 0.135, 0.50 y 0.99865 respectivamente, donde se encuentran el 99.73% de las observaciones^{[1][2]}. Teniendo esto en cuenta, se realizan todas las posibles combinaciones de los parámetros difusos propuestos para determinar el valor de los percentiles y de esta manera incluir toda la incertidumbre generada por la muestra insuficiente que se tiene del proceso. Considerando la función de distribución acumulada dada por la ecuación (2), se obtiene su función inversa, la cual representa la función cuantil (8), y se utiliza para establecer los límites de control mediante los percentiles antes mencionados.

$$\bar{LC}_{pt} = \bar{\eta}\{-\log[1 - pt]\}^{1/\bar{\beta}} \tag{8}$$



Considerando que los parámetros son difusos y utilizando la ecuación (8), la propuesta del cálculo de los límites de control difusos sería:

$$K = -\log[1 - pt] \quad (9)$$

$$A = 1_{ax2} \oslash \bar{\beta} \quad (10)$$

$$G = K \odot^A \quad (11)$$

$$\overline{LC}_{pt} = \min[\bar{\eta} \otimes G] \quad (12)$$

Dónde:

$\bar{\eta}$ y $\bar{\beta}$ son todos los posibles valores de los parámetros difusos;

1_{ax2} : Es una matriz de 1's, de la misma dimensión del parámetro $\bar{\beta} [\alpha]$;

pt : Percentil correspondiente a los límites de control inferior, central y superior;

\oslash : División Hadamard;

\odot : Potencia Hadamard;

\otimes : Producto Kronecker;

\overline{LC} : Límite de control difuso

4. RESULTADOS Y APLICACIÓN

La Empresa proveedora del Complejo General Motors de Coahuila, se dedica a manufacturar el chasis para el modelo Chevrolet Cruze. Una de las piezas manufacturadas que forma parte del chasis, es un brazo que consta de varios travesaños que permiten el correcto ensamble con otra pieza del armazón. El desplazamiento permitido en uno de los travesaños es de 2 cm, el cual es considerado como una característica de calidad crítica en el proceso de ensamble. Por lo tanto, es interés monitorear y analizar el comportamiento de esta característica de calidad (desplazamiento del travesaño) a través del tiempo mediante un gráfico de control, con el fin de cumplir con los requerimientos de calidad establecidos para el correcto ensamblaje.

4.1 Recolectar información de la característica de calidad.

Se obtiene una muestra de 16 observaciones de la especificación desplazamiento del travesaño. Las lecturas fueron recolectadas en el transcurso de 8 jornadas de trabajo, en horarios de 10 am y 3 pm. Los datos recolectados se muestran en la tabla 1.



Tabla 1. Mediciones de la característica de calidad

No.	Medición	No.	Medición	No.	Medición	No.	Medición
1	2.1595	5	1.0554	9	1.8022	13	1.7300
2	1.2818	6	1.2676	10	0.6980	14	1.6616
3	0.9065	7	3.4927	11	3.9389	15	1.0777
4	1.8868	8	1.4038	12	1.6587	16	1.9324

4.2 Comprobar los supuestos.

La figura 1 muestra un correlograma; es posible concluir que las observaciones no están autocorrelacionadas debido a que ningún punto excede los límites mostrados. Por lo tanto, concluimos que los datos cumplen con el supuesto de independencia.

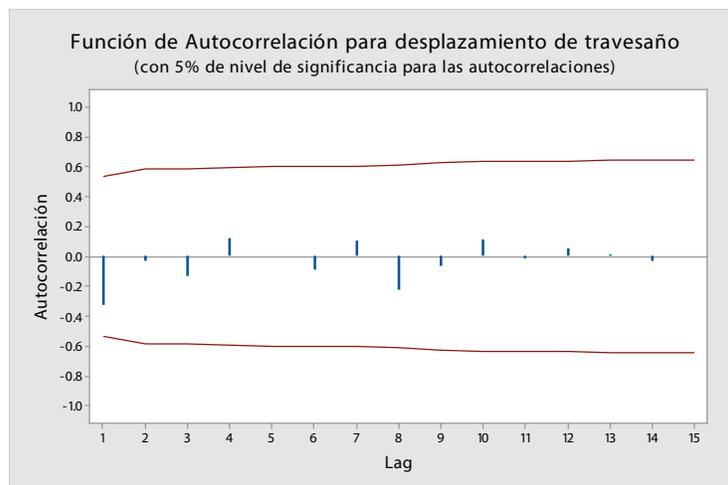


Figura 1. Correlograma del desplazamiento del travesaño

Con la información obtenida a través de la prueba de bondad de ajuste Anderson Darling, se puede establecer que las mediciones del desplazamiento del travesaño, con un nivel de confianza del 95 %, siguen una distribución Weibull con un valor de probabilidad de 0.064.

4.3 Estimar los parámetros difusos

Utilizando el método de máxima verosimilitud (sección 3.2) se estiman los parámetros de la distribución Weibull. Para establecer los parámetros difusos, se consideran los valores de los intervalos de confianza de cada parámetro calculados utilizando las



ecuaciones (4) y (5), en el vértice del número triangular difuso se encuentra el parámetro y la base del triángulo la forman sus intervalos de confianza.

$$\bar{\eta} = [1.5641, 1.9815, 2.5103]; \bar{\beta} = [1.5497, 2.2020, 3.1289]$$

4.4 Gráfico de control Weibull difuso para lecturas individuales.

Los límites de control difusos propuestos según la ecuación (12) son:

$$\overline{LCI} = 0.0220, \overline{LC} = 1.2346, \overline{LCS} = 2.8599$$

Para comparar los resultados, la figura 2(a) muestra el gráfico de control weibull difuso teniendo en cuenta los límites propuestos. Por otro lado, la figura 2(b) muestra el gráfico de control diseñado con los límites de control convencionales. La línea discontinua indica el límite de especificación de la característica de calidad.

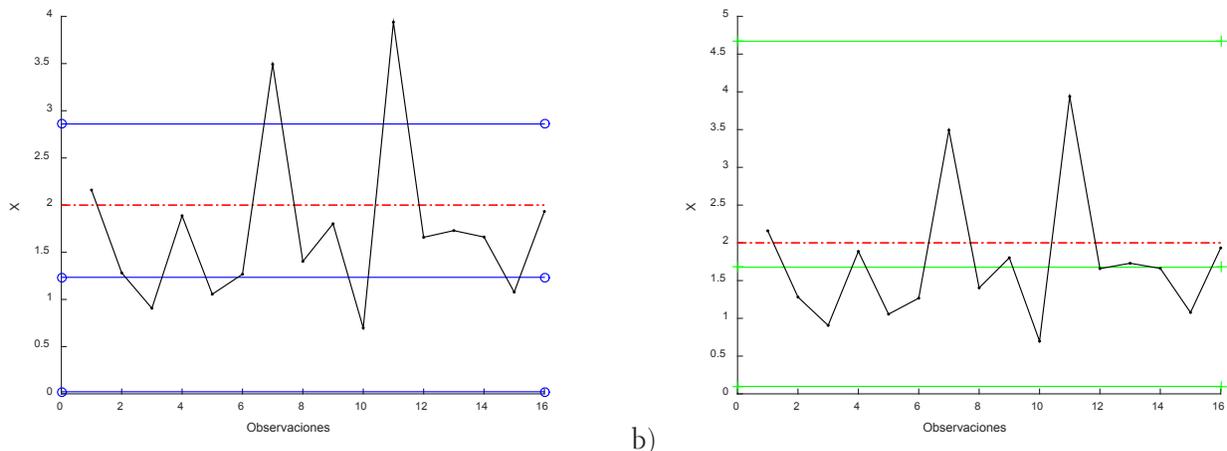


Figura 2. (a) Gráfico de control Weibull difuso (b) Gráfico de control convencional.

En la figura 2(a), se observa cómo el gráfico de control Weibull difuso propuesto identifica dos observaciones que se encuentran fuera de los límites de control, que cuando se analiza, no cumplen incluso ni con las especificaciones de la característica de calidad. Lo anterior indica que se debe analizar el proceso para identificar las causas que originan esta variación. Por otro lado, en la figura 2(b) (límites de control convencionales), se observa que el gráfico no es capaz de identificar ninguna observación fuera de control. Con estos resultados, se muestra que el proceso se encuentra en control, siendo esta una conclusión errónea.



Por lo tanto, el gráfico de control propuesto, representa una solución factible para tratar con la incertidumbre que genera una muestra insuficiente.

5. CONCLUSIONES

Los gráficos de control convencionales se construyen bajo el supuesto que las observaciones siguen distribución normal pero no es siempre sostenible en la realidad, en ocasiones las observaciones siguen otras distribuciones paramétricas como la Weibull. Un tamaño de muestra insuficiente provoca incertidumbres en la estimación de los parámetros y en consecuencia en la determinación de los límites de un gráfico de control. La teoría de los números difusos permite considerar la incertidumbre generada por un tamaño de muestra insuficiente de datos. El gráfico de control difuso es capaz de detectar de mejor manera si el proceso se encuentra fuera de control, esto genera un beneficio al evitar que la empresa sea sancionada por no cumplir con las regulaciones establecidas y reduce las falsas alarmas. El gráfico de control propuesto funciona solamente para lecturas individuales, se enmarca en el supuesto que no existe autocorrelación y que la variable puede ser modelada por una distribución Weibull.

15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Montgomery, *Introduction to statistical quality control*. 2009.
- [2] H. Gutiérrez and R. de la Vara, *Control estadístico de calidad y seis sigma*, no. Sirsi) i9789701069127. 2009.
- [3] C. Bin Cheng, “Fuzzy process control: Construction of control charts with fuzzy numbers,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 154, no. 2, pp. 287–303, 2005.
- [4] M. R. Piña-Monarez, “Conditional Weibull Control Charts Using Multiple Linear Regression,” *Qual. Reliab. Eng. Int.*, vol. 33, no. 4, pp. 785–791, 2016.
- [5] S. Senturk and N. Erginel, “Development of fuzzy $\tilde{\bar{X}}$ y $\tilde{\bar{R}}$ and $\tilde{\bar{X}}$ y $\tilde{\bar{S}}$ control charts using α -cuts,” *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 179, no. 10, pp. 1542–1551, 2009.
- [6] A. Pandurangan and R. Varadharajan, “Construction of α cut fuzzy $\tilde{\bar{X}}$ y $\tilde{\bar{R}}$ and $\tilde{\bar{X}}$ y $\tilde{\bar{S}}$ control charts using fuzzy trapezoidal number,” *IJRRAS*, vol. 9, no. 1, pp. 100–111, 2011.
- [7] C. Panthong and A. Pongpullponsak, “Development of fuzzy variable parameters X control charts by weighted variance method using α – cut under non-normality,” pp. 118–125, 2014.
- [8] B. Dodson, *Weibull analysis*. Asq Press, 1994.
- [9] L. A. Zadeh, “Fuzzy sets,” *Inf. Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.



- [10] S. M. El-Shal and A. S. Morris, "A fuzzy rule-based algorithm to improve the performance of statistical process control in quality systems," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 9, no. 3, 4, pp. 207–223, 2000.
- [11] M. Gülbay, C. Kahraman, and D. Ruan, " α -Cut Fuzzy Control Charts for Linguistic Data," *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 19, no. 12, pp. 1173–1195, 2004.
- [12] D. S. González, R. J. Praga Alejo, M. Cantú-Sifuentes, L. M. Torres-Treviño, and G. M. Méndez, "A non-linear fuzzy regression for estimating reliability in a degradation process," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 16, pp. 137–147, 2014.



Variación de la temperatura y su influencia en la fisuración en concretos masivos.

Harold Gutiérrez Ñahui ■ Isabel Moromi Nakata

Facultad de Ingeniería Civil.
Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
hgtierrezuni@gmail.com

1. Resumen

El presente trabajo de investigación estudia la variación de la temperatura y su influencia en la fisuración de concretos masivos.

Este estudio se realizó en base al análisis de dos estructuras, con información de la temperatura inicial de colocación, la variación de temperatura que se genera en la estructura y se realizó una comparación entre la información obtenida y la estimación teórica del método ACI 207.2R¹

De la información de campo se observa que para una temperatura máxima del concreto de 69°C se presenta fisuras y la cantidad de fisuras aumenta al incrementar la temperatura máxima.

Se observa diferencias entre la temperatura estimada y la registrada en campo, así como en los tiempos en que éstas son alcanzadas.

2. Introducción

El uso del concreto masivo, puede generar fisuras por el calor generado en el proceso de hidratación del cemento, la dificultad en su disipación por las dimensiones de los elementos, las restricciones en los movimientos térmicos producidos que exceden la resistencia a tracción del concreto con la consiguiente pérdida de su integridad estructural, causar infiltraciones, corrosión del acero y reducción de la vida útil de la estructura.

La temperatura depende de varios factores, como el tipo y cantidad de cemento, la fineza del mismo, las condiciones ambientales, el tamaño y forma de la sección de la estructura, la temperatura de colocación y el tipo de encofrado.

Según el ACI 207.1R (American Concrete Institute) se define el concreto masivo como "cualquier volumen de concreto con dimensiones lo suficiente-



mente grandes para requerir que se tomen las medidas necesarias para hacer frente a la generación de calor por hidratación del cemento y el consecuente cambio de volumen, con el fin de minimizar el fisuramiento”.

Otras definiciones encontradas son las siguientes: Concreto masivo es “cualquier elemento de concreto que tiene una dimensión mayor a 0.76 m y la que considera concreto masivo cuando el contenido de cemento supera los 355 kg/cm². (John Gajda, 2002)²

La ACI ha desarrollado metodologías para evaluar la posibilidad de fisuración por contracción plástica, en base a la velocidad del viento, temperatura del concreto, temperatura ambiente y humedad relativa de la zona.

3. Condiciones Experimentales

Para el presente estudio, se analizaron dos losas de cimentación de estructuras localizadas en la costa Peruana, en la región del Callao a una altitud promedio de 50 m.s.n.m Las características de las estructuras son las siguientes.

Tabla Nº 1. Dimensiones de las losas

Losas de Fondo 1		Losas de Fondo 2
1.00	Espesor(m)	2.00
49.20	Ancho (m)	52.20
30.00	Largo(m)	30.00
1476.00	Volumen(V) m ³	3132.00
1634.4	Área de Disipación(A) m ²	1894.8
0.90	V/A	1.65

Tabla Nº 2. Características de las losas

Resistencia a la compresión a 28 días	350 kg/cm ³
Cemento	Sol Tipo I
Contenido de Cemento	355 kg/m ³
Filler Calcáreo	85 kg/m ³
Relación Agua/ Cementante	0.45
Tamaño máximo	1”
Slump	6” a 8”
% Aire Atrapado	2.5 - 3.5
Peso Unitario	2395 kg/m ³



3.1 Proceso constructivo

Para el proceso de la ejecución de las estructuras se sigue las etapas convencionales.

Para controlar las temperaturas que presentará el concreto masivo se instalaron puntos de monitoreo de temperatura interna a través de un sistema de mediciones con Thermocouple Tipo 53/54 IIB. Las mediciones para las losas de 1 metro de espesor fueron: en la superficie a 15 cm, en el núcleo a 50 cm y en el fondo de la estructura a 85 cm y para las losas de 2 metros de espesor en la superficie a 15 cm, en el núcleo a 100 cm y en el fondo a 185 cm y así obtener las curvas térmicas del concreto. Las mediciones se hicieron cada hora.

Se procedió al curado de la superficie expuesta en 3 etapas: La primera con la colocación de una membrana química (curado químico), la segunda, con la inundación de la superficie y finalmente con la colocación de una membrana textil (yute), para luego cubrir el yute con un plástico.

El curado se realizó manera continua por 7 días.

Para desencofrar se evitó exponer la cara exterior a temperaturas muy bajas, para ello con la ayuda de las termocuplas se monitoreó las temperatura y se trató de que no haya una gradiente de temperatura entre interior y exterior del concreto mayor 20°C

3.2 Estimación de la temperatura máxima

Se estimó la temperatura máxima del concreto según ACI 207. 2R en función del tipo de cemento, temperatura inicial de colocación, temperatura ambiente y relación entre volumen y área de disipación.

3.3 Medición de temperatura de inicio de vaciado y máxima del concreto

Para medir las temperaturas iniciales se hizo el control de cada mixer para cada losa de fondo y con esos registros se puede definir una temperatura promedio de inicio de vaciado.

Los datos de temperatura in situ mediante las termocuplas fueron tomados manualmente durante los 4 primeros días las 24 horas, los registros en la termocupla se medían cada hora, así como la temperatura de ambiente, En la figura N°1 se muestra los controles de los puntos de monitoreo de temperatura a través de un sistema de mediciones obtenidas a 3 diferentes distancias de la superficie correspondientes a una losa de cimentación de 1 metro de espesor, y en la figura N° 2 se muestra los controles de los puntos de monitoreo de temperatura para una losa de 2 metros de espesor

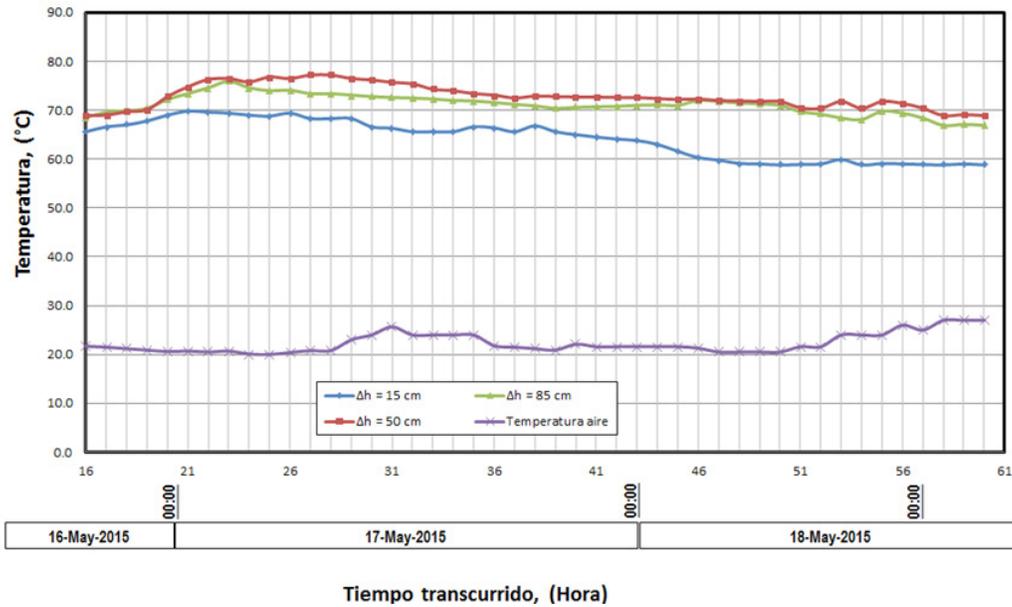


Figura N° 1. Variación de la temperatura a través del tiempo de la losa de fondo 15 de e= 1m

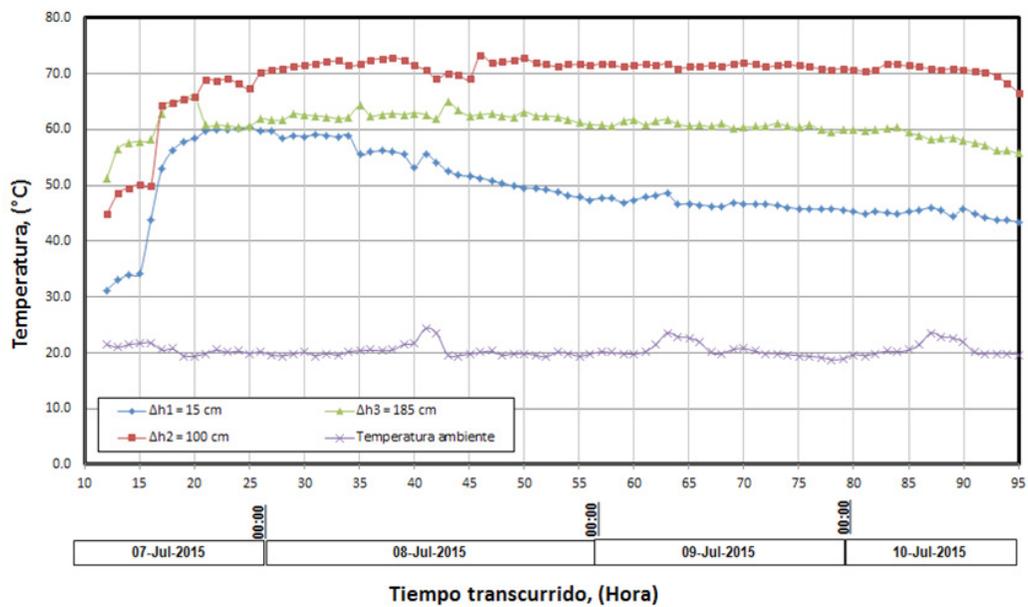


Figura N° 2. Variación de la temperatura a través del tiempo de la losa de fondo 20 de e= 2m



4. Resultados y discusión

Tabla N° 3. Registro de temperaturas en losas de e = 1.00m

N° Estructura	Temperatura máxima del núcleo (°C)			Temp. de colocación del concreto	Temp. Ambiente	Fisuras > 0.3mm
	Derecho	Izquierdo	Promedio			
	°C	°C	°C			
10	68.9	73.8	71.4	28.6	21.2	66
11	72.7	73.5	73.1	29.3	21.7	41
12	73.3	70.5	71.9	28.8	20.2	4
13	74.8	71.5	73.2	29.0	22.1	5
14	75.5	76.5	76.0	28.4	20.9	14
15	77.2	75.8	76.5	27.7	20.1	20
16	78	78.2	78.1	28.1	20.9	17
17	78.6	79.8	79.2	27.2	21.2	22
42	73.8	75.6	74.7	28.2	20.2	15
44	71.5	75.2	73.4	27.8	20.3	3
45	64.5	72.8	68.7	27.8	21.1	1
46	74.2	75.6	74.9	27.9	21.1	7
49	74.6	72.3	73.5	27.9	20.1	16

Tabla N° 4. Registro de temperaturas en losas de e = 2.00m

N° Estructura	Temperatura máxima del núcleo (°C)			Temp. de colocación del concreto	Temp. Ambiente	Fisuras > 0.3mm
	Derecho	Izquierdo	Promedio			
	°C	°C	°C			
19	82.6	81.2	81.9	26.6	20.7	9
20	73.3	79.3	76.3	25.2	19.4	5
21	81	79.9	80.5	26.2	21.2	16
22	83.3	79.3	81.3	27.9	21.6	12
24	73.5	74.9	74.2	23.4	19.1	6



5. Conclusiones

- La temperatura máxima obtenida por las termocuplas es 107% mayor que la obtenida por el método ACI y el tiempo en el que se llega a la temperatura máxima en campo es 80% menor que la obtenida por el método ACI
- En la corrección efectuada, por la variación de las características de los cementos peruanos y por la cantidad de cemento, al método ACI 207.2R, es necesario conocer el aporte al calor de hidratación de las adiciones para lograr una mejor corrección.
- Las primeras losas de fondo, sin medidas de pre enfriamiento y post enfriamiento, presentaron mayor cantidad de fisuras. Se observa además que en las losas que se utilizó hielo, la temperatura disminuyó alrededor de 3.5°C, mientras el cálculo de estimación de la reducción de la temperatura de colocación era de 5.6°C.
- Se observa que la gradiente térmica entre la temperatura del núcleo de la estructura y la temperatura medida a 15 cm de la superficie es en todas las losas menor a 20°C, salvo la losa UC 21 que su gradiente es 20.1°. La bibliografía ³ menciona que si la gradiente no supera los 20°C no hay fisuras, sin embargo, la gradiente térmica entre la temperatura de ambiente y la temperatura a los 15 cm en la mayoría de los casos supera los 20°C y se presentan fisuras para las losas de 1m y de 2 m de espesor.

6. Bibliografía

1. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI 207.2R - 07 “Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete”, Farmington Hills, 2007
2. GAJDA John y Vangeem Martha, “Controlling Temperatures in Mass Concrete”, 2002
3. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI 204R - 01 “Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón” , Farmington Hills, , 2001



Eficiencia en la distribución de medicamentos en las droguerías cubanas, 2016.

Ana Lidia Monzón Ebanks ■ García Fariñas Anai ■ Martha de la Caridad Marrero Araújo
Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos.
La Habana, Cuba.
ana.monzon@oc.emcomed.cu

1. Resumen

El estudio de la eficiencia de la distribución mayorista de medicamentos debe tener en cuenta además del cumplimiento de los indicadores clásicos económicos, la medida en que se está garantizando el abastecimiento por surtidos para cada cliente. Con el objetivo de evaluar integralmente la eficiencia empresarial, se desarrolló una investigación descriptiva, longitudinal y por trimestres para el año 2016. Se evaluó la rentabilidad, productividad y eficiencia técnica de escala de las 16 droguerías del país. Se obtuvo como resultado que todas las droguerías funcionaron en el nivel de eficiencia planificada según los indicadores financieros, sin embargo, el 10% de las unidades resultaron ineficientes a partir de la eficiencia técnica de escala. Y se concluyó que la empresa trabajó con altos niveles de eficiencia y que las droguerías ineficientes deben revisar el nivel de resultados y de recursos consumidos para alcanzar niveles de eficiencia similares al de sus pares de referencia.

2. Introducción

Para que los medicamentos lleguen a los pacientes oportunamente es preciso que existan canales adecuados de distribución o suministro de medicamentos. [1] La distribución de medicamentos tiene dos componentes: la distribución mayorista que se entiende como “toda actividad que consista en obtener, conservar, suministrar o exportar medicamentos, excluido el despacho de medicamentos al público” [2] y la minorista que consiste en el expendio de medicamentos al cliente final de la cadena de suministros.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) ha identificado entre los desafíos para la gestión del suministro de medicamentos: la necesidad de corre-



gir la fragmentación del suministro y en su lugar promover sistemas únicos, conseguir la sostenibilidad financiera y mejorar la eficiencia del suministro público. Sin embargo, son limitados los estudios internacionales que aborden aspectos económicos relacionados con la distribución mayorista de medicamentos. [3-6]

En Cuba, la distribución mayorista se lleva a cabo por una única entidad: Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos (EMCOMED). Esta empresa tiene la responsabilidad de transportar, almacenar, distribuir y comercializar los medicamentos de producción nacional y los importados, así como otros productos farmacéuticos. Brindar sus servicios con altos niveles de eficiencia es un objetivo de EMCOMED, sin embargo son escasas las publicaciones centradas en la distribución de medicamentos en el país [7-10] y en ninguna se evalúa directamente la eficiencia con la que se brinda este servicio.

El estudio de la eficiencia de EMCOMED debe tener en cuenta no solo el cumplimiento de los indicadores clásicos económicos como son el cumplimiento de las ventas o los ingresos, sino también en qué medida se está garantizando el nivel de abastecimiento de los diferentes surtidos.

En la actualidad se desconoce la eficiencia con la que se trabaja desde el punto de vista del cumplimiento del encargo estatal. *Sobre esta base se desarrolló una investigación cuyo objetivo fue evaluar desde una perspectiva integral, la eficiencia en Cuba en el 2016 de la distribución mayorista de medicamentos y otros productos farmacéuticos.*

3. Condiciones experimentales

Se realizó un estudio descriptivo, retrospectivo y longitudinal que comprendió todo el año 2016. Se trabajó con las 16 droguerías provinciales existentes en el país. La eficiencia se midió con el uso de tres indicadores: la Rentabilidad de operación, la Productividad y la Eficiencia Técnica de Escala.

La información de Rentabilidad de operación se obtuvo de los Balances económicos que con periodicidad mensual se realizan en la empresa. Los datos de Productividad, se tomaron de los análisis mensuales que realiza la Dirección de Capital Humano de la empresa. Adicionalmente se calculó la Eficiencia Técnica de Escala (ETE) para lo cual se resolvió un modelo de Análisis Envolvente de Datos con orientación de maximización de resultados, rendimientos variables a escala y pesos iniciales iguales y distintos de cero. Para la resolución del modelo de optimización se empleó el software libre OSDEA. Se consideraron en el modelo tres indicadores de resultados y tres de recursos.



Como indicadores de resultados se consideraron: 1. Cantidad de productos con plan de consumo cumplido, información que se obtuvo a través del portal informativo que garantiza la trazabilidad del medicamento a lo largo de la cadena de distribución; 2. Cantidad de entregas realizadas a clientes, información que se obtuvo de los informes mensuales de cumplimiento del ciclo de distribución y 3. Ventas totales, indicador que reflejó el valor monetario de las comercializaciones realizadas y que se tomó de los estados de cuenta empresariales.

Los tres indicadores de recursos fueron: 1. Promedio de trabajadores, información que se obtuvo de los informes mensuales de índice de ausentismo. 2. Gastos de operación que aparecen en los balances económicos mensuales y 3. Intensidad energética que refleja el combustible consumido en la producción de una cantidad de toneladas transportadas una distancia recorrida (t/MMt/km) cuya información se reporta en el balance de carga.

4. Resultados y discusión

En la tabla 1 se muestra como todos los indicadores tanto de recursos como de resultados formaron parte de la solución óptima para al menos una droguería. El hecho de que todos los indicadores incluidos en el modelo contribuyeran al nivel de eficiencia de alguna droguería, refleja que la condición de eficiente o no de las unidades se dio sobre la base de un análisis integral, asentado en las fortalezas y debilidades específicas de cada una.

Tabla 1. Frecuencia con que cada indicador hizo parte de la solución al modelo DEA por semestre, 2016

Indicadores	1er Semestre		2do Semestre	
	n	%	n	%
Intensidad Energética	5	33	6	40
Gasto de Operaciones	4	27	5	33
Promedio de Trabajadores	12	80	9	60
Ventas	4	27	4	27
Ciclo de entregas	10	67	6	40
Productos con plan de consumo satisfecho	9	60	9	60

El 87% de las droguerías sirvió de par de referencia para al menos otra unidad. Se logró identificar las droguerías que más veces sirvieron de par de referencia, estas representan las unidades de mejor práctica y son de particular utilidad para el desarrollo de procesos gerenciales de mejoramiento de las entidades.

En la Tabla 2 se puede apreciar que para cada droguería ineficiente se encontraron dos o más unidades de comparación, con diferentes patrones de relación de indi-



cadores recursos/resultados En el primer semestre el patrón de eficiencia que más se repitió fue el de más consumo de recursos, con más nivel de resultados. Le siguieron los procesos productivos con menos recursos y más resultados o menos resultados con menos recursos. En el segundo semestre también el patrón de más recursos con más resultados fue el de mayor frecuencia, seguido del patrón de menos recursos con menos resultados.

Estos resultados de manera general señalan que fue posible alcanzar la eficiencia por varios caminos organizacionales, no solamente se debe pensar en la solución de menos recursos y más resultados pues también la condición de mayores gastos con mayores resultados o menores gastos con menores resultados tales que se logre una buena relación entre ellos, puede ser una opción para alcanzar la eficiencia.

Tabla 2. Cantidad de pares de referencia y patrón de producción (consumo de recursos vs resultados alcanzados) por semestre, 2016

Droguerías ineficientes	Cantidad de pares de referencias	Patrón de producción Relación (Recursos/Resultados)			
		+/+	=/-	-/-	-/+
1er Semestre					
6	4	2	-	1	1
1	4	2	1	1	-
2	3	1	-	-	2
4	3	1	-	1	1
10	2	-	1	-	1
7	2	1	-	1	-
2do Semestre					
1	4	3	-	1	-
2	3	1	1	1	-
7	3	1	-	1	1
4	3	1	1	1	-
10	2	1	-	-	1
3	2	1	-	1	-

La Figura 1 muestra las áreas de mejoramiento para la eficiencia que se identificaron para cada droguería ineficiente. De manera general, las droguerías ineficientes tienen que considerar en sus procesos productivos además, del incremento en los indicadores de resultados, la revisión del nivel de al menos uno de los indicadores de recursos incluidos en este estudio para alcanzar niveles de eficiencia similares al de sus pares de referencia.

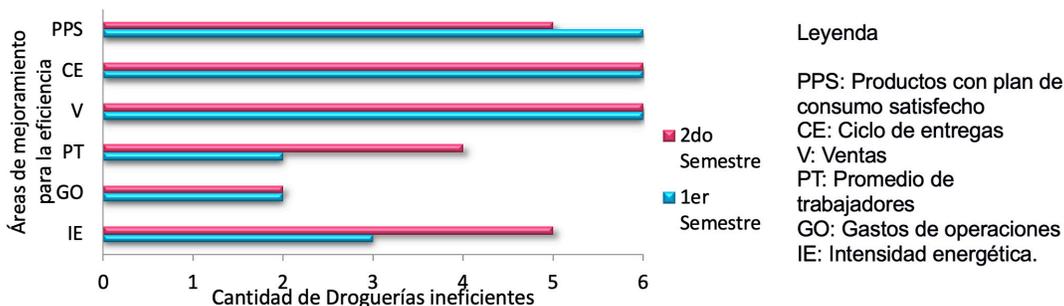


Figura 1. muestra las áreas de mejoramiento para la eficiencia para cada droguería, 2016

5. Conclusiones

Por primera vez se le da un enfoque sanitario al estudio de la eficiencia con la que se labora en EMCOMED, que hasta hoy ha sido evaluada solo desde el punto de vista puramente empresarial.

Los resultados obtenidos muestran un cumplimiento del plan de consumo aprobado por productos en valores muy bajos, lo que afecta indiscutiblemente el buen desempeño de la distribución y la satisfacción de los clientes. Este resultado es similar a lo obtenido en investigaciones previas realizadas. [11; 12]

Encontrar que el 62,5% de las unidades, alcanzaran el máximo en el índice de eficiencia técnica de escala y de ellas el 90% para ambos semestres indica un elevado nivel de homogenización en el proceso de distribución lo cual es esperado si se considera que las droguerías son entidades de una única empresa para la cual hay normativas y estrategias comunes.

Los resultados encontrados en esta investigación señalan que no existe un único camino para lograr que el proceso de producción sea eficiente. De manera general, las droguerías ineficientes tienen que considerar en sus procesos productivos, además, del incremento en los indicadores de resultados, la revisión del nivel de al menos uno de los indicadores de recursos incluidos en este estudio para alcanzar niveles de eficiencia similares al de sus pares de referencia, así como confirman la necesidad de perfeccionar la medición de la eficiencia en EMCOMED desde un enfoque integrador que considere directamente el cumplimiento del objeto social.

Finalmente, la medición de la eficiencia técnica de escala permitió identificar unidades que deben perfeccionar su desempeño organizacional. El mejoramiento de la eficiencia implica incremento de los resultados en los indicadores de cumplimiento del objeto social principalmente al tiempo que se impone una revisión del consumo de los recursos incluidos en este estudio en esas unidades, para lo cual serán de particular utilidad los pares de referencia identificados para cada unidad ineficiente.



6. BIBLIOGRAFÍA

1. Estudio de Canal de Distribución Medicamentos. Ecuador: Oficina Comercial de ProChile en Ecuador; 2014.
2. Comunicaciones procedentes de las instituciones, órganos y organismos de la Unión Europea. Comisión Europea. Diario oficial de la Unión Europea. 23 de noviembre de 2013
3. Pacherras NMG, Villalva CMM, Paredes HXA. Red de distribución de medicamentos en la ciudad de Guayaquil [Tesis] Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral; 2009.
4. Romero Anturi PN. Automatización de almacenes mediante el uso de transelevadores en empresa de consumo masivo en Colombia: Revisión de la literatura. Colombia; 2014.
5. Villareal Freire MA. Análisis y mejora de los procesos de la cadena de suministros para la empresa líder en medicina moderna Natural Vitality [Tesis]. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador; 2014.
6. Essajide L, Ali R. Planning and Modelling of Pharmaceuticals Wholesale-Distributors Supply Chain Using SCOR Model: A Moroccan Case Study. International Journal of Management Sciences and Business Research. [Internet] 2017 Mar [10 Sep 2017]; 6(3): [aprox 8p.]. Disponible en: <https://ssrn.com/abstract=2947573>
7. Lorezo Monteagudo G, Gómez Rodríguez LA., Franco Rodríguez A. Evaluación de la satisfacción del cliente de la Droguería Villa Clara, 2008-2009. Revista Cubana de Farmacia. 2012; 46(1):72-9.
8. Cabrera MF, Pérez, CRN. Sistema automatizado (SIUBEMM) para el análisis de la comercialización en la droguería Villa Clara. [Internet] [citado 21 Nov 2016]. Disponible en: http://files.sld.cu/revfarmacia/files/2012/10/158_comercializacion_aprobado.pdf
9. Pacheco A, Muñoz C, Correoso C. SLD034 Sistema para análisis y planificación de distribución de medicamentos: SAPMED. IX Congreso Internacional de Informática en la Salud. La Habana; 2013.
10. Reig Armenteros L., Suárez Pérez Y. Mejoras aplicadas al proceso de distribución de medicamentos en la Droguería La Habana. Revista Cubana de Farmacia. 2014; 48(4):598-611.
11. Marrero Durán SP., Rediseño de las rutas de distribución en la droguería La Habana. [Tesis]. La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría; 2017.
12. Noya Domínguez L., Pronóstico de demanda de medicamentos en el Sector Farmacéutico. [Tesis]. La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría; 2017.



Tubo de impedancia implementando ondas acústicas gaussianas-sinusoidales

Rosnelly Cruz Cecilio ■ Ernesto Rodrigo Vázquez Cerón ■ Laura Angélica Lancón Rivera
Elisa Garay Vargas ■ Gabriela García Martínez Silvia ■ Dulce Rosario Ponce Patrón

Departamento de Electrónica.
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
ervc@correo.uam.mx

1. Resumen

La caracterización de las propiedades acústicas, en el dominio de la frecuencia, de un material sólido determina la cantidad relativa de sonido reflejado, absorbido y transmitido. La técnica comúnmente utilizada para determinar los coeficientes acústicos, utiliza un barrido continuo de frecuencia, hasta los 5 kHz, a lo largo de un tubo de impedancia de 0.6 m. La longitud corta involucra artefactos acústicos por la superposición de las ondas que dependen de los parámetros en la generación y registro de las señales acústicas para evitarlos. Este trabajo describe el diseño y construcción de un prototipo de tubo de impedancia con dos cámaras acústicas, con una longitud de 4 m para evitar la superposición de las ondas acústicas. Ambas cámaras se encuentran separadas por un material de prueba, el cual está sujeto por un portamuestras que permite caracterizar un material de hasta 0.035 m de espesor. Un micrófono en cada cámara registra las ondas acústicas generadas por una bocina, las cuales son procesadas para determinar los coeficientes acústicos, cuando se hace incidir onda acústica Gaussiana Sinusoidal para atenuar los efectos transitorios de la bocina. Las presiones acústicas de las ondas registradas, en el estado estacionario, determinan los coeficientes acústicos en función de la frecuencia que porta la onda incidente. Un material de prueba, considerado como absorbente, fue utilizado para cuantificar sus propiedades acústicas en un intervalo de 600 Hz a 8 kHz, bajo condiciones controladas de ruido ambiental y eléctrico en una cámara semianecoica.

2. Introducción

La caracterización acústica de un material de prueba se lleva a cabo mediante la razón de presiones acústicas de una onda reflejada $P_r(\omega)$ respecto a la onda



incidente $P_I(\omega)$, la cual determina el coeficiente de reflexión $r(\omega)$ en función de la frecuencia, definido como

$$r(\omega) = \frac{P_R(\omega)}{P_I(\omega)} \tag{1}$$

El método experimental más conocido para determinar las propiedades acústicas de un material es el tubo de impedancia. Este método consta de manera general de una bocina, un tubo liso y rígido cerrado en uno de sus extremos, así como dos micrófonos colocados sobre el diámetro interno del tubo, los cuales son utilizados para registrar las señales acústicas producidas al impactar el material de prueba colocado en el extremo del tubo cerrado, tal y como se muestra en la Figura 1.

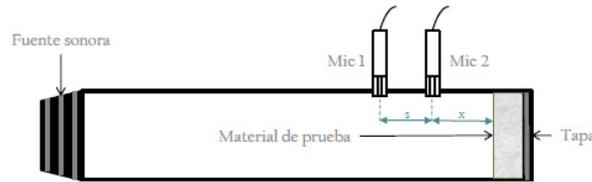


Figura 1. Tubo de impedancia con una cámara acústica

El diseño de un tubo de impedancias considera sus parámetros físicos y las características de la instrumentación para llevar a cabo el barrido de frecuencias en función del tiempo. Se han definido normas para el diseño y construcción, las cuales consideran el diámetro del tubo para establecer la máxima frecuencia generada por la bocina, la distancia s entre micrófonos y la distancia x entre el micrófono más cercano y el material de prueba para identificar la onda incidente de la reflejada.

La implementación de esta técnica considera la superposición de ondas ocasionado por el vaivén a lo largo de un tubo corto. El procedimiento matemático define la razón de las presiones acústicas de la onda reflejada respecto a la incidente mediante la función de transferencia H , la cual es obtenida de la respuesta en frecuencia de cada uno de los micrófonos. De esta manera el coeficiente de reflexión se define como

$$r(\omega) = \frac{H_{12} - H_1}{H_R + H_{12}} (e^{2jkx}) \tag{2}$$

Cabe resaltar que en un tubo cerrado considera cero el coeficiente de transmisión, la razón de presiones acústicas de la onda transmitida $P_T(\omega)$ respecto a la onda



incidente $P_i(\omega)$. Por lo que el coeficiente de absorción $\alpha(\omega)$ se define en términos del coeficiente de reflexión [1, 2, 3].

$$\alpha(\omega) = 1 - |r(\omega)|^2 \quad (3)$$

La técnica ha sido adecuada para considerar un tubo corto con dos cámaras acústicas. Dos micrófonos, colocados en cada cámara, se utilizan para determinar el coeficiente de absorción en términos del coeficiente de reflexión y transmisión obtenidos de la función de transferencia. Sin embargo el rango de frecuencia es limitado, 5 [kHz], además de que la metodología implementada requiere de una compleja instrumentación para registrar la respuesta acústica en frecuencia, en cuatro posiciones y en algunas ocasiones en distintos tiempos, de una señal que varía su frecuencia en función del tiempo.

Este trabajo evalúa el uso de un tubo de impedancia con dos cámaras acústicas relativamente largas, así como un paquete de ondas Gaussianas-Sinusoidales a diferentes frecuencias para determinar el coeficiente de absorción, en función del coeficiente de reflexión y transmisión. Las amplitudes de las presiones acústicas se obtienen del análisis en el estado estacionario en función de la frecuencia portadora de la onda acústica.

3. METODOLOGÍA

El diseño de este prototipo consiste de dos cámaras acústicas, unidas a través de un portamuestras, dos micrófonos y una terminación anecoica, como se muestra en la Figura 2. La longitud de ambas cámaras acústicas, 4 [m], fue determinada para evitar la superposición de la señal reflejada con la incidente, en un intervalo de tiempo de 0.023 [s]. Con ello, el primer micrófono registra la onda acústica incidente antes de que se registre la onda reflejada.

El segundo micrófono es colocado enseguida del material de prueba para registrar la onda transmitida. La longitud y el uso de una terminación anecoica en la segunda cámara evita la superposición de la onda transmitida cuando impacta el extremo final del tubo.

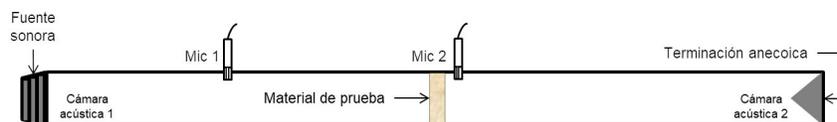


Figura 2. Diagrama experimental del tubo de impedancia.



Con las condiciones establecidas en la primera cámara acústica, se requiere de una señal con duración menor a 0.023 [s] para evitar el traslape entre la señal incidente y reflejada. Este trabajo de investigación propone el uso de una señal acústica modulada en amplitud, con una frecuencia en específico, que elimine los efectos transitorios de la bocina. La Figura 3 muestra el tipo de la forma de onda incidente, referida como onda Gaussiana-Sinusoidal a una frecuencia de 500 [Hz] y 20 [ms] de duración, la cual es utilizada para generar la respuesta de un material mediante el análisis de la onda reflejada y transmitida. Las ondas generadas a lo largo de ambas cámaras acústicas se caracterizan por mantener su frecuencia, con una amplitud menor a la onda incidente.

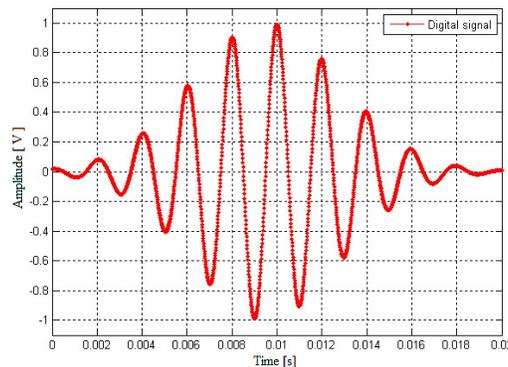


Figura 3. Representación gráfica de una onda acústica Gaussiana-Sinusoidal a 500 Hz.

La Figura 4 muestra el diagrama esquemático para llevar a cabo la generación y registro de las señales.

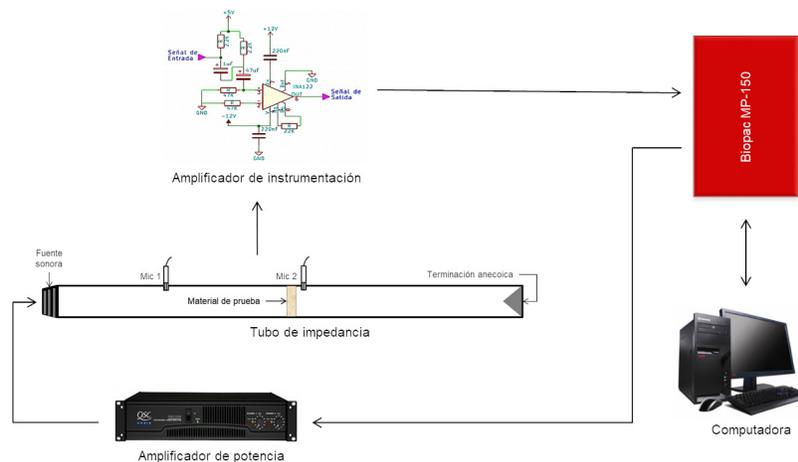


Figura 4. Diagrama experimental del tubo de impedancia.



La metodología experimental, consiste en enviar las señales acústicas Gaussianas-Sinusoidales por separado a una bocina JBL2470 a través de una tarjeta de adquisición de datos, Biopac-MP150, la cual se usa para realizar la conversión digital-análoga de las señales acústicas. La señal pasa por un amplificador de audio antes de hacerla llegar a la bocina, para incrementar la potencia de la señal. Un micrófono electreto BOYAM1, colocado sobre el diámetro interno de cada cámara acústica, registra la respuesta acústica del material de prueba. Estas pasan por un amplificador de instrumentación INA102 para incrementar la relación señal a ruido. Las señales son enviadas a la tarjeta de adquisición de datos para realizar la conversión análoga-digital y almacenadas en una computadora. En esta etapa, la ganancia de los amplificadores debe ser seleccionada cuidadosamente para evitar una saturación y al mismo tiempo mantener una alta relación señal a ruido.

El procesamiento de cada respuesta acústica consiste de un filtrado digital, considerando un filtro pasabanda centrado en la frecuencia definida por la onda incidente. Las señales son normalizadas respecto a la onda incidente para mantener la relación de amplitudes. El análisis en el estado estacionario se lleva a cabo considerando 1024 muestras alrededor del valor máximo para determinar su amplitud. La razón de las amplitudes en las señales reflejada y transmitida, respecto a la señal incidente, proporcionan los coeficientes de reflexión y transmisión respectivamente, en función de la frecuencia de la señal incidente ^[4]. De esta manera el coeficiente de absorción queda definido como

$$\alpha(\omega) = 1 - |r(\omega)|^2 - |t(\omega)|^2 \quad (4)$$

4. Resultados y discusión

El material de prueba se coloca en el portamuestras para llevar a cabo un barrido con la forma de onda Gaussiana Sinusoidal desde los 600 [Hz] hasta los 8 [kHz], tomando en cuenta un intervalo entre frecuencias de 50 [Hz].

Las mediciones se realizaron en una cámara semianecoica, con la finalidad de mantener controlado el ruido ambiental, así como interferencia eléctrica. El registro de las señales acústicas en ambas cámaras acústicas se realizó al mismo tiempo para evitar diferencias en el montaje experimental. Se consideró una frecuencia de muestreo de 50 kHz. Con la finalidad de reducir el espacio para el experimento, se utilizó tubo de policluro de vinilo enrollado (PVC).

Se utilizó un material absorbente, Espuma de Poliuretano con dos diferentes anchos, los cuales fueron colocados de manera cuidadosa en el portamuestras, evitando



la deformación del material que afecte sus propiedades intrínsecas, así como la fuga del sonido. La primera muestra presentó un espesor de 0.015 [m] y la segunda un espesor de 0.035 [m].

La figura 5 muestra los tres coeficientes acústicos en el dominio de la frecuencia para la Espuma de Poliuretano. Los resultados obtenidos para el coeficiente de reflexión muestran que se trata de un material poco reflejante y uniforme, a lo largo de las frecuencias evaluadas. La diferencia de espesores del material de prueba se hace notar en el coeficiente de transmisión, donde el efecto de masa se hace notar en la magnitud de la presión de la onda acústica transmitida, es decir se tiene una magnitud de presión mayor para el menor espesor, aunque el comportamiento es decreciente en función de la frecuencia. El uso de la ecuación (4) determina el coeficiente de absorción, en el cual se observa que el material con mayor espesor absorbe mas cantidad de presión acústica de manera uniforme y creciente a lo largo de las frecuencias evaluadas.

La respuesta de los coeficientes obtenidos muestra un comportamiento oscilante que deberá ser analizado para describir las variaciones y que probablemente están relacionadas con la forma de onda propagada a lo largo de un tubo rígido. Será necesario determinar en el futuro otros materiales para comparar los resultados con otros métodos.

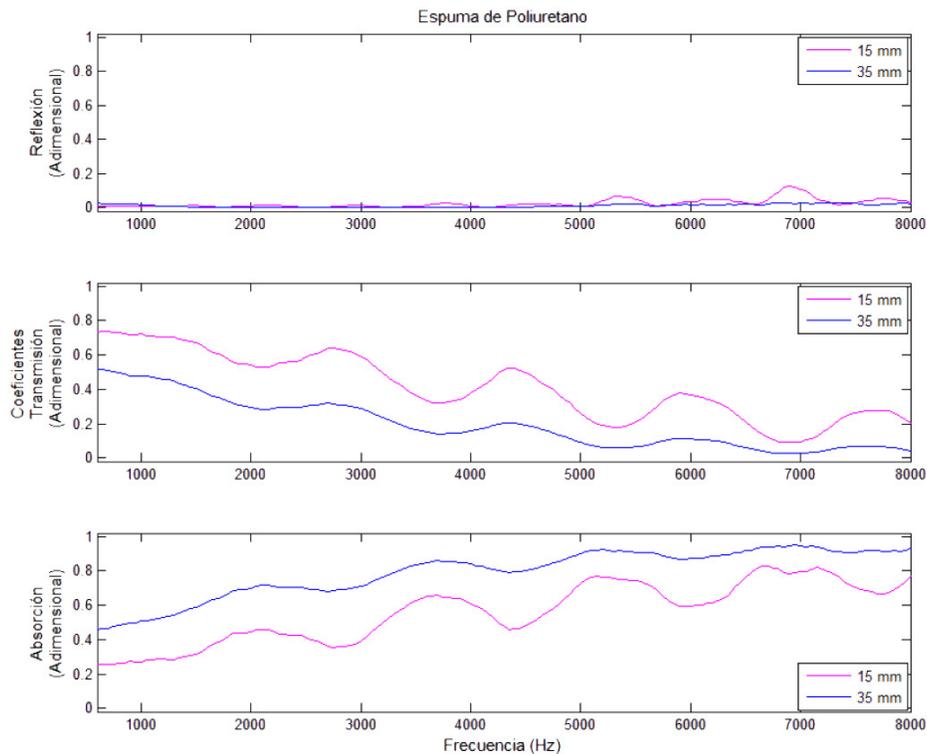


Figura 5. Coeficientes acústicos de la Espuma de Poliuretano con espesor de 0.015 m y 0.035 m.



El análisis en el dominio del tiempo sobre el estado estacionario de las señales registradas por el prototipo determina la respuesta acústica de un material de prueba.

5. Conclusiones

El uso de un tubo de impedancia largo y la modulación en amplitud de una onda acústica con frecuencia constante, onda acústica Gaussiana-Sinusoidal, evita la superposición en el registro de las ondas acústicas y contribuye en la cuantificación de la caracterización acústica de un material de prueba mediante el análisis en el estado estacionario. Las dimensiones del prototipo construido no requieren mucho espacio, así como una instrumentación relativamente sencilla. El procedimiento matemático no es complejo y el registro de las señales en ambas cámaras se realiza al mismo tiempo. Se alcanza un amplio rango de frecuencias para evaluar la respuesta acústica de un material de prueba con pequeñas dimensiones. El material de Espuma de Poliuretano muestra que es poco reflejante y muy absorbente para altas frecuencias.

6. Bibliografía

1. Laura, L. (2012). Caracterización de la absorción sonora en modelos físicos a escala (Maestría en diseño). Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, México, D.F.
2. Navacerrada, M.A., Díaz, C., Pedrero, A. y García, L.E. (2008). Acoustic properties of aluminium foams. *Materiales de construcción*, Vol. 58, ISSN: 0465-2746.
3. Catañeda, J.A. y González, H.A. (2004). Medición del coeficiente de absorción del sonido. *Scientia et Technica* Año X, No.25, ISSN:0122-1701.
4. Feng, L. (2013). Modified impedance tube measurements and energy dissipation inside absorptive materials. *Journal Applied Acoustics*, 74, 1480-1485.



Software para visualizar gammagramas óseos en colores

Alberto Jaramillo-Núñez ■ José de Jesús J Titla-Tlatelpa ■ Barbara Emma Sánchez-Rinza

Facultad de Ciencias de la Computación.
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
ajaramil@inaoep.mx

1.- Resumen

En este trabajo se describe el uso de un software, basado en un método cuantitativo, para visualizar metástasis óseas halladas en gammagramas óseos. En la investigación se incluyeron cuarenta y tres gammagramas óseos de pacientes con cáncer de próstata los cuales fueron previamente analizados visualmente por tres especialistas y su diagnóstico usado como referencia. Cada uno de los gammagramas óseos se dividió en cuatro regiones: cráneo, hombros, tórax y pelvis, para su análisis. La división se hizo con el fin de obtener intervalos de tonos de gris para cada una de las regiones empleando un proceso estadístico. Para ello se calcularon la media y desviación estándar de cuatro muestras integradas cada una de cuarenta y tres regiones. Empleando los intervalos, siete colores fueron asignados a cada región. Mediante los colores es posible diferenciar los casos sanos e infiltrados, lo que facilita el diagnóstico.

2.- Introducción

La gammagrafía ósea es la modalidad de imagen más común empleada en medicina nuclear para evaluar la dispersión metastásica del cáncer a hueso. Su interpretación se realiza visualmente y para dar diagnósticos acertados se requiere experiencia debido a las dificultades asociadas con el reconocimiento de los puntos calientes. Por lo tanto, una interpretación cuantitativa más que cualitativa ayudaría más en la comprensión del gammagrama con el fin de mejorar y estandarizar los diagnósticos^[1].

Dos de los programas de computación más reportados en la literatura para cuantificar lesiones metastásicas son BONENAVI y EXINI. El primero usa el índice de escaneo óseo el cual consiste en analizar el gammagrama óseo para



estimar las áreas enfermas de metástasis en cada hueso y posteriormente sumar todas las áreas halladas. Después, el resultado se compara con el área total de los huesos sanos y por último se realiza un cociente para determinar el porcentaje de involucramiento esquelético total^[2]. El segundo, está basado en el uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes y de redes neuronales artificiales para interpretar los gammagramas óseos realizados a los pacientes con el fin de determinar la presencia o ausencia de metástasis^[3]. Actualmente, ambos sistemas están completamente automatizados y son altamente eficientes, alcanzando una especificidad y sensibilidad del orden del 90%.

En el mismo sentido de mejorar y estandarizar los diagnósticos se está desarrollando un software cuyo objetivo principal es determinar en gammagramas la metástasis ósea temprana^[4, 5]. Con ayuda del software se analizan los tonos de gris del gammagrama en regiones con alto riesgo de desarrollar metástasis óseas como son, por ejemplo, el cráneo, los hombros, el tórax y la pelvis. Los tonos de gris que puedan indicar alguna anomalía ósea son obtenidos usando los métodos de apagado y comparado de píxeles^[6]. El primer método consiste en que dado un valor inicial por el usuario, los píxeles en la imagen con valores iguales, o menores a él son sustituidos por ceros. Después, los píxeles con tonos de gris mayores que el umbral son analizados para determinar cuáles podrían indicar alguna anomalía ósea. El segundo método consiste en comparar los tonos de gris en regiones con simetría axial, es decir, los del lado derecho con los del lado izquierdo. Por ejemplo, se comparan los tonos de gris de las vértebras del lado derecho con las del izquierdo, etc.

Para determinar la metástasis ósea el software usa los valores mínimo y máximo de la región de interés (ROI) de cada gammagrama. Su determinación está basada en la suposición de que un hueso sin actividad osteoblástica no absorberá radiotrazador y por lo tanto su tono de gris será cero. Sin embargo, como los huesos siempre están en constante regeneración, entonces siempre mostrarán actividad osteoblástica. Como consecuencia, si habrá absorción de radiotrazador por lo que el tono de gris no será cero. Este dependerá de la edad del paciente, raza, género, tipo de radiofármaco usado, velocidad de escaneo, etc. En el caso de un solo paciente, la absorción de trazador y por consiguiente los valores mínimo y máximo de los tonos de gris de la ROI serán únicos, pero para una muestra dada de pacientes será un intervalo. La visualización de las imágenes está basada en los intervalos de tonos de gris hallados estadísticamente en una muestra de 43 gammagramas.



3.- Desarrollo

Con ayuda del software, cada gammagrama óseo fue segmentado en cuatro regiones: cráneo, hombros, tórax y pelvis. Posteriormente, todas las regiones fueron analizadas independientemente para obtener los tonos de gris máximo y mínimo de cada una de ellas. La zona del cráneo con mayor riesgo de desarrollar metástasis es la parte superior, así que fue la única parte analizada. Los cráneos fueron clasificados en dos grupos como sanos e infiltrados, tal como lo determinaron los especialistas. Sin embargo, debido a lo observado en las imágenes los cráneos sanos fueron clasificados a su vez cómo: ideales y no ideales. Los primeros se caracterizaron principalmente por estar libres de cualquier enfermedad ósea mientras que los no ideales se caracterizaron por mostrar enfermedades óseas en progreso.

A manera de ejemplo solo se describirá la búsqueda de los intervalos de tonos de gris en 10 cráneos ideales. Para las otras regiones el procedimiento fue similar. Para hallar los valores m_i y M_i en la parte superior del cráneo se hizo lo siguiente: iniciando con un valor dado, por ejemplo diez, los píxeles de la imagen son analizados. Si hay píxeles con valores iguales o menores a diez, ellos son sustituidos por ceros. Si no hay, entonces el valor inicial se incrementa una unidad hasta encontrar uno o más píxeles de la ROI con un valor igual al umbral. Cuando esto sucede, el valor del umbral es asignado a m_i . Después, el umbral se va incrementando hasta que su valor coincide con el máximo tono de gris de la región central superior del cráneo. Cuando esto sucede el valor del umbral es asignado a M_i . En algunas ocasiones quedan píxeles prendidos en la periferia superior del cráneo aún cuando la región central ya se apagó. El máximo tono de gris de estos píxeles prendidos se asigna a la variable ATO.



Tabla 1. ITG´s para los cráneos ideales (los intervalos 4, 5 y 6 fueron reasignados a un solo intervalo, intervalo ITG 4').

	mi	MI	ATO
	9	30	34
	13	41	44
	15	56	60
	17	32	39
	15	47	56
	12	43	43
	10	38	38
	15	51	54
	13	38	41
	16	48	55
Media	$mi_s = 13.50$	$MI_s = 42.40$	$ATO_s = 46.40$
Desv. Estándar	2.21	8.99	11.01
ITG 1 = [0 — (13-2-1)]	0—10		
ITG 2 = [11 — (13+3)]	11—16		
ITG 3 = [17 — (42-9-1)]		17—32	
ITG 4 = [33 — (42+9)]		33—51	
ITG 5 = [52 — (46-11-1)]			34—52
ITG 6 = [(46-11) — [(46+11)]]			35—57
ITG 4'			33—57
ITG 5'	58—124		
ITG 6'	125—191		
ITG 7'	192—255		

Tabla 2. Colores asignados a los cráneos ideales en función de los intervalos de la tabla 1.

Color	Nivel de gris inicial	Nivel de gris final
Rojo	0	10
Naranja	11	16
Amarillo	17	32
Verde	33	57
Cian	58	124
Azul	125	191
Violeta	192	255



Durante la investigación se encontraron otros cráneos los cuales estaban libres de metástasis pero mostraban alguna enfermedad ósea, éstos fueron clasificados como no ideales. Sus intervalos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Colores asignados a los cráneos no ideales en función de los intervalos hallados.

Color	Nivel de gris inicial	Nivel de gris final
Rojo	0	11
Naranja	12	23
Amarillo	24	38
Verde	39	66
Cian	67	86
Azul	87	171
Violeta	172	255

Tabla 4.- Colores asignados a los cráneos infiltrados en función de sus intervalos.

Color	Nivel de gris inicial	Nivel de gris final
Rojo	0	33
Naranja	34	42
Amarillo	43	97
Verde	98	136
Cian	137	184
Azul	185	233
Violeta	234	255

Una región con un comportamiento similar al de los cráneos fue la pelvis. Esta es una región con alta probabilidad de padecer enfermedades de tipo degenerativas como osteopenia u osteoporosis. Estas enfermedades ocasionaron en algunos casos que se observaran regiones con tonos de gris que no correspondían a metástasis óseas pero tampoco se ajustaban a la clasificación ideal, de ahí que se clasificaron como no ideales. Los ITG's para los casos ideales y no ideales se muestran en la Tabla 5. Aquellos tonos de gris mayores a 74 y 85 (indicados con asterisco en las columnas 2 y 3) indicarán alguna anomalía ósea en progreso.



Tabla 5. Intervalos para la región de la pelvis.

Intervalos	Caso ideales	Caso no ideales
ITG 1	0-11	0-11
ITG 2	12-20	12-18
ITG 3	21-48	19-41
ITG 4	49-74*	42-63
ITG 5	75-125	64-85*
ITG 6	126-200	86-150
ITG 7	201-255	151-255

Las tablas 6 y 7 muestran los intervalos hallados para los casos de los hombros y el tórax respectivamente. Igual que para el caso de la pelvis, tonos de gris mayores a 78 y 52 (marcados con asterisco en las tablas) indicarán alguna anomalía ósea en progreso.

Tabla 6.- Intervalos para la región de los hombros.

Intervalos	Caso sano	Caso infiltrado
ITG 1	0-33	0-46
ITG 2	34-46	47-78*
ITG 3	47-65	79-113
ITG 4	66-78*	114-148
ITG 5	79-100	149-183
ITG 6	101-150	184-218
ITG 7	151-255	219-255

Tabla 7.- Intervalos para la región del tórax

Intervalos	Caso sano	Caso infiltrado
ITG 1	0-21	0-29
ITG 2	22-29	30-52*
ITG 3	30-35	53-93
ITG 4	36-48	94-134
ITG 5	49-52*	135-175
ITG 6	53-100	176-216
ITG 7	101-255	217-255



4.- Resultados y discusión

En la Figura 1 se visualiza en colores las regiones del cráneo ideal e infiltrado, el tórax y la pelvis. Las barras de colores verticales en cada figura indican dónde la región tiene alguna anomalía ósea que puede ser una metástasis ósea o no. Por ejemplo, en la Fig. 1.a, si alguna de las tres imágenes ahí mostradas tuviera una región en color cian, azul o violeta indicaría una anomalía ósea en progreso, pero como no la tiene indica que se trata de un cráneo ideal completamente sano. La Fig. 1.b muestra un cráneo infiltrado. Cuando el tono de gris es mayor a 255 no se pinta de algún color sino que se deja en blanco para indicar que se trata de una metástasis avanzada. En el caso de la Fig. 1.c la imagen del tórax muestra varias metástasis pero ninguna de ellas tiene un tono de gris mayor al valor 255. En el caso de la Fig. 1.d, la pelvis tiene varias metástasis, mostradas en color cian, azul y morado pero además tiene una región con metástasis donde los tonos de gris son mayores a 255.

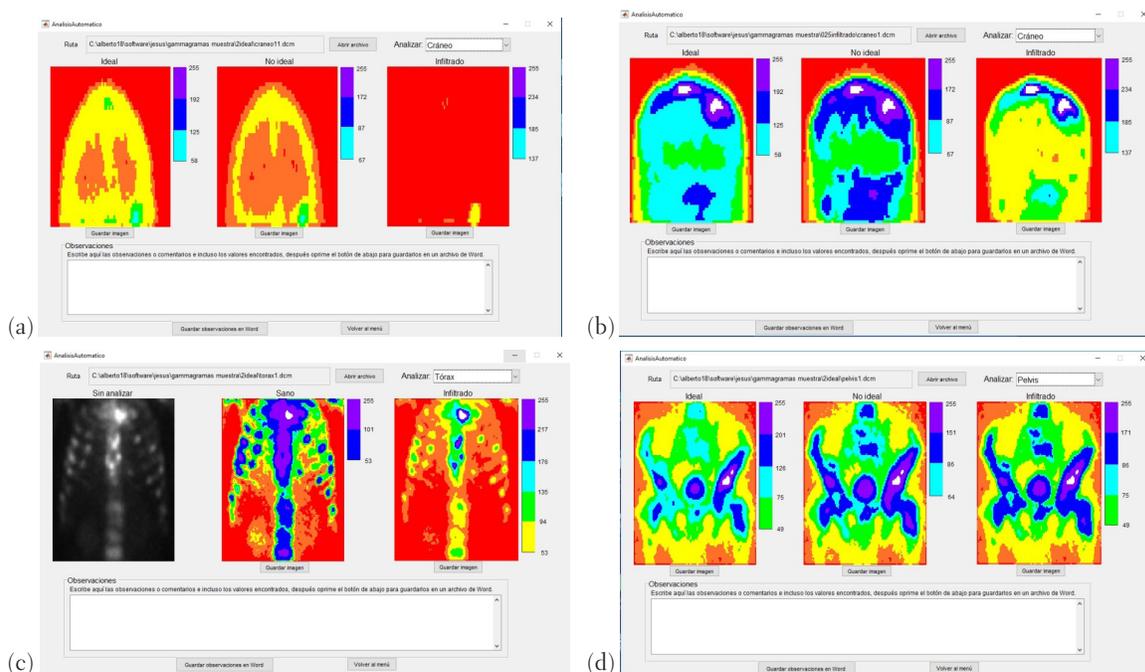


Figura 1. Visualización de las regiones usando sus respectivos intervalos de tonos de gris.

Para que el software sea eficiente es necesario que el usuario esté dispuesto a tener otra manera de pensar al momento de analizar los gammagramas, ya que si desde el inicio confía más en su experiencia entonces el software no le va a ser de mucha utilidad. Esto sería como negarse a hacer uso de los avances de la tecnología y vivir en el pasado.



5.- Conclusiones

Un software para detectar metástasis esquelética en gammagramas óseos y basado en un método cuantitativo fue presentado. Para el análisis, los gammagramas se segmentaron en ROI's donde intervalos de tonos de gris fueron hallados por medio de un procedimiento estadístico. Después, se asignó falso color a la imagen de acuerdo a los ITG's hallados con la ayuda del valor medio y la desviación estándar de los niveles de gris de las ROI's de la muestra. Antes de iniciar la prueba del software en un centro oncológico es necesario asegurarse de que los intervalos de tonos de gris hallados en este trabajo aplican para cualquier tipo de cámara gamma. Hasta el momento, los resultados son alentadores por lo que la técnica podría ser usada en el futuro para asistir a los expertos en el diagnóstico de las metástasis.

6.- BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Zafeirakis A, Scorings systems of quantitative bone scanning in prostate cancer: historical overview, current status and future perspectives, Hell J Nucl Med, 2014; 17(2), 136-144.
- [2]. Imbriaco M, Larson S, Yeung H, Mawlawi O, Erdi Y, Venkatraman E, Scher H, A new parameter for measuring metastatic bone involvement by prostate cancer: the boné scan index. Clin Cancer Research 1998; 4: 1765-1772.
- [3]. Sadik M, Hamadeh I, Nordblom P, Suurkula M, Hoglund P, Ohlsson M, Edenbrandt L, Computer-assisted interpretation of planar whole-body boné scans, J Nucl Med 2008; 49: 1958-1965.
- [4]. Jaramillo-Núñez A, Zapote-Hernández B, Sánchez- Rinza B, Títla-Tlatelpa JJ. Determinación de los rangos ideales de tonos de gris para una muestra de 59 gammagramas óseos. Anales de Radiología México 2016;15(4):345-356.
- [5]. Zapote-Hernández B, Cruz-Santiago JC, González-Vargas E, Jaramillo-Núñez A., Concordancia diagnóstica entre los métodos visual e informático en la detección de metástasis por gammagrafía ósea en cáncer de próstata. Anales de Radiología México 2016;15(2):111-119.
- [6]. Jaramillo Núñez A, y Gómez-Conde JC, Método para incrementar la sensibilidad diagnostica del gammagrama óseo, Anales de Radiología México, 2015; 14: 11-19.



Degradabilidad de biopelículas de cáscara de piña.

Enrique Alfonso Franco Maya ■ Ma. De la Paz SalgadoCruz ■ Adolfo Armando Rayas Amor
Rosy Gabriela Cruz Monterrosa ■ Judith Jiménez Guzmán ■ Mariano García-Garibay
Genaro Cvabodni Miranda de la Lama ■ Mayra Días Ramírez

Departamento de Ciencias de la Alimentación.
Universidad Autónoma Metropolitana - Lerma
m.diaz@correo.ler.uam.mx

1. RESUMEN.

Las biopelículas se elaboraron con pectina de piña y con pectina de cítricos como control. Para su elaboración se utilizó el método de vaciado en placa. Para evaluar la degradabilidad en suelo de las biopelículas se enterraron 14 cm² en tres clases texturales de suelo en un área de 1 m² a una profundidad de 25 cm, las muestras fueron removidas en el día 1, 3, 6, y 7 y se realizaron pruebas fisico-químicas al suelo. La degradabilidad de las biopelículas se determinó mediante la pérdida de peso inicial menos la final. La degradabilidad de las biopelículas elaboradas con pectina de cáscara de piña fue hasta de un 99% al séptimo día, se degradaron más del 90% cuando se enterraron en un suelo limoso con 22% de materia orgánica y 52% de humedad siendo estas dos variables las que mayor efecto tienen sobre la degradabilidad de las biopelículas estudiadas.

Palabras clave: biopelículas, pectina, piña, degradabilidad

2. INTRODUCCIÓN.

La piña (*Ananás comosus*), es originaria del Centro y Sudamérica^[1], al ser utilizada en la industria alimenticia principalmente en la de las conservas de piña genera gran cantidad de desechos, causando problemas ambientales y de contaminación, estos subproductos pueden ser utilizados para la producción de productos de valor agregado. Los residuos de la piña son una materia prima compuesta principalmente por fibras insolubles, pectinas, azúcares, proteínas, vitaminas, minerales y compuestos fenólicos^[2]; sin embargo, la investigación de la piña solo ha sido enfocada a la recuperación de enzimas proteolíticas como la bromelina^[3]. Tomando esto en consideración, se necesitan estrategias para



recuperar otros compuestos de valor agregado disponibles en los residuos de la piña. Recientemente ha habido una preocupación creciente para la preservación del ambiente y la sustentabilidad de los recursos naturales; por lo tanto, la utilización de los recursos naturales está recibiendo interés como una alternativa de los recursos no renovables en el área de tecnología de materiales. Hasta la fecha poca investigación se ha realizado en el empleo de la pectina como material base para la elaboración de biopelículas en México.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES.

3.1. Materiales.

La cáscara de piña se recolectó en el municipio de Xonacatlán, este fruto proviene del Estado de Colima. Se utilizó pectina comercial (Pectina de cáscara de cítricos de Sigma-Aldrich) como control, glicerol y tween 20 grado reactivo para la elaboración de las biopelículas. En la extracción de pectina^[4] se modificó el pH; siendo de 0.5 - 0.3 y para la elaboración de las biopelículas se siguió el método de vaciado en placa (7 y 10 ml)^[5]

3.2. Análisis de las características químicas del suelo

Las características del suelo evaluadas fueron, porcentaje de humedad (HUM%), porcentaje de materia orgánica (MO%), porcentaje de carbono orgánico (C%). El HUM% se obtuvo secando la muestra a 105° C hasta peso constante, el MO% se obtuvo mediante incineración a 550° C durante 4.5 horas^[6] y el C% se calculó dividiendo el MO% entre el factor 1.724^[7]. El potencial de hidrógeno (pH), salinidad (Sal) y nitratos (NO₃-N) se obtuvo empleando un medidor multiparámetro (OAKTON PCS testr 35). Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

3.3. Degradabilidad de películas de pectina.

Las películas fueron enterradas en una superficie de 1 m², a 25 cm de profundidad en tres clases texturales de suelo, el área de las biopelículas fue de 14 cm². La pérdida de peso de las muestras en cada uno de los días se determinó usando la siguiente ecuación^[8].

$$\text{Pérdida de peso \%} = \frac{w_i - w_f}{w_i} (100)$$



En donde; W_i = peso seco inicial de las biopelículas antes de la prueba, W_f = peso seco final de las biopelículas. La biopelículas se desenterraron en los días 1, 3, 6 y 7, se depositaron en bolsas de papel identificadas respectivamente y se metieron a secar en estufa de aire forzado a 45°C durante 24 horas.

3.4. Análisis estadístico

Las variables de las características químicas del suelo se analizaron mediante un diseño completamente aleatorizado. El modelo general lineal fue: $Y = \mu + T + e$; en donde; Y = variable respuesta (%HUM, %MO, %C, pH, Salinidad, NO_3-N), μ = media, T = tratamiento (clase textural: Limoso, Franco limoso, Migajón limoso) y e = error experimental. La degradabilidad de las biopelículas elaboradas a partir de pectina de piña y comercial se analizaron con un diseño bifactorial en bloques completos al azar en donde el factor A contempló a los tipos de pectina con sus respectivas concentraciones (Pectina comercial 7 y 10 ml, Pectina de piña 7 y 10 ml); el factor B representó a los días de degradación (1, 3, 6, 7); los bloques contemplaron las clases texturales del suelo (Limoso, Franco limoso, Migajón limoso). El modelo general lineal fue: $Y = \mu + \text{Factor A} + \text{Factor B} + \text{Bloques} + (\text{Factor A} * \text{Factor B}) + (\text{Factor A} * \text{Bloques}) + (\text{Factor B} * \text{Bloques}) + e$; en donde; Y = variable respuesta (degradabilidad de la pectina) μ = media general, Factor A= efecto debido al tipo de pectina (Pectina industrial 7ml, Pectina piña 7 ml, Pectina piña 10 ml, Pectina industrial 10 ml), Factor B= efecto debido al día de degradación (1, 3, 6,7), Bloque= efecto debido a la clase textural del suelo (Limoso, Franco limoso, Migajón limoso), (Factor A * Factor B)= interacción entre los factores A y B, (Factor A * Bloques)= interacción entre el Factor A y los bloques, (Factor B * Bloques)= interacción entre el Factor B y los bloques, e = error experimental. El análisis estadístico se realizó en el software MINITAB v14^[9]. Todo los análisis se realizaron con el software Minitab v14.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Características químicas de los suelos utilizados en la prueba de degradabilidad.

El Cuadro 1 presenta las características químicas de las tres clases texturales de los suelos utilizados en este estudio. Las texturas de los suelos encontradas fueron Limoso, Migajón limoso y Franco limoso; siendo el suelo Limoso (UAM-Lerma) el que presentó mayor porcentaje de humedad, de materia orgánica, de carbono orgánico y nitrato inorgánico siendo significativamente diferente ($P < 0.001$) a las otras dos clases texturales. La cantidad de sales en las tres clases texturales de los suelos fue baja.



Cuadro 1. Características químicas de las tres clases texturales de suelo utilizados en el estudio.

Clase textural del suelo	HUM	MO	C	pH	Sal	NO ₃
	%				(mg/ kg suelo)	
Limoso	52±1.4 ^a	22±1.5 ^a	13±0.8 ^a	6±0.1 ^a	46±7.8 ^a	29±6.2 ^a
Migajón limoso	5±1.3 ^b	3±0.6 ^b	1±0.3 ^b	6.3±0.9 ^b	4±14.3 ^b	11±18.6 ^a
Franco limoso	5±0.4 ^b	4±0.1 ^c	2±0.1 ^c	8±0.2 ^b	3±5.2 ^b	9±32.9 ^b

Limoso: Suelo de la UAM-L; migajón limoso y franco limoso: San Pedro Huitzilapan, Lerma de Villada. %HUM: porcentaje de humedad; %MO: porcentaje de materia orgánica; %C: porcentaje de carbono orgánico; pH: potencial de hidrógeno; Sal: salinidad; NO₃: nitratos en nitrógeno.

El Cuadro 2 muestra la degradabilidad de las biopelículas elaboradas con pectina control y de cáscara de piña, en función de tres clases texturales de suelo. La biopelícula elaborada con pectina de cáscara de piña con un volumen de vaciado de 7 mL fue significativamente diferente ($P < 0.001$) y la que presentó mayor degradabilidad seguida de la pectina de cáscara de piña con un volumen de vaciado de 10 mL. La mayor degradabilidad se observó a partir del día 7 en todas las biopelículas, siendo este día significativamente diferente ($P < 0.001$) al resto de los demás. El %HUM y el %MO mostraron un efecto sobre la degradabilidad ya que el suelo con textura limosa presentó la mayor degradabilidad en todas las biopelículas, siendo significativamente diferente ($P < 0.001$) con respecto a los suelos de textura migajón limoso y franco limoso. La (Figura 3 a) muestra que la biopelícula de pectina de cáscara de piña con un volumen de vaciado de 7 ml presentó una mayor degradabilidad en el suelo de textura limosa (95%), seguido de la biopelícula de pectina de cáscara de piña con concentración de 10 ml.



Cuadro 2. Degradabilidad de las películas con pectina de piña y pectina control en tres clases texturales de suelo.

Tipo de pectina	Degradabilidad
Pectina control 7ml	0.42±0.44 ^b
Pectina piña 7ml	0.63±0.39 ^c
Pectina piña 10 ml	0.53±0.43 ^a
Pectina control 10ml	0.43±0.44 ^b
Tiempo (días)	
D1	0.27±0.34 ^a
D3	0.37±0.42 ^b
D6	0.41±0.43 ^b
D7	0.80±0.35 ^c
Clases texturales de suelo	
Limoso	0.91±0.11 ^b
Migajón limoso	0.33±0.32 ^a
Franco limoso	0.27±0.43 ^a
Nivel de significancia	
Tipo de pectina	***
Tiempo (días)	***
Clases texturales de suelo	***

Limoso: suelo de la UAM-L; migajón limoso y franco limoso: San Pedro Huitzilapan Lema de Villada. ***. P<0.001.

Estas dos últimas fueron diferentes significativamente a la pectina control con sus respectivos volúmenes de vaciado 7 y 10 ml en las clases texturales franco limoso y migajón limoso. La (Figura 1b) muestra la degradabilidad de las biopelículas con respecto a los días y la textura del suelo. En los días 1, 3, 6 y 7; la biopelícula de pectina de cáscara de piña se degradó entre el 77 y 99% en el suelo limoso el cual fue significativamente diferente (P<0.001) de las otras dos texturas de suelo, seguido del migajón limoso y franco limoso. Para el día 7 las muestras de pectina se degradaron hasta el 99% en los suelos Limoso y Franco limoso, no obstante, en el suelo Migajón limoso se degradó hasta un 60 %.



4.2. Correlación entre las características químicas del suelo y la degradabilidad de pectina.

El Cuadro 3 muestra la correlación entre el porcentaje de materia orgánica y el porcentaje de humedad de ambos volúmenes de vaciado (7 ml y 10 ml) y de los dos tipos de pectina (control y cáscara de piña). Solamente se presentó correlación significativa ($P < 0.001$) para las variables de materia orgánica y humedad. Se observó que el porcentaje de materia orgánica y de humedad tienen un grado de correlación medio con la degradabilidad de la pectina a una concentración de 7 ml y 10 ml.

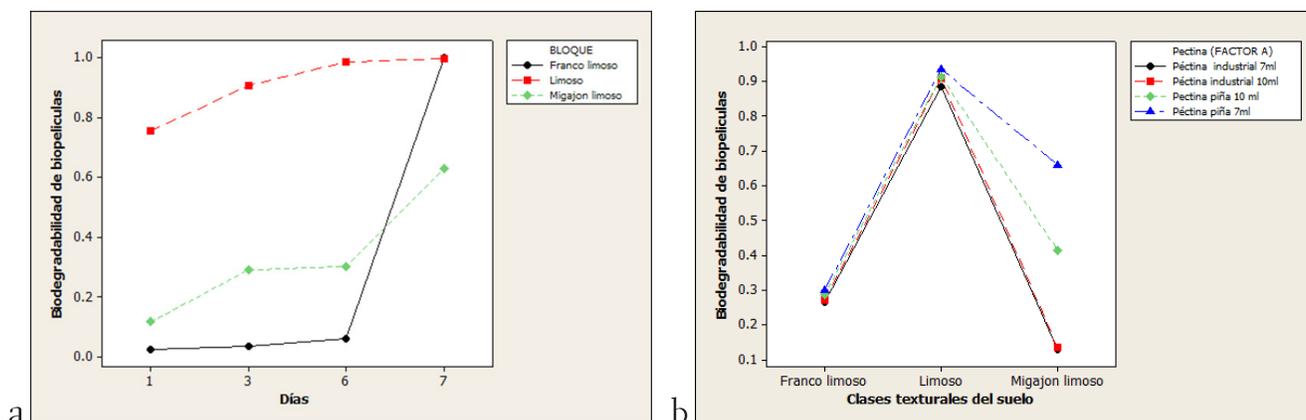


Figura 1. Interacciones entre el tipo de película con la clase textural del suelo (a) y los días con la clase textural.

En la figura (a) el círculo negro y rojo representan las películas de pectina control con volúmenes de vaciado de 7 ml y 10 ml respectivamente; para el rombo en color verde y triángulo en color azul representan las películas con pectina de piña de 10 ml y 7 ml respectivamente. Para la figura (b) en círculos representa la degradabilidad en un suelo franco limoso, en cuadros rojos representa la degradabilidad en un suelo limoso y las representada con rombos en color verde es la degradabilidad en un suelo migajón limoso.

El coeficiente de correlación de Pearson fue positivo, esto indica que, si el porcentaje de materia orgánica y humedad aumenta, la degradabilidad de la biopelícula aumenta.

Cuadro 3. Correlación de Pearson entre las variables de materia orgánica y humedad de suelo con respecto a la concentración de pectina

	Degradabilidad de pectina, concentración:	
	7 ml	10 ml
Porcentaje de materia orgánica	0.642***	0.700***
Porcentaje de humedad	0.639***	0.705***



4. CONCLUSIONES.

La degradabilidad de las biopelículas elaboradas con pectina de cáscara de piña fue de hasta un 99% al séptimo día. Las biopelículas elaboradas a partir de pectina de cáscara de piña se degradaron más del 90% cuando se enterraron en un suelo limoso con 22% de materia orgánica y 52% de humedad, siendo estas dos variables las que mayor efecto tienen sobre la degradabilidad de las biopelículas estudiadas.

AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen enteramente al Departamento de Ciencias de la Alimentación de la UAM Unidad Lerma por el apoyo financiero para el desarrollo del proyecto y al Laboratorio de Investigación II de Ingeniería Bioquímica de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Food and agriculture organization of the United Nations Statistical Division, USA, Retrieved from <http://faostat3.fao.org/home/E> (accessed july-2016) Google Scholar (2016).
2. Diaz-Vela J., Totosaus A., Cruz-Guerrero A.E., Pérez-Chabela M.L, in vitro evaluation of the fermentation of addedvalue agro-industrial by-products: Cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.) peel and pineapple (*Ananas comosus*) peel as functional ingredients International, Journal of Food Science and Technology, 48 (7), 1460-1467 (2013)
3. Silvestre M., Carreira M., Silva M., Corgosinho F., Monteiro M., Morais H., **effect of pH and temperature on the activity of enzymatic extracts from pineapple peel** Food and Bioprocess Technology, 5 (5), 1824-1831 (2012)
4. Cabarcas E., Guerra A., Henaó C., extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción. Trabajo de grado. Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería.
5. Gaona-Sánchez V.A., Calderón-Domínguez G., Morales-Sánchez E., Chanona-Pérez J.J., Arzate-Vázquez I., Terrés-Rojas E, pectinbased films produced by electrospraying. Journal of Applied Polymer Science, 133 (34) (2016).
6. Association off Analytic Chemists. Official method of analysis. 15.ed. Arlington, VA, Chap. 4., 1-73 (1990).
7. Del Valle Florencia H., prácticas de relaciones agua-suelo-planta-atmosfera. Universidad autónoma Chapingo, 51-55 (1992)



8. Astilleros N., valuación de la biodegradación en el suelo de películas elaboradas con mezclas de almidón de sorgo. Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (2017)
9. MINITAB Version14. User's guide II: data analysis and quality tools. USA, 216 (2003)



CAPÍTULO 4

Educación



EDUCACIÓN

La enseñanza y el aprendizaje de la ciencias han debido cambiar, dadas las grandes transformaciones tecnológicas y a la luz de los avances agigantados del cuerpo general de la ciencia. La enseñanza de la ciencia debe adoptar nuevos y diferentes métodos de enseñanza y aprendizaje, acorde con las necesidades fundamentales de este proceso de cambio, capacitando a los jóvenes en la adquisición de las destrezas necesarias para emprender, con capacidad crítica y conocimientos adecuados, la búsqueda de soluciones a los problemas que se enfrenta nuestra sociedad. Los ejes fundamentales del quehacer científico son conocer, interpretar y actuar, y una parte importante de este quehacer es la realización de experimentos en el laboratorio, reivindicando la importancia del conocimiento activo y experimental. La investigación aplicada tiene un carácter estratégico fundamental en el desarrollo tecnológico de nuestra sociedad y en el establecimiento de una cultura innovadora que permita la competencia basada en el conocimiento.

En este capítulo se abordan los importantes temas de la enseñanza de la Química, tanto la adquisición de competencias en el laboratorio, como su enseñanza en el aula utilizando la literatura, la enseñanza de la computación en el aula, el aprendizaje de la Termodinámica mediante nuevas herramientas, la comunicación socio-digital, la enseñanza virtual en las aulas universitarias, la percepción del cambio climático en el estudiantado de nivel superior y la transmisión del sistema de valores como parte de la enseñanza del método científico en las aulas.



Evaluación de adquisición de competencias mediante actividades de laboratorio

Alma Delia Rojas Rodríguez ■ Victor Hugo Del Valle-Muñoz ■ Cecilia Ximena Villegas-Pañeda

Facultad de Ingeniería.

Universidad Anáhuac - Campus Norte, Edo. de México.

alma.rojas@anahuac.mx

1. Resumen

El programa de Ingeniería Química, de la Universidad Anáhuac México Campus Norte se encuentra en un proceso de mejora continua, en el cual se debe demostrar la adquisición de las competencias por parte de los alumnos. En este documento se proponen elementos para la evaluación de la adquisición de dichas competencias. Para el caso de estudio, se seleccionó el laboratorio de Transferencia de calor y el método de evaluación directa mediante rúbricas. El uso de rúbricas facilita la evaluación de adquisición de competencias, puesto que simplifica el diseño de la evaluación por parte del profesorado y ofrece una herramienta accesible para estudiantes y docentes. Las implicaciones de la evaluación de la adquisición de competencias pasan por considerar diversos métodos de evaluación, que constituyan evidencias válidas de los niveles de logro de los estudiantes. La realimentación durante el proceso, la posibilidad de mejora, así como la reflexión, son elementos que promueven el desarrollo de competencias.

2. Introducción

Debido al proceso de globalización mundial de la economía, la internacionalización de los recursos humanos calificados se ha convertido en un fenómeno de actualidad. De ahí, la necesidad de esquemas competitivos de desempeño educativo y profesional, que en otros países guardan una estrecha relación, conocidos como sistemas de acreditación. Buscando la calidad educativa, el programa de Ingeniería Química, de la Universidad Anáhuac México Campus Norte se ha acreditado ante ABET. ABET es un reconocido organismo internacional que otorga la acreditación a los programas de educación superior en Ciencias Aplicadas, Informática, Ingenierías y Tecnología.



Como parte del proceso de acreditación se debe demostrar la adquisición de las competencias por parte de los alumnos. En este documento se proponen rúbricas para la evaluación de la adquisición dichas competencias.

El concepto de competencias es polisémico y complejo, ya que no existe una teoría unificada que sustente este enfoque [Gimeno, 2008]. A esto se debe agregar la dificultad propia de la evaluación del aprendizaje, por lo que la evaluación de adquisición de competencias parece ambigua [Moreno, 2012]. En este sentido, Valverde [2012] indica que la evaluación por competencias es un proceso de recogida de evidencias (a través de actividades de aprendizaje) y de formulación de valoraciones sobre la medida y la naturaleza del progreso del estudiante, según unos resultados de aprendizaje esperados. Diversos autores [Maclellan, 2004; Brown, 2004; Gulikers, 2004; Linn, 1991], proponen las siguientes características que deben cumplir dichas evaluaciones:

- Autenticidad
- Complejidad cognitiva
- Imparcialidad
- Significatividad
- Interpretación directa
- Transparencia
- Consecuencias educativas
- Reproducibilidad
- Homogeneidad

Moreno (2012) propone las siguientes metodologías para la evaluación de competencias:

- Reflexiones finales
- Proyectos
- Aprendizaje basado en problemas (ABP)
- Estudio de casos
- Rúbricas
- Portafolio
- Exámenes escritos

Como parte del proceso de acreditación ante ABET, se debe entregar un autoestudio, dentro del cual se debe demostrar la adquisición de competencias propuestas por ABET, a saber:



- a) Habilidad para aplicar el conocimiento de las matemáticas, la ciencia y la ingeniería.
- b) Habilidad para diseñar y realizar experimentos, así como para analizar e interpretar datos.
- c) Habilidad para diseñar un sistema, un componente o un proceso, para cumplir ciertas necesidades dentro de restricciones realistas tales como económicas, ambientales, sociales, políticas, éticas, de salud y seguridad, manufacturabilidad y sustentabilidad.
- d) Habilidad para trabajar en equipos multidisciplinarios.
- e) Habilidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- f) Entendimiento de la responsabilidad profesional y ética.
- g) Habilidad para comunicarse de manera efectiva.
- h) Educación amplia necesaria para entender el impacto de las soluciones ingenieriles en un contexto global, económico, ambiental y social.
- i) Reconocimiento de la necesidad y la habilidad para involucrarse en un proceso de aprendizaje de por vida.
- j) Conocimiento de temas y problemas contemporáneos.
- k) Habilidad para usar técnicas, destrezas y herramientas de la ingeniería moderna, necesarias para la práctica de la ingeniería.

El objetivo de este trabajo es presentar la experiencia de la Facultad de Ingeniería, en la evaluación de adquisición de competencias de ingeniería mediante experiencias en el laboratorio.

3. Metodología

Este trabajo se desarrolló en tres etapas: selección de competencias a evaluar (I), implementación de la medición de la adquisición de las competencias correspondientes (II) y diseño del instrumento de evaluación (III).

Para la etapa I, como ya se mencionó, el programa de Ingeniería Química, de la Universidad Anáhuac México Campus Norte está acreditado ante ABET, debe estar inmerso en un proceso de mejora continua para que los estudiantes adquieran las competencias propuestas por dicho organismo. En la etapa II, se analizaron los contenidos temáticos y los objetivos de cada materia con laboratorio para definir la competencia que desarrolla; posteriormente se escogieron las asignaturas donde la adquisición de competencias fuese a un nivel alto, y con base en esta información se implementó la evaluación. Para la tercera etapa, después de una exhaustiva revisión se seleccionó el instrumento de rúbricas.



Para el caso de estudio, se seleccionó el laboratorio de Transferencia de calor para evaluar las competencias a, b, c, g y k. Debido a que cuenta con las siguientes características:

- Es una materia impartida en inglés.
- En cada sesión se selecciona un alumno como “Líder”, quien se encarga del diseño de la práctica.
- Se piden 2 informes:
- Bitácora. Donde el líder plasma la planeación de la práctica.
- Informe formal. Cada grupo de alumnos entrega un informe completo de la práctica.
- Se realizan 9 prácticas en el semestre.
- Se tiene un máximo de 5 equipos por grupo, con 2 o 3 integrantes cada uno.

Como métodos de evaluación se seleccionó:

- Rúbricas. Evaluación directa.
- Reflexión del profesor. Evaluación indirecta.

4. Resultados y discusión

Con base en el modelo 5E [BSCS, 2015] y en el propuesto por Merrill [2002], se propuso, el siguiente modelo instruccional:

- i. Enganchar para integrar
- ii. Explicar para activar
- iii. Elaborar para aplicar
- iv. Demostrar para evaluar

Para las etapas i y ii, se les provee a los estudiantes las siguientes instrucciones:

The leader student will be in charge of planning the experiment, and will be responsible of ensuring that enough data of appropriate quality are obtained. To achieve this, the leader will need to make a brief research of the theoretical background, and to **perform some previous visits to the laboratory to see the apparatus and discuss with the instructors (You must look for the instructor)**. All leaders will be assessed for their contribution to the experiment by the Demonstrator. In the logbook, the leader must state:



- a) Provide 3 clear statements of the research objectives of your upcoming experiment.
- b) Safety requirements.
- c) What is your experimental plan? Identify:
 - A list of the required materials
 - Experimental procedure
 - Experimental tasks to be executed
 - Personnel assignments (including group leader)
 - Experimental parameters to be adjusted
 - Data to be collected
- d) Clearly illustrate how data obtained from your experiment will be used with the experimental plan identified in Step d.

With experimental data:

- e) Show a sample calculation, indicate the run number used and which table(s) the information can be found.
- f) Preliminary conclusions.

Como ejemplo de las etapas iii y iv, se muestra la Figura 1, donde se identifican los elementos solicitados.



Mónica Bedia Olmudena García

EXPERIMENT 8

Purpose
Use energy balances and sum of resistance to calculate the overall heat transfer coefficient in the evaporator.

Safety information
This lab experiment involves working with hot surfaces, take the necessary precautions.

Experimental Procedure
→ **Operation**

- The single effect evaporator unit is shown schematically in Figure 1.
- Start the unit and let it reach steady state.
- After the unit reaches steady state record the temperature and pressure at various points.
- Measure the flow rate of condensate and concentrate.
- Shut down the unit.

Teams:

- Condensated Flow Rate - Héctor
- Condensated Flow Rate - Juan Fer
- Control Pressure - Ale
- Oil temperature - Pía
- Solution temperature - Vane
- Tables ($\lambda_{vap}@p_{sw}$) - Marco, Esteban
- Diagram Evaluation - Alejandra, Andrea

Pressure = 20 cm Hg

(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
T _{Evaporator}	T _{Oilwater}	T _{Oil}	T _{Oil}
56	60	114	107
67	70	112	106
70	74	113	107
73	76	109	104
73	77	114	108
74	77	112	106
75	78	114	108
74	78	112	107

1) $\frac{50 \text{ ml}}{28 \text{ s}} = 1.78 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$

2) $\frac{50 \text{ ml}}{25 \text{ s}} = 2 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$

3) $\frac{50 \text{ ml}}{25 \text{ s}} = 2 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$

$\sum = 1.926 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$

Concentration Flow (4)
800 ml in 4 minutes = 3.33 ml/s

Condensated Flow (4)
27 ml in 9 minutes = 0.05 ml/s

$\lambda = 2278.65 \text{ kJ/kg}$

Calculations:
Thermal load (Esteban, Ale, Marco)
 $1.926 \text{ ml/s} \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right) = 1.92 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

$P = 0.266 \text{ bar}$

$m_{conc} = 2.2 \times 10^{-6} = 0.0010207 = 3.23 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$

$m_{cond} = 0.05 \times 10^{-6} = 5.8920 \text{ m}^3/\text{s} = 3.486 \times 10^{-9}$

$x = 0.01$

$h_o = 0.05(\lambda) = 315.78$

$h_i = 293.0 \text{ kJ/kg}$

$m_f = 1.926 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} (977.7 \text{ kg/m}^3) = 1.88 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$

$q_T = 1.88 \times 10^{-3} \text{ kg/s} (4191 \text{ J/kg}^\circ\text{C}) (66.31 - 36^\circ\text{C})$

$q_T = 81.233 \text{ W}$

$q_{II} = 3.23 \times 10^{-3}$

$q_{II} = 0.0736 \text{ kW} = 76.3 \text{ W}$

$q_{tot} = 154.833 \text{ W}$

Energy Balance (Héctor, Vanessa, Andrea)

Product $q(W) = 378.71$

Condensated $q(W) = 6474.60$

Total $q(W) = 7253.31$

Overall heat transfer coefficient
(Juan Fer, Pía, Alejandro)
 $q_T = U_o A (\Delta T_{me})$

Figura 1. Ejemplo de bitácora.

En la Tabla 1, se presentan los elementos evaluados en la rúbrica.



Tabla 1. Rúbrica para evaluar bitácora.

	HEAT TRANSFER LAB RUBRIC			
	Excellent (10)	Good (9 - 8)	Regular (7 - 6)	Deficient (5 - 0)
	A	B	C	D
Pre-Experimental Plan. Identify: 1. Personnel assignments (including group leader) 2. Experimental tasks to be executed 3. Experimental parameters to be adjusted				
Research objectives				
Visits to the laboratory				
Safety requirements				
Sample calculation: equations correctly set-out, adequate symbology used, exponents of 10 and prefixes correctly employed, measurement units correctly associated and equations completely written in both literal and numeric				
Experimental work				
Graphs: coordinate axes drawn straight and perpendicular, orientation marks attached to axes, variables associated to axes, axes properly scaled, waveform correctly traced with value marks attached at important points				
Preliminary Conclusions				
Apparatus and Procedure description.				
Apparatus description				
Requirements				
Vocabulary				
Spelling				
Confidence when talking				

Se observó que el uso de rúbricas facilita la evaluación de adquisición de competencias, puesto que simplifica el diseño de la evaluación por parte del profesorado y ofrece una herramienta accesible para estudiantes y docentes.



5. Conclusiones

El uso de rúbricas facilita la evaluación de adquisición de competencias, puesto que simplifica el diseño de la evaluación por parte del profesorado y ofrece una herramienta accesible para estudiantes y docentes.

Las implicaciones de la evaluación de la adquisición de competencias pasan por considerar diversos métodos de evaluación, que constituyan evidencias válidas de los niveles de logro de los estudiantes. La retroalimentación durante el proceso, la posibilidad de mejora, así como la reflexión, son elementos que promueven el desarrollo de competencias.

6. Referencias

1. ABET (2018) *TEMPLATE FOR A SELF-STUDY REPORT. 2017-2018*. Recuperado de: [http://www.abet.org/uploadedFiles/Accreditation/Accreditation_Step_by_Step/Accreditation_Documents/Current/2015_-_2016/E001%2014-15%20EAC%20Criteria%203-13-14\(2\).pdf](http://www.abet.org/uploadedFiles/Accreditation/Accreditation_Step_by_Step/Accreditation_Documents/Current/2015_-_2016/E001%2014-15%20EAC%20Criteria%203-13-14(2).pdf)
2. Baartman, L. K. J. y otros (2007). *Evaluating Assessment Quality in Competence-Based Education: A Qualitative Comparison of Two Frameworks*. *Educational Research Review*, vol. 2, n.º 2, pp. 114-129.
3. Bybee, R. W. (2015). *The BSCS 5E instructional model: Creating teachable moments*. NSTA Press, National Science Teachers Association.
4. Brown, S. (2004). *Assessment for Learning*. *Learning and Teaching in Higher Education*, n.º 1, pp. 81-89. Recuperado de: www2.glos.ac.uk/offload/tli/lets/athe/issue1/articles/brown.pdf,
5. Gulikers, J. T. M., Bastiaens, T. J. y Kirschner, P. A. (2004). *A five-Dimensional Framework for Authentic Assessment*. *Educational Technology Research and Design*, vol. 52, n.º 3, pp. 67-87.
6. Linn, R. L., Baker, E. L. y Dunbar, S. B. (1991). *Complex, Performance-Based Assessment: Expectations and Validation Criteria*. *Educational Researcher*, vol. 20, n.º 8, pp. 15-21. Recuperado de: www.cse.ucla.edu/products/evaluation/cresst_ec1992_1.pdf
7. Maclellan, E. (2004). *How Convincing Is Alternative Assessment for Use in Higher Education?* *Assessment and Evaluation in Higher Education*, vol. 29, n.º 3, pp. 311-321. Recuperado de: <http://strathprints.strath.ac.uk/5512/1/strathprints005512.pdf>
8. Merrill, M. D. (2002). *First principles of instruction*. *Educational technology research and development*, 50(3), 43-59.



9. Moreno, T. (julio-diciembre, 2012) La evaluación de competencias en educación. Sinéctica, 39. Recuperado de http://www.sinectica.iteso.mx/?seccion=articulo&lang=es&id=555_la_evaluacion_de_competencias_en_educacion
10. J. Valverde, F. I. Revuelta, M. R. Fernández *Modelos de evaluación por competencias a través de un sistema de gestión de aprendizaje. Experiencias en la formación inicial del profesorado* REVISTA IBERO-AMERICANA DE EDUCAÇÃO. N.º 60 (2012), pp. 51-62



Percepción del cambio climático en alumnos universitarios.

Gustavo Mauricio Bastián Montoya ■ Bernardo Adolfo Bastián-Olvera ■ Carlos Gay-García

Departamento de Ciencias Básicas.
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
mbastien@azc.uam.mx

1. Resumen

En este trabajo estudiamos la comprensión que tienen alumnos universitarios de algunos conceptos relacionados con el cambio climático (CC).

Nos centramos en tres aspectos: La existencia del CC, el efecto invernadero y algunos aspectos de carácter técnico.

Aplicamos 245 cuestionarios de opción múltiple a alumnos universitarios de Ingeniería, Ciencias del Diseño y Ciencias Sociales de la UAM-Azcapotzalco

Las respuestas que encontramos fueron interesantes en varios sentidos, primero porque la hipótesis de que están mejor informados que los estudiantes de secundaria y bachillerato no es completamente cierta y porque la mayoría de los alumnos tienen los razonamientos erróneos más comunes acerca del CC, sin embargo prácticamente todos están dispuestos a llevar un curso semipresencial para subsanar las deficiencias que pudieran tener sobre todo en las acciones personales que se pueden realizar para mitigar este cambio, así como conocer las acciones nacionales que se están llevando a cabo en este sentido.

2. INTRODUCCIÓN

La investigación en enseñanza de las ciencias nos ha mostrado que los razonamientos erróneos de los estudiantes son resistentes a la enseñanza y se han formado en la escuela y la interacción social incluyendo a las redes sociales.

En mayor o menor medida los estudiantes tienen errores conceptuales acerca del cambio climático^[1], no es difícil que se piense que el calentamiento global es lo mismo que el cambio climático o que el calentamiento se debe a la mayor cantidad de radiación solar que penetra por el agujero de ozono^[2]. Existe poca literatura al respecto en estudiantes latinoamericanos^{[3],[4]} por esta razón



es necesario tener datos de primera mano si deseamos subsanar estas deficiencias en cuanto a comprensión conceptual en estudiantes universitarios. Nuestra hipótesis fue que sus conocimientos sobre conceptos del cambio climático eran superiores a los que se encuentran en alumnos de grados menos avanzados, como los reportados en otros trabajos^{[5],[6]}. El fin de este trabajo es explicitar las concepciones erróneas sobre el CC que tienen los alumnos universitarios.

Uno de los problemas que enfrentan los alumnos al razonar sobre el cambio climático es que no se puede comprobar de manera simple y directa, aquí no se pueden plantear hipótesis fácilmente y verificarlas en el laboratorio, solo se pueden presentar gráficas de la evolución temporal de parámetros climáticos, fotografías o videos y referirse a estudios sobre el cambio de algo que de por sí es cambiante, por esta razón no existe, como plantean algunos autores^[7] facilidad para entender fenómenos que sobrepasen la experiencia diaria como la selección natural o el CC. Un alumno universitario, futuro profesionista que además vive en una ciudad con grandes retos ambientales, como la Cd. de México, requiere un buen marco de referencia científico, para tomar acciones personales, interpretar la información pública y dimensionar las medidas gubernamentales sobre este tema.

3. METODOLOGÍA

Este estudio se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, formada académicamente por tres Divisiones: Ciencias Sociales y Humanidades (CSH), Ciencias Básicas e Ingeniería (CBI) y Ciencias y Artes para el Diseño (CyAD), se aplicaron 243 cuestionarios repartidos equitativamente en las tres Divisiones. Antes de aplicar el cuestionario se sensibilizó al docente sobre este tema y se dió una explicación previa a los alumnos para que comprendieran la importancia de conocer sus concepciones sobre algunos aspectos del cambio climático. Las encuestas se llevaron a cabo a finales del trimestre 17-O. La muestra incluyó alumnos de todas las licenciaturas que se imparten en la Unidad.

Se utilizó una encuesta con 10 preguntas, la última abierta. Con los resultados se elaboró un análisis para poder enunciar los razonamientos erróneos más comunes.

4. RESULTADOS

Analizaremos cada una de las respuestas por separado y más adelante las relaciones entre algunas de ellas.



4.1 El CC está por demostrarse, no hay pruebas concluyentes.

En esta década el CC de origen antropogénico está demostrado, prácticamente no existen artículos en revistas científicas que pongan en duda el origen antropogénico del CC y no existe ninguna duda de que hemos atravesado numerosos cambios climáticos a través del tiempo geológico.

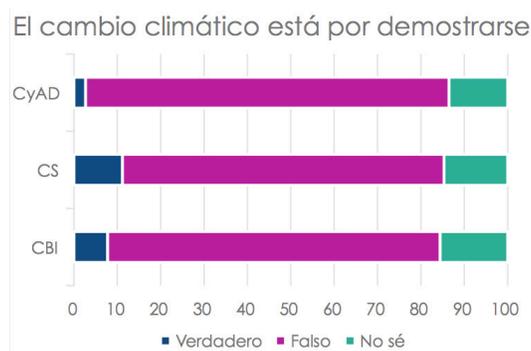


Fig. 1 Existencia del cambio climático

Esperábamos que esta pregunta tuviera cerca de 100 % de contestación correcta, pero es sorprendente, como se observa en la Fig. 1, que un 23% piensa que el CC no existe o no está seguro de ello. Observemos que no se preguntó por un cambio antropogénico, la pregunta era en general. En particular, en esta pregunta observamos que 23% de alumnos tienen dificultades para abordar correctamente la explicación y consecuencias del cambio climático pues este primer aspecto conlleva necesariamente conocimiento acerca de la variabilidad climática y cambios climáticos no antropogénicos del pasado. Este es un conocimiento erróneo muy común entre el público general, no solo entre los estudiantes. Las respuestas determinan los aspectos que se tienen que aclarar para modelizar adecuadamente el CC.

4.2 Equivalencia entre aumento de temperatura del planeta y CC

Si bien el cambio climático engloba el aumento en la temperatura media del planeta, es un conocimiento erróneo muy común suponer que estos dos fenómenos significan lo mismo. El aumento en la temperatura global del planeta sin duda incidirá en un cambio en los patrones locales y globales del clima. Esta confusión genera dudas cuando se tiene un invierno muy frío y se pretende explicarlo con el CC, pues parecería que un fenómeno está en contraposición con el otro y no permite una comprensión adecuada del fenómeno.



El 72.2% de alumnos tienen esta confusión lo que es un porcentaje muy alto, es una mayoría que difícilmente puede hacer una modelización de los fenómenos que se observan relacionados con el CC.

4.3 Una de las principales causas del CC es el agujero en la capa de ozono.

Hay una alta tendencia a creer que el agujero en la capa de ozono es la causa del CC. Las respuestas de los alumnos de Diseño son consistentes con los temas que desean conocer pues, al parecer no les interesa tanto saber las causas sino que tienen presente que es un grave problema y que ellos tienen que hacer algo para mitigarlo. Es preocupante que sólo el 17% de los alumnos de ingeniería contestaron correctamente la pregunta. De CSH sólo el 8% y de CyAD apenas un 5%.

Suponemos que esta tendencia se debe, al igual que otros razonamientos científicos erróneos, a la incorrecta divulgación de la ciencia en los medios masivos de comunicación, que es de donde han recibido la información. Otros autores también reportan hipótesis similares^[3]

4.4 El Efecto Invernadero (EI) es causado por los elevados índices de CO₂.

Existe un gran número de moléculas en la atmósfera que interactúan con radiación de onda larga y origina lo que se le ha conocido como el efecto invernadero. Estas moléculas han existido en la atmósfera desde mucho antes que el humano emitiera CO₂ a través de la quema de combustibles fósiles, sin embargo esto no es muy conocido debido a que los medios de comunicación suelen referirse a él como un mecanismo físico originado por el humano, sin hacer referencia a que éste facilita las condiciones climáticas que han dado origen a la vida como la conocemos.

En todos los casos más del 86% de los alumnos consideran que el aumento en el CO₂ (y éste es siempre asociado a la actividad humana) es el que ha producido este efecto. En el caso de ingeniería el porcentaje llegó al 92%, esto significa que hay una clara concepción del origen antropogénico del efecto invernadero, que si bien no es correcto, indica que se tiene una apreciación evidente de la responsabilidad de la actividad humana en este fenómeno. Estos resultados se explican si recordamos que en la Ciudad de México se experimentan fenómenos día a día que tienen que ver con una dinámica local del balance energético como la inversión térmica o el efecto de la isla de calor, los cuales son fáciles de relacionar con las emisiones locales de la metrópoli.



4.5 El CC podría intensificar los eventos extremos

Las preguntas 7, 8 y 9, buscan conocer la percepción de la asociación entre los eventos hidrometeorológicos extremos y el CC, es decir si esos eventos son una manifestación palpable del CC para los alumnos.

La mayoría piensa que los eventos extremos pueden intensificarse, sin embargo es de llamar la atención que el 23% no sabe o piensa que esto no ocurrirá. Es decir una cuarta parte de los estudiantes piensa que éste es un cambio que no nos afectará directamente y no está consciente de las afectaciones que conlleva el CC.

La pregunta estuvo diseñada de tal modo que un evento que es raro en la Cd. de México, pero que no es inusual que ocurra, se visualice como un hecho debido al CC.

Los alumnos de CSH fueron los más consistentes y respondieron en un 29% no saber la respuesta, los alumnos de diseño e ingeniería estaban más convencidos de que un evento extremo actual es causado por el CC, esto adquiere sentido con las preguntas sobre qué temas preferirían estudiar respecto al CC si tuvieran oportunidad, por ejemplo los alumnos de diseño optarían por las acciones prácticas personales y muy poco por el conocimiento de las causas de este fenómeno.

En general podemos decir que si el 70% de los alumnos –sin importar su orientación- están convencidos de que el cambio climático está representado por un evento aislado es preocupante, pues es un indicativo de la dificultad que tendrían para hacer un análisis correcto global de esta problemática.

4.6 En general los estudios científicos sobre el CC concluyen que si la temperatura media del planeta no sube más de 5 °C, el CC no será tan grave en el futuro.

Actualmente la temperatura media global está por encima de 1 °C respecto a los niveles pre-industriales y ya se están capturando señales climáticas que ponen en grave peligro a poblaciones enteras. Por otro lado, los tratados internacionales actuales exhortan a no rebasar los 2 °C o incluso 1.5 °C por encima de los niveles pre-industriales, de modo que se eviten futuros catastróficos. Si bien el límite en el aumento de la temperatura es un debate actual, 5°C rebasa por mucho los límites de toda duda de un futuro catastrófico.

Esta pregunta es la más técnica e implica un conocimiento mayor de los modelos climatológicos y las discusiones internacionales como las que se dan en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el CC, implica incluso un seguimiento serio de las noticias sobre este aspecto del calentamiento.

Observamos que solamente entre un 30% (CSH) y un 38% (CBI) afirman que los estudios científicos concluyen que 5° C es no-dañino. Por tratarse de una afirmación



que contiene un dato exacto es que los alumnos optan por la opción “no se”; el 65% de los alumnos de CyAD reconocen que no saben la respuesta y de todos los alumnos, el 55% no sabe si esto es cierto o falso, lo que no ocurre en ninguna otra pregunta.

En general, tomando en cuenta todas las respuestas del cuestionario, existe desconocimiento de hechos puntuales sobre el CC. Del total de preguntas, sólo fueron contestadas correctamente el 36% que es un porcentaje bajo para nivel universitario.

4.7 Curso y temas a tratar

Se incluyeron preguntas para conocer si estaban dispuestos a tomar un curso sobre cambio climático a distancia para mejorar sus conocimientos sobre el CC. Sólo al 2% no le interesó, el 76% de los alumnos prefiere un curso no mayor a 15 horas, esto se debe a que la pregunta es para un curso optativo y sin créditos. Contra lo que esperábamos –interés por saber que era el CC y sus causas- los datos nos muestran que existe un interés por saber lo que se hace en México para enfrentar este problema y las acciones personales para mitigarlo. Es decir los alumnos desean más actuar que conocer.

Los alumnos de Diseño son los más interesados en conocer acciones personales para mitigar el cambio climático y lo que hace México para resolver este problema, son más operacionales que las otras áreas, conocer las causas y lo que puede mitigar en general este cambio antropogénico tiene un interés medio, finalmente conocer el acuerdo de París y lo que es el CC no es su prioridad, lo que refuerza la idea de un punto de vista operativo y de acción inmediata.

Los alumnos de CSH son los más interesados en conocer las causas del CC, incluso más que los de CBI, esto es muy interesante y puede estar sesgado ya que se trata de que los encuestados fueron alumnos más avanzados en sus estudios y, suponemos, más responsables socialmente. Igualmente están interesados en cómo mitigarlo así como las acciones personales y nacionales son de su interés.

Los alumnos de Ingeniería son los más interesados en conocer lo que hace México o que se puede hacer en para mitigar este cambio. Suponemos que son los que más conocen del tema, pero aún así son los que más desean conocer sus orígenes.

Finalmente se pidió en una pregunta abierta una apreciación sobre el CC y las respuestas fueron variadas, pero indican una modelización incorrecta de lo que es el CC, por un lado y por otro, preocupación por realizar acciones que mitiguen este fenómeno.



5. CONCLUSIONES

Los razonamientos erróneos de los estudiantes son parecidos a los de otros estudiantes de niveles más bajos^[5], ciertamente encontramos que existe un mejor conocimiento de los temas en general, pero no en el grado que se podría esperar de los estudiantes universitarios. Lo cual es comprensible desde la perspectiva de que en la universidad no se estudia el CC de manera específica.

Es importante valorar el hecho de que ahora contamos con un primer acercamiento fidedigno a la comprensión de algunos conceptos del CC por nuestros alumnos, que en algunos casos es errónea. A partir de este análisis podemos expresar que se requiere estudiar un modelo general del cambio climático para poder comprender los hechos específicos, como por ejemplo que a eventos extremos actuales se les etiquete como una muestra de este fenómeno.

Un alumno universitario, futuro profesionista, que además vive en una ciudad con grandes retos ambientales, como la Cd. de México, requiere un buen marco de referencia científico, acorde con los conocimientos actuales sobre el tema, para tomar acciones personales, interpretar la información pública y dimensionar las medidas gubernamentales sobre CC.

Un hecho significativo, que muestra la madurez académica es la disposición a tomar un curso a distancia sin créditos para mejorar su comprensión sobre este tema. Esto es particularmente importante para plantear un curso optativo para todas las licenciaturas de las tres Divisiones de la Unidad Azcapotzalco, de tal manera que la discusión colectiva en un espacio común contribuya a mejorar la comprensión de tan importante aspecto de que se presenta actualmente en nuestra sociedad.

6. REFERENCIAS

1. Gautier, C., Deutsch, K., & Rebich, S. (2006). Misconceptions about the greenhouse effect. *Journal of Geoscience Education*, 54(3), 386-399.
2. Rebich, S. and Gautier, C., 2005, Concept Mapping to Reveal Prior Knowledge and Conceptual Change in a Mock Summit Course on Global Climate Change, *Journal of Geoscience Education*, v. 53, p. 5-16.
3. Isaac-Márquez, R., Salavarría, O., Eastmond, A., et al. (2011). Cultura ambiental en estudiantes de bachillerato. Estudio de caso de la educación ambiental en el nivel medio superior de Campeche. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 13 (2), 83-98. Consultado el día de mes de año en: <http://redie.uabc.mx/vol13no2/contenido-isaacmarquezetal.html>



4. González –Gaudiano, E., Schooling and environment in Latin America in the third millennium, *Env. Ed. Res.* V.13, Num. 2 115-169 (2007)
5. Lee, O., Lester, B. T., Li, Ma, Lambert, J., Conceptions of the greenhouse effect and global warming among elementary students from diverse languages and cultures, *Journal of Geoscience Education*, 55, 2; ProQuest SciTech Collection pg. 117-125 (2007)
6. McCaffrey, M. S., & Buhr, S. M. (2008). Clarifying climate confusion: Addressing systemic holes, cognitive gaps, and misconceptions through climate literacy. *Physical Geography*, 29(6), 512-528.
7. Chew-Hung Chang & Liberty Pascua, Singapore students' misconceptions of climate change, *International Research in Geographical and Environmental Education*, 25:1, 84-96 (2016)



El libro de texto

Antonio Valiente Barderas
Facultad de Química.
Universidad Nacional Autónoma de México.
faty_avb@yahoo.com

1. Resumen

El libro de texto ha sido empleado durante generaciones en la enseñanza de las ingenierías y no ha podido ser desplazado por los avances tecnológicos. El libro de texto es producto de la creatividad y el trabajo de los profesores, quienes a partir de sus apuntes crean el material necesario para convertirse en libro. Se espera que los docentes escriban libros de texto, pero en Latinoamérica reciben poco apoyo y reconocimiento. Muchas universidades después de lentos procesos publican libros de sus profesores, pero estos no son promocionados y difundidos y por ello queda ocultos para la mayoría del mundo. Hoy en día sería posible esa difusión debido a los avances del mercado electrónico.

Palabras clave: Libro de texto, Ingeniería, publicación, difusión, mercado electrónico.

2.- Introducción

El libro de texto es un material didáctico necesario en la enseñanza; es como otros recursos, un nexo con la realidad. Lo ideal sería que todo aprendizaje se llevara a cabo dentro de una situación real de la vida. No siendo esto posible, el material didáctico debe suplir a la realidad, representándola de la mejor manera posible. El libro de texto es hasta ahora, uno de los materiales didácticos más valiosos en la enseñanza, tanto a nivel elemental como universitario.^[1] De material aparentemente frágil, tiene una resistencia extraordinaria que le permite sobrevivir y ser leído centenas de años después de haber sido escrito y editado.

En general, las instituciones docentes, en cualquier país, esperan que los profesores dediquen su tiempo libre a la elaboración de material didáctico y



no están dispuestas a disminuir parte de la carga académica de los maestros para que estos puedan dedicarse a elaborar ese material. Tampoco en general, existen premios o reconocimientos para los mentores que han logrado editar algún libro, en especial en Latinoamérica. ^[3]

Los libros de texto han desempeñado un papel esencial en la educación de los ingenieros químicos, algunos de ellos cambiaron el curso de la enseñanza ^[2]. Muchos de los libros utilizados en la carrera han sido escritos por autores extranjeros y de habla inglesa, pocos por autores de habla hispana la mayoría de éstos, son editados en España y de escasa difusión y distribución fuera de ese país. Tanto los libros editados en España como en los países de habla inglesa son muy caros para las economías latinoamericanas por lo que algunas editoriales latinoamericanas han optado por traducir los libros o por editarlos en estos países para que resulten más baratos. De todas formas los libros de texto resultan inaccesibles para la gran mayoría de los estudiantes latinoamericanos, por lo que se ha recurrido a la producción y edición de libros en las universidades, las cuales ofrecen libros a mucho menor precio.

La edición de libros universitarios tiene una gran tradición, en la mayoría de las universidades prestigiosas las editoriales han producido libros escritos por los profesores que laboran en esas instituciones, sobre todo en las áreas de literatura, economía, ciencias políticas, ciencias jurídicas etc. Son más escasos los libros editados para satisfacer las necesidades de las matemáticas, la física, la química, la biología y las ingenierías.

Escribir un libro de texto no es fácil^[4]. Se requiere tiempo, conocimientos y valor. Lo más difícil es lo último, pues se debe luchar contra las ideas preconcebidas acerca de la poca capacidad de los docentes mexicanos para escribir libros sobre la Ingeniería Química. En general se puede decir que el refrán de que “nadie es profeta en su tierra” se aplica perfectamente a lo que les sucede a los autores mexicanos. La mayoría de los profesores siempre están dispuestos a la crítica feroz y en el mejor de los casos acogen con indiferencia las publicaciones de sus colegas, lo que da como resultado la escasa publicación de libros de texto editados por mexicanos en las bibliotecas de las universidades y tecnológicos o en las bibliografías de los programas de las materias.

Un fenómeno relacionado con la publicación de libros en editoriales universitarias es la escasa difusión que tiene ese material. En general los libros producidos son solamente conocidos y consumidos en la institución que les creó, salvo que se trate de editoriales muy prestigiosas como La Oxford o La Cambridge.

En México los libros editados por las universidades y tecnológicos permanecen solo para consumo local y es muy difícil que se les adquiera a no ser en las ferias locales o nacionales.

Para poner unos ejemplos, el Instituto Politécnico Nacional de la Ciudad de México edita multitud de obras las cuales sólo se pueden obtener en las instalaciones del



Instituto. Las Facultades de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) tienen también sus propias editoriales, pero esos libros sólo se conocen y se pueden adquirir en la UNAM y aún se da el caso de que los que se editan en la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, dependiente de la UNAM, no se conozcan en la FES Zaragoza o en la Facultad de Química de la UNAM. Lo mismo sucede con las publicaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana de la Ciudad de México.

3.- Escribir un libro

Ser escritor o autor de una obra escrita requiere de por sí, gran tenacidad y dedicación. Cuando se quiere compartir un mensaje, el peor enemigo se dice, es el anonimato, siendo la causa principal, no contar con una editorial que asuma los enormes gastos que representa imprimir tu libro.

En la actualidad, esto ya no es así, pues cada autor independiente o auto editor cuenta con herramientas importantes a su favor, para lograr el éxito que concluye en la impresión de la obra escrita.

Entre dichas herramientas que se convierten en oportunidades, se encuentra la posibilidad de imprimir tu libro en una imprenta digital (link), en la que con una pequeña inversión puedes lograr pequeños volúmenes de inicio, a bajos costos y en mucho menor tiempo que una imprenta offset donde el mínimo es de 1,000 ejemplares.

Puedes cotizar por ejemplo, tu libro en tamaño media carta, 50 ejemplares, 52 páginas, en blanco y negro, a color si tendrás fotos o imágenes de calidad, o imágenes meramente explicativas a color que no requieran calidad fotográfica, con lo que tu ahorro será aún mayor. Es sorprendente ver que esto requiere una inversión mínima, alcanzable con un pequeño esfuerzo, con lo cual los logros vienen de la mano.^[5]

La **autoedición** es una apuesta interesante en los tiempos que corren. Por supuesto, tiene sus ventajas y desventajas, y a mi entender, sus limitaciones dentro del mercado comercial de **libro**. Existen dos formas de autoeditar tus libros: en una imprenta normal o en una **editorial** on-line. La última opción es la más popular en estos últimos años ya que puedes elegir no sólo edición en formato papel sino también la edición electrónica.

En nuestros tiempos han aparecido editoriales que operan a través de la Internet (on line) y que ofrecen a maestros, autores y tesis, la publicación de libros gratuitamente, tales como Amazon, Bubok, Lulu, Google y EAE. Esos libros que escriben los autores y los pasan a un lenguaje de texto requerido, son formateados tanto el texto, como las pastas y la introducción por los propios autores quienes una vez cumplido el formato exigido mandan el libro a la editorial para que se edite. Esos libros de adquieren no a través de tiendas reales, sino virtuales en las cuales se ofrecen



los libros, se pagan con tarjetas de crédito y se envían vía correo a los compradores.^{[9],[10],[11]} Para algunas de esas editoriales es necesario que el escritor aporte dinero, en otras la publicación es gratuita tal como en la editorial Académica Española^[8]. Las ventajas de las editoriales on-line, a grandes rasgos son^[13]:

- a) Se edita lo que se venda o sólo tiradas muy limitadas de ejemplares.
- b) La edición electrónica abre el mercado a los libros electrónicos y reduce el precio de los ejemplares.
- c) El diseño y la maquetación son pasos simples contralados por el autor.
- d) A veces el precio de la obra los eligen los autores, en otros casos la editoriales, pero la comisión por venta es bastante reducida.

Las desventajas de las editoriales on-line a grandes rasgos son:

- a) La poca visibilidad en buscadores y su catalogación oficial de venta de novedades editoriales y librerías.
- b) Por lo general el autor es el único encargado de promocionar su obra.
- c) Para algunas de esas editoriales es necesario que el escritor aporte dinero, en otras la publicación es gratuita tal como en la editorial Académica Española^[8].

3.- Conclusiones

En nuestra época son muchas las compañías que a través de sus portales ofrecen la venta de libro por correo electrónico (on line) tales como, Amazon^[6], Book^[7], Amco^[9], etc. En las llamadas librerías on-line^[14] se pueden comprar de una manera sencilla, fácil y segura los libros que se deseen. Con los libros on-line se pueden horas de búsqueda de miles de libros conectándose con un buscador de libros.

Pero al parecer, la mayoría de las universidades no se han dado cuenta que podrían vender sus libros no solamente en sus instalaciones, sino en el mundo entero a través de los portales que se pueden crear en Internet para la venta de libros. Tampoco se han dado cuenta de que hay muchos lectores que con gusto adquirirían esos libros ya que están avalados por el prestigio de las instituciones y por la experiencia de los docentes que los han escrito.



4.- Bibliografía

- 1.- Antonio Valiente –Los libros de texto en la enseñanza de la ingeniería química-Revista contactos-No. 9, 1995- pág. 5.
- 2.- Antonio Valiente, Martha González- Los libros de texto en Ingeniería Química- Rev. Educación Química- Vol. 8, No. 3-julio 1997- pág. 171
- 3.- Antonio Valiente- La creación de un libro de texto en ingeniería química; la experiencia de un autor- Rev. Educación química- Vol. 3 No. 2- pag. 126- abril 1992.
- 4.- Antonio Valiente-Publicaciones para la enseñanza de la Ingeniería Química- Revista del IMIQ- Mayo-junio 1985-pág. 30.
- 6.- Amazon.com.mx.
- 7.- www.book.com.mx.
- 8.- ww.amcoline.net.
- 9.- kdp.amazon.com
- 10.- <https://www.eae-publisinhg.com>
- 11.- <https://bubok.es>.
- 12.- www.amcooline.net.
- 13.- [https://espaciolibros.com/editoriales-on-line-edita-tu -ptopio-libro-2/](https://espaciolibros.com/editoriales-on-line-edita-tu-ptopio-libro-2/)
- 14.- <https://buscarlibros.com>



Utilización de la literatura para enseñar Ingeniería Química

Antonio Valiente Barderas ■ Stephania Gómez Rodea

Facultad de Química.

Universidad Nacional Autónoma de México.

faty_avb@yahoo.com

1.- Resumen

Para lograr la mejor asimilación de los conocimientos durante la enseñanza de las materias llamadas Operaciones Unitarias en la Carrera de Ingeniería Química los profesores echan manos de muchas técnicas, en este artículo se muestra el empleo de cuentos para la resolución de problemas.

Palabras clave: Ingeniería Química, enseñanza, cuentos, resolución de problemas.

2.- Introducción

La Ingeniería Química es definida como:

La ingeniería química es la profesión en la que el conocimiento de las matemáticas, la química y otras ciencias naturales adquirido por el estudio, la experiencia y la práctica, se aplica con adecuado criterio para desarrollar métodos económicos para el aprovechamiento de materiales y energía en beneficio de la humanidad. ^[1]

Según se desprende de la definición, la enseñanza de la ingeniería química está basada principalmente en las matemáticas, la física, la química y las técnicas ingenieriles que a través de la experimentación, la práctica y la experiencia se han ido elaborando a través de los más de cien años de existencia de la profesión.

Las clases que imparten los docentes a nivel de licenciatura utilizan hoy en día herramientas sofisticadas basadas en el uso intensivo de la computación, el



internet, las técnicas audiovisuales, el planteamiento de las técnicas para la resolución de algoritmos y problemas.

El autor de este artículo ha explorado también el uso de la literatura para fomentar el aprendizaje, esto lo ha hecho mediante el uso de cuentos en los que en forma de relatos se resuelven problemas relacionados con algunas de las operaciones Unitarias.

Según la experiencia del autor este método además de novedoso resulta atractivo para los estudiantes que sienten que así se pierde el miedo a las deducciones, cálculos y procedimientos que comúnmente utilizan los profesores para inducir a la resolución de problemas. A modo de ejemplo se presenta un problema relacionado con la materia llamada Balances de materia y Energía.

3.- Presentación

El Ingeniero Roberto B. profesor de Balances de Materia y Energía comienza a dictar el examen final:

Se utiliza aire caliente para secar un mineral desde un diez por ciento de humedad inicial hasta el dos por ciento de humedad final. El aire de secado se debe fabricar a partir del aire atmosférico que está a 20°C , una presión de 760 mm de Hg y que tiene una temperatura de rocío de 14°C y una cantidad igual del aire que sale del secador.

Para prevenir el copiado, el astuto maestro nos ha colocado separados unos de los otros, poniendo un pupitre vacío entre cada uno. Sin embargo, sigo estando rodeado de cuates.

La mezcla de los aires se pasa a un calentador, de donde sale lista para entrar al secador. El secador es adiabático. El aire saliente del secador está a 45°C y tiene una humedad de 0.04 kilogramos de vapor de agua por kilogramo de aire seco.

Escribo tan rápidamente como puedo, con letra casi ilegible, para tratar de seguir el dictado del profesor.

¿Cuántos metros cúbicos de aire fresco se necesitan por cada mil kilogramos por hora de material entrante?

¿A qué temperatura deberá entrar el aire al secador?



¿Cuáles son las condiciones del aire de la mezcla?

¿Cuánta agua se evapora? y ¿Qué cantidad de calor se deberá transmitir al precalentador?

- Bueno, eso es todo- nos dice el maestro.- Suerte. Tienen dos horas para resolver el problema. Pueden usar sus apuntes y sus libros. También pueden utilizar las cartas psicrométricas y las hojas que les entregué. Si necesitan más hojas pídanmelas. Al menor intento de copia recojo el examen y además les aplico “la quebradora”. ¿Entendido?

Asentimos con una inclinación de cabeza. ¡Qué otra cosa podemos hacer! Él es ahora el gran *Tlatoani*. Él impone las reglas por más absurdas que parezcan. Además es un hombretón alto, fornido, con cara de bulldog. Se dice que fue luchador profesional.- ¡A lo mejor es *el Santo*! me dijo “*El Sombras*”, una vez que estuvimos hablando sobre él.

Leo de nuevo el enunciado del problema y me quedo mirando a la hoja vacía en donde debo escribir la respuesta. La puedo cambiar por otras cientos iguales, pero eso no cambiaría nada. Todas esperan mis razonamientos, mis números, pero para ello debo escribir la primera, debo romper la uniforme palidez de este desierto blanco. Para empezar abro mis apuntes y trato de encontrar allí un problema similar que se haya resuelto en clase. Pero no encuentro nada. Abro también mi libro. ^[2] Debo salir de este silencio con una idea original y luego darle forma y desarrollarla.

Pero necesito un indicio, una pista, un consejo, una sugerencia que me de pie para elaborar algo. ¿En dónde está esa pista? Miro con intensidad a la hoja en blanco, quizás pudiera haber algo allí, en la marca de agua. Estoy desvariando. ¿Quién demonios se ha llevado mi imaginación? ¿Por qué no me llega ninguna idea?

Estoy nervioso, las manos me sudan y la pluma se me resbala. Para calmarme respiro profundamente, mientras observo a mis compañeros.

“El Indio” que está sentado delante de mí, teclea con gran velocidad en su calculadora. “El Niño” escribe algo en su hoja de examen. “El Sombra” consulta la carta psicrométrica que nos dio el profesor. ¡Todos trabajan y a mi no se me ocurre nada!

- Indio - digo susurrando- ¿Tienes algo?, ¡Pásalo!



Menea la cabeza y levanta los hombros.

Ni el libro ni los apuntes de clase me proporcionan una pista o un problema similar para agarrar la onda. Inquieto miro a todos lados. Estoy asustado; el profesor me observa. Sonrió a pesar del dolor de estómago que me está empezando a dar. Dejo de moverme, me concentro y vuelvo a leer el enunciado del problema. Recuerdo las palabras del maestro. - “primero se debe hacer un esquema del proceso”^[3]

Sigo ese consejo y comienzo a dibujar aparatos y corrientes y a colocar los datos disponibles sobre el esquema. Esto me tranquiliza y me da la primera pista. Consulto mi reloj; ha pasado media hora.

Tomo la carta de humedad que nos dio el profesor y obtengo las temperaturas y humedades. Luego trazo la línea que une a los dos aires y localizo el punto de mezcla “38°C”. A partir de ese dato obtengo la temperatura de precalentamiento, “90°C y la temperatura de bulbo húmedo en el secador “42°C”.

-¡Qué bien! Ahora sólo me falta hacer los balances. A toda velocidad hago cálculos y anoto resultados.

Tres pupitres más atrás, “El Oso” se levanta y pide permiso para ir al baño. Al pasar a mi lado me arrebató el examen. Trato de gritar y de lanzarme contra él para que me lo devuelva, pero me contengo. Si hago cualquier aspaviento, el profe nos sacará del examen. Además el Oso me partirá la cara. ¡Jijo de la chin...! Me tengo que aguantar el coraje y el dolor de estómago que me vuelve. Debo comenzar de nuevo, miro el reloj. ¡Me queda sólo una hora!

Vuelvo a hacer el diagrama, saco las humedades y calculo el punto de mezcla de los aires “32.5°C”.

-¿Queeeeé? No, me he de haber equivocado por las carreras y los nervios, me acuerdo que me había dado 38. Vuelvo a revisar los cálculos con más cuidado.

- Si, es cierto. La temperatura de la mezcla es de “32.5°C” y por lo tanto la de precalentamiento debe ser de 75 y la de bulbo húmedo de 37.5a.C.

El pinche Oso se jodió solito. ¡Es tan bestia que no se dará cuenta del error! Este pensamiento me hace tan feliz que me desaparece el dolor de estómago y me dan ganas de gritar ¡Te chingaste pinche Oso!



Ahora si, calmado y feliz, me lanzo a terminar el resto de los cálculos; en menos de media hora he concluido.

Volteo y veo a todos trabajando y con cara de angustia. ¡Pero si estaba tan fácil! ¿Y si me hubiera equivocado? Mejor no entrego todavía el examen. Lo voy a revisar de nuevo, no vaya a ser la de malas. Al fin que tengo tiempo.

Paso a paso, con mucha calma reviso mis suposiciones, los cálculos, los datos obtenidos en la carta psicrométrica y mis resultados. Al cabo de cinco minutos he acabado. No tengo duda, he resuelto bien el problema. Con esto me saco un diez.

Me aseguro de que mi nombre este claramente escrito en las hojas, las doblo y me levanto. Al pasar al lado del Indio este me susurra.

-¡Pásame algo, no seas ojete!

Dejo caer a su lado, con mucho disimulo un papel con las suposiciones y algunos cálculos y me dirijo hacia el profesor.

-¿Cómo le fue?- me pregunta con una sonrisa que encuentro feroz.

- Creo que bien maestro, gracias.

-Adiós- me dice dándome un apretón que me deja la mano dolorida - Y espero que no le haya pasado el examen a ninguno de sus amigos, porque me lo tengo bien fichado y si encuentro algo chueco me lo friego.

- Adiós, profesor- le digo con el corazón en la garganta y un fuerte dolor de estómago.

4.- Conclusiones

Son numerosas las técnicas que los profesores emplean para atraer la atención de sus alumnos en la carrera de Ingeniería Química, en este artículo se presenta una técnica basada en la presentación de la resolución de problemas mediante cuentos. El autor después de haber empleado la técnica mostrada durante varios semestres cree que este procedimiento mejora el aprendizaje haciéndolo más atractivo y lúdico. Se pide a los lectores de este artículo que corroboren la solución sugerida.



4.- Bibliografía

- 1.- Antonio Valiente y Rudi Stivalet- La ingeniería química, El poder de la transformación- Facultad de Química-UNAM-México- 2011.
- 2.- Antonio Valiente y Rudi Stivalet- Problemas de balances de materia y energía- Alhambra Mexicana— México-1991.
- [3] Antonio Valiente y Stephania Gómez- The development of textbook exercises for Chemical engineers-EPRA Journal of Multidisciplinary Research-Volume 3-Issue 7-July 2017-pp 27,32-ISSN:2455-3662.



Prácticas de apoyo para los alumnos de los Estudios Técnicos Especializados en Computación de la ENP-UNAM.

Juan Ricardo Damián Zamacona ■ José Castillo Hernández ■ Sergio Quintana Thierry
Eric Viloria López ■ Leopoldo Ruíz Huerta ■ Alberto Caballero Ruiz

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología.
Universidad Nacional Autónoma de México.
ricardo.damian@ccadet.unam.mx

1. Resumen

En este trabajo se presenta la metodología y la forma de desarrollar algunas prácticas relacionadas con elementos electromecánicos externos a la computadora, de tal forma que los alumnos de la Opción Técnica de Estudios Técnicos Especializados en Computación, puedan interactuar con un ambiente físico externo a su computadora. Estas prácticas serán un complemento a las prácticas que en el campo de la computación ya realizan los alumnos a lo largo del semestre, pero las cuales están encaminadas básicamente al desarrollo de programas en lenguajes de alto nivel, sin incursionar en el hardware externo a su computadora. Con la adición de estas prácticas se pretende fortalecer la formación académica de los alumnos, ya que con ellas se proporciona al alumno las habilidades y el interés para realizar experimentos físicos a partir de lo aprendido en su curso normal de computación.

2. Introducción

Dado que en general, los estudiantes dedicados al estudio de la programación en sus primeras etapas, desconocen o realizan en contadas ocasiones la interacción de su computadora en alguna aplicación en un ambiente externo, tal como la adquisición y/o el control de variables, da como resultado que su campo de acción se vea limitado, ocasionando una desmotivación y una falta de interés por este tipo de prácticas, limitándolos exclusivamente a aprender sólo un lenguaje de programación.

El problema derivado de esto, a diferencia de los ambientes virtuales, surge cuando es necesario incursionar en el área de la electrónica y mecatrónica en la resolución de un problema físico. En este punto cuando alumnos y maes-



tros se tienen que enfrentar al problema de interactuar con este tipo de sistemas, se enfrentan a la disyuntiva de resolver el problema o relacionarse con especialistas que conozcan estas otras áreas. Cuando esto ocurre, el nuevo problema que se presenta es la interpretación del lenguaje de conceptos que manejan cada uno en su campo, lo que ocasiona que no se establezca una comunicación adecuada para la resolución del problema. Para poder romper esta barrera, con estas prácticas se pretende que el alumno incurra en el hardware apoyándose en sencillos y económicos sistemas. La metodología para llevar a cabo esto, parte del hecho de que teniendo un programa de computación, lo puedan modificar y observar los cambios que producen sobre un sistema externo (Hardware) a la computadora. Para esto, en primer lugar, es necesario contar con una interfaz electrónica que facilite la comunicación entre la computadora y el medio ambiente; en segundo lugar es necesario contar con el sistema electro-mecánico que espere las órdenes del programa para cambiar o realizar la función que se le ordene y en tercer lugar contar con un programa o diseñarlo de acuerdo a las variables externas^[1] que se quieren manipular. Esto engloba las acciones a ejecutar en el momento de realizar cada una de las prácticas propuestas.

Junto con estas prácticas se ponen a disposición de alumnos y maestros la teoría necesaria de los sensores y actuadores utilizados, así como de la interfaz para la comunicación entre los dos ambientes. Por otro lado, también se presenta un compendio de los conceptos básicos de electrónica, necesarios para comprender cada una de las prácticas cuyos objetivos principales es la de brindar a los alumnos, las herramientas que les permitan aplicar sus conocimientos adquiridos en su curso convencional.

3. Condiciones Experimentales

3.1 Interfaz de comunicación computadora-medio físico externo

Para comunicar una computadora con el mundo exterior existen diversas tecnologías tales como las ofrecidas por National Instrument. Esta plataforma cuenta con tarjetas DAC relativamente económicas, hasta sistemas complejos y de alto costo, tales como los sistemas RIO o los sistemas PAC como los mostrados en la (figura 1); sin embargo, el software que requieren estos sistemas necesitan de licencias de costo muy elevado para su uso.

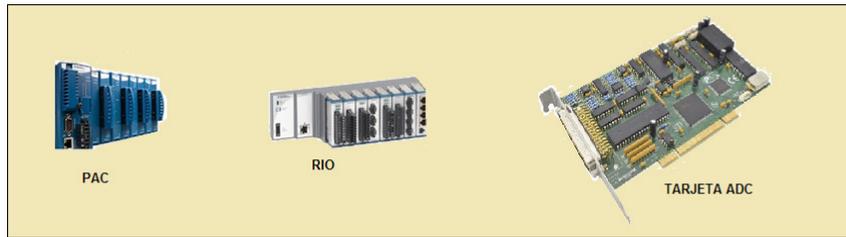


Figura 1. Sistemas de control y lectura de variables eléctricas de National Instrument

En el mercado también se tienen otras opciones tales como las tarjetas Arduino en diversas variantes, que resultan más económicas, y que cuentan con una plataforma de hardware y software libre para el desarrollo de aplicaciones, en la (figura 2) se muestran algunas variantes de estas tarjetas.

También se tiene la opción de generar una interfaz propia con base en microcontroladores, tales como los PICs de MicroChip, que cuenten con entradas especiales para convertir una señal analógica en digital y digital en analógica solamente que, para esto es necesario realizar un diseño diferente para cada uno de los sistemas físicos que se tengan que conectar a la computadora, la (figura 3) muestra un microcontrolador que incluye terminales de conexión para puerto USB.

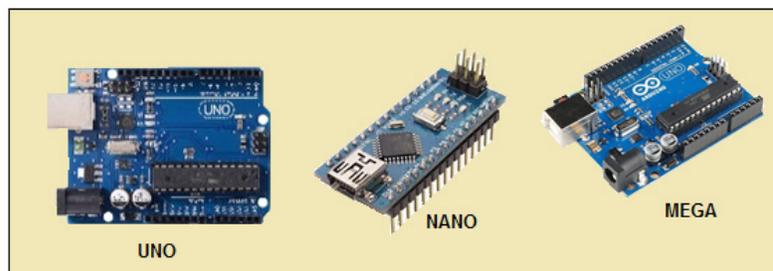


Figura 2. Diferentes tarjetas Arduino

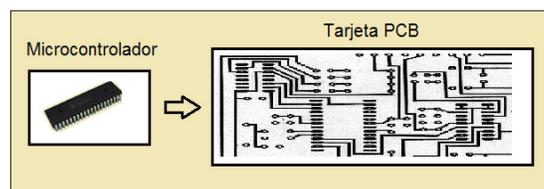


Figura 3. Microcontrolador con convertidor ADC

Por otro lado, también se tiene disponible en el mercado la plataforma de tarjetas Raspberry PI, ver (figura 4), que son más poderosas que los sistemas Arduino y por tanto más caras. Estas requieren para su configuración y programación, de ciertos lenguajes de alto nivel tal como el Linux, Debian GNU, Fedora, Arch Linux, Risco OS, entre otros.



Figura 4. Tarjeta Raspberry

Considerando que los alumnos manejan principalmente el lenguaje C en sus programas habituales, y lo recomendable es que puedan armar sus sistemas físicos de manera práctica, economía y sencilla, se optó por utilizar la plataforma Arduino. Cabe mencionar que se cuenta con mucha información sobre ella y en el mercado se encuentran disponibles muchos de los elementos y accesorios asociados a esta plataforma. Otra de las ventajas de estas tarjetas es que se pueden desarrollar prototipos en un corto plazo dada su facilidad de conexión.

3.2 Sistemas electromecánicos

En cada práctica se sugiere la lectura previa de los temas sobre electrónica que se requieren para el buen desarrollo de la práctica en turno^[2,3]. Para esto, se ofrece un compendio de los temas más importantes y se les facilita en formato PDF. La práctica es presentada en el curso por el profesor, quien cuenta con el prototipo electromecánico para fines demostrativos de tal forma que los alumnos sepan lo que tienen que obtener al final de la práctica.

Las práctica incluyen una tabla del material necesario para el ensamble de la misma, también se incluye una imagen de cada elemento, como se muestra en la (figura 5), para evitar errores en la compra del material. En la práctica también se presenta otra tabla del equipo, herramienta y accesorios adicionales que se pueden requerir, tales como multímetro, pinzas, baterías, etc. La idea principal, es que el alumno construya los mecanismos y no compre los elementos preensamblados, de esta forma se fortalece su proceso de aprendizaje.



1 Tarjeta <u>Arduino</u> Mega 2560 	1 Cable USB A-B 
2 Servomotor S3003 	1 Protoboard 
4 Fotorresistencias 	1 Regulador de Voltaje KA7805 
1 Batería 9V 	Cable telefónico y plano 
4 Resistencias de 1K Ω 	3 Rectángulos de madera de 7x9 cm y 7x8 cm y 7x13cm 
1Tabla de perfocel (base) 30x30 (cm) 	Circulos de plástico o madera (perfoce) de 4 cm de diametro 
2 Resistencias de 220 Ω 	2 leds (rojo y verde) 

Figura 5. Presentación de un ejemplo de un listado e imagen de material para la práctica en turno

A lo largo de las prácticas, mediante dibujos sencillos, se le indica al alumno la forma de hacer el ensamble. En la (figura 6) se muestra uno de los mecanismos completamente armado y propuesto en una de ellas.

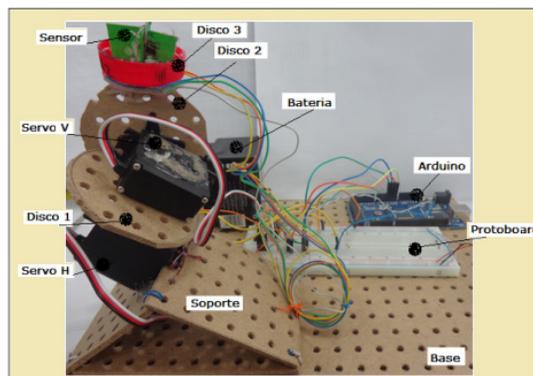


Figura 6. Ejemplo de un sistema mecánico para ensamblar

3.3 Programas

Los programas pueden ser diseñados por los alumnos, sin embargo, como las tarjeta de conexión entre la computadora y el medio físico, utilizan terminales específicas, se consideró adecuado preséntales un programa previamente diseñado, para que analicen su funcionamiento y tengan la libertad de modificarlo y de mejorarlo bajo la supervisión del profesor, con el fin de evitar dañar sus interfaces o la computadora. Los programas se presentan al alumno en la plataforma de programación de Arduino (IDE de Arduino) que es un entorno integrado de programación. Se les explica que



es una aplicación con un conjunto de herramientas de programación tales como un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica. Con este ambiente pueden crear los programas o “Sketch” que básicamente están integrados por una estructura que contiene un encabezado o descripción del programa, otra sección que contiene la configuración de la tarjeta Arduino que se está utilizando (void setup) y un bloque de sentencias a realizar por la tarjeta de forma repetitiva mientras se encuentre energizada (void loop). En la (figura 7) se muestra la estructura general del ambiente Arduino a manera de bloques. Dado que básicamente este ambiente de programación utiliza el lenguaje de programación C++, el alumno no debe tener problemas en la comprensión de los programas propuestos.

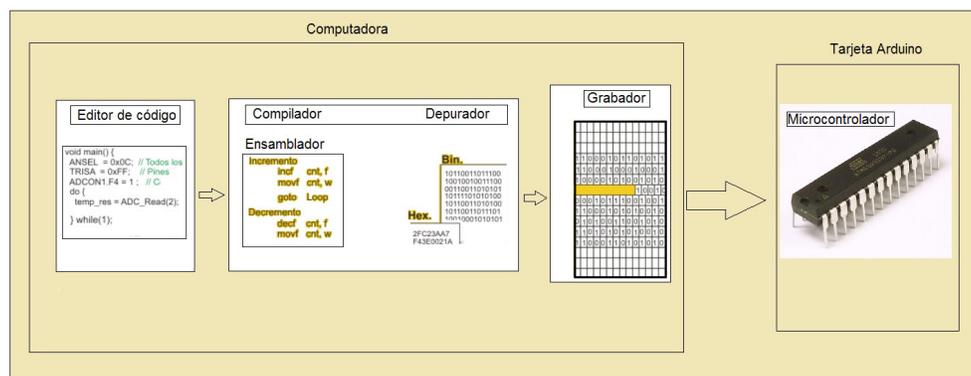


Figura 7. Diagrama a bloques general de la plataforma Arduino

4. Resultados y discusión

Como resultado de este trabajo se han generado un total de 11 prácticas que se pondrán a disposición de los profesores de los Estudios Técnicos Especializados en Computación de la ENP, para que las evalúen y emitan sus comentarios, con la finalidad de si así fuera el caso, realizar los cambios sugeridos por ellos, un ejemplo de éstas se muestra en la (figura 8). Las prácticas que se tienen son 1) Control de nivel de agua; 2) Control de posición de un servomotor con tarjeta Arduino Mega 2560; 3) Seguidor de fuente de luz de dos ejes; 4) Apertura de puerta automática con ultrasonido^[4]; 5) Uso del convertidor Analógico-Digital de la tarjeta Arduino Mega 2560; 6) Uso del Motor de Pasos con la tarjeta Arduino Mega 2560; 7) Display de cristal líquido alfanumérico 16x2^[5] con la tarjeta Arduino Mega 2560; 8) PWM aplicado a motores de corriente directa; 9) Amplificación de señales con OPAM; 10) Filtrado de señales con OPAM y 11) Fuente de voltaje para sistema Arduino.

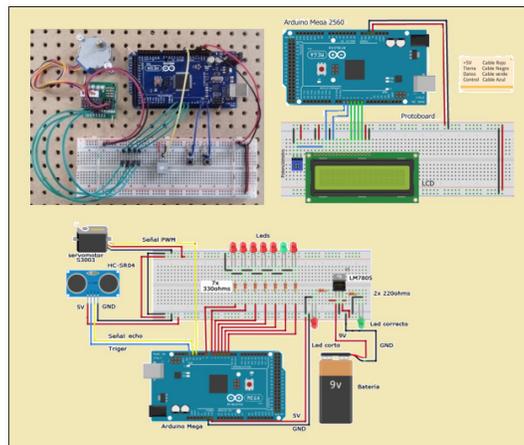


Figura 8. Muestra del alambrado de algunos sistemas, real y simulado

5. Conclusiones

Las prácticas fueron aplicadas a un grupo de profesores en un curso de conceptos básicos de electrónica y poniendo como ejemplo algunas de ellas, la aceptación por parte de los profesores fue buena por lo que el siguiente paso será ponerlas en práctica con los alumnos y esperar resultados de campo. Se pretende en definitiva, que estas prácticas permitan fortalecer la formación académica de los alumnos de la ENP. Además al capacitar a los profesores de la Opción Técnica, les permitirá tener herramientas de enseñanza aprendizaje acordes a las demandas actuales del sector público y privado de nuestro país.

Estas prácticas y la teoría asociada a ellas sobre conceptos básicos en electrónica y mecatrónica motivarán a los alumnos a seguir preparándose en el ámbito de la computación y tener interacción con medios físicos, dadas las aplicaciones que aquí se proponen.

Este trabajo fue realizado gracias al “Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza PAPIIME de la UNAM PE106917: Diseño de prácticas básicas de electrónica y mecatrónica para apoyar la enseñanza de la programación en los Estudios Técnicos Especializado en Computación de la Escuela Nacional Preparatoria de UNAM”.



6. Bibliografía

1. Física, cuarta edición, Halliday, Resnick, Krane, CECSA, México 2003.
2. Lawrence P. Huelsman, Teoría de circuitos, Segunda edición, Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
3. Circuito-eléctrico. Dirección de internet: <http://www.monografias.com/trabajos82/el-circuito-electrico/el-circuito-electrico.shtml#ixzz58Lnh0Uc7>.
4. Sensor ultrasónico. Dirección de internet: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
5. Biblioteca de cristal líquido, Dirección de Internet: <https://www.arduino.cc/en/Reference/LiquidCrystal>



Ingeniería Básica y Automatización de un sistema de Dinámica y Control para la enseñanza

María Rafaela Gutiérrez Lara ■ José Manuel García Anaya ■ Luis Yair Bautista Blanco
Oscar Hernández Meléndez ■ José Fernando Barragán Aroche

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecatrónica.
Universidad Nacional Autónoma de México.
luyababl@gmail.com

1. Resumen

La complejidad de nuestra sociedad moderna estimula a los estudiantes de licenciatura en Ingeniería Química del nivel superior a abordar nuevos retos, llevando a cabo un análisis profundo que facilita la toma de decisiones y permite establecer una estrategia para su resolución. Esta perspectiva obliga a los educadores a buscar nuevas formas de enseñanza, creando procesos o técnicas llamativas que ayuden a satisfacer las necesidades del aprendizaje. En este trabajo se presenta la ingeniería básica y la estrategia de automatización de un sistema de control de nivel, generada y construida para la enseñanza de la asignatura Dinámica y Control de Procesos. Esta herramienta busca acercar a los estudiantes en forma simple y lúdica los conceptos fundamentales que conforman la operación y control de los procesos químicos, explotando tecnologías al alcance de todos.

2. Introducción

El ingeniero químico posee una gran capacidad para desenvolverse en diferentes áreas, como puede ser: el diseño y selección de equipos; adaptación de procesos; investigación; ventas, etc.

Una de las áreas fundamentales del ingeniero químico es la correspondiente a la operación de los procesos, ésta considera los conceptos de Dinámica y Control Automático, que toma como base los modelos matemáticos generados de los balances de materia y energía del régimen estacionario y la perturbación de las variables independientes o medibles del proceso, involucrando: trayectorias dinámicas básicas, estabilidad de puntos de operación, diseño de sistemas de control, etc.



Como parte de su formación, los estudiantes requieren herramientas para poder guiar un proceso de un estado a otro. La enseñanza del curso Dinámica y Control de Procesos debe presentar los elementos que ayuden al alumno a predecir las relaciones dinámicas y estáticas que guardan las variables de un proceso, así como una explicación al comportamiento y la estrategia que seguirá la operación de una planta química en presencia de cambios.

El curso de Dinámica y Control de Procesos está dirigido principalmente al conocimiento de su filosofía y aplicación en sistemas clásicos, al diseño e implementación de sistemas de control P , PI o PID ; que podrían facilitar el cumplimiento de los objetivos en los protocolos de seguridad, hojas de datos de producción, y de calidad de los productos, entre otras utilidades.

2.1 Ingeniería Básica

La Ingeniería Básica tiene por objetivo completar el alcance de la alternativa seleccionada durante la fase de Ingeniería Conceptual y desarrollar un plan de ejecución del proyecto. Durante esta fase se fija el alcance del proyecto de manera concreta, se establecen las capacidades y las características de los productos y servicios que generará el proyecto, se definen los aspectos relacionados con el cuidado del medio ambiente, la seguridad, la filosofía operativa y la selección de materias primas, documentando los resultados obtenidos de forma completa y adecuada.

Entre los documentos típicos de la ingeniería básica están:

- Diagrama de Flujo de Procesos (DFP)
- Balance de materia y energía
- Diagrama de tuberías e instrumentación (DTI)
- Lista de equipos
- Filosofía de operación, control y seguridad
- Un breve estudio de riesgo
- Hojas de datos de equipos

2.2. Automatización

Con la finalidad de disminuir la intervención humana en la medición de las variables de control, se implementa un sistema automático que puede valerse de sistemas mecatrónicos para llevar a cabo tal operación. Una de las finalidades que persigue la automatización es la dignificación de las actividades humanas al permitirle al operador de un sistema automático evadir tareas monótonas o repetitivas y concentrar su capacidad intelectual en el análisis de los procesos automatizados para encontrar



áreas de mejora con base en el campo profesional al que se dedique. Debido a que los sistemas de un proceso automatizado actúan en los tiempos de respuesta de los dispositivos que los integran, uno de los resultados que se obtienen al automatizar es agilizar un proceso, logrando reducir los tiempos de un proceso y mejorando la calidad del producto del mismo (por ejemplo: mantener constante un nivel de producción a pesar de las variaciones de la demanda con base en la disponibilidad de los suministros necesarios). Es importante el estudio de sistemas automatizados a nivel educativo para poder identificar las condiciones de escalamiento ante un proceso industrial real.

3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron diversas herramientas, las cuales serán implementadas para que los estudiantes realicen la actividad, estas son principalmente: Software de algoritmos para el sistema de automatización, Balance de materia, partiendo de la elaboración del Diagrama de Flujo de Procesos (DFP) y el Diagrama de Tuberías e Instrumentación (DTI).

3.1. Software de algoritmos para el sistema de automatización.

En la Figura 1, se representan los bloques que seguirá el proceso automático a partir de los parámetros que ingrese el usuario (parámetros de control) para lograr el control del sistema, cuyo seguimiento podrá visualizarse a través de una interfaz.

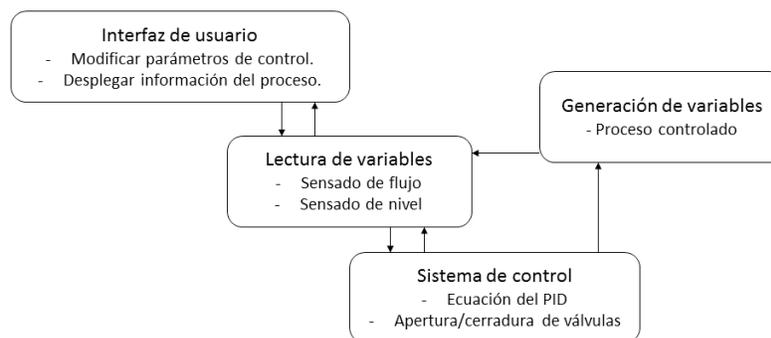


Figura 1. Diagrama de bloques de la automatización.

En la Figura 2, se muestra el Diagrama de Flujo de Procesos (DFP) generado para el sistema en estudio.

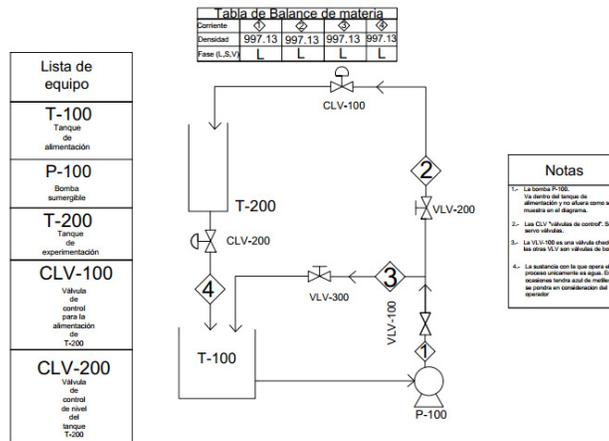


Figura 2. Diagrama de Flujo de Procesos (DFP)

El sistema está conformado por dos tanques y cinco válvulas. Dos de estas válvulas son válvulas de control (CLV-100) y (CLV-200). Del tanque (T-100) sale una corriente (1) la cual fluye hasta un divisor de corrientes y de éste surgen las corrientes (2) y (3). La corriente tres servirá como un baipás, lo que indica que el fluido estará regresando el contenido de la corriente al tanque de alimentación (T-100). La corriente (2) llega al tanque donde se realiza la experimentación. A lo largo de esta línea se tienen diferentes accesorios tales como: válvula de control y un medidor de flujo, estos accesorios ayudarán a controlar y medir el flujo.

El tanque T-200 tiene un medidor de nivel, el cual enviará una señal a las válvulas de control del tanque, para mantener el nivel de agua constante dentro del recipiente. La bomba (P-100) estará en el interior del tanque de alimentación (T-100).

3.2. Balance de materia a partir del Diagrama de Flujo de Proceso

El sistema mostrado en la Figura 3, sólo considera como objetivo de control al Tanque T-200, por lo que los balances de materia dinámicos y la caracterización de las válvulas de control se desarrollan únicamente con los elementos relacionados con este tanque:

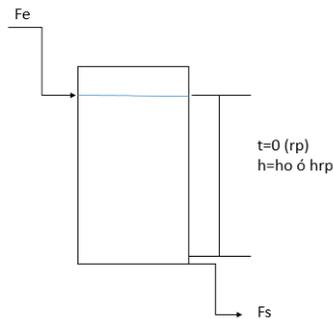


Figura 3. Sistema a controlar (T-200)

Así pues el balance de materia en el tanque T-200 puede escribirse como:

$$A \frac{dh}{dt} = Q_e - Q_s \tag{1}$$

Para efectos de control, las variables que pueden manipularse para cambiar el nivel son: la apertura de la válvula CLV-100 y la apertura de válvula CLV-200. Siguiendo una relación simple entre flujo y apertura de válvula, el flujo de entrada puede expresarse como:

$$Q_e = Q_{\max} f_e(x_e) \tag{2}$$

Por otro lado, la relación del flujo de salida es una combinación de la apertura de la válvula y del nivel del líquido en el tanque, por lo que se propone:

$$Q_s = f_s(x_s, h) \tag{3}$$

De esta manera, la ecuación del balance de materia en términos de variables de operación (h , x_e y x_s) queda:

$$A \frac{dh}{dt} = Q_{\max} f_e(x_e) - f_s(x_s, h) \tag{4}$$

La ecuación (4) es utilizada para analizar la dinámica no lineal del sistema.

Para diseñar el sistema de control es necesario contar con una representación lineal del sistema. Si se aproxima la ecuación por medio de series de Taylor se puede obtener la siguiente expresión para dinámica lineal:

$$\tau \frac{dh'}{dt} + h' = K_e x_e' + K_s x_s' \tag{5}$$



Considerando las siguientes variables como:

- h: nivel de líquido en el tanque T-200
- A: Área transversal del tanque T-200
- Q: Flujo volumétrico de entrada al tanque T-200
- x: Fracción de apertura de válvula
- K: Ganancia estacionaria
- τ : Constante tiempo del sistema

Considerando los siguientes subíndices como:

- (e): referente a las corrientes de entrada a T-200
- (s): referente a las corrientes de salida de T-200
- (máx): máximo

Considerando los siguientes superíndices como:

- ('): Variables de desviación

En la Figura 4, se muestra el Diagrama de Tubería e Instrumentación para el sistema de Dinámica y Control propuesto.

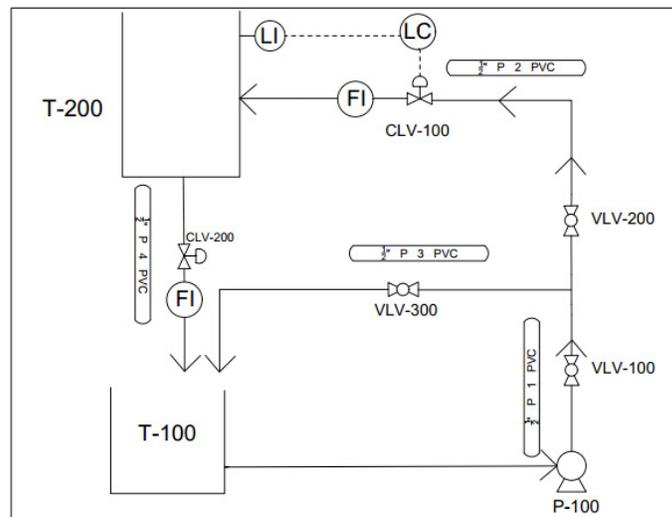


Figura 4. Diagrama de tubería e instrumentación (DTI) para el sistema de dinámica y control.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados presentados son a partir de los documentos realizados de la Ingeniería Básica para un sistema de Dinámica y Control (DFP, Balance de Materia, DTI).

5. CONCLUSIONES

La Ingeniería Básica y la automatización de un sistema clásico del curso de Dinámica y Control de Procesos se basan en la realización de diferentes documentos con la ayuda de algoritmos matemáticos y teóricos, lo que genera que muchos de los conceptos sean de difícil aprendizaje. El banco experimental que ya se está construyendo, será de gran ayuda para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje en los estudiantes de la Licenciatura de Ingeniería Química.

6. AGRADECIMIENTOS

Se le agradece el apoyo para la realización de este proyecto a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, dentro del Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME) con clave PE101717 durante el periodo 2017-2018.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ogata, K. Ingeniería de Control Moderna. Tercera edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana. México, 1998.
- Ogunnaike, BA., Ray, WH. Process Dynamics, Modeling, and Control. Ed. Oxford University. USA, 1994.
- Ku, BC. Sistemas de Control Automático. Séptima edición. Editorial Prentice Hall hispanoamericana. México 1996.
- Anaya-Durand, A. Manual de temas selectos de ingeniería de proyectos. Primera edición. Editorial UNAM. México, 2015.
- <https://www.facet.unt.edu.ar/facetinforma/wp-content/uploads/sites/9/2016/09/SC01-01-0-Alcances-de-Ingenier%C3%ADa.pdf>
- Valiente, A. Problemas de Flujo de Fluidos. Segunda edición. Editorial Limusa. México, 1998.



Herramienta para el aprendizaje en termodinámica

Alejandro Raymundo Pérez Ricárdez ■ Gustavo Mauricio Bastián Montoya ■ Fidel Cruz Peregrino

Departamento de Ciencias Básicas.
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
pra@correo.azc.uam.mx

1. Resumen

En los cursos de Termodinámica básica que se imparten a nivel universitario los alumnos tienen dificultades para identificar las variables y funciones de estado y las variables de proceso, así como para asimilar conceptos básicos de la termodinámica. En el curso que se imparte en la UAM Azcapotzalco de introducción a la termodinámica se utiliza una herramienta didáctica para subsanar estas deficiencias, cuyas ventajas y desventajas se exponen en este trabajo. Este recurso didáctico para las variables de estado P , V y T (PVT) y sus correspondientes cambios ΔP , ΔV y ΔT , facilitan la comprensión de las variables de estado y su comportamiento en procesos que constituyen o no un ciclo. De igual manera, se pueden elaborar las tablas para los valores de ΔU , Q , W y ΔS (ΔU , Q , W , ΔS) para un gas ideal y mediante ellas facilitar la comprensión conceptual de las variables de proceso y las funciones de estado. El uso de las tablas además de las ventajas mencionadas, permite resolver sistemáticamente los problemas que se les plantean a los alumnos.

2. Introducción

La enseñanza de la termodinámica representa un reto para los docentes universitarios, sobre todo porque se usan conceptos que en su mayoría no habrían sido utilizados anteriormente. Más aún existe una confusión entre los alumnos universitarios ^{[1],[2],[3]} entre los conceptos de variables y funciones de estado y las variables de proceso, así como para asimilar conceptos básicos como son la temperatura, el calor, el trabajo termodinámico y la entropía. Las tablas para las variables de estado P , V y T (PVT) y sus correspondientes cambios ΔP , ΔV y ΔT , que se pueden elaborar para uno o varios procesos que sucesivamente realiza un



gas ideal, facilitan el entendimiento de lo que es una variable de estado y que pasa con ellas cuando los procesos que realiza el gas ideal constituyen o no un ciclo, así como cuando se deben de aplicar la ecuación de estado del gas ideal y la del proceso adiabático, estas tablas se complementan para un mejor entendimiento con la elaboración de los diagramas VP para los procesos. De igual manera, para una serie de procesos que realiza un gas ideal, se pueden elaborar las tablas para los valores de ΔU , Q , W (ΔU , Q , W) y mediante ellas, se puede facilitar el entendimiento a los alumnos de lo que son las variables de proceso y que pasa con ellas en los procesos en los que los estados inicial y final no cambian solo lo hace la trayectoria que sigue el sistema o que pasa con ellas en un ciclo, cuando son funciones de estado como la energía interna y cuando no lo son, esto también se complementa con la elaboración del diagrama VP , para los procesos. En la solución de problemas también se sugiere la elaboración conjunta de las tablas de las variables de estado PVT y las de proceso (ΔU , Q , W), esto además de facilitar la solución de algunos problemas permite ver la interrelación entre unas y otras variables. El uso de la tabla PVT , se podrá hacer una vez que se haya cubierto en clase el concepto de gas ideal y las de (ΔU , Q , W) cuando se haya cubierto la primera ley de la termodinámica. Una tercera tabla que se sugiere utilizar es añadir a la de (ΔU , Q , W) el valor de ΔS para los procesos, siendo ΔS una variable de proceso y S , la entropía, una función de estado.

En la Unidad Azcapotzalco de la UAM se utiliza una herramienta didáctica que hemos denominado la tabla presión-volumen-temperatura¹ (PVT). Esta herramienta ha demostrado ser de mucha utilidad en la resolución de problemas, pues permite el cálculo de variables termodinámicas con relativa facilidad. El uso de las tablas además de las ventajas mencionadas, permite resolver sistemáticamente los problemas siempre y cuando el docente muestre el análisis físico de cada situación y promueva en el estudiante realizar este análisis para llenar la tabla. A continuación presentamos el funcionamiento de dicha herramienta.

3. Metodología de enseñanza utilizando tablas.

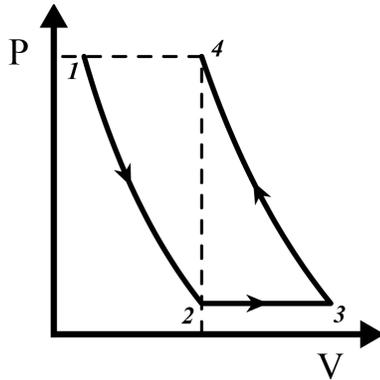
3.1 Tabla de estados

Lo primero que se requiere es enseñar a los alumnos como se elabora la tabla (PVT) y que información contiene. A continuación se muestra una de ellas para 3 procesos a los cuales se sujeta un gas ideal, como muestra el diagrama VP en el siguiente problema ^[4]:

¹ Esta metodología la diseñó fundamentalmente el Dr. Francisco Medina Nicolau (+) y se ha venido utilizando exitosamente en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.



Un sistema que consta de 3 kg de nitrógeno ($R=0.297 \text{ kJ/kgK}$), se ve sujeto a los cambios mostrados en el diagrama PV . Si $P_1= 200 \text{ kPa}$, $T_2= 405 \text{ K}$, $V_4= 3 \text{ m}^3$, $\Delta T_{12}= 0$ y $\gamma_{34}= 1.4$ Llenar los espacios vacíos en la tabla.



	P/kPa	V/m ³	T/K	ΔP	ΔV	ΔT
1	200					0
2			405			
3						
4		3				
1→4						

TABLA A

FIGURA I

La tabla tiene dos partes la de la izquierda corresponde a los valores de la presión, el volumen y la temperatura para cada estado y la de la derecha a las variaciones de las mismas para los cambios de estado. En la primera los reglones corresponden a los estados y las columnas a los valores de PVT , en la segunda las columnas a los cambios de estas y los reglones van de un estado al siguiente. Con los datos proporcionados por enunciado del problema y con el diagrama VP se pueden llenar algunos de los espacios vacíos. En la Fig. I se observa cómo se llenaron las celdas de la tabla con los datos del enunciado y en la Fig. II Tabla B, se llenan algunas celdas con los datos del diagrama VP .

Es necesario realizar estos ejercicios en clase y permitir que el alumno vaya llenando las tablas por sí mismo, un aspecto importante a mostrar es que con esta herramienta se puede tener un panorama general de la solución del problema y determinar en qué proceso se aplica la ecuación del gas ideal y en cual será necesario aplicar la ecuación del proceso adiabático. Una vez que se ha llenado la tabla, el estudiante podrá apreciar cuanto cambia cada variable de estado en cada uno de los procesos y al ir del estado inicial (1) al estado final (4) y también fácilmente podrá darse cuenta, que en el caso de que se trate de un ciclo, dichos cambios son cero.

En la Fig. II Tabla B, se aprecia que se pueden calcular directamente V_1 , P_2 y T_4 mediante la aplicación de la ecuación del gas ideal (EGI). De esta manera se obtienen para el estado 1, $V_1=1.8 \text{ m}^3$, para el estado 2, $P_2= 128.28 \text{ kPa}$ y para el estado 4, $T_4= 673.4 \text{ K}$.

Una vez determinado el valor de P_2 del diagrama PV se sabe que $P_2= P_3$, y a continuación es necesario aplicar al proceso 3-4 la ecuación del proceso adiabático, por



tener el estado 3 únicamente el valor de P_3 ; así de $P_3V_3^\gamma = P_4V_4^\gamma$ se obtiene $V_3=4.31\text{ m}^3$. A continuación se obtiene $T_3 = 581.82\text{ K}$, con la EGI.

Así finalmente en la Fig. II Tabla C, se termina de llenar la tabla calculando los correspondientes cambios de las variables de estado.

	P/kPa	V/m ³	T/K	ΔP	ΔV	ΔT
1	200		405			
2		3	405			0
3	$\frac{P}{2}$			0		
4	200	3				
1→4				0		

TABLA B



	P/kPa	V/m ³	T/K	ΔP	ΔV	ΔT
1	200	1.8	405			
2	120.3	3	405	-79.72	1.2	0
3	120.3	4.3	580.6	0	1.31	175.6
4	200	3	674	79.72	-1.31	93.4
1→4				0	1.2	269

TABLA C

FIGURA II

Una siguiente etapa de complejidad para el alumno consiste en que se proporcione únicamente la descripción verbal de los procesos, sin gráficas, por ejemplo: Un sistema que consta de 2 kg de helio, inicialmente a 450 K y 12.5 m³ se ve sujeto a los siguientes cambios: Pasa del estado 1 al 2 en forma isobárica; llega al estado 3 mediante un cambio adiabático con γ ; y en forma isotérmica adquiere la presión inicial. Llenar la tabla y esbozar el diagrama PV . El problema se resuelve igual que el anterior.

3.2 Tabla de procesos

En esta tabla la primera columna también representa a los estados, los renglones abarcan dos estados porque indican el cambio de una variable de un estado a otro, las tres últimas columnas representa los valores de las variables de proceso ΔU , Q , W , como se muestra a continuación en el siguiente problema. *Un gas ideal inicialmente a 250 kPa y 5 m³ efectúa los siguientes cambios: a presión constante pasa del estado 1 al 2, disminuyendo su energía interna en 180 kJ; pasa del 2 al 3 en forma adiabática realizándose sobre el sistema un trabajo de 300 kJ; finalmente, pasa del 3 al 4 a temperatura constante, absorbiendo 600 kJ de calor. Sabiendo que el trabajo total realizado por el sistema sobre los alrededores es de 100 kJ, llenar la tabla.*

Para resolver el problema primeramente se llenan los espacios correspondientes con los datos del enunciado Fig. III Tabla D. En esta tabla, se puede apreciar que se puede aplicar la primera ley de la termodinámica directamente en los procesos 2-3 y 3-4 para calcular ΔU_{23} y W_{34} .



	$\Delta U/\text{kJ}$	Q/kJ	W/kJ
1			
2	-180		
3		0	-300
4	0	600	
Total			100

TABLA D

	$\Delta U/\text{kJ}$	Q/kJ	W/kJ
1			
2	-180		
3	300	0	-300
4	0	600	600
Total			100

TABLA E

	$\Delta U/\text{kJ}$	Q/kJ	W/kJ
1			
2	-180	-380	-200
3	300	0	-300
4	0	600	600
Total	120	220	100

TABLA F

FIGURA III

Añadiendo estos valores en la Tabla E, se puede observar que para que W_{total} sea 100, se requiere que W_{12} sea -200 kJ, y con esta celda llena se puede aplicar la primera ley de la termodinámica para calcular Q_{12} . Sumando los valores de ΔU y Q para los tres procesos se obtienen ΔU_{total} y Q_{total} y finalmente la tabla queda completa, Tabla F (los valores en cursivas fueron añadidos al final).

El problema se completa pidiendo a los alumnos que hagan un bosquejo del diagrama VP para cada proceso.

Esta tabla para las variables de proceso se puede incrementar incorporando en ella una columna para los valores de ΔS , el cambio de entropía del sistema, y otra columna para los valores de la temperatura de cada estado, como se muestra en el si-

guiente problema. *Un sistema que consta de 4 kg de aire ($R = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$, $c_v = 0.72 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$), efectúa el ciclo mostrado en el plano ST, operando a las temperaturas extremas de 400 K y 650 K. Si el sistema absorbe 1500 kJ de calor a la temperatura de 650 K y se comporta como gas ideal. Llenar la siguiente tabla,*

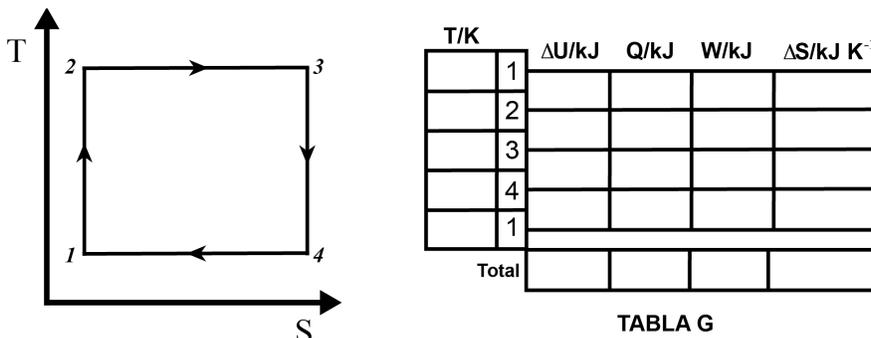


FIGURA IV

De la gráfica se puede inferir que se trata de un ciclo de Carnot por tener dos procesos isotérmicos (2-3 y 4-1) y dos adiabáticos (1-2 y 3-4), además se observa también que el sistema absorbe calor en el proceso 2-3 y cede calor en el 4-1. Con ésta información se pueden llenar las celdas que muestra la Fig. V Tabla H. Por otro lado, $\Delta U_{12} = mc_v \Delta T = 720 \text{ kJ}$ y $W_{12} = Q_{12} - \Delta U_{12} = -720 \text{ kJ}$ y por ser el proceso 2-3 a



$T = \text{constante}$ $\Delta S_{23} = \frac{Q_{23}}{T_2} = 2.3 \frac{kJ}{K}$. Para el proceso 2-3, $W_{23} = Q_{23} - \Delta U_{23} = 1500 \text{ kJ}$. Asimismo, para que ΔU_{tot} sea cero se requiere que Q_{tot} y W_{tot} y $W_{34} = Q_{34} - \Delta U_{34} = 720 \text{ kJ}$. Para el proceso 4-1, $\Delta S_{41} = -2.3 \frac{kJ}{K}$ para que ΔS_{tot} sea cero y $Q_{41} = T_4 \Delta S_{41} = -920 \text{ kJ}$ por ser T constante y $W_{41} = Q_{41} - \Delta U_{41} = -920 \text{ kJ}$. Finalmente sumando W y Q para cada proceso se obtienen Q_{tot} y W_{tot} como muestra la Tabla I.

T/K		$\Delta U/kJ$	Q/kJ	W/kJ	$\Delta S/kJ K^{-1}$
400	1		0		0
650	2		1500		
650	3	0			0
400	4				
400	1	0			
Total		0			0

T/K		$\Delta U/kJ$	Q/kJ	W/kJ	$\Delta S/kJ K^{-1}$
400	1	720	0	-720	0
650	2	0	1500	1500	2.3
650	3	-720	0	720	0
400	4	0	-920	-920	-2.3
400	1				
Total		0	580	580	0

TABLA H

TABLA I

FIGURA V

3.3 Tabla de estados y procesos

La elaboración de una tabla que agrupe la tabla de estados y la de procesos, resulta también de utilidad para resolución de problemas de termodinámica, por las ventajas que representa cada una y además porque se puede aprovechar la interrelación que existe entre las variables de estado y las de proceso. A continuación se elabora dicha tabla en la solución del siguiente problema. *Un sistema que consta de 3 kg de helio ($R = 2.08 \frac{kJ}{kgK}$, $c_v = 3.12 \frac{kJ}{kgK}$), inicialmente a la temperatura de 300 K y a la presión de 200 kPa efectúa los siguientes procesos: isentrópicamente se lleva hasta una presión de 450 kPa; en seguida en forma isotérmica se lleva hasta la presión inicial; finalmente isobáricamente regresa al estado inicial. Llenar la siguiente tabla.*

Con los datos del enunciado se pueden llenar las celdas de la Tabla J. En el estado 1 se aplica la EGI para calcular V_1 y la del proceso adiabático para calcular V_2 y nuevamente la EGI para calcular T_2 . Una vez conocida T_2 y sabiendo que $T_3 = T_2$, se calcula V_3 mediante la EGI. Con la tabla de estados, se termina de llenar la de procesos usando las ecuaciones correspondientes para calcular ΔU , W y ΔS para cada proceso y la primera ley de la termodinámica para calcular Q . Finalmente la tabla completa se muestra en la Tabla L.



	P/kPa	V/m ³	T/K	$\Delta U/kJ$	Q/kJ	W/kJ	$\Delta S/kJ K^{-1}$
1	200		300		0		0
2	450			0			
3	200						
1	200		300				
Total				0			0

TABLA J

	P/kPa	V/m ³	T/K	$\Delta U/kJ$	Q/kJ	W/kJ	$\Delta S/kJ K^{-1}$
1	200	9.4	300		0		0
2	450	5.8	414.9	0			
3	200	12.9	414.9				
1	200	9.4	300				
Total				0			0

TABLA K

	P/kPa	V/m ³	T/K	$\Delta U/kJ$	Q/kJ	W/kJ	$\Delta S/kJ K^{-1}$
1	200	9.4	300				
2	450	5.8	414.9	1075	0	-1075	0
3	200	12.9	414.9	0	2070	2070	5.0
1	200	9.4	300	-1075	-1775	-700	-5.0
Total				0	295	295	0

TABLA L

FIGURA VI

Una vez que los alumnos han aprendido a manejar las tablas de estados y de procesos, se recomienda que en el enunciado del problema ya no se les diga la tabla que deben de llenar, ellos deben ser capaces de decidir, si es aplicable el método y en caso de serlo, que tabla deben de utilizar en función de lo que se pida en el enunciado del problema.

4. Conclusiones

El método para resolver problemas de termodinámica mediante el uso de las tablas de estados y de procesos, facilita a los alumnos el entendimiento y manejo de las variables de estado y de proceso y la resolución sistemática de los mismos, siempre y cuando el llenado de las tablas no lo hagan mecánicamente, sino entendiendo que sucede en cada proceso al sistema y sus alrededores. Para lograr esto se recomienda solicitar a los alumnos, cuando proceda, la elaboración de los diagramas *VP* y *ST* para cada proceso.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Loverude, Michel E., Kautz; Christian H.; Heron, Paula R.L. Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas, Am. J. Phys. 70, 137- 148 (2002).
2. Meltzer, David E. Investigation of student' reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course, Am. J. Phys. 73, 1432-1446 (2004).
3. Krummel, Russell; Sunal, Dennis W.; Sunal, Cynthia S. Science Activities, Fall2007, Vol. 44 Issue 3, p106-112, 7p; DOI: 10.3200/SATS. 44.3.106-112.
4. García, L.M. Selección de Problemas de Termodinámica. Sexta Reimpresión. Sección Editorial UAM Azcapotzalco. 2005.



Aproximación de la metodología ABP a la enseñanza experimental de la Química Orgánica III, aplicado a la síntesis de iminas.

Sara Suárez Torres ■ Elvira Santos Santos ■ Eva Florencia Lejarazo Gómez ■ Aurora de los Ángeles Ramos Mejía

Facultad de Química
Departamento de Química Orgánica.
Universidad Nacional Autónoma de México.
mizti@unam.mx

1. Resumen

Se ha implementado en la enseñanza experimental de la química orgánica III pasando del sistema de ejercicios a la metodología de investigación estructurada aproximándonos a la metodología Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), teniendo como base la química combinatoria utilizando la estrategia de síntesis en paralelo, lo cual permitió que los estudiantes trabajen sobre un mismo ejercicio pero modificando variables, todo debidamente planeado por los profesores para que al final de la sesión experimental se obtengan conclusiones sobre los objetivos teóricos planeados y los realmente logrados, aproximándolos a una pequeña investigación por cada sesión. Se presentará el ejemplo obtención de iminas. Los estudiantes trabajan en equipos de dos y cada equipo realiza un ejercicio diferente sobre el mismo objetivo teórico. En un seminario se discuten los resultados de todos los equipos, se obtienen conclusiones de cuál ejercicio es el más eficiente. Además investigan el Estado del arte sobre el ejercicio teórico.

2. Introducción

IMINAS

La formación de iminas es un paso intermedio en muchas reacciones metabólicas, como la transaminación (transformación bioquímica de unos aminoácidos en otros) y es una función que aparece en compuestos bioquímicos muy importantes; por ejemplo la rodopsina, el pigmento de la visión, es una imina del retinal con una proteína (opsina).

Las iminas tienen gran importancia para la química supramolecular y macrocíclica. En la Química de coordinación son sustituidas por grupos donadores de electrones, representan parte importante de ligantes heteropolidentados y son



capaces de formar mono, bi y complejos polinucleares con metales de transición. En la actualidad las iminas coordinadas con metales pueden servir como modelos para sistemas macro cíclicos en sistemas biológicos como metal porfirinas (hemoglobina, mioglobina, citocromos, clorofila, corrinas (vitamina B12) y antibióticos (valinomicina, nonactina)). Particularmente la investigación actual trabaja con estos compuestos formando complejos con metales de tierras raras y metales de transición ya que poseen peculiares propiedades químicas, espectroscópicas y magnéticas debido que en algunos casos estos complejos, pueden funcionar como sensores, agentes de contraste en resonancia magnética nuclear, clivaje hidrolítico de nucleasas de nucleasas artificiales y sensores para terapia fotodinámica y diagnóstico biomédico^[1]

APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS (ABP)

El aprendizaje basado en problemas (ABP) es una aproximación didáctica socio-constructivista por indagación, centrada en el aprendizaje del estudiante, que se diseña a partir del contexto. Lo más importante es producir en los estudiantes una experiencia profunda y transformadora del ejercicio del pensamiento científico, a través de un problema real y de su interés. El trabajo es dirigido por los estudiantes con colaboración estructurada y la calidad del aprendizaje se evalúa de manera multifacética. El ABP debe tener como objetivo el desarrollo de habilidades cognitivas superiores, identificando las ideas centrales de la disciplina^[2].

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

El ejercicio seleccionado fue la obtención de iminas (Figura 1).

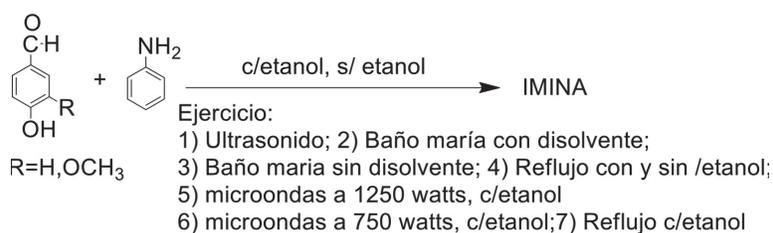


Figura 1. Reacción a efectuar

- Objetivo General: Implementar una metodología para efectuar una investigación estructurada^[2] aplicándola a la síntesis de iminas.
- Características y marco del estudio: Se establecieron objetivos teóricos para la preparación de iminas: 1) Obtuvieron una imina a partir de vainillina y anilina



con diferentes fuentes de energía con y sin etanol como disolvente; 2) Determinar qué tipo de energía afecta la eficiencia de la reacción; 3) Cuánto afecta el uso de disolvente en la eficiencia.

- c) El procedimiento experimental por equipo fue: Los ejercicios para cada equipo fueron 1) Ultrasonido/etanol 2.5 h; Baño María/sin etanol; Energía térmica/sin etanol 1h; 2) Ultrasonido^[3]/etanol 3h; microondas 750 W; 3) Ultrasonido/etanol 2h; microondas/etanol 1250 W; 4) Ultrasonido/etanol 1.5 h; Microondas 1250^[4]; 5) Baño María/etanol; Microondas 1250 W/etanol

Objetivos Teóricos

1. Hacer reaccionar un aldehído aromático con una amina aromática, bajo diferentes condiciones adecuadas para formar una imina
2. Hacer reaccionar un aldehído aromático con una amina aromática, bajo dos diferentes fuentes de energía.
3. Determinar si la fuente de energía afecta la eficiencia de la reacción
4. Determinar si la presencia de un disolvente aumenta la eficiencia de la reacción.
5. Establecer qué condiciones, de las utilizadas, son las mejores para obtener una imina

Los alumnos trabajaron en equipos de 2 integrantes y realizaron los siguientes experimentos (Tabla 1):

Tabla 1. Condiciones del trabajo experimental

Equipo No. 1		Equipo No. 2		Equipo No. 3	
Ejercicio 1	Ejercicio 2	Ejercicio 1	Ejercicio 2	Ejercicio 1	Ejercicio 2
Condiciones:	Condiciones:	Condiciones:	Condiciones:	Condiciones:	Condiciones:
Etanol/ Ultrasonido (2.5 h)	Sin Etanol/ Energía térmica	Etanol/ Baño María	Etanol/ microondas 1250 W	Etanol/ Ultrasonido 2h	Etanol/ microondas 1250 W
	Sin Etanol baño María				



Tabla 1 (Continuación). Condiciones del trabajo experimental

Equipo No. 4		Equipo No. 5	
Ejercicio 1	Ejercicio 2	Ejercicio 1	Ejercicio 2
Condiciones:	Condiciones:	Condiciones:	Condiciones:
Etanol/ Ultrasonido 1.5 h	Etanol/ microondas 1250 W	Etanol/Baño María	Etanol/ microondas 1250 W

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

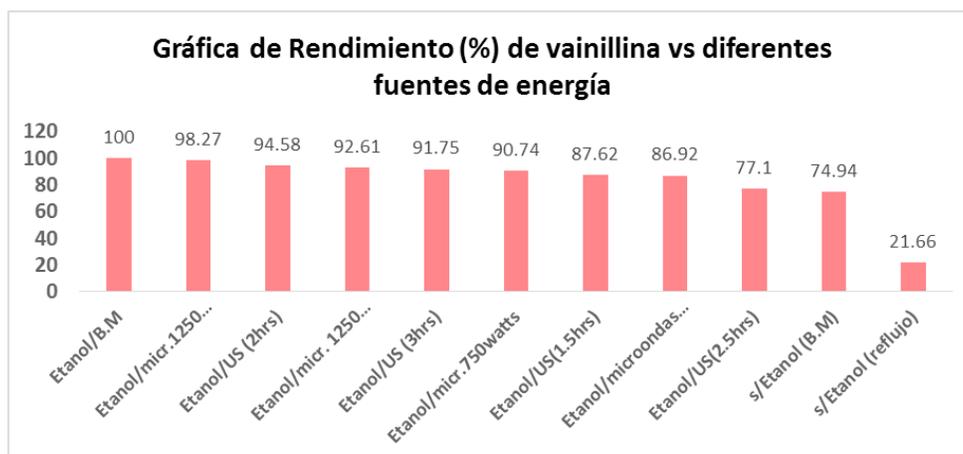


Figura 2. 1) La energía térmica fue la de mayor eficiencia; 2) El tipo de energía si afecta la eficiencia de la reacción; 3) Es indispensable la presencia de disolvente ya que cuando no se utiliza, la eficiencia es muy baja

Informe por equipo. Los alumnos:

- Determinaron pureza de los productos obtenidos
- Enviaron sus rendimientos al profesor y a los compañeros.
- Señalaron los objetivos realmente alcanzados
- Elaboraron diagrama ecológico de productos y residuos
- Incluyeron balance de materia.
- Presentaron una tabla comparativa de las técnicas empleadas, las compararon con las descritas en la literatura y concluyeron cual es mejor y porqué.
- Realizaron conclusiones individuales y por todo el grupo
- Presentaron sugerencias para mejorar el experimento
- Citaron artículos de investigación o libros de Química Orgánica Experimental.
- Anexaron copia de las técnicas o artículos encontrados



Tabla 2: Metodología tradicional vs. Metodología propuesta

METODOLOGÍA TRADICIONAL	METODOLOGÍA PROPUESTA POR QUÍMICA COMBINATORIA
1. Se aplica al trabajo experimental 2. Todos los alumnos hacen el mismo experimento bajo las mismas condiciones utilizando un manual	1. Se aplica al trabajo experimental 3. 2 Los estudiantes trabajan en equipos de dos con ejercicios diferentes, sobre el mismo objetivo teórico.
 	4. Realizan un seminario donde se discuten los diferentes resultados de todos los equipos 5. Se tiene un panorama más amplio sobre los objetivos teóricos 6. Los estudiantes tienen investigar en la literatura otras propuestas para realizar el mismo tipo de experimento y comparar la eficiencia con la técnica obtenida por ellos y para obtener conclusiones de los experimentos.
7. Realizan un seminario donde se discute sobre los mismos resultados	Conclusión: De esta forma, el ejercicio se transforma en una:
	 

5. CONCLUSIONES

Los alumnos:

1. Inicialmente tuvieron dificultad para obtener resultados consensuados, se dieron cuenta que estos resultados, son más holísticos, que la obtención de resultados individuales
2. Trabajar en equipo dio mejor resultado
3. La discusión de todos los resultados de los demás equipos les brindó un panorama más amplio y vieron que hay varias opciones para el trabajo de laboratorio
4. En este caso los objetivos alcanzados concuerdan con los teóricos



5. Se dieron cuenta que discutir, desde diferentes puntos de vista, proporcionan un mejor panorama, que el trabajo individual tradicional.
6. La adaptación de los alumnos al sistema de trabajo con metodología de Investigación Estructurada para aproximarse al aprendizaje basado en problemas (ABP), fue atractivo para ellos.

6. Bibliografía

1. Radecka-Paryzek, W., Patroniak, V. & Lisowski, J.. Coord. Chem. "Metal complexes of polyaza and polyoxaaza Schiff base macrocycles Rev. V. 249, 2156-2175. (2005).
2. Biggs, J. "Enhancing Teaching through Constructive Alignment. Higher Education, V. 32, 347-364 (1996).
3. International Center for Leadership in Education. The Rigor Relevande Framework. www.leadered.com/our-philosophy/rigor-relevance-framework.php
4. Guzen, K., Safari, J., Gandomi-Ravandi, S., & Ghotbinejad, M., Tetrahedron Letter. 20-23 (2012).
5. Bekdemir, Y. & Efil, K., Hindawi Publishing Corporation Organic Chemistry International, 1-5, (2014)



Utilizando el Campus Virtual Azcapotzalco (CAMVIA en la UAM-A), se facilita el trabajo al profesor.

María de la Luz Soto Téllez ■ Margarita Chávez Martínez ■ Lilia Fernández Sánchez
Leonardo Hernández Martínez ■ Víctor Julián González Nava ■ José Juan Colín Colín

Área de Química. Departamento de Ciencias Básicas.
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
mlst@correo.azc.uam.mx

1. Resumen

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la Unidad de Enseñanza Aprendizaje (UEA), Laboratorio de Química Inorgánica I, utilizando algunos tópicos de la plataforma Moodle mediante el Campus Virtual Azcapotzalco (CAMVIA^[1]) de la UAMA-A durante los trimestres 17I, 17P, 17O Y 18I. La aplicación Prezi^[2] permite elaborar presentaciones de contenido en una interfaz amigable e interactiva, en donde es posible desarrollar cualquier tema que se desee enseñar. Esta tiene la posibilidad de hacer zoom e integrar efectos especiales, lo que brinda una sensación de inmersión en el documento. Además en Moodle^[3] se pueden agregar: contenido del programa de la UEA, periodo del trimestre, manual del laboratorio, forma de evaluación, el orden de las prácticas, diagrama de flujo por experimento, examen por práctica, subir reporte, entre otros. También los exámenes y reportes son calificados automáticamente (lo cual beneficia al profesor). Los exámenes contienen 25 preguntas, que son cambiadas aleatoriamente, por lo que cada examen siempre es diferente de otro.

2. Introducción

La tendencia moderna en la educación, demanda el uso de las nuevas tecnologías de información y comunicación (TIC's^[4]), que ofrecen la facilidad de mejorar la experiencia académica tanto a estudiantes como a docentes en la modalidad presencial, abierta o a distancia. A estas herramientas se les puede utilizar también en el trabajo experimental o de laboratorio, ya que permiten enriquecer la impartición de Unidades de Enseñanza Aprendizaje (UEA), en la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.



Las TIC's como: presentaciones de contenido (Prezi), entornos virtuales de aprendizaje Moodle (CAMVIA), dependiendo de las necesidades en el aula se utilizan como herramientas de apoyo a la educación, facilitando el trabajo profesor-alumno.

Prezi es una aplicación que nos permite, en una interfaz amigable e interactiva, desarrollar cualquier tema que se desee enseñar. Dentro de las bondades que tiene, está la posibilidad de hacer zoom e integrar efectos especiales, lo que brinda una sensación de inmersión en el documento. La presentación puede ser consultada en cualquier momento, ya que es un documento basado en la informática de la nube (Rueda, 2009)^[5].

Moodle es un software diseñado para ayudar a los educadores a crear cursos en línea de alta calidad y entornos de aprendizaje virtuales. Tales sistemas de aprendizaje son algunas veces llamados VLE's (Virtual Learning Environments, por sus siglas en inglés) o entornos virtuales de aprendizaje. Una de las principales características de Moodle sobre otros sistemas es que está hecho con base en la pedagogía social constructivista, donde la comunicación es relevante en el camino de la construcción del conocimiento, teniendo como objetivo generar una experiencia de aprendizaje enriquecedora a estudiante y ambientes de aprendizaje colaborativo, que fortalecen, tanto a la enseñanza del profesor como al aprendizaje del alumno^[3].

La plataforma del CAMVIA (figura 1) tiene cierta complejidad en su interfaz, por lo que se procedió a estudiarla para identificar cada función disponible. Después de entender la plataforma se crearon los tópicos necesarios para cada una de las prácticas además de temas adicionales para la introducción al curso y retroalimentación. Es por ello que al usar inicialmente esta plataforma no se tenían los conocimientos necesarios para el uso detallado de la misma, por lo que se inició en pasos, como fueron algunas actividades sencillas hasta el uso de un mayor número de tópicos (pero aún no se utiliza al cien por ciento la plataforma) donde se aprecia desde manual, programa de la UEA, calendario escolar, forma de evaluación, exámenes, reportes, presentaciones, diagramas de flujo y vídeos.



Figura 1. Interfaz del Campus Virtual Azcapotzalco (CAMVIA).

En la UAM las actividades académicas se realizan por trimestres. Los trimestres comprendidos en este trabajo son: 17I, 17P, 17O y 18I. Las “aulas virtuales” no son



solo un mecanismo para la distribución de la información, sino que son sistemas que permiten la interacción, comunicación, aplicación de conocimientos, interactividad, evaluación y manejo de las clases. (Ruben, 2007)^[6].

En esta aula, el alumnado tiene acceso al contenido del programa de la UEA, calendario del trimestre, forma de valuación manual del laboratorio, el orden de las prácticas, diagrama de flujo de cada experimento, subir cada reporte y las actividades diseñadas por el profesor incluyendo los exámenes en línea. Además, puede utilizar herramientas de interacción como foros de discusión y correo electrónico. Contiene también 25 reactivos para evaluar, que nos permitirán tener un mayor número de exámenes ya que las preguntas son ordenadas aleatoriamente, y el examen consta de 5 preguntas de evaluación por práctica con 2 oportunidades para realizarlo y 10 minutos de tolerancia. Cada examen permanece abierto por 72 hrs, y admiten una sola respuesta.

Normalmente los grupos son de 20 a 36 alumnos, que realizan dicho examen. Esta evaluación se toma como objetiva, ya que esta no depende de la apreciación subjetiva del evaluador, y las que utilizan un test, con las preguntas cerradas y que sólo admiten ciertas soluciones como correctas.

Estos exámenes en línea poseen muchas bondades como ahorro de material, buena administración del tiempo por parte de los alumnos y profesores, facilidad para calificar reactivos y retroalimentación inmediata, conocer resultados de manera rápida y más organizada.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

Para este trabajo se consultó el contenido sintético propuesto en el programa de estudios la UEA laboratorio de Química Inorgánica I. Para comprender los temas de la UEA, se tomaron como guía el manual de “Prácticas de Química inorgánica I”^[7]. El manual ofrece información de los procedimientos que se realizan durante la fase experimental de las prácticas, pero carece de información complementaria para lograr la inducción al tema central de cada práctica. Mediante esta propuesta se reúne la información necesaria para poder desarrollar el material de apoyo de las herramientas ya mencionadas.

- a) Se tomó como base de estudio la UEA Laboratorio de Química Inorgánica I (con clave 1113048), en la que se realizan 8 prácticas, que se encuentran desarrolladas y explicadas en el manual mismo mencionado. Iniciando en la plataforma con la siguiente información: mensaje de bienvenida e introducción al curso, este último contiene el programa de estudio, manual, calendario escolar, tabla perió-



dica, contenido de bitácora y reporte, figura 2. Además de la forma de evaluación (bitácora 40%, reportes 20%, exámenes 20% y exposición final 20%) sumadas dan el 100%.

Presentación del curso

Bienvenid@s al curso de Laboratorio de Química Inorgánica I, aquí encontrarán el contenido referente a los temas que veremos en las prácticas. Conforme nuestro avance se estará habilitando el nuevo contenido como algunos vídeos, tareas, cuestionarios y material de consulta.

¡Éxito en el trimestre 18! y manos a la obra!



Inducción al curso

-  PROGRAMA DE ESTUDIOS
-  MANUAL
-  Calendario
-  Tabla periódica
-  Contenido de Bitácora y Reportes

Figura 2. Presentación e introducción al curso.

- b) Se añadieron los recursos necesarios para la evaluación, como cuestionarios, sección en donde los alumnos adjuntan los reportes por equipo de cada una de las prácticas y documentos de consulta, figura 3.

Práctica 1

Obtención del hidrógeno y algunas de sus propiedades físicas y químicas

-  Presentación de Hidrógeno
-  Pasos a seguir de la práctica 1
-  CUESTIONARIO 1
-  Reporte 1

Figura 3. Tópico de la plataforma (CAMVIA) de la práctica 1 donde se indican las actividades a desarrollar.



- c) Se elaboraron presentaciones temáticas (Prezi) para cada una de las prácticas (figura 4), en donde se planteó que debían cumplir con los siguientes puntos:
1. Ser visualmente atractivas (efectos y combinación de colores)
 2. Contener información específica.
 3. Añadir la explicación de los experimentos que se realizan en laboratorio.
 4. Mencionar aplicaciones en la industria relacionadas con el tema de cada práctica.
 5. Esta presentación incluye un video que enriquece el tema.



Figura 4. Presentación en Prezi de la práctica 1 (Hidrógeno).

El examen aplicado en el aula virtual consta de cinco preguntas las cuales se muestran de una en una para ser resueltas, figura 5.

NAVEGACIÓN DENTRO DEL EXAMEN

CUESTIONARIO DE PREGUNTAS DE OPCIÓN MULTIPLE

1 2 3 4 5

Terminar intento ...

Tiempo restante 0:09:08

[Nueva vista previa](#)

Pregunta 1

Sin responder aún

Puntaje de 1.00

Señalar con bandera la pregunta

Editar pregunta

Seleccione tres reactivos utilizados en la práctica

Seleccione una:

a. Na^+ , Ca^{++} , Zn

b. $\text{HCl}_{\text{concentrado}}$, $\text{H}_2\text{SO}_4_{\text{concentrado}}$, NaOH

c. $\text{I}_{\text{metálico}}$, NaCl , CCl_4

Figura 5. Ejemplo de examen.



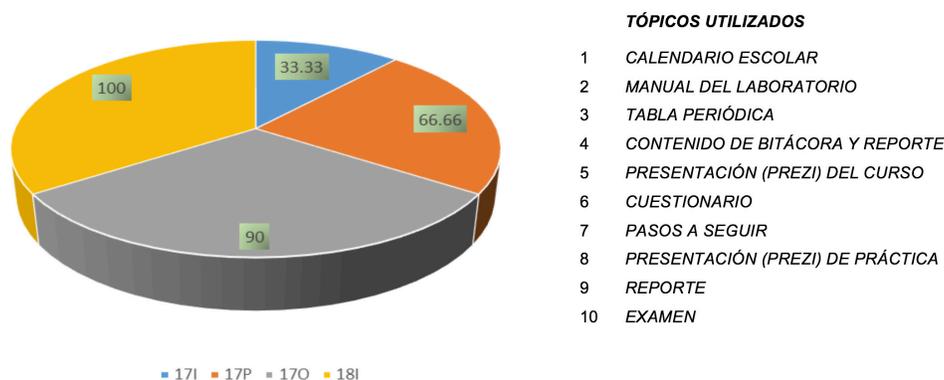
Cada presentación contiene: portada (datos de la universidad, nombre de la práctica y número de práctica), objetivos generales y específicos, introducción, aplicaciones en la industria (vídeo), desarrollo experimental y bibliografía.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La plataforma del CAMVIA permitió múltiples dinámicas que pudieron ser evaluadas por separado, poder consultar diferentes documentos, revisión de los reportes de cada práctica y la resolución de cuestionarios por parte de los estudiantes. Usar esta plataforma facilitó el trabajo al profesor. De esta forma los estudiantes adquieren conocimientos más fácilmente de una manera didáctica, accesible y fácil, la información se puede consultar y trabajar en cualquier momento.

Al analizar los trimestres comprendidos en este trabajo, se puede decir que al inicio la información enviada era mínima al no conocer cómo se trabajaba en la plataforma. A medida que ha pasado el tiempo la utilización ha sido mayor, hasta la fecha el uso de ésta no es el cien por ciento, aún hay muchas cosas que podemos utilizar para beneficio de los alumnos y del profesor.

En el gráfico 1 muestra el avance de utilidad de la plataforma a través del tiempo, durante los trimestres 17I al 18I.



Gráfica 1. Porcentaje de tópicos utilizados en la plataforma al inicio del trimestre 17I hasta el 18I. Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

El uso de las TIC,s son una ventaja tanto para el profesor como para el alumno, al profesor le permite subir más información, según el tema, ya que se puede anexar: vídeos con información teórica y aplicaciones en la vida real, los pasos más importantes



dentro de la parte experimental que incluye las reacciones químicas. Poder subir exámenes y estos ser calificados en la plataforma, siendo esta una ventaja para el profesor.

Para los alumnos, el resolver exámenes en la plataforma les permite conocer su calificación en el momento y llevar un control de sus calificaciones. Por el tiempo que permanece activo cada tópico, hay suficiente libertad para realizar, participar y observar toda la información que contiene la plataforma y así trabajar cuando dispongan de tiempo sin un horario establecido. Por este medio envían el reporte de cada práctica (también es calificado) y así se contribuye al medio ambiente ya que no se les exige el reporte impreso.

El tiempo en el laboratorio es de tres horas, pero al trabajar de esta forma al alumno le permite realizar cuidadosamente la parte experimental y al profesor calificar la bitácora con más detalle, estar más cerca de ellos para ver cómo trabajan, resolver dudas y que no ocurra ningún accidente.

La plataforma tiene muchas ventajas: si se utilizara completamente serían más, a través de los trimestres mencionados (17I, 17P, 17O y 18I) se ha utilizado parte de esta pero aún hay tópicos por aplicar. Se espera que en los próximos trimestres se conozca mejor dicha plataforma en la que se puedan agregar más aplicaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. [1] <http://camvia.azc.uam.mx>
2. [2] Balcázar Partida, N. M., Alcántara Hernández, E., Balcázar Partida, L., & Medina Aguilar, S. Evaluación del conocimiento y uso del software “PREZI” en los alumnos de la Universidad de Guadalajara. *Revista Material Didáctico Innovador*, 8(1), 1-8, (2012).
3. [3] Jiménez Ramirez, J., Ropero Moriones, E., Portela Lozano, M. A., Valios Blanco, J. C. Un ejemplo de implementación de plataformas de aprendizaje (LMS): el caso de Moodle en la Universidad Europea de Madrid, 5-17, (2010).
4. [4] Almenara, J. C. Las TICs y las Universidades: retos, posibilidades y preocupaciones. *Rev. Educ. Super*, 34(3), 77-100, (2005).
5. [5] Rueda, F. ¿Qué es la computación en la nube? *Revista Sistemas*, 72-80, (2009).
6. [6] Ruben, A., “Aula Virtual: Espacio Virtual de Educación Utilizando las Nuevas Tecnologías de Información y Comunicación en la Universidad”. Master en Aplicación de las Nuevas Tecnologías en la Educación. Universidad de Barcelona, España, (2007).
7. [7] Manual de Prácticas de Química inorgánica I. Goñi Cedeño, H., Ed. UAM-Azcapotzalco. México, (2001).



Club 4H: Experiencia educativa.

Viridiana Alemán López ■ Hermenegildo Román Losada Custardoy ■ Jaime Manuel Vargas Romero
José Cortés Zorrilla ■ Jorge Eduardo Vieyra Durán ■ Leonor Luna Rodríguez ■ René Rodríguez Florentino

Área de Sistemas de Producción Agropecuarios.
Departamento de Biología de la Reproducción.
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
roguez@xanum.uam.mx

1. Resumen

El objetivo de este trabajo fue analizar la experiencia educativa del modelo 4-H. Se realizaron entrevistas semiestructuradas para recolectar información de la experiencia educativa y se utilizó el modelo conocido como la rueda de Iowa, se informaron actividades de habilidades para la vida en cada componente del modelo (Corazón, Cabeza, Manos y Salud). Se aplicaron a los miembros del Club 4-H y a los padres de familia para obtener una visión completa del crecimiento a partir de la conformación del Club 4-H. La mayoría de los jóvenes informaron sentir más cooperación, comunicación, empatía y preocupación por los demás (100 %). Es indudable una mejoría por los padres de los jóvenes al considerarlos como ciudadanos responsables (80 %), el 100 % destaca el uso racional de los recursos. El impulso que determinan los Club 4-H, sigue siendo un importante paso que proporciona nuevos conocimientos personales y para la comunidad.

2. INTRODUCCIÓN

El concepto de extensión rural está asociado a la proyección y propuesta de conocimientos en ciertos escenarios de producción; mediante el intercambio de distintos saberes y conocimientos con la población rural, para mejorar la capacidad de gestión de los recursos. La extensión rural enfatiza la eficiencia de los procesos productivos sobre la base de la sostenibilidad ambiental. Además, promueve la educación orientada a: 1) la expansión de las capacidades humanas; 2) fortalecimiento de la capacidad de gestión; y 3) la formación de capital humano y social ^[1]. La extensión rural es fundamental en pro del desarrollo integral de la juventud y de la agricultura sostenible; Ardila (2010) ^[2] menciona que promueve el desarrollo rural al contrarrestar emigraciones y la insatisfacción de las nece-



sidades fundamentales juveniles. Los clubes de jóvenes 4-H (por sus siglas en inglés head, heart, hand, health) nació en el estado de Ohio (USA) bajo la supervisión de A.B. Graham, director de la escuela de Springfield en el año 1902 [3].

Estos Clubes 4-H son una iniciativa exitosa de educación no formal y extensión rural, la cual permite a los jóvenes obtener conocimientos y habilidades para solucionar problemas de su entorno, además de desarrollar habilidades para la vida, aprenden a cooperar y crean conciencia sobre el cuidado ambiental, es decir influir significativamente en las trayectorias de vida de los niños [4]. Además, es una alternativa que reducen los riesgos de comportamientos juveniles indeseables; lo anterior se ha comprobado por investigaciones realizadas en los estados de Montana, Idaho, Colorado y Utah en 2005 [5]. En este contexto el objetivo de este trabajo fue analizar la experiencia educativa del modelo 4-H.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1 La población meta y selección

El rango de edad de los jóvenes fue de 11-12 años, los cuales fueron seleccionados a partir de visitas a secundarias públicas ubicadas en los municipios de Ixtapaluca, Cocotitlán, Mixquic y Tlalmanalco en el Estado de México; y la delegación de la Ciudad de México Tláhuac, donde se impartieron talleres participativos con tópicos de “importancia de la biodiversidad” y “agentes polinizadores y su influencia en el ambiente”. Cada taller tuvo duración estimada de 45 minutos.

Posteriormente se seleccionaron de manera estratégica mediante observación participante a los integrantes del club 4-H, utilizando como parámetro la participación activa, interés y motivación de los jóvenes en estos talleres.

3.2 Instauración del Club 4-H

La sede del club 4-H se ubicó en el Centro para la Sustentabilidad “Incalli Ixchahuicopa”, es un proyecto promovido por el Programa de Investigación para la Sustentabilidad (PISN) de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Guardianes de los Volcanes A.C., y la Sociedad Cooperativa Estudios y Proyectos Sierra Nevada, ubicado en Tlalmanalco en el Estado de México. En este lugar se realizaron las actividades prácticas y reuniones internas que permitieron consolidar a los miembros y las actividades externas realizadas por el club 4-H referentes a concienciar sobre la conservación del ambiente y difundir en estos aportes en diferentes ámbitos, permitió la difusión del trabajo y los valores de los clubes 4-H, fue así como los jóvenes se



volvieron una parte fundamental en el progreso, actores principales de cambios en la comunidad.

3.3 Obtención de datos

Además, se realizaron entrevistas semiestructuradas para recolectar información de la experiencia educativa y se utilizó el modelo conocido como la rueda de Iowa [6], incluye 35 habilidades relacionadas con “Corazón” (relacionar y cuidar a los demás), “Cabeza” (gestor y pensamiento), “Manos” (dar y trabajar) y “Salud” (vivir y ser) (figura 1). Las habilidades para la vida incluidas en este modelo representan una amplia gama de características las cuales se utilizaron como base para evaluar componentes cuantitativos y se utilizaron narrativas personales como datos cualitativos.

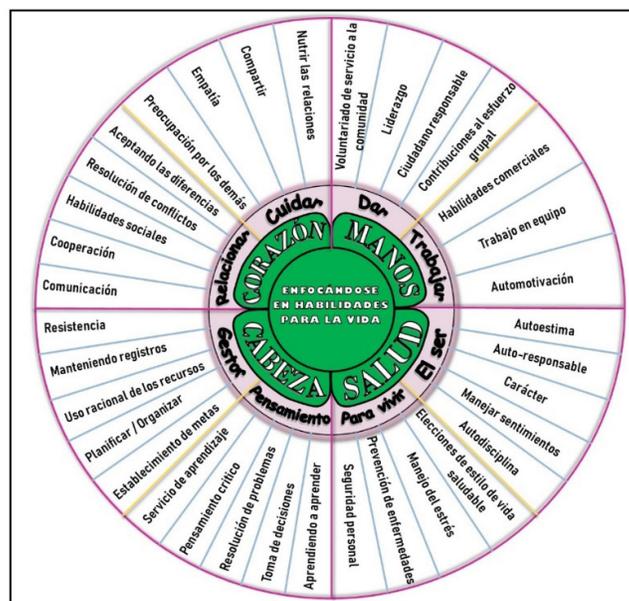


Figura 1. Modelo rueda de Iowa [6].

4. Resultados y discusión

Las narraciones fueron ingresadas manualmente en Microsoft Word y luego codificadas usando Excel.

Este análisis aspiró a identificar las habilidades que los jóvenes están obteniendo de su participación en el Club 4-H, en los reportes evaluados, la mayoría de los jóvenes informaron sentir más cooperación, comunicación, compartir, empatía, preocupación por los demás, liderazgo, trabajo en equipo, establecimiento de metas, solución de problemas y toma de decisiones (100 %). Aproximadamente ocho de



cada diez informaron tener consideración en el uso racional de los recursos y el 60 % mejorar las elecciones de estilo de vida saludable. Cerca del 80 % coincidió en ganar seguridad personal y autodisciplina al participar en el programa (Figura 2).

Por otro lado, la información reportada por los padres de los jóvenes, coincide en secciones como desarrollo en la comunicación, cooperación, empatía y toma de decisiones con lo reportado por los jóvenes, para los padres es indudable una mejoría al considerarlos como ciudadanos responsables (80 %), el 100% destaca el uso racional de los recursos, además de percibir automotivación de los jóvenes al ser parte del Club 4-H (Figura 2).

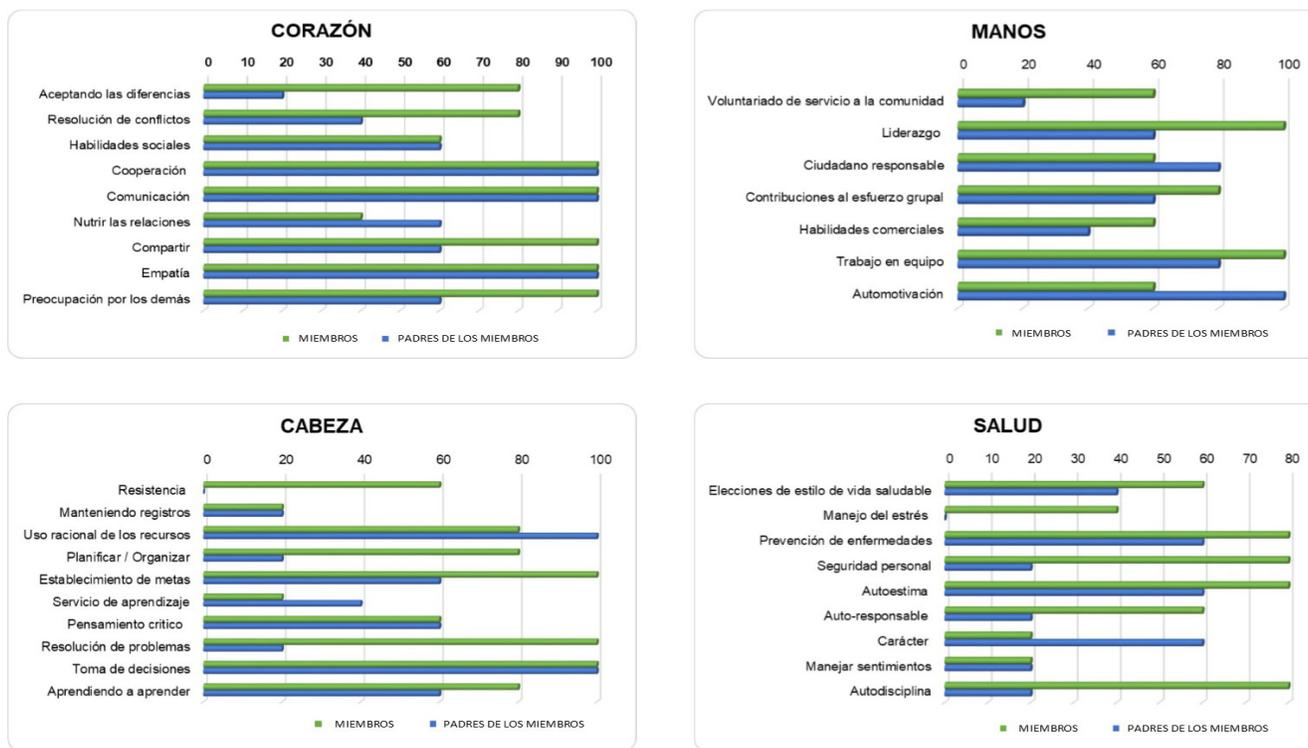


Figura 2. Informe de desarrollo personal de las secciones: Enfocándose en Habilidades para la vida (n=20)

Estos resultados cualitativos representan solo las características o experiencias que los miembros eligieron describir, y como tales representan una línea de base mínima. Estos reportes fueron abiertos y no necesariamente representan la totalidad de las experiencias del joven en el programa, al no abarcar preguntas específicas o enfocadas en cada sección, las respuestas obtenidas pueden proporcionar solo una referencia para los miembros que mencionan características particulares, en lugar de una cuantificación precisa.

Los hallazgos del Estudio 4-H se combinan para sugerir que para aumentar las posibilidades de que los jóvenes prosperen frente a los desafíos asociados con los con-



textos dinámicamente cambiantes, los investigadores deben identificar cuáles son las fortalezas de los jóvenes, en relación con los recursos ecológicos son, maximizar los cambios de lo que son los desarrollos positivos; y minimizar la probabilidad de los desarrollos negativos que existen en el contexto de cuáles son las características del cambio social. Usando respuestas a preguntas tan complejas y matizadas, los practicantes pueden luego formular, promulgar y evaluar programas basados en evidencias. Dichos programas pueden identificar de manera importante los medios necesarios para los jóvenes dinámicos y comprometidos y los contextos de apoyo se unan para maximizar las posibilidades de que prosperen los jóvenes, incluso frente al cambio social global de magnitud y direcciones desconocidas [7].

5. Conclusiones

El impulso que determinan los Club 4-H, sigue siendo un importante paso que proporciona nuevos conocimientos personales y para la comunidad, sobre cómo el desarrollo de la juventud puede ayudar a concienciar en la formación de adultos productivos y saludables.

Los programas para jóvenes no pueden permanecer estáticos, deben expandirse y cambiar para abordar las características diversas, necesidades e intereses de los adolescentes y sus familias.

6. Bibliografía

1. Lerner R. M., Lerner J. V., Lewin-Bizan S., Boyd M., Mueller M., Schmid K., Warren A. y Bowers E. The positive development of youth: Comprehensive findings from the 4-H study of positive youth development. Chevy Chase, MD: National 4-H Council. 2013. <http://www.4-h.org/about/youth-development-research/positive-youth-development-study/>
2. Ardila J. Extensión rural para el desarrollo de la agricultura y la seguridad alimentaria: aspectos conceptuales, situación y una visión de futuro. San José, C.R.: IICA. 170p. 2010. ISBN 13: 978-92- 9248-213-8.
3. Wessel T. R. and Wessel M. "4-H: An American Idea, 1900-1980: A History of 4-H" (Chevy Chase, MD: 4-H National Council, 1982).
4. Hamilton S. On the 4-H Study of Positive Youth Development. *Journal of youth and adolescence*. 43. 2014.



5. Lewis S. Impact assessment of the Nevada 4-H program: An examination of public school students' perceptions and behavior. Doctor Thesis. Texas A&M University, USA. 177p. 2007.
6. Hendricks P. A. Targeting Life Skills Model. Iowa State University Extension. Ames, IA. 1996. www.extension.iastate.edu/4H/lifeskills/homepage.html
7. Lerner R. M., Bowers P. E., Geldhof G. J., Gestsdóttir S. y DeSouza L. Promoting positive youth development in the face of contextual changes and challenges: The roles of individual strengths and ecological assets. In new directions for youth development, no. 135. 2012.



La comunicación socio digital como apoyo docente a una Unidad de Enseñanza - Aprendizaje (UEA) en la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco (UAM-A).

Leonardo Hernández Martínez ■ Liliana Mera Rodríguez ■ Margarita Chávez Martínez
María de la Luz Soto Téllez ■ Lilia Fernández Sánchez ■ Félix Antonio Naranjo Castañeda

Departamento de Ciencias Básicas.
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
hml@correo.azc.uam.mx

1. Resumen

Se trabajó con la UEA. Introducción al Desarrollo Sustentable, del tronco interdisciplinar de la UAM-A, para las carreras de ingeniería, donde las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) tienen un papel importante. Se trabajó con cuatro grupos 1,2,3,4, según las actas de evaluación de alumnos aprobados; 1, trimestre 16P (clave CDIV04, 28 alumnos), 2 trimestre 16O (CDIV81, 27 alumnos), 3 trimestre 17P (CDVI83, 42 alumnos) y 4 trimestre 18I (CDIV82, 28 alumnos). En 1 y 2 se tuvo la comunicación con Facebook y en el 3 y 4 con correo electrónico. Con un total de 125; 55 alumnos comunicados en Facebook y 70 en correo electrónico. El propósito de este trabajo es determinar en qué medida las TIC, facilitan la comunicación de la enseñanza aprendizaje en UEA's de la UAM-A y en el ahorro de recursos materiales.

2. Introducción

Raymond Williams, (2011) Menciona el aprovechamiento de medios de comunicación como la tv, donde se muestran visualmente prácticas educativas de física, medicina, e historia, como los de la BBC como apoyo a los docentes en el proceso de enseñanza en el aula. Enseñanza de idiomas para grupos étnicos minoritarios, también el autor hace mención de la necesidad de la distinción de tecnología, siendo la reactiva e interactiva la cual dependerá de los sistemas de cable con un equipamiento especial ofreciendo un desarrollo interactivo pleno^[1].

Para Manso, (2011) las redes sociales facilitan el intercambio de conocimientos y experiencias permitiendo la colaboración de individuos cercanos o alejados. Por otra parte la misma autora menciona que, Nicolas Negroponte (2005) y Piscitelli (2010) presentaron un modelo de computadora de bajo costo



en la segunda fase de la cumbre mundial sobre la información de la sociedad de la información adquiridas no menores a 500 mil a los ministerios de los países interesados (Uruguay, Proyecto Ceibal- Conectividad Educativa de Informativa Básica para el Aprendizaje en Línea), en 2009

El correo electrónico es un método para crear y recibir mensajes a través de sistemas de comunicación electrónica, y se puede utilizar en la educación para enviar y recibir artículos, tareas, investigaciones, ejercicios y contestar dudas que no fueron planteadas en la clase, sin importar la hora de entrega. [3].

Winocur (2015) [4]., hace mención que Facebook es un sistema de red social de código abierto donde se vuelcan un sinnúmero de comentarios sobre un tema en particular, collage o montaje de diversos elementos como las fotografías. Es por ello que lo colaborativo en las imágenes “son una de las herramientas fundamentales para comprender los mecanismos que articulan y modulan la sociedad en la que vivimos”.

Francesc Llorens y Neus Capdeferro (2011) [5], refieren que las aplicaciones llamadas “sociales” son capaces de funcionar como “sociointelectuales” para impulsar el pensamiento crítico y facilitar el procesamiento cognitivo (Voithofere et al., 2007). Mencionan que la combinación de texto, voz, música, gráficos, fotografías, animación y videos promueven el pensamiento y creatividad de usuarios en la realización de tareas de alto nivel. También, que la agrupación más o menos heterogénea de alumnos para realizar tareas puede favorecer la creación de “zonas de desarrollo próximo” (Vygotsky, 1978).

Ellison et al., (2007) [6], mencionado en Llorens y Capdeferro (2011) afirman que Facebook estimula la creatividad e incrementa la dimensión espontánea y agradable hacia el aprendizaje. También, que la interacción social proporciona un mayor beneficio para personas con baja autoestima.

De acuerdo a Daly y col., (2010) [7], el acopio de datos sobre las relaciones en redes sociales, puede hacerse mediante diversos métodos, como entrevistas, temas de discusión, archivos o encuestas, que pueden analizarse utilizando un conjunto de enfoques que abarcan el estudio descriptivo, la inferencia y la modelización estadística.

3. Condiciones experimentales

Se trabajó con cuatro grupos de la UEA. Introducción al desarrollo sustentable en los que la forma de evaluación se hizo de acuerdo a las recomendaciones del programa analítico de la misma UEA; dos exámenes parciales 50% de calificación; se proporcionó a los alumnos material de apoyo como: lecturas en relación a la UEA, videos, visitas a museos, conferencias relacionados al tema, estas actividades se evaluaron con 20% de calificación. Una presentación en formato Power Point o Prezi de una lista de



más de treinta temas a escoger y proporcionados por el profesor o bien una propuesta o estudio de caso personal según objetivos de la UEA 10% de calificación. Entregar un resumen con extensión de dos cuartillas, incluyendo un cuestionario de cinco preguntas, incluyendo bibliografía de las fuentes consultadas 5% de calificación; el resumen y cuestionario deberán entregarlo a su profesor y compañeros de clase el día de exposición o bien enviarlo en forma digital al profesor vía electrónica; para hacerla llegar al grupo. Finalmente deben entregar un trabajo en extenso de mínimo veinte cuartillas, de contenido: caratula (con datos personales, nombre del tema, etc.), objetivos, introducción, desarrollo del tema (incluyendo imágenes) resultados, conclusiones y bibliografía, 15% de calificación.

3.1 Metodología empleada para registrar la comunicación por Facebook; grupo CDIV04 16-P, Figura 1 Se muestra el informe de algunas actividades a realizar durante el curso. (material de apoyo para las tareas que se deberán presentar en tiempo y forma de acuerdo al programa de estudios).

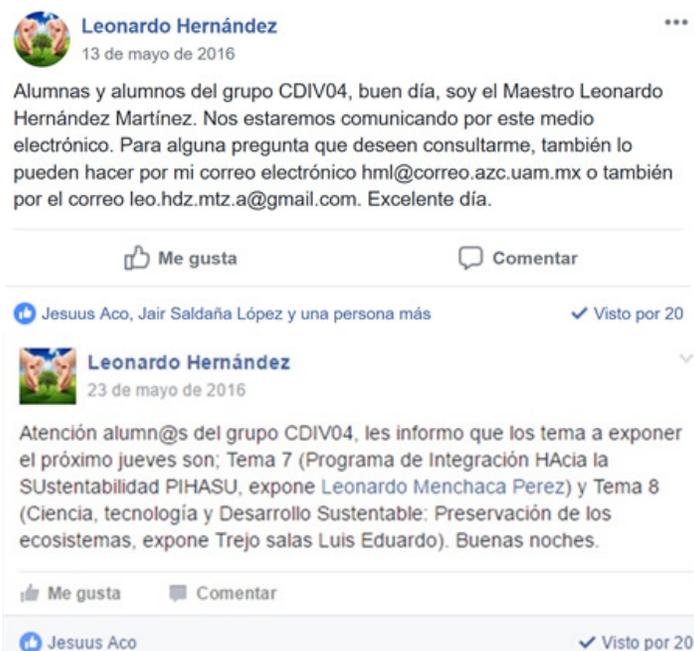


Figura 1. Captura de pantalla, mostrando la creación del grupo (superior) y la forma de comunicación del profesor (inferior) en el grupo CDIV04 Trimestre 16-P, en Facebook

Se realizó el mismo procedimiento arriba mencionado con el grupo CDIV81 Trimestre 16O en Facebook. Por razones de espacio no se incluye.

3.2 Enseguida se presenta el procedimiento para el grupo CDIV83 Trimestre 17P dónde se observa la comunicación que el profesor mantiene por GMAIL como



se muestra en la Fig. 2. Se muestra la respuesta de alumno-profesor con archivos adjuntos por correo electrónico.

Essdor, yo (2)	Preguntas de la exposición Uso y	26/5/17
ERICK, yo (2)	Resumen y cuestionario - Mucha	26/5/17
yo, Esty (3)	Práctica 5 y 6 - Esty Jiménez,, ar	25/5/17
diana, yo (2)	Resumen sobre Jardines Vertical	25/5/17
Miguel Angel Chimal Cisn.	Pregunta - Buena dia profesor ur	24/5/17

Resumen sobre Jardines Verticales Recibidos x

diana Segura <dianakaren.segura@gmail.com> 25/5/17 ↩
para mí

Buenas noches Profesor mi nombre es Diana Karen Segura Cruz con matrícula 2162000135 estoy en su grupo de Desarrollo sustentable y presenté el tema de Jardines Verticales. A continuación le envío el resumen y el cuestionario.
!Exceiente tarde!

View Source | Report Abuse

Jardines vertical...

Leonardo Hernández Martínez <leo.hdztz.a@gmail.com> 25/5/17 ☆
para diana

Buenas tardes Diana, y muchas gracias por el envío..
Atentamente
Preofesor Leonardo

Figura 2. Descripción de mensajería alumnos-profesor en Gmail (Superior e inferior) y muestra de comunicación alumno- profesor del grupo CDIV83 Trimestre 17P

Se realizó el mismo procedimiento arriba mencionado con el grupo CDIV82 Trimestre 18I, en Facebook. Por razones de espacio no se incluye.

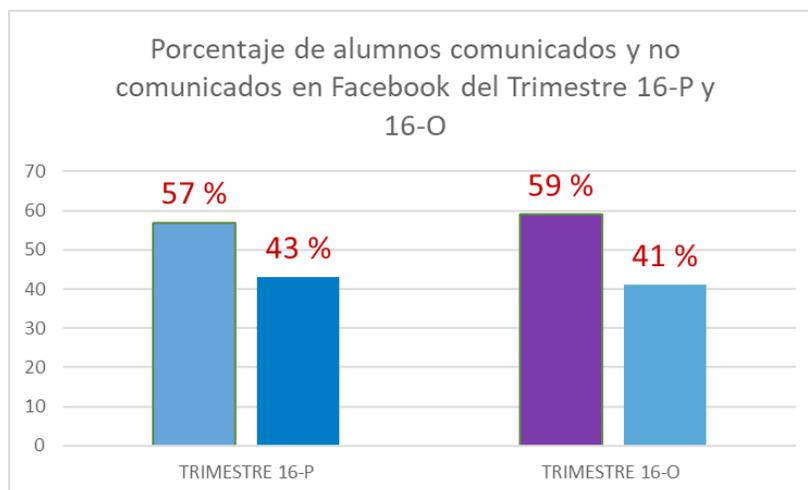
4. Resultados y discusión

Los comunicados en Facebook durante el trimestre 16-P, fueron de 97 mensajes totales (51 del profesor y 46 de los alumnos) y 1556 registros de mensajes vistos por los estudiantes y en el trimestre 16-O se reportaron 86 mensajes y 1929 registros de mensajes vistos por el grupo. Cabe mencionar que el mayor número de mensajes en el trimestre 16-P resultó por un paro de actividades que dio como resultado la prolongación del trimestre hasta el mes de septiembre de 2016 y durante la suspensión de actividades en el campus universitario se mantuvo la comunicación con los estudiantes. En la Grafica 1 se observa el porcentaje de alumnos comunicados y no comunicados en ambos grupos de Facebook.



Tabla 1. Relación de calificaciones de los Trimestres 16-P y 16-O de los grupos en Facebook

Trimestre	No. De MB	No. De B	No. De S
16-P	13	14	1
16-O	8	12	7

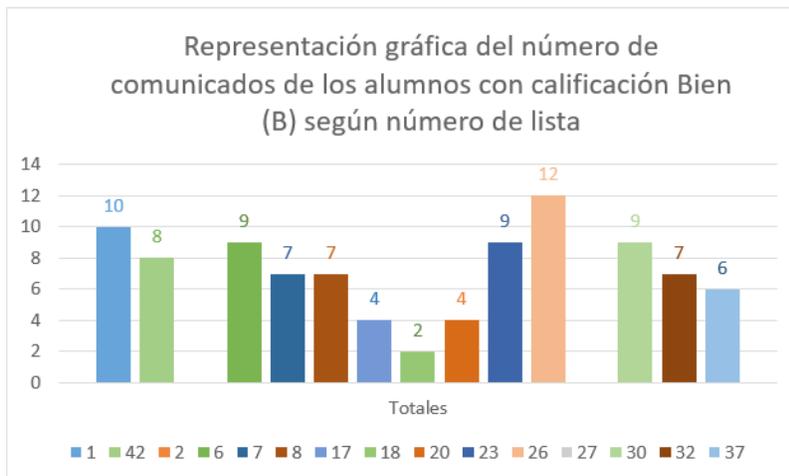
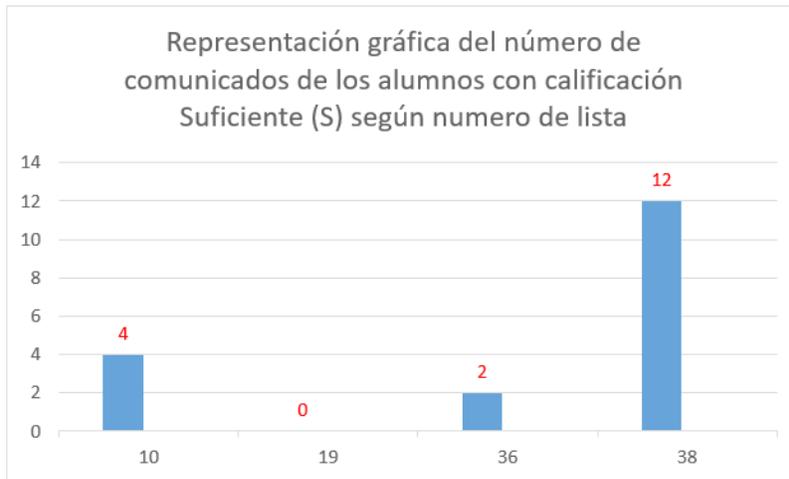


Grafica 1. Porcentaje de alumnos comunicados y no comunicados en el grupo CDIV04 Trimestre 16-P de un total de 28 alumnos aprobados. Y el porcentaje de alumnos comunicados y no comunicados en el grupo CDIV81 Trimestre 16-O de un total de 27 alumnos aprobados.

Enseguida se presentan los resultados obtenidos de los comunicados por correo electrónico del grupo CDVI83 durante el trimestre 17-P.

De los resultados obtenidos se observa que el que los estudiantes se comuniquen o no se comuniquen mediante las TIC's no implica una mejor calificación, como podemos observar en las gráficas 2 y 3, pero si indica el interés de los alumnos para obtener información de su participación y su preocupación del desempeño.

Se realizó el mismo procedimiento arriba mencionado con el grupo CDIV82 Trimestre 18I en Facebook. Por razones de espacio no se incluye.



Grafica 2. Se muestra el número de comunicados de los alumnos (superior e inferior) con calificaciones Suficiente (S) y Bien (B) respectivamente.



Grafica 3. Numero de comunicados de los alumnos con calificación Muy Bien (MB) según número de lista



5. Conclusiones

La comunicación socio digital es importante para los alumnos, pues mediante la misma adquieren la confianza y empatía de preguntar y resolver dudas.

También los alumnos que en determinado momento no pueden asistir en forma presencial, se les permite enviar sus tareas o trabajos finales sin hacerlo presencialmente.

Esta comunicación permite ahorro de material, hojas de papel, manejo de impresora, y por lo tanto ahorro económico y / ecológico.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Raymond Williams. Television. Tecnología y forma cultural. Editorial. Paidós. Buenos Aires, Barcelona, México. Abril 2011. ISBN 978-950-12-2376-9. Estudio de comunicación 36.páginas (36,76,159)
2. Manso Micaela, Perez, P, Libedinsky, Light, Garzon, M, Las TIC en las aulas. Experiencias latinoamericanas. Editorial Paidós. Edición 2011. Argentina. ISBN 978-950-12-1533-5 páginas (17,24,63).
3. <https://es.slideshare.net/fabysol/el-correo-electmico-en-la-educacin-16367275> Consultado en la URL el día 27 de junio de 2018
4. Rosalía Winocur Iparraguirre y José Alberto Sánchez Martínez. (noviembre 2015). Redes sociodigitales en México. p 171,180,181. México: Fondo de cultura económica. ISBN 978-607-16-3283-8 (FCE)
5. Llorens, Francesc; Capdeferro, Neus (2011). «Posibilidades de la plataforma Facebook para el aprendizaje colaborativo en línea» [artículo en línea]. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC). vol. 8, n.º 2, págs. 31-45. UoC. [Fecha de consulta: dd/mm/aa]. <<http://rusc.uoc.edu/ojs/index.php/rusc/article/view/v8n2-llorens-capdeferro/v8n2-llorens-capdeferro>> ISSN 1698-580X
6. Ellison, N. B., Steinfield, C., Lampe, C. (2007). The benefits of Facebook “friends:” Social capital and college students’ use of online social network sites. Journal of Computer-Mediated Communication 12 (4), article 1
7. Del Fresno, M., Marqués, P., Paunero, David S. (2014). Conectados por redes sociales: Introducción al análisis de redes sociales y casos prácticos, Primera edición. Editorial UOC. Universidad de León, España. Consultado en la Biblioteca digital UAM- Azcapotzalco



Educación en Valores y Método Científico en la práctica docente

Gloria María Jaime Mirabal ■ Delfino Ladino Luna

Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba.

gjaimem@upr.edu.cu

1. Resumen

En el presente trabajo se discuten las principales ideas de la Educación en Valores, como instrumento del proceso de formación de profesionales, y la semejanza de éstas con los principios básicos del Método Científico con los que se forman los egresados de carreras técnicas y científicas. A través de dos ejemplos, uno para cada uno de estos instrumentos, se muestra una manera de relacionar los valores escogidos con un conjunto de actitudes deseables. Dicha relación se plantea como auxiliar para buscar la apropiación de valores por parte del estudiante, con ayuda del docente, durante el proceso de enseñanza-aprendizaje en el caso de futuros ingenieros.

2. Introducción

Como se sabe, la Pedagogía es la disciplina que tiene como objeto de estudio la educación, con la intención de organizarla para cumplir con determinados fines, establecidos a partir de lo que es deseable para una sociedad: el tipo de ciudadano que se quiere formar^[1-4]. Uno de sus objetivos es la creación de instrumentos para la formación de valores, lo que de manera natural se realiza en los primeros años de escuela, es decir durante la enseñanza básica.

Pero el desarrollo tecnológico y la masificación de las sociedades han creado una serie de influencias que han hecho pensar a los pedagogos en la necesidad de reforzar los valores, que ha aprendido el estudiante universitario en los niveles básicos de la enseñanza, para garantizar la formación de profesionales comprometidos con la sociedad en que vive. Así, desde hace varias décadas se ha desarrollado la llamada teoría de la Educación en Valores, que busca la incorporación de normas éticas en su aprendizaje habitual. Esto es, se busca que



las personas reciban, pautas morales para una convivencia sustentada en principios y valores humanos^[5-9]. Basándose en la experiencia individual y colectiva, busca dar una formación integral, que pueda desarrollarse en el hogar, en las universidades, y en todo tipo de organizaciones y lugares. Se plantea una relación con la escuela más allá del aula, como una forma de transmitir valores que provienen de reglas sociales, religiosas, éticas o culturales. También se concibe como una forma de hacer que las personas estimen la propia comprensión de lo que se considera una buena conducta para ellos y su comunidad.

En particular, en las universidades se busca formar al estudiante con conocimientos, valores, actitudes y convicciones a un nivel creativo en la profesión elegida, comprometido con la sociedad. Una tendencia significativa en los últimos años, no siempre lograda, ha sido la de dar relevancia al componente humanista en la formación de ingenieros, pues se busca que el futuro profesional ejerza con calidad su profesión. En la práctica del proceso de enseñanza-aprendizaje se aboga por fortalecer los valores éticos compartidos. Pero, en la práctica docente no siempre es fácil incluir en la enseñanza la apropiación de valores por parte del estudiante, en aras de una actitud de servicio hacia la sociedad, que lo ha entrenado para resolver cuestiones prácticas, con una actitud digna ante los problemas y retos que se le presenten en su vida profesional. La Educación en Valores, como teoría pedagógica, puede ser incluida al exponer de manera formal cualquier asignatura, partiendo de una propuesta de valores que permitan desarrollar actitudes íntimamente relacionadas con dichos valores.

En el presente trabajo se discute la manera de lograr el planteamiento anterior, mediante la selección de cierto número de valores y la posibilidad de desarrollar al mismo tiempo un conjunto de actitudes deseables de manera simbiótica. En ese mismo espíritu, se muestra como particularmente el Método Científico se puede utilizar, en el caso de asignaturas científicas, que precisamente se llaman así debido a que su desarrollo ha sido moldeado por el uso sistemático del Método Científico. El trabajo se desarrolla de la siguiente manera: se exponen de forma breve los principios básicos de la Educación en Valores, a continuación, se muestran brevemente las ideas básicas del Método Científico, y finalmente se muestra con dos ejemplos la relación entre valores y actitudes que se busca fortalecer en los estudiantes.

3. Condiciones experimentales

3.1 La categoría Educación en la formación de valores

Un análisis de la teoría de la Educación en Valores hace indispensable aclarar lo que significa educar, que en general, puede decirse que es el proceso mediante el cual se busca que cada individuo, de una sociedad determinada, se sienta cómodo como



parte de dicha sociedad, al conservar y transmitir a las futuras generaciones la filosofía del mundo que rodea al grupo humano del que es parte. Pero no significa crear individuos sin falta de criterio, educar significa crear conciencia de pertenencia y de sentido del deber para con su comunidad, a fin de lograr una sobrevivencia con equidad para todos los miembros de su entorno^[2,4]. La Educación tiene que ser una labor selectiva y directriz, esto es debe hacerse una selección de las cualidades deseables que habrán de estimularse para el cultivo integral de la personalidad del educando, a través del proceso de instrucción y mediante actividades programadas.

Las tareas básicas del docente tienen estrecha relación con la extensión que se da al concepto de Educación, que implica salir del proceso de enseñanza-aprendizaje al extender su influencia a otros ámbitos, siempre relacionados con la escuela como ente aglutinador. De otra manera se reduce el trabajo del maestro al contexto escolar y a la transmisión de contenidos y normas pre-elaboradas: a la instrucción^[10]. Esto es, la influencia educativa no sólo debe ejercerse en lo curricular (la clase), sino además extenderse de manera extracurricular, por ejemplo, en la práctica laboral ó la extensión universitaria, entre otros procesos.

La Educación también es posible definirla como un sistema de influencias conscientemente organizado, dirigido, sistematizado sobre la base de una concepción pedagógica determinada, su objetivo más general es la formación multilateral y armónica del educando cuyo núcleo esencial debe estar en la formación de los valores morales, para que se integre a la sociedad en que vive y contribuya a su desarrollo y perfeccionamiento^[11]. De esta manera, la educación se concibe como el sistema de influencias conscientes dirigidas a la formación general e integral del estudiante para su inserción en la sociedad, propiciando su contribución a transformarla.

En esa diversidad de criterios, de los que aún no se tiene consenso en la actualidad, consideramos que las definiciones señaladas poseen puntos coincidentes en cuanto a que conciben la Educación como un proceso integrador de todas las influencias educativas dirigidas a la formación de la personalidad del estudiante, en estrecha unidad dialéctica, de lo instructivo con lo educativo, desde una perspectiva curricular y extracurricular, en el proceso de formación en la educación superior^[12,13].

3.2 El proceso de formación. Dimensiones e ideas rectoras

La Educación en Valores, vista como un conjunto de operaciones directivas básicas, comunes a cualquier organización, en la educación superior mantiene su naturaleza y se redefine a partir del modelo de profesional que se pretende formar. Este proceso formativo es el más complejo dentro del proceso enseñanza-aprendizaje, y está dirigido a la formación de personas íntegras en todos sus aspectos, tanto en el sentido del pensamiento como de los sentimientos. Se parte de la idea de que la formación de la



personalidad debe ser expresión de la estrecha unidad entre la educación y la instrucción, esencialmente en valores que caracterizarán su actuación profesional.

En cada materia se debe ser capaz de identificar desde su propio contenido las potencialidades educativas, e incorporarlas al proceso de formación, adquiriendo así los aspectos relevantes de carácter educativo para contribuir a la Educación en Valores y el desempeño profesional, donde el papel y ejemplo de los docentes constituye un elemento esencial. Así, la Educación en Valores se centra en establecer una perspectiva referida a la acción pedagógica, cuyo ambiente facilite un aprendizaje que vaya a las raíces mismas del comportamiento del estudiante en cualquier contexto en que se desenvuelve^[14-17], entonces se trata de:

- Formar valores desde una clase que educa, en vínculo estrecho con lo instructivo.
- Reconocer que el crecimiento de una persona en el plano moral y ético por lo general ha sido una prioridad, pero requiere de mayor énfasis.
- Ayudarles a superar sus problemas afectivos.
- Orientarlos en la solución de sus problemas familiares y sociales.

3.3 El método científico, una vía de aprendizaje

El Método Científico puede concebirse como un procedimiento que empieza con la observación sistemática de los fenómenos naturales, permitiendo que se pueda realizar una medición, experimentación, formulación de hipótesis, y modificación de las hipótesis de su comportamiento. Se basa en lo empírico, sujeto a principios y pruebas de razonamiento. Sir Francis Bacon^[18] lo planteó con los pasos siguientes: a) observación: aplicar los sentidos a un fenómeno, para estudiarlo tal como se presentan en realidad; b) inducción: extraer el principio fundamental de cada observación; c) hipótesis: explicación provisional de las observaciones y sus posibles causas; d) comprobación de la hipótesis; e) demostración o refutación (antítesis) de la hipótesis; f) tesis o teoría científica.

Descansa en dos pilares fundamentales: la reproducibilidad, que es la capacidad de repetir un determinado experimento, y la comunicación y publicidad de los resultados obtenidos; la refutabilidad: que implica que toda proposición científica debe ser susceptible de ser falsada o refutada, rechazando las verdades absolutas, las proposiciones científicas nunca pueden considerarse absolutamente verdaderas, sino a lo sumo “no refutadas”^[19]. Referirse al Método Científico es referirse a este conjunto de tácticas empleadas para constituir el conocimiento, sujetas al devenir histórico, y que podrían ser otras en el futuro^[20]. La forma esquemática de presentar al Método Científico se muestra en la Figura 1, que se desprende de las consideraciones de F. Bacon.

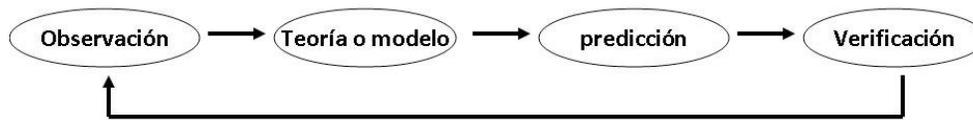


Fig. 1. Diagrama que muestra los pasos principales del Método Científico

Obsérvese que se forma un ciclo, pero no constituye un dogma que lleve al conocimiento “verdadero”, al mismo tiempo lleva a la construcción de nuevas teorías que modifiquen, mejoren y substituyan a las existentes en el período denominado “período de ciencia normal”^[19,20]. ha de reconocerse que todo conjunto de conocimientos que aspira a ser de ciencia, parte del postulado fundamental de que la naturaleza es predecible.

4. Resultados y discusión

4.1 Educación en Valores y Método Científico

Para hablar acertadamente de una interacción entre la Educación en Valores y el Método Científico, es necesario observar que la invención y la innovación generan un conjunto de sentimientos, valoraciones, gusto estético y satisfacción. Éstos son motivos para la creatividad, el entusiasmo por la profesión y la entrega al trabajo, pero sería negativo que entraran en conflicto con los intereses de la sociedad. Una posible solución depende de un sistema de valores presentes en el proceso de enseñanza-aprendizaje, que permita un desarrollo considerado adecuado del futuro profesional, proporcionando equilibrio en el desempeño de su labor. Se hace imprescindible hacer una selección de valores que propicien actitudes deseables, a partir del modelo de profesional que se quiere obtener. Los valores pueden ser agrupados de manera que cada grupo sea un conjunto de valores que puedan identificarse como actitudes deseables. La siguiente es una clasificación que puede considerarse común a muchas profesiones, no es única ni puede considerarse completa.

- Éticos: compromiso, objetividad, imparcialidad, rigor, claridad,
- Laborales: responsabilidad, disciplina, eficiencia.
- Sociales: Compromiso, solidaridad, respeto.
- Humanistas: comprensión, interés, tolerancia, prudencia, sensibilidad.
- Profesionales: objetividad, curiosidad, honestidad, colaboración.

Se ajustan a los ejemplos siguientes:



Contabilidad General

La contabilidad general, puede considerarse como parte de la matemática, que es sólo una disciplina, pero no ciencia, pues no se ajusta a un desarrollo a través del método científico. En la confección de los Estados Financieros, en muchos lugares, las empresas han substituido la elaboración manual de éstos con programas para registrar las operaciones económicas que se realizan durante un período determinado, que facilitan la confección de esos los financieros (Estado de Capital, Balance General, Estado de Resultados, etc.), y se facilita su análisis económico y financiero. De ahí la necesidad de trabajadores que operen esas máquinas y cumplan principios establecidos para Contabilidad: los valores, como los siguientes,

- *Responsabilidad*, para registrar las operaciones económicas en el momento en que se producen, derivado de una *actitud profesional* (al actualizarse en los cambios que se indica por las entidades de gobierno que regulan los precios).
- *Humanismo* al propiciar un clima de confianza entre las personas, cuando se establece la división del trabajo, de manera tal que una misma persona no lleve el control de un sistema completo, propiciando el *altruismo* y *la generosidad*.
- *Compromiso social*, relacionado con una actitud de *laboriosidad* (mostrando una plena dedicación a la actividad laboral y social que se realiza).

Física

En la práctica del Método Científico también existe una relación entre actitudes y valores, al utilizarlo en la enseñanza de las ciencias, particularmente en la enseñanza de la física^[21]. Un análisis de las actitudes necesarias al utilizar este método muestra que existe implícitamente la formación los valores, como se observa al analizar paso a paso esta correlación. Así, es posible establecer tres aspectos importantes que sintetizan la aplicación del Método Científico y su relación con los valores sugeridos:

- *Observación*: al plantear un problema se muestra una *actitud intelectual* de manera que el modelo sea una forma adecuada de representar un hecho o fenómeno natural, se busca ser *ético* y *eficaz* al tratar de resolver un problema.
- *Postular una teoría*: para el modelo, implica *aprender y desarrollar una tecnología*, a través de la creación de algoritmos para medir y comparar, buscando la *eficacia* y con *dignidad* en la labor desarrollada.
- *Reproducción de resultados*: al presentar sólo aquellos resultados que realmente ha obtenido a partir del modelo se es *honesto*, aunque no se ajuste a nuestras predicciones, y que pueden ser reproducibles por cualquier integrante de la corriente de pensamiento



Se requiere además siempre una *actitud ética* y con *sensibilidad*, al tener que regresar al punto inicial, presentando un modelo mejorado que substituya al anterior, esperando que sea *simple* y *estético*.

Los aspectos previamente comentados muestran la necesidad de un *compromiso social*, al buscar en todo momento mejorar tanto el modelo como la tecnología apropiada para desarrollarlo.

5. Conclusiones

La implementación de teorías pedagógicas constituye una valiosa alternativa para infundir el desarrollo de valores y actitudes en los estudiantes de las distintas profesiones de la educación superior, los cuales deben ser capaces de transformar el conocimiento al ponerlo en práctica. El papel y ejemplo del docente constituye un elemento esencial para la Educación en valores, desde la enseñanza de cualquier ciencia, materia o disciplina, de manera que a través de esquemas se puedan mostrar las relaciones entre las llamadas dimensiones necesarias para la Educación en Valores, y el uso del Método Científico para la adquisición de conocimiento útil del futuro egresado, en vísperas de contribuir a la formación general e integral para el futuro desempeño profesional.

6. bibliografía

1. Foucault, Michel. La arqueología del saber, Siglo XXI, México, 1979
2. de Alba, A., Teoría y educación, en “Teoría y educación, en torno al carácter científico de la educación”. Coordinación de Humanidades, Centro de Estudios sobre la Universidad. UNAM, México (1996)
3. Zambrano, A., Educación y Pedagogía, vol. XVIII, (44), 33-50 (2006)
4. Lemus, L. (1969). Pedagogía: temas fundamentales. Kapelusz: Buenos Aires.
5. Arana, M. y Armenteros, Ma. Del C., Revista Contactos; III (23); 26-29 (1996).
6. Arana, M. y Batista N., La Educación en Valores: Una propuesta Pedagógica para la Formación Profesional. ISPAJAE, Ministerio de Educación Superior, Cuba: Documentos de Trabajo (1997).
7. Barba, B., Revista Mexicana de Investigación Educativa; 10 (24), 9-14 (2005)..
8. González, L. M. y Rasilla, M., Formación Universitaria 4 (2) 15-26 (2011)
9. Lucini, F., Educación en Valores y Reforma Educativa. Anaya educación, España: Vela mayor (1994)



10. Schmelkes, S.. La formación de Valores en la Educación, Estudios (Filosofía-Historia-Letras), ITAM, México (1996).
11. López, J., Esteva M., Chávez, J., Valera, O., Ruiz, A. y otros, Marco conceptual para la elaboración de una teoría pedagógica, en Compendio de Pedagogía. Ciudad de La Habana, Cuba: Pueblo y Educación (2002)
12. Baños-Martínez J. J. y Arganis-Juarez, M.I., Procedia-Social and Behavioral Sciences, 106, 2807–2816 (2013)
13. Arango, O.E., Revista de la Educación Superior, XLIII (169), 89-105 (2014)
14. Parra, J.M., Tendencias Pedagógicas, 8, 69-88 (2003)
15. del Valle, A.I., Revista de Enseñanza Universitaria, 29, 51-67 (2007)
16. Osuna, C. y Luna, E., Formación Universitaria, 1 (1), 29-36 (2008)
17. Benitez-Zavala, A., La educación en valores en el ámbito de la educación superior. Repositorio Institucional ITESO (2009).
18. Klein, J., Bacon F., The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Stanford University Press, Stanford, USA. <https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/francis-bacon/>. (2016)
19. Lakatos, I. (1978). The methodology of scientific research programs, London, U. K.: Cambridge University Press.
20. Kuhn, T. S., The structure of scientific revolutions, Chicago U. Press, USA (1962)



CAPÍTULO 5

Energía y ambiente



ENERGÍA Y AMBIENTE

El ser humano desde siempre, ha buscado formas de utilizar la energía para obtener una mejor calidad de vida, sin energía no es posible la vida y cualquier cambio que se vaya a producir requiere de energía. Todos los procesos que nos proporcionan comodidad y que utilizamos los seres humanos en nuestra vida diaria requieren de un gasto energético. Estos procesos pueden desarrollarse mediante el uso de energías renovables y no renovables. Sin embargo, presas del progreso tecnológico, el ingeniero y el científico, utilizan desmedidamente las fuentes de energía del planeta, olvidando frecuentemente la responsabilidad que tiene el ser humano de cuidar los limitados recursos naturales y el ambiente. El ambiente es el conjunto de elementos naturales que hacen factible la vida en el planeta; es el entorno donde el ser humano se desenvuelve, desarrolla y prolonga su vida. Ambiente y vida deben pensarse como elementos inseparables de la naturaleza, como lo hacían nuestras antiguas culturas milenarias de América.

El dominio y la comprensión de la tecnología por un lado, y la responsabilidad social por el otro, son factores esenciales para actuar sobre el ambiente. En materia ambiental, nuestro planeta se enfrenta a grandes desafíos: cambio climático, contaminación, crecimiento de la población humana, rarefacción de las fuentes de agua potable, pérdida de la biodiversidad, etc. La problemática del uso de la energía y el ambiente es tan variadas y compleja que se requiere convocar los esfuerzos de un número cada vez mayor de científicos, ingenieros y tecnólogos para enfrentarla con éxito, proponiendo, por ejemplo, el tratamiento adecuado de las aguas usadas, la reutilización inteligente de los desechos sólidos o la revalorización de suelos contaminados.

Finalmente, una aplicación responsable de la ciencia, que tome en cuenta las exigencias de un desarrollo sustentable y que concilie el progreso tecnológico con un modo de vida equilibrado y responsable, es a lo que aspiramos los seres humanos.



Estudio de las propiedades texturales de productos carbonizados del proceso de gasificación en un reactor de lecho fijo.

María Esther Mata Zamora ■ Norma Sánchez-Flores ■ Gustavo Adolfo Gutiérrez-Fernández

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología.
Universidad Nacional Autónoma de México.
esther.mata@icat.unam.mx

1. Resumen

En este trabajo se presenta el análisis textural de biocarbones que se obtienen en el proceso de gasificación de dos tipos de biomasa: astillas de madera (AM) y olote de maíz (OM). El proceso de conversión térmica de la biomasa se realizó en un gasificador de lecho fijo y flujo descendente. Se evalúa el área específica superficial (BET) y porosidad que se obtiene de cada tipo de biomasa en la etapa de pirólisis, durante el proceso de gasificación. El valor obtenido para el biocarbón-AM fue de $142 \text{ m}^2/\text{g}$, mientras que para el biocarbón-OM fue de $469 \text{ m}^2/\text{g}$. Ambas muestran presentan micro y mesoporosidad (0.8 nm-3.5 nm). Adicionalmente, se evalúa la composición elemental en las cenizas producidas en la etapa final del proceso termoquímico para la biomasa-AM, donde el porcentaje de los componentes mayoritarios es de 27% CaO, 21% P_2O_5 , 17% K_2O y 18% SiO_2 .

2. Introducción

El proceso de gasificación es un proceso termoquímico que permite la conversión de un combustible sólido (en este caso biomasa en estado natural) en un combustible gaseoso, mediante reacciones químicas que ocurren a altas temperaturas y en presencia de un agente oxidante. El proceso de gasificación de biomasa se compone de tres fases: secado, pirólisis y reacciones de gasificación, las cuales pueden darse en procesos de una o varias etapas. En cada una de las etapas se generan diferentes productos, como agua (secado), gases (CO , CO_2 , CH_2 , H_2), condensados, alquitranes y carbonizados (pirólisis). Si bien, la etapa más relevante y compleja es la gasificación, en el presente trabajo es de interés evaluar las posibles aplicaciones de los productos sólidos de las etapas de pirólisis y calcinado, es decir, la producción de biocarbón y la generación de cenizas. La



valoración de estos dos productos puede ser dirigido a su aplicación como materiales adsorbentes de contaminantes o bien para el mejoramiento de suelos o de composta.

Las posibles aplicaciones de un biocarbón están determinadas por las propiedades físicas y químicas del material obtenido después de la etapa de pirólisis. El área superficial, la distribución y tamaño de poro, el contenido de heteroátomos (N, K, Ca, P, entre otros) presentes en las paredes de los poros, son alguno de los aspectos más importantes. Conocer estos aspectos nos ayudará a definir la conveniencia de hacer tratamientos adicionales para mejorar las propiedades del biocarbón para usarlo, por ejemplo, en la adsorción de metales contaminantes en aguas residuales. Esto último es uno de los temas de interés para el grupo de investigación de materiales porosos del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología de la UNAM. La caracterización de los materiales se realizó en los Laboratorios Universitarios de Caracterización Espectroscópica (LUCÉ) y de Nanotecnología Ambiental (LUNA) del mismo instituto.

Por otra parte, el segundo producto sólido que se obtiene en el proceso de gasificación es la generación de cenizas que se depositan al fondo del reactor. Su composición dependerá del tipo de biomasa y de las temperaturas alcanzadas en el reactor. Las cenizas están compuestas de minerales que pueden ser integrados en suelos o compostas para mejorarlos o enriquecerlos.

El biocarbón y la ceniza estudiados en este trabajo provienen de la planta de gasificación que se ubica en Ciudad Universitaria, donde se procesan diversos residuos agrícolas y forestales. Dicha planta de gasificación forma parte del Centro Demostrativo de Gasificación de Biomasa de la UNAM, en la que participan el Instituto de Ingeniería, con apoyo de la SAGARPA y la empresa G2E (Green to Energy). Por lo que se agradece al Dr. Luis Álvarez-Icaza Longoria, del Instituto de Ingeniería de la UNAM, y a G2E, S.A.P.I. de C.V., por su colaboración en la dotación del biocarbón utilizado en este trabajo y la provisión de los detalles del proceso productivo.

3. Condiciones Experimentales

3.1 Acondicionamiento de la biomasa

Al Centro Demostrativo de Gasificación de Biomasa, llegan residuos orgánicos de diferente tipo, tales como café, coco, olote y caña de azúcar, entre otros. Las astillas de madera se obtienen de los residuos leñosos de jardinería del campus de Ciudad Universitaria de la UNAM. El presente estudio se realiza con el olote de maíz y astillas de madera. El olote se recibe con un alto contenido de piedras de diverso tamaño y polvillo, llamado “tamo”, generado por la fricción entre los olotes. La humedad medida en el material es de 8%. El olote utilizado en este estudio no fue triturado, pero se le retira el material fino y las piedras mediante un tamizado. Las astillas de madera



que se obtienen de los residuos leñosos, se trituran en la Plata de Composta con un molino de cuchillas, después se realiza un tamizado a través de una malla circular de 13 mm de apertura, para retirar el material fino y quedarse con piezas de alrededor de ~2 cm. El secado se lleva a cabo al aire libre, realizando dos volteos cada 24 horas para homogenizarlo, el contenido de humedad del material seco fue de aproximadamente 7%. En ambos tipos de biomasa se requiere que el tamaño no sea demasiado fino para evitar que se atasque en el interior del reactor.

3.2 Equipo utilizado

El equipo utilizado para el proceso de gasificación fue un gasificador directo de tapa abierta (o estratificado), de lecho fijo y flujo descendente (Direct Open-Top Stratified Fixed-Bed Downdraft) Ankur Scientific PG-45, con capacidad nominal de consumo de 45 kg/h de biomasa. El equipo opera con la compuerta de alimentación, localizada debajo del cono invertido en la corona del equipo, la alimentación se realiza de forma manual (ver Figura 1).

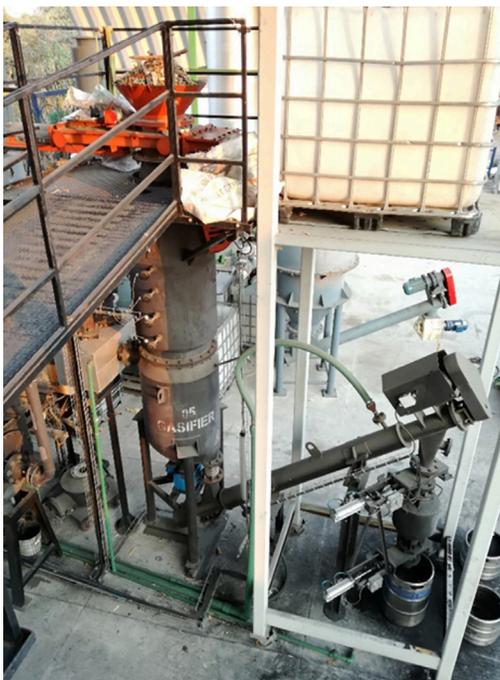


Figura 1. Gasificador PG-45 en operación.

Los detalles del funcionamiento del reactor pueden ser consultados en el trabajo publicado por Nava et al.^[1], brevemente el proceso consta de las siguientes etapas: (A) Alimentación de biomasa a la tolva, a las condiciones de tamaño (3 cm) y humedad requeridas (12%-15%). (B) Deshumidificación de la madera mediante la introducción



de aire seco y caliente proveniente del intercambiador de calor. (C) Transporte de la biomasa al gasificador; la tolva se encuentra acondicionada con un tornillo sin fin de acero inoxidable, el cual se encarga de transportar la biomasa triturada a la boquilla de alimentación del gasificador, en donde mediante gravedad se introduce la carga de alimentación. (D) Una vez introducida la carga comienza a llevarse a cabo las reacciones de reducción, combustión y volatilización. La temperatura es monitoreada constantemente mediante termopares instalados a lo largo del gasificador. Adicionalmente, se realiza una medición de temperatura usando un sensor en el interior del reactor, donde se encuentra la parte central de la biomasa, con el cual se determina una temperatura máxima de 965 °C, con una razón de calentamiento de 2.54 °C/s, el tiempo de residencia a temperaturas entre 800 °C y 965 °C es de 2 minutos.

3.3 Biomasa y ceniza

Las muestras de biomasa obtenidas corresponden a biocarbón de astilla de madera (AM) y a biocarbón de olote de maíz (OM). Las biomásas se Trituran y tamizan con una malla de 0.150 mm para la determinación de sus propiedades superficiales. Para esto se obtienen las isotermas de adsorción-desorción de nitrógeno para cada muestra en un equipo Autosorb-1, Quantachrome Instruments.

Adicionalmente se obtiene ceniza de astilla de madera, como subproducto de la etapa de pirólisis en el proceso de gasificación de la biomasa. Esta ceniza es analizada por Fluorescencia de Rayos X, para conocer su composición elemental, en un Fluorómetro Siemens SRS300 con un tubo de Rh y una ventana de Be de 125 μm.

4. Resultados y discusión

4.1 Isotermas de adsorción

En la Figura 2 se muestra las isotermas de absorción de los biocarbones AM y OM. Las isotermas presentan un comportamiento Tipo I según la clasificación IUPAC^[2], con la presencia del punto B, característico de sólidos microporosos, por abajo del cual se lleva a cabo el mecanismo de llenado de los poros a bajas presiones relativas. Adicionalmente, también se observa un comportamiento en la adsorción del N₂ en multicapa, dado por la pendiente de la curva a presiones relativas por arriba de 0.2 que corresponde a un sólido mesoporoso, donde se presenta el fenómeno de condensación de capilar a presiones relativas medias o altas de la isoterma de adsorción^[3]. Estas isotermas también muestran, que el mecanismo de adsorción es distinto al de desorción, comportamiento evidenciado por la presencia de un ciclo de histéresis. El



tipo de histéresis observado, en ambos biocarbones, corresponde a un ciclo Tipo H4, el cual suele asociarse a poros estrechos en forma de hendidura^[4].

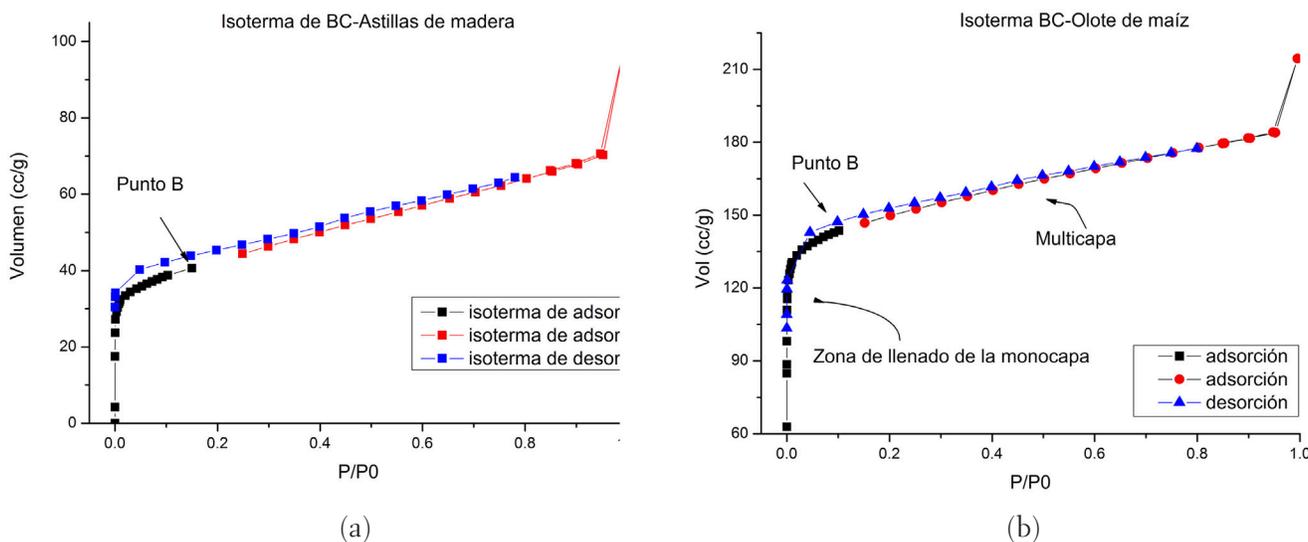


Figura 2. Isothermas de absorción-desorción de N_2 a 77 K de los biocarbones (a) AM y (b) OM. Símbolos en color negro y rojo, adsorción; símbolos color azul, desorción.

A partir del análisis de las isothermas de adsorción se determina el área superficial específica mediante la aplicación del modelo propuesto por Brunauer-Emmet-Teller (BET), siendo para el Biocarbón-AM de $142 \text{ m}^2/\text{g}$ y para el Biocarbón-OM de $469 \text{ m}^2/\text{g}$.

4.2 Distribución de tamaños de poro

En la Figura 3 se muestran las distribuciones de tamaño de poro de ambos tipos de biocarbón, calculados por el Método DFT (basado en la Teoría de Densidad Funcional) usando el software del equipo.

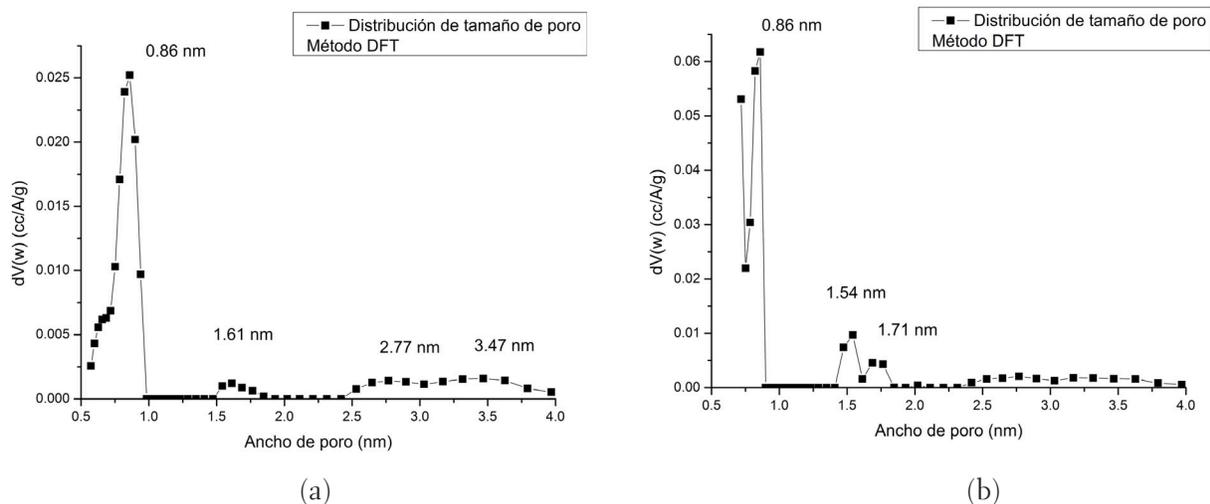


Figura 3. Distribución de tamaños de poro de los biocarbones (a) AM y (b) OM.

La distribución de tamaños de poro muestra, en ambos tipos de biocarbón, una cantidad mayor de microporosidad entre 0.5 y 1.8 nm, mientras que la presencia de mesoporos se observa entre 2.5 y 4 nm, en una menor proporción, siendo mayor la dispersión en el biocarbón-AM, debido a la heterogeneidad de la biomasa utilizada.

4.3 Composición de las cenizas de las astillas de madera

En la etapa de pirólisis de la biomasa, durante el proceso de gasificación, se genera una cantidad variable de cenizas de diferentes naturalezas según el tipo de biomasa de la que proceden y del tipo de tratamiento termoquímico. Éstos residuos son principalmente empleados como fertilizantes debido a su alto contenido en potasio. El análisis elemental (Fluorescencia de rayos X) muestra que las cenizas de la biomasa de astillas de madera que se obtienen están compuestas mayoritariamente por óxidos de calcio (CaO, 27%), fósforo (P₂O₅, 21%), silicio (SiO₂, 18%) y potasio (K₂O, 17%).

5. Conclusiones

El análisis del área superficial específica muestra que el biocarbón-AM tiene una menor área superficial que el biocarbón-OM, bajo las mismas condiciones de carbonización. Los biocarbones estudiados en el presente trabajo presentaron isoterma de adsorción Tipo I, con un comportamiento de sólido microporoso (0.8 nm) y mesoporoso (2.8 nm-3.5 nm), lo que los hace atractivos como materiales adsorbentes. La distribución de tamaño de poro es más extensa para el biocarbón-AM debido posi-



blemente a la heterogeneidad del material. En ambos biocarbones la proporción de microporos es mayoritaria.

La composición de la ceniza muestra un material rico en minerales, idóneo para enriquecer compostas o suelos de cultivo.

6. Bibliografía

1. Nava C.M., Rodríguez A., Palacio A., Aguillón J. E., Reyes O. P., “Primera planta de gasificación en México”, Memorias del XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM” 23 al 25 de septiembre 2009 (A5_172).
2. Sing K. S. W., Everett R. A. W. Haul, Moscou L., Pierottr R. A., Rouquerol J., Siemieniewska T. “Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity”, *Pure Appl. Chem.* V. 57, 603-619 (1985).
3. Álvarez M. A., Carrasco F., Maldonado F. J. “Desarrollo y aplicaciones de materiales avanzados de carbón”, Capítulo V, Caracterización textural y química de materiales de carbón. Universidad Internacional de Andalucía, 2014.
4. Karen J., Peña H., Giraldo L., Moreno J. C., “Preparation of activated carbon from orange peel by chemical activation physical and chemical characterization”, *Revista Colombiana de Química*, V. 41, No. 2, (2012).



Adsorción de quinolina en presencia de dibenzotiofeno variando la relación de Si/Al en materiales del tipo SBA-15 y Zn/SBA-15

Diana Alejandra García Martínez ■ Margarita Mercedes González Brambila ■ José Colín Luna
Carlos Rogelio Tapia Medina ■ Julio César García Martínez

Área de Análisis de Procesos.
Departamento de Energía.
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
jgarciam@azc.uam.mx

1. Resumen

La remoción de compuestos azufrados y nitrogenados de combustibles fósiles es fundamental para alcanzar las estrictas normas ambientales con respecto al azufre (S). Sin embargo, en cargas del diésel también están presentes compuestos nitrogenados que inhiben los sitios activos de los catalizadores disponibles en la reacción de hidrodesulfuración (HDS), por lo cual es de suma importancia su eliminación. Un proceso para la remoción del átomo de nitrógeno (N) es la adsorción selectiva empleando adsorbentes sólidos. En este trabajo, se estudió la capacidad de adsorción de materiales a base de sílice SBA-15 modificados con Al utilizando varias relaciones (Si/Al: 5, 16, 60 y 150), para la remoción de una molécula nitrogenada básica (quinolina, Q) en presencia de dibenzotiofeno (DBT) utilizando dodecano, como una mezcla representativa del diésel. De los resultados previamente obtenidos, se optó por la mejor relación Si/Al=16 y se impregnó con Zn.

2. Introducción

Las actuales legislaciones ambientales en combustibles para automotores demandan un contenido de S menor a 15 ppm. La reacción de HDS es el proceso más común para alcanzar estos bajos niveles de S, consiste en pasar una corriente de H₂ a un corte de petróleo en condiciones de alta presión (> 5 MPa) y temperatura (ca. 623 K). Los altos contenidos de compuestos nitrogenados refractarios encontrados en algunos crudos es otro problema que se debe resolver en las refinerías ^[1]. Algunas investigaciones han mostrado que, al estudiar el comportamiento cinético de reacciones en competencia de la Q, inhibe la reacción de HDS del 4,6-dimetildibenzotiofeno ^[2]. Entre las tecnologías disponibles



para cumplir con las leyes ambientales y reducir los compuestos azufrados y nitrogenados a condiciones menos agresivas es la adsorción previa al hidrotreamiento ^[1,3]. Se han realizado algunas investigaciones en la adsorción de compuestos nitrogenados y/o azufrados sin algún metal y con Zn ^[4,5].

El objetivo del presente trabajo fue determinar la remoción y los parámetros de equilibrio en la adsorción de la Q variando la concentración (50, 100, 150, 200 y 250 ppm de N) en presencia de DBT (500 ppm de S) utilizando un material mesoporoso del tipo SBA-15 modificado con aluminio a relaciones Si/Al = 5, 16, 60 y 150, utilizando la mejor relación con Zn. Se propusieron dos modelos de adsorción para explicar el comportamiento de estos materiales: Langmuir y Freundlich, a una presión de 78 kPa y una temperatura de 313 K en un sistema por lotes.

2.1 Determinación de la isoterma de adsorción y parámetros cinéticos

En un proceso de adsorción, es común encontrar dos tipos de modelos de adsorción, el de Langmuir ecuación (1) y su forma lineal ecuación (2) y la de Freundlich ecuación (3) y su forma lineal con la ecuación (4).

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2)$$

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (3)$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (4)$$

Donde q_e es la cantidad máxima adsorbida en el equilibrio ($\text{mmol/g}_{\text{adsorbente}}$), C_e es la concentración final de adsorbato en el punto máximo de adsorción (mmol/L), K_L , K_F y $1/n$ son las constantes de equilibrio para las isotermas de Langmuir y Freundlich, respectivamente. Para determinar el modelo correspondiente al sistema adsorbente - adsorbato analizado, se observa que los datos se ajusten al modelo lineal o aquellos en donde el factor de correlación (R^2) sea el más cercano a la unidad.

3. Condiciones experimentales

Para la síntesis de SBA-15 se utilizó el método sol-gel de autoensamblado empleando Pluronic-123 en una solución ácida y tetraetilortosilicato (TEOS) como fuente de Si. En una preparación típica se preparó una solución de 16 g de P-123 (Sigma-Aldrich)



en 474 mL de HCl 2 M y 26 mL de H₂O. Se colocó la mezcla a baño maría a una temperatura de 311 K y agitación vigorosa durante 1 hora hasta que se obtuvo una solución homogénea. A continuación, mediante goteo lento, se adicionaron 32 g de TEOS durante 24 h más a 311 K. Posteriormente, se colocó en la estufa precalentada a 368 K y se dejó reposar por 72 h. Finalmente, la solución se filtró, se lavó con abundante agua desionizada, se secó por 12 h a temperatura ambiente y se calcinó a 823 K. Para la incorporación del aluminio se realizó mediante el método del injerto químico la cual comprendió la eliminación de agua fisisorbida en el material mesoporoso y la incorporación del Al. Para este caso se empleó como sal precursora isopropóxido de aluminio con las siguientes relaciones máxicas de SiO₂/Al₂O₃: 5, 16, 60 y 150. El isopropóxido fue disuelto en 350 ml de etanol absoluto manteniendo agitación constante por una hora, posteriormente se agregaron 3.5 g de SBA-15, conservando la misma agitación por 8 h más a temperatura ambiente. Finalmente, se filtró y lavó con etanol absoluto y calcinó con un flujo de aire a 823 K por 5 h, este proceso se repitió para cada una de las relaciones de Al. Al material con la relación Si/Al = 16 se les incorporó cinc empleando el método de impregnación incipiente usando Zn(-NO₃)₂·6H₂O con un contenido de metal del 2% peso.

Las pruebas de adsorción se realizaron en recipientes de vidrio enchaquetados a una temperatura constante 313 K y a presión atmosférica de 78 kPa. A cada recipiente se agregaron 40 ml de dodecano a concentraciones iguales de N en Q desde 50 a 250 ppm del heteroátomo y 500 ppm de S en DBT. La mezcla se agitó a 400 RPM hasta su completa homogeneización, justo en ese momento (t₀) se recolectó una muestra en un vial para su posterior análisis en un cromatógrafo de gases de columna capilar y detector de FID. Posteriormente, se agregaron 0.2 g de Zn/SBA-15 para iniciar la adsorción y se tomaron muestras en intervalos específicos de tiempo.

Por medio de los resultados cromatográficos se obtuvo la capacidad de adsorción del adsorbente a través de la máxima adsorción, es decir la concentración en el equilibrio después de que ha transcurrido un tiempo de contacto muy largo. A través de esta concentración se determinó la cantidad del componente adsorbido con respecto a la masa de adsorbente utilizando la ecuación (5).

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (5)$$

Donde q_e es la cantidad máxima adsorbida (mmol adsorbato/g_{adsorbente}), V es el volumen de la sustancia adsorbida (adsorbato), m es la masa del material adsorbente, C₀ y C_e son las concentraciones inicial y final (en el equilibrio) de adsorbato en mmol/L, respectivamente.



4. Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestran los resultados de la remoción de N en función de las partes por millón utilizadas en la presente investigación, así como las cuatro relaciones que se utilizaron (Si/Al= 5, 16, 60, 150) en presencia de S (500 ppm). Se observa que la máxima remoción fue a bajas concentraciones de N, principalmente utilizando las relaciones Si/Al = 5 y 60. Además, al aumentar la concentración de N la relación Si/Al=16 presente la mayor adsorción, así como la relación Si/Al = 150. Esto puede ser debido a que a bajas concentraciones se presenta una mayor acidez y, por lo tanto, mayor adsorción de la molécula nitrogenada. Cabe mencionar que, aunque no se presentan los resultados de la adsorción del DBT, no presentó una disminución en su concentración, por lo que estos materiales fueron selectivos con respecto a la molécula nitrogenada, y más cuando se presenta una relación de Si/Al = 16, donde se puede tener una mayor acidez del adsorbente.

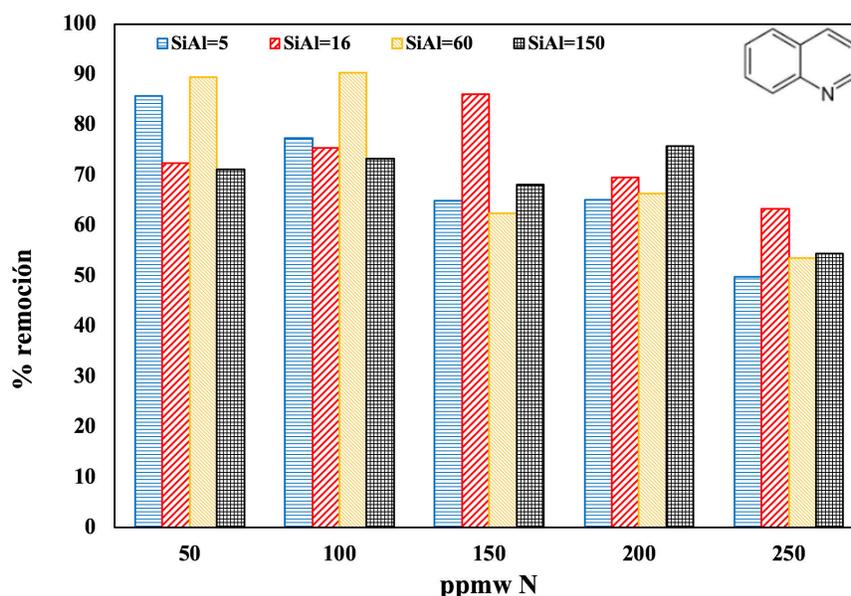


Figura 1.- Resultados del la remoción de la concentración de N en función de la concentración tiempo utilizando SBA-15 variando la relación Si/Al a 313 K.

Por otro lado, en la Figura 2 se presentan los resultados de la adsorción en el equilibrio calculada variando la relación Si/Al, a partir de la ecuación 2. Se observa que se presentó un valor de $q_m = 1.63 \text{ mmol/g}_{\text{adsorbente}}$ a una relación Si/Al = 16, mientras que para la relación Si/Al = 60 y 150 se tiene que $q_m = 1.51 \text{ mmol/g}_{\text{adsorbente}}$.

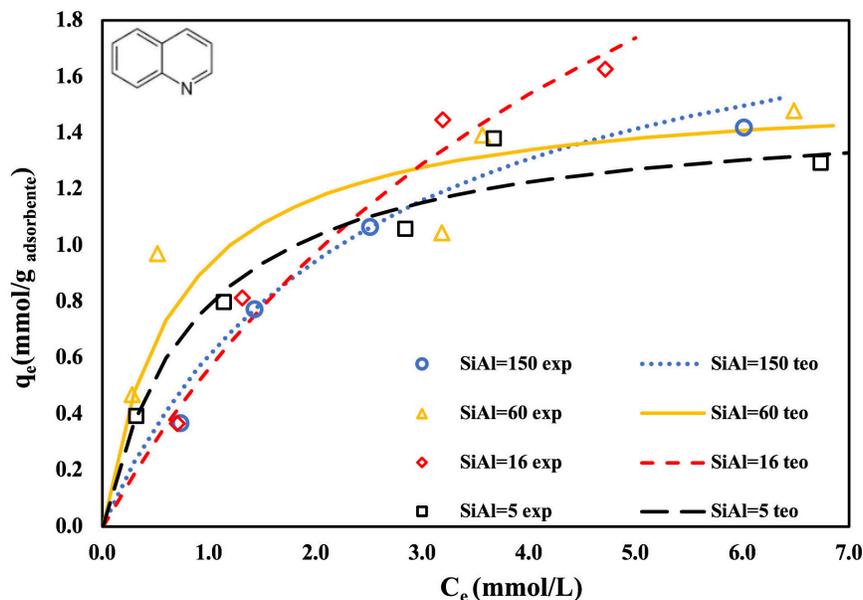


Figura 2.- Resultados de la adsorción experimental y ajuste a la isoterma de Langmuir con SBA-15 variando la relación Si/Al por gramo de adsorbente.

En la Tabla 1 se muestran los resultados del área superficial, el volumen de poro, el diámetro de poro y el espesor de las paredes de los distintos materiales utilizados en la presente investigación. Se puede ver que al aumentar la relación Si/Al, el área superficial se incrementó, por lo cual es importante consideración para la adsorción. También se puede observar que el volumen de poro se incrementó de manera similar al caso del área, por su parte, el diámetro de poro disminuyó conforme la relación se incrementó.

Tabla 1. Resultados de fisisorción de nitrógeno para los materiales SBA-15 variando la relación Si/Al.

Material	S_{BET} (m ² /g)	V_p (cm ³ /g)	d_p (nm)	d_{100} (nm)	a_0 (nm)	E_p (nm)
SBA - 15 (5)	675	1.07	6.34	11.04	12.75	6.53
SBA - 15 (16)	758	1.17	6.22	11.04	12.75	6.59
SBA - 15 (60)	820	1.27	6.16	10.77	12.43	6.32
SBA - 15 (150)	829	1.25	6.07	10.77	12.43	6.41

S_{BET} = área superficial, V_p = volumen de poro, d_p = diámetro de poro, d_{100} = distancia interplanar, a_0 = parámetro de celda unitaria ($a_0 = 2 d_{100}$), E_p = espesor de pared ($E_p = a_0 - d_p$).

Otro cálculo que se realizó con base en los resultados del área superficial, fue la adsorción por metro cuadrado del adsorbente y no por gramo de adsorbente, ya que este tipo de materiales presentan un cambio en el área superficial (Tabla 2). Se obser-



va que cambió un poco la tendencia en comparación a la Figura 2 que está expresada por gramo de adsorbente, ya que al tener las relaciones Si/Al= 5 y 16 presentaron los valores más grandes. Con base en los experimentos antes mostrados, se puede observar que la mejor relación Si/Al fue la que presentó un valor de 16.

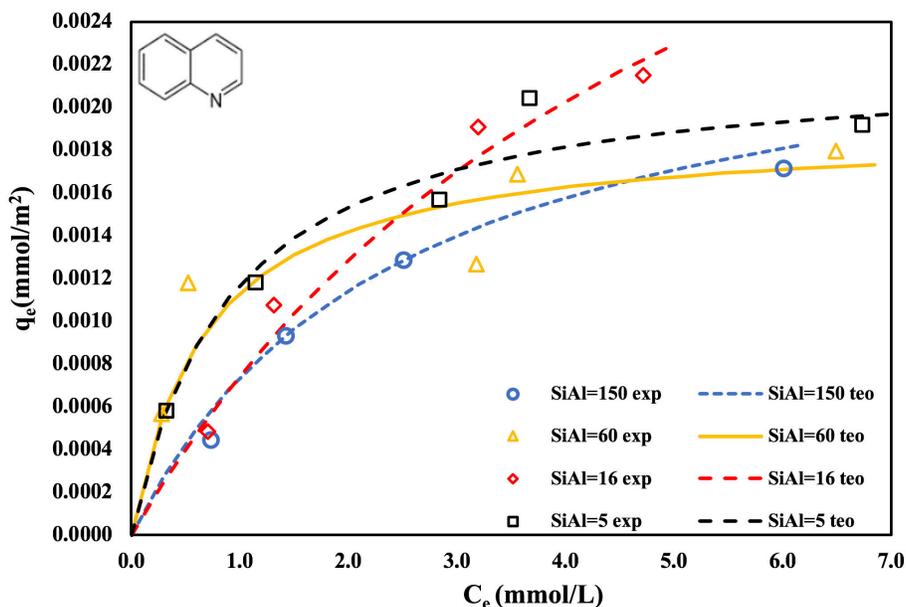


Figura 3.- Resultados de la adsorción experimental y ajuste a la isoterma de Langmuir con SBA-15 variando la relación Si/Al por metro cuadrado de adsorbente.

Los valores de las constantes de adsorción máxima, la constante de equilibrio de adsorción y el factor de correlación R^2 , utilizando la isoterma de Langmuir se presentan en la Tabla 2. Se puede observar que con la relación Si/Al= 16 presentó el valor máximo de 3.632 mmol/g en comparación con las otras relaciones. Con base en estos resultados a la relación Si/Al= 16 se impregnó con Zn la SBA-15 en la parte inferior de esta Tabla.



Tabla 2. Parámetros de la isoterma de Langmuir para la adsorción de la Q utilizando SBA-15 a diferentes relaciones Si/Al y utilizando la mayor relación Si/Al=16 con Zn.

Relación Si/Al	q_m mmol/g	K_L L/mmol	Ecuación	R^2
5	1.501	1.108	$q_e = \frac{1.663 C_e}{1 + 1.108 C_e}$	0.98
16	3.632	0.184	$q_e = \frac{0.668 C_e}{1 + 0.184 C_e}$	0.85
60	1.568	1.47	$q_e = \frac{2.304 C_e}{1 + 1.47 C_e}$	0.96
150	2.117	0.404	$q_e = \frac{0.855 C_e}{1 + 0.404 C_e}$	0.83
Zn/SBA-15 Si/Al=16	1.898	0.774	$q_e = \frac{0.855 C_e}{1 + 0.404 C_e}$	0.98

De la Tabla 2 se puede observar que el valor de q_m disminuyó un 50 %, pero la constante de equilibrio de adsorción se incrementó un 77 %, cabe mencionar que al no tener Zn no se adsorbe el DBT, sin embargo, al agregarlo se adsorbió entre un 10 y 12 %.

5. Conclusiones

Se determinó que la Q se adsorbió preferencialmente sobre el adsorbente SBA-15 en comparación con el DBT. Los resultados experimentales se ajustaron a una isoterma tipo Langmuir, por lo cual es monomolecular la adsorción. De acuerdo con los resultados mostrados, la relación Si/Al = 5, 16 fue la óptima para la adsorción de la Q, mientras que, al utilizar Zn la relación Si/Al = 16 fue la que presentó mejores resultados para la adsorción de la Q y del DBT.

6. Bibliografía

1. Silva J.M.P.F.C., Silveira E.B., Costa A.L.H., Veloso C.O., Henriques C.A., Zotin F.M.Z., Paredes M.L.L., Reis R.A., Chiaro S.S.X., Influence of the Chemical Composition of Silica-Alumina Adsorbents in Sulfur and Nitrogen Compounds Removal from Hyrotreated Diesel. *Industrial Engineering Chemistry*. 53, 1600-1614 (2014).



2. García-Martínez J.C., Castillo-Araiza C.O., De los Reyes-Heredia J.A., Trejo E., Montesinos A., Kinetics of HDS and of the inhibitory effect of quinoline on HDS of 4,6-DMDBT over a NiMoP/Al₂O₃ Catalyst: Part I. *Chemical Engineering Journal*. 210, 53-62 (2012).
3. García-Martínez J.C., González Uribe H.A., González-Brambila M.M., Colín-Luna J.A., Escobedo-García Y.E., López-Gaona A., Alvarado-Perea L. Selective adsorption of nitrogen compounds using silica-based mesoporous materials as a pretreatment for deep hydrodesulfurization. *Catalysis Today*, 305, 40-48 (2018).
4. Rui J., Liu F., Wang R., Lu Y., Yang X., Adsorptive desulfurization of model gasoline by using different zn sources exchanged NaY zeolites. *Molecules*. 22, 305-316 (2017).
5. Zhang H., Li G., Jia Y., Liu H., Adsorptive Removal of Nitrogen-Containing Compounds from Fuel, *J. Chem. Eng. Data*. 55, 173-1777 (2010).



Determinación de parámetros termodinámicos y cinéticos en la adsorción de quinolina en presencia de dibenzotiofeno sobre Zn/SBA-15

Julio César García Martínez ■ Margarita Mercedes González Brambila ■ Carlos Rogelio Tapia Medina
Ana Karina Medina Mendoza ■ José Antonio Colín Luna

Área de Análisis de Procesos.
Departamento de Energía
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
jacl@azc.uam.mx

1. Resumen

La búsqueda de nuevos procesos más eficientes y baratos para la remoción de compuestos precursores de contaminantes presentes en diésel y gasolina ha llevado al uso de la adsorción como un proceso barato, no contaminante y de bajo consumo de energía. En este trabajo se analizó la adsorción selectiva de la quinolina (Q) en presencia de dibenzotiofeno (DBT), empleando un adsorbente sólido como etapa previa al proceso de hidrodesulfuración (HDS) como uno de los procesos alternativos para la remoción del átomo de nitrógeno. En la presente investigación se estudió un adsorbente del tipo Zn/SBA-15 termodinámica y cinéticamente en la adsorción de la Q en presencia de DBT, los datos experimentales fueron ajustados a una isoterma del tipo Langmuir a temperaturas entre 308-328 K. Adicionalmente, se estimó la energía libre de Gibbs (ΔG°), la entalpía de adsorción (ΔH°) y la entropía de adsorción (ΔS°).

2. Introducción

Las actuales legislaciones ambientales en cuanto al contenido de compuestos azufrados (< 15 ppm), aromáticos y nitrogenados presentes en combustibles para automotores son cada vez más severas. La reacción de HDS es el proceso más común para alcanzar bajos niveles de S, este proceso consiste en pasar una corriente de H_2 a un corte de petróleo en condiciones de alta presión (> 5 MPa) y temperatura (ca. 623 K). El diésel, además de compuestos azufrados contiene compuestos nitrogenados como aminas y piridinas, así que cuando se lleva a cabo la reacción con H_2 , el átomo de nitrógeno (N) se remueve como amoníaco (NH_3), dando lugar a una competencia entre los compuestos nitrogenados y azufrados en el proceso, ocasionando la inhibición de sitios activos en la



reacción de HDS ^[1,2]. Es por ello por lo que la comunidad científica se ha enfocado en la aplicación de opciones que puedan llevar a cabo la remoción por adsorción de compuestos azufrados y nitrogenados como un tratamiento previo al hidrotatamiento (HDT) ^[3,4]. Recientemente, Rui et al. ^[5], realizaron la adsorción de compuestos azufrados a partir de zeolitas impregnadas con cinc (Zn), empleando tres diferentes sales precursoras: $Zn(NO_3)_2$, $Zn(Ac)_2$ y $ZnSO_4$, la muestra impregnada con $Zn(Ac)_2$ fue la que removió mayor cantidad de S (44 %), mientras que las impregnadas con $Zn(NO_3)_2$ y $ZnSO_4$ removieron 40 y 20 % respectivamente.

Por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar los parámetros cinéticos y de equilibrio en la adsorción de la Q variando la concentración de N en presencia de DBT, utilizando un material mesoporoso del tipo Zn/SBA-15. Se varió la temperatura entre 308-328 K a una presión de 78 kPa y se probaron los modelos del Langmuir y Freundlich. Además, se determinó que la cinética de segundo orden se ajustó a los resultados experimentales.

2.1 Determinación de la isoterma de adsorción y parámetros termodinámicos

En un proceso de adsorción, es común encontrar dos tipos de modelos de adsorción, el de Langmuir ecuación (1) y su forma lineal (2) y la de Freundlich ecuación (3) y su forma lineal ecuación (4).

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2)$$

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (3)$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (4)$$

Donde q_e es la cantidad adsorbida en el equilibrio, q_m es la cantidad máxima adsorbida ($\text{mmol/g}_{\text{adsorbente}}$), C_e es la concentración final de adsorbato en el punto máximo de adsorción (mmol/L), K_L , K_F y $1/n$ son las constantes de equilibrio para las isothermas de Langmuir y Freundlich, respectivamente. Para determinar el modelo correspondiente al sistema adsorbente-adsorbato analizado, se observa que los datos se ajusten al modelo lineal o aquellos en donde el factor de correlación (R^2) sea el más cercano a la unidad.



Para estimar los parámetros termodinámicos como ΔG° , ΔH° y ΔS° se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \tag{5}$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ \tag{6}$$

Al combinar las ecuaciones (5) y (6), y resolviendo para el $\ln K$ en función de la temperatura, se puede demostrar que:

$$\ln K = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \frac{1}{T} + \frac{\Delta S^\circ}{R} \tag{7}$$

Para la velocidad de adsorción, la literatura menciona varios modelos que pueden ajustar los datos experimentales. Azizian y Fallah (2010) [6] realizaron una recopilación de estos modelos, los cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.- Modelos cinéticos para la cuantificación de la constante cinética de adsorción.

Modelo	Ecuación de velocidad	Forma lineal	Forma en el tiempo inicial	Número de ecuación
PPO	$\frac{dq}{dt} = k(q_e - q)$	$\ln\left(1 - \frac{q}{q_e}\right) = -kt$	$q = kt$	(8)
PSO	$\frac{dq}{dt} = k(q_e - q)^2$	$\frac{t}{q} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{t}{q_e}$	$q = kt$	(9)
PPOM	$\frac{dq}{dt} = k' \left(\frac{q_e}{q}\right) (q_e - q)$	$\frac{q}{q_e} + \ln(q_e - q) = \ln q_e - k't$	$q = k'\sqrt{t}$	(10)
PON	$\frac{dq}{dt} = k'(q_e - q)^n$	-----	$q = k't$	(11)
PPOM-2	$\frac{dq}{dt} = k' \left(\frac{q_e^2}{q^2}\right) (q_e - q)$	$\ln\left(1 - \frac{q}{q_e}\right) + \left(\frac{q^2}{2q_e^2}\right) + \frac{q}{q_e} = -k't$	$q = k'\sqrt[3]{t}$	(12)
PSOM	$\frac{dq}{dt} = k' \left(\frac{q_e}{q}\right) (q_e - q)^2$	$q/(q_e - q) + \ln(1 - q/q_e) = k'tq_e$	$q = k'\sqrt{t}$	(13)
PSOM-2	$\frac{dq}{dt} = k' \left(\frac{q_e^2}{q^2}\right) (q_e - q)^2$	$\frac{q}{q_e} + 2 \ln\left(1 - \frac{q}{q_e}\right) + q_e(q_e - q) - 1 = k'tq_e$	$q = k'\sqrt[3]{t}$	(14)
POnM	$\frac{dq}{dt} = k'' \left(\frac{q_e^{n-1}}{q^{n-1}}\right) (q_e^n - q^n)$	$\ln(1 - q^n/q_e^n) = -nk''t$	$q = k''\sqrt[n]{t}$	(15)

3. Condiciones experimentales

Para la síntesis de SBA-15 se utilizó el método sol-gel de autoensamblado empleando Pluronic-123 en una solución ácida y tetraetilortosilicato (TEOS) como fuente de Si. En una preparación típica se preparó una solución de 16 g de P-123 (Sigma-Aldrich) en 474 mL de HCl 2 M y 26 mL de H₂O. Se colocó la mezcla a baño maría a una temperatura de 311 K y agitación vigorosa durante 1 hora hasta que se obtuvo una



solución homogénea. A continuación, mediante goteo lento, se adicionaron 32 g de TEOS durante 24 h más a 311 K. Posteriormente, se colocó en la estufa precalentada a 368 K y se dejó reposar por 72 h. Finalmente, la solución se filtró, se lavó con abundante agua desionizada, se secó por 12 h a temperatura ambiente y se calcinó a 823 K. Previo a la incorporación del Zn, la SBA-15 se secó a 393 K por 6 h. Posteriormente, se empleó el método de impregnación incipiente para incorporar el Zn usando como sal precursora al $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a un contenido de metal del 2% peso.

Las pruebas de adsorción se realizaron en recipientes de vidrio enchaquetados a una temperatura constante entre 308 y 328 K a una presión de 78 kPa. A cada recipiente se agregaron 40 ml de dodecano a concentraciones de N (50, 100, 150, 200 y 250 ppm) utilizando la Q y 500 ppm de S constantes utilizando el DBT. La mezcla se agitó a 400 RPM hasta su completa homogeneización, justo en ese momento (t_0) se recolectó una muestra en un vial para su posterior análisis en un cromatógrafo de gases de columna capilar y detector de FID. Posteriormente, se agregaron 0.2 g de Zn/SBA-15 para iniciar la adsorción y se tomaron muestras en intervalos específicos de tiempo.

Por medio de los resultados cromatográficos se obtuvo la capacidad de adsorción del adsorbente a través de la máxima adsorción, es decir la concentración en el equilibrio después de que ha transcurrido un tiempo de contacto muy largo. A través de esta concentración se determinó la cantidad del componente adsorbido con respecto a la masa de adsorbente utilizando la ecuación (16).

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (16)$$

Donde q_e es la cantidad adsorbida en el equilibrio ($\text{mmol adsorbato}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$), V es el volumen de la sustancia adsorbida (adsorbato), m es la masa del material adsorbente, C_0 y C_e son las concentraciones inicial y final (en el equilibrio) de adsorbato en mmol/L , respectivamente. Esta ecuación también se utilizó en función del tiempo para determinar la constante cinética de adsorción utilizando los modelos presentados en la Tabla 1.

4. Resultados y discusión

A continuación, se muestran los resultados de la disminución en la concentración de N en presencia de DBT con una concentración de 500 ppm de S a 313 K y 78 kPa. En la Figura 1 A) se presentan los resultados del contenido de N en función del tiempo, se puede observar que la disminución del nitrógeno fue más pronunciada a altas concentraciones de N (250 ppm). Por otro lado, considerando el DBT (Figura 1 B))



en comparación a la del átomo de S fue menos pronunciada, principalmente a bajas concentraciones, por lo cual se puede decir que este tipo de adsorbente es selectivo para el átomo de N.

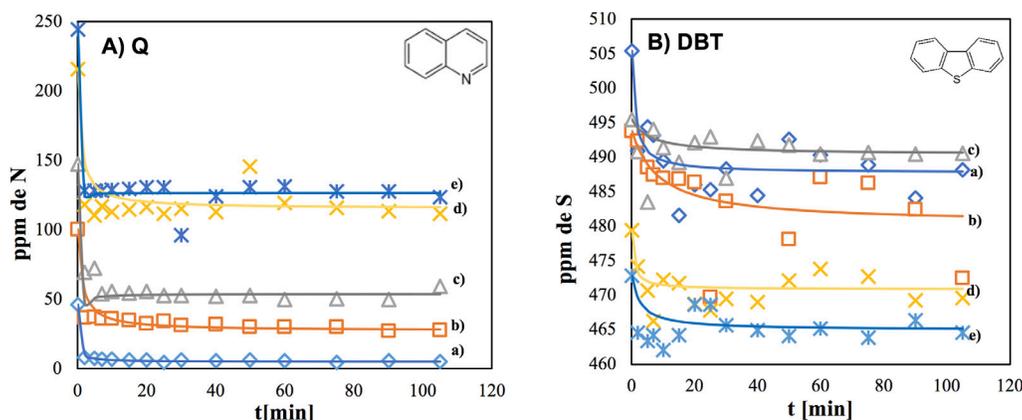


Figura 1.- Resultados de la disminución de la concentración de N (A); a) 50 ppm, b) 100 ppm, c) 150 ppm, d) 200 ppm y e) 250 ppm y S (500 ppm) (B) en función del tiempo con Zn/SBA-15 a 313 K.

En la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos experimentales y ajustadas con la cinética de segundo orden, para las distintas temperaturas. En este caso se utilizó la isoterma de Langmuir, que fue la que se ajustó a los resultados experimentales, se observa que la máxima adsorción se presentó a una temperatura entre 308-328 K con un valor de 1.0-1.3 mmol/g_{adsorbente}.

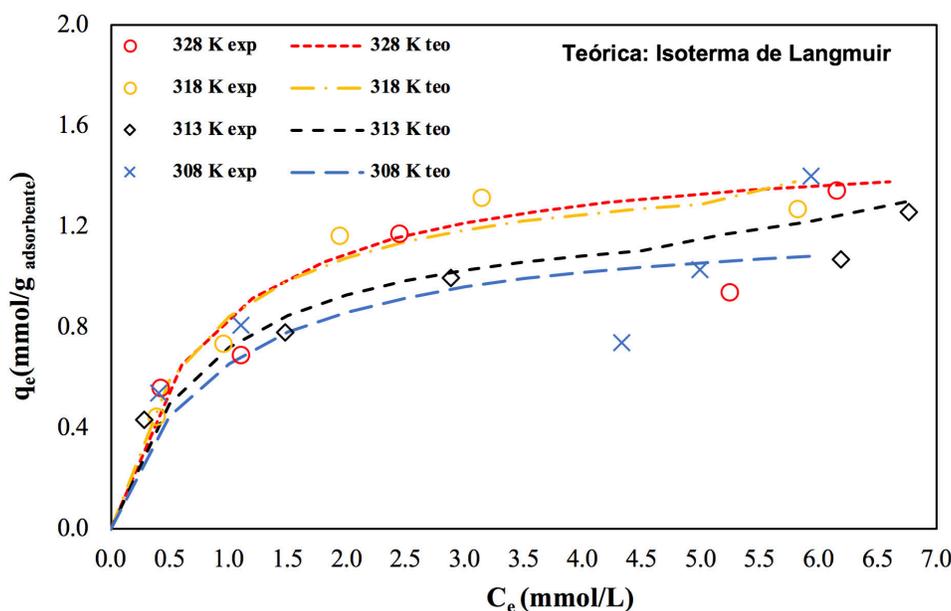


Figura 2.- Resultados de la adsorción experimental y teórico utilizando Zn/SBA-15 a 313 K.



En la Tabla 2, se presentan los valores obtenidos de las constantes de equilibrio de adsorción obtenidas utilizando el modelo de Langmuir. Se observa que el factor de correlación R^2 fue mayor a 0.9, confirmando que los datos se ajustaron a una adsorción del tipo Langmuir, solo a la temperatura de 308 K presentó un valor de 0.78. Como se esperaba, la constante de adsorción aumentó con la temperatura, mientras que la adsorción máxima (q_m) presentó un valor máximo a 318 K. Por lo que se concluye que la temperatura óptima de operación empleando como adsorbente la Zn/SBA-15, está entre de 313-318 K.

Tabla 2.- Resultados teóricos obtenidos para la isoterma de Langmuir con Zn/SBA-15

T(K)	K_L [L/mmol]	q_m [mmol/g _{adsorbente}]	R^2
308	1.117	1.25	0.78
313	1.224	1.31	0.98
318	1.312	1.49	0.99
328	1.450	1.29	0.90

En la Figura 3 se presentó el ajuste de los datos del logaritmo natural de la constante de adsorción en el equilibrio contra el inverso de la temperatura para la determinación de los parámetros termodinámicos (ecuación 7).

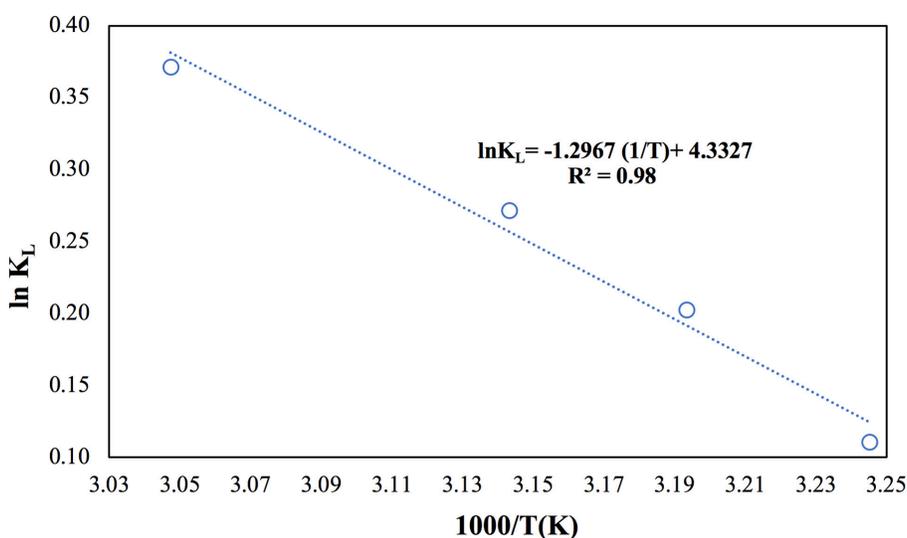


Figura 3.- Resultados del logaritmo natural de la constante de equilibrio de adsorción de Langmuir contra el inverso de la temperatura con Zn/SBA-15.

Para el intervalo de temperaturas propuesto, los datos experimentales se ajustaron a una línea recta con un factor de correlación $R^2 = 0.98$. En la Tabla 3 se muestran los



valores calculados de ΔG° calculados a partir de la ecuación 5 a diferentes temperaturas, ΔH° y ΔS° se obtuvieron de la Figura 3.

Tabla 3.- Resultados termodinámicos, de ΔG° , ΔH° y ΔS° con Zn/SBA-15.

T(K)	ΔG° (kJ/mol)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (J/mol K)
308	-0.28	10.78	36.02
313	-0.53	-	-
318	-0.72	-	-
328	-1.01	-	-

Se observa que los valores de ΔG° son negativos y disminuyen con el aumento de la temperatura, indicando que el proceso fue espontáneo (Tabla 3). Por otro lado, el valor positivo del ΔH° indica que el proceso de adsorción es endotérmico, de manera similar a lo que hemos reportado ($\Delta H^{\circ} = 20.58$ kJ/mol), utilizando SBA-15 [7]. Finalmente, el valor positivo de ΔS° correspondería a un mayor desorden en el proceso de adsorción de la Q.

Por último, en la Tabla 4 se muestran los resultados de la constante cinética de adsorción a 318 K variando el contenido de N con 500 ppm de S. Se observa que la adsorción se lleva a cabo rápidamente a 50 ppm de N y esta disminuye a contenidos mayores 100 ppm de N. Este comportamiento indicaría que los sitios disponibles de adsorción del Zn/SBA-15 se saturan a contenidos por arriba de las 250 ppm.

Tabla 4.- Constante cinética a una temperatura de 318 K.

ppm	k [g _{adsorbente} /mmol*min]
50	4.20
100	1.76
150	1.32
200	1.32
250	0.81

5. Conclusiones

Se determinó que la Q se adsorbió preferencialmente sobre el adsorbente Zn/SBA-15 en comparación con el DBT. Los resultados experimentales se ajustaron a una isoterma tipo Langmuir, por lo cual la adsorción se puede decir que se lleva a cabo en una monocapa. A partir de los parámetros termodinámicos estimados, se determinó que el proceso de adsorción de la Q es espontáneo y endotérmico sobre el material Zn/SBA-



15. De acuerdo con los resultados mostrados, la temperatura óptima de operación quedaría entre 313 y 318 K con contenidos de Q menores a 250 ppm. La cinética de adsorción se ajustó a un segundo orden, la disminución de la constante indicaría que por arriba de 250 ppm se saturan los sitios en la SBA-15.

6. Bibliografía

1. Girgis M.J., Gates B.C., Reactivities, reaction networks, and kinetics in high-pressure catalytic hydroprocessing. *Industrial Engineering Chemistry*. 30, 2021-2058 (1991).
2. García-Martínez J.C., Castillo-Araiza C.O., De los Reyes-Heredia J.A., Trejo, E., Montesinos A., Kinetics of HDS and of the inhibitory effect of quinoline on HDS of 4,6-DMDBT over a NiMoP/Al₂O₃ Catalyst: Part I. *Chemical Engineering Journal*. 210, 53-62 (2012).
3. Song C., Ma X., Ultra-deep Desulfurization of liquid Hydrocarbons fuels: Chemistry and Process. *International Journal of Green Energy*. 2, 167-191 (2004).
4. García-Martínez J.C., González Uribe H.A., González-Brambila M.M., Colín-Luna J.A., Escobedo-García Y.E., López-Gaona A., Alvarado-Perea L. Selective adsorption of nitrogen compounds using silica-based mesoporous materials as a pretreatment for deep hydrodesulfurization. *Catalysis Today*. 305, 40-48 (2018).
5. Rui J., Liu F., Wang R., Lu Y., Yang X., Adsorptive desulfurization of model gasoline by using different zn sources exchanged NaY zeolites. *Molecules*. 22, 305-316 (2017).
6. Azizian S., Fallah R.N., A new empirical rate equation for adsorption kinetics at solid/ solution. *Applied Surface Science*, 256, 5153-5156 (2010).
7. García-Martínez J.C., González Brambila M.M., Monroy Lorenzo L.B., Uribe H.A. Zamora Rodea E.G., Colín-Luna J.A. "Estimación de parámetros termodinámicos y cinéticos en la adsorción de quinolina sobre SBA-15", Tercer Congreso Multidisciplinario de Ciencias Aplicadas en Latinoamérica, COMPCAPLA (2016), Habana, Cuba.



Remoción de Ca^{2+} y Mg^{2+} contenidas en aguas congénitas utilizando un proceso de ablandamiento químico

Ángela Matías Silva ■ María Rafaela Gutiérrez Lara
Simón López Ramírez ■ José Fernando Barragán Aroche

Facultad de Química.
Departamento de Ingeniería Química.
Universidad Nacional Autónoma de México.
rafaelag@unam.mx

1. RESUMEN

En este trabajo se realizó una propuesta, el análisis y la evaluación de diferentes compuestos químicos que resultan efectivos como ablandadores de agua, con el objetivo de obtener el mejor tratamiento que logre reducir los iones de magnesio y calcio presentes en el agua congénita, para que ésta pueda ser reutilizada en la industria petrolera, en particular para procesos de Recuperación Mejorada por Inyección de Químicos. El diseño de experimentos consistió en evaluar y comparar la cantidad estequiométrica, con los resultados obtenidos cuando se aplica una concentración mayor y una menor a muestras similares realizando el proceso en reactores por lotes a condiciones ambientales. El análisis de las muestras tratadas permitió seleccionar, de los tres compuestos químicos utilizados (NaOH , Na_2CO_3 y NaHCO_3), al carbonato de sodio (Na_2CO_3), utilizado en exceso a razón de 1.5 veces la proporción estequiométrica, como el mejor tratamiento de ablandamiento.

2. INTRODUCCIÓN

El agua congénita es agua asociada al hidrocarburo dentro del yacimiento de petróleo que surge durante la extracción del mismo, contiene sales y puede tener metales, se considera un subproducto no aprovechable. La concentración de estos componentes puede ocasionar impactos negativos al medio ambiente.

Se busca que el agua congénita tenga alguna aplicación útil dentro del proceso de extracción, sin embargo al tener concentraciones altas en: carbonatos, sulfuros, y cationes tales como Na^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} entre otros, se promueve que las tuberías por donde el agua fluye se dañen en poco tiempo, así como la colmatación de los pozos, lo que ocasiona un incremento circunstan-



cial en los costos de producción y mantenimiento. Una de las propuestas al respecto es el reúso del agua para ser utilizada en procesos de recuperación mejorada (EOR) como la inyección de químicos, en el caso de los tenso activos mejor conocidos como surfactantes en el ámbito petrolero, se tiene una limitante con respecto a la solubilidad de dichos productos químicos ya que estos se ven afectados por la presencia de dureza; es por esto que se busca reducir la concentración de los iones Mg^{2+} , Ca^{2+} , que generan principalmente precipitaciones debido a su equilibrio químico a ciertas condiciones de pH.

Un medio indirecto de la medición de los iones Mg^{2+} y Ca^{2+} es la determinación analítica de la dureza total y la dureza de calcio. La reducción de la dureza se puede realizar mediante un tratamiento de ablandamiento químico, precipitando los iones de magnesio y calcio (Mg^{2+} , Ca^{2+}) al producirse por efecto del incremento de pH compuestos insolubles que pueden ser separados del agua por procedimientos físicos convencionales (decantación y filtración).

El objetivo de este trabajo es reducir la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} contenidas en aguas congénitas, mediante un tratamiento de ablandamiento químico, aplicando un proceso por lotes.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

La experimentación relacionada al desarrollo de la propuesta se llevó a cabo en dos etapas, la primera relacionada a la caracterización inicial de las muestras para el diseño del tratamiento por lotes, *cálculos estequiométricos* de cada compuesto químico a utilizar y la segunda a la implementación y optimización del tratamiento utilizando una mezcla del mejor compuesto químico y cal hidratada.

3.1 Primera etapa

Selección de parámetros fisicoquímicos y caracterización de muestra. Se identificaron los parámetros requeridos para la caracterización de la muestra antes y después del tratamiento, adaptando las técnicas con referencia en los métodos de prueba establecidos en las normas mexicanas (Tabla 1).



Tabla 1. Parámetros de Caracterización de la muestra de agua congénita cruda y tratada.

Parámetro de caracterización	Norma de Referencia
Dureza Total	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de Calcio	ASTM D 511
Dureza de Magnesio	ASTM D 511
Grasas y Aceites	NMX-AA-005-SCFI-2000
Alcalinidad	ASTM D 3875
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	NMX-AA-030/2-SCFI-2011
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	NMX-AA-028-SCFI-2001 y NMX-AA-012-SCFI-2001
Sólidos Totales, Suspendidos y Disueltos Totales (ST, SS, SDT)	NMX-AA-034-SCFI-2015

Con base a la investigación bibliográfica se seleccionaron tres compuestos químicos para el tratamiento de ablandamiento, hidróxido de sodio (NaOH), Carbonato de sodio (Na_2CO_3) y bicarbonato de sodio (NaHCO_3) y con el valor obtenido de la Dureza Total de la muestra, en la caracterización inicial, se realizó el cálculo estequiométrico de la cantidad de cada producto químico necesario para realizar el ablandamiento considerando un volumen de 600 mL de muestra. Conociendo las concentraciones estequiométricas se consideró realizar el procedimiento experimental con una concentración igual, una superior y una inferior a la calculada (Tabla 2). Las experimentaciones se realizaron en equipo de prueba de jarras el cual tiene 6 jarras para utilizar diferentes dosis seleccionadas.

Tabla 2. Concentraciones de los productos químicos para el tratamiento.

Producto Químico	Peso (g)
NaOH	1.55
	2.33
	3.88
NaHCO ₃	2.62
	4.56
	6.98
Na ₂ CO ₃	1.49
	2.92
	4.50

Para la experimentación se adicionaron 600mL de agua congénita a cada vaso de la prueba de jarras y las cantidades de compuesto químico citados en la Tabla 2. Se utilizó primero una agitación rápida de 150 rpm durante 3 minutos y después una



agitación lenta a 25 rpm durante aprox. 1 día. Transcurrido el tiempo establecido se dejaron sedimentar los sólidos suspendidos por un periodo de 25 a 30 min para después proceder a caracterizar el agua ablandada.

3.2 Segunda etapa

En esta etapa se decidió ocupar una mezcla del mejor compuesto obtenido, Na_2CO_3 con cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), dejando constante la concentración definida de carbonato de sodio variando la cantidad de cal hidratada. Las cantidades estequiométricas de las sales fueron las que se listan en la Tabla 3.

Tabla 3. Pesos de mezcla cal/carbonato.

Na_2CO_3 (g)	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (g)
0.0000	6.8946
5.1729	5.5178
5.1717	3.4474
5.1721	1.3775
5.1720	0.0000

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Primera etapa

Los parámetros de interés fueron la disminución de la dureza y los sólidos generados por el tratamiento, en las figuras 1 y 2 se presentan la remoción o aumento que se obtuvo de cada compuesto químico utilizado en la dureza total y Solidos Totales.

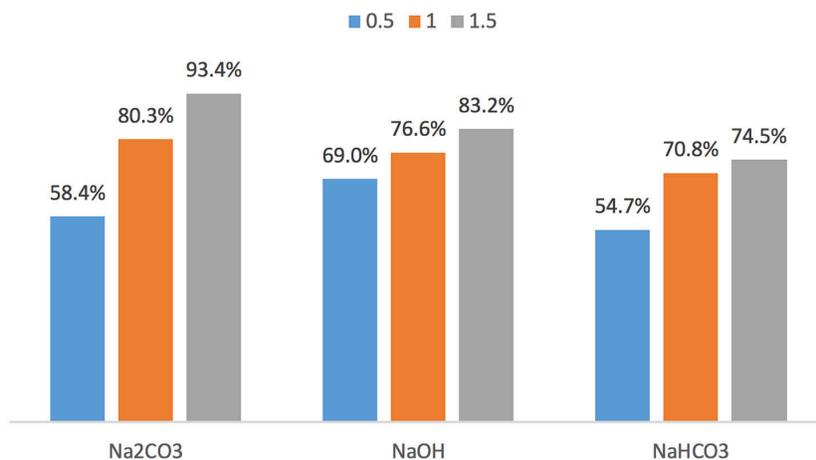


Figura 1. Porcentaje de Remoción de la Dureza Total de los tres compuestos químicos.



Como se puede observar, para los tres compuestos químicos la mayor concentración es la que da la mejor reducción de la dureza, el mejor tratamiento fue el de carbonato de sodio en exceso logrando una remoción del 93% para la dureza.

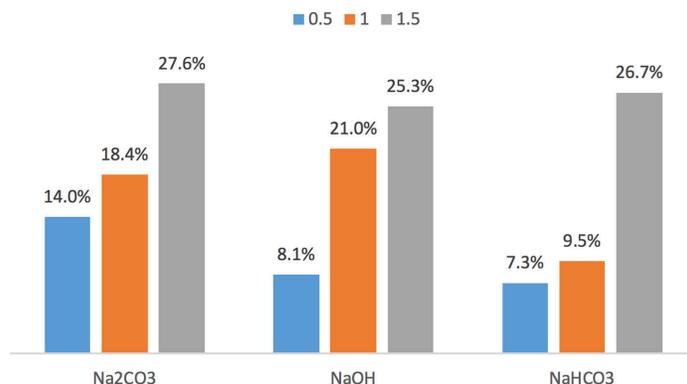


Figura 2. Porcentaje de Aumento de los Sólidos Totales de los tres compuestos químicos usados.

Para el caso de los sólidos totales el compuesto que obtuvo el mayor aumento fue el carbonato de sodio en exceso siendo este mismo compuesto el que mayor reducción de dureza total tuvo. Este parámetro también tiene la tendencia a aumentar conforme se incrementa la concentración del compuesto químico, esto debido a que se está agregando un sólido, además de generar precipitado.

4.2 Segunda etapa

En la figura 3 se muestra la tendencia a aumentar la Dureza Total conforme se va agregando hidróxido de calcio, esto debido a que se agrega el ion calcio y no la suficiente cantidad de carbonato de sodio para atacar esa dureza suministrada.

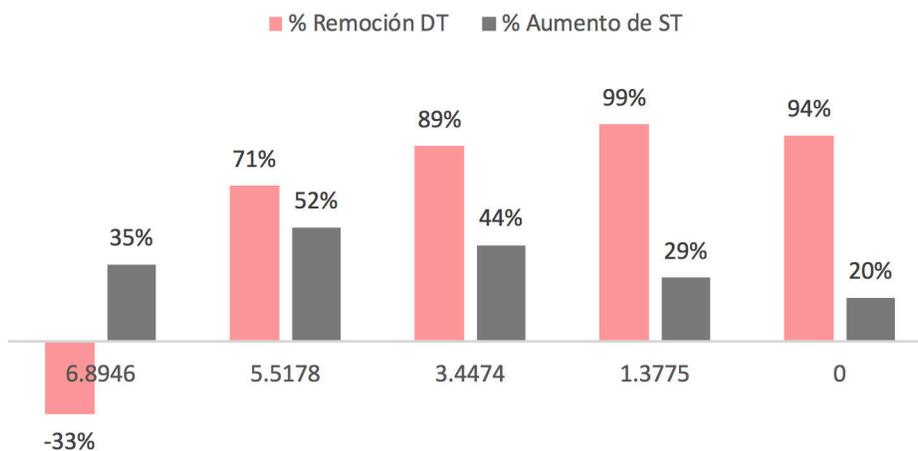


Figura 3. Porcentaje de reducción de la Dureza Total y porcentaje de aumento de Sólidos Totales con respecto a la cantidad de Ca (OH)₂.



5. CONCLUSIONES

Se determinó que el carbonato de sodio (Na_2CO_3), utilizado en exceso a razón de 1.5 veces la proporción estequiométrica, es el mejor tratamiento de ablandamiento.

Se comprobó que esta técnica de tratamiento, considerando la dosis estudiada, es reproducible en diferentes muestras de agua congénita con características similares.

Como parte de este estudio se realizaron tratamientos incorporando una mezcla de cal/carbonato sometida a diferentes proporciones de hidróxido de calcio. Este tratamiento también logra una reducción de la demanda química de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno, de las grasas y aceites y de la conductividad.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo para la realización de este proyecto a la Dirección General de Asuntos del personal Académico (DGAPA) de la UNAM dentro del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) con clave IN-116717 durante el periodo 2017-2019.

7. REFERENCIAS

1. Asociación Regional de empresas de petróleo y gas natural en latino américa y el caribe ARPEL (2001), Disposición y tratamiento del agua producida.
2. ASTM D 511 - Standard methods: for the examination of water and wastewater, 3500-Ca Calcium. Standard Test Methods for Calcium and Magnesium in Water (2003).
3. ASTM D3875-Standard Test Method for Alkalinity in Brackish Water, Seawater, and Brines
4. Cabildo Miranda M. Del Pilar (2013). Bases químicas del Medio Ambiente. Madrid, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).
5. Cane Brian, et al (1994). Química elemental básica 2: Elementos y Compuestos. Barcelona, Reverté.
6. Davis Mackenzie L., et al (20004). Ingeniería y Ciencias Ambientales. México McGraw-Hill.
7. Fair Gordon Maskew, et al (1976). Purificación de aguas, tratamiento y remoción de aguas residuales. México, LIMUSA.
8. Instituto Nacional de Ecología (1995), Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de Contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la perforación, explotación y extracción de petróleo y gas.



9. J. Glynn Henry, et al (1999), Ingeniería Ambiental. México, Prentice Hall.
10. J. Howe Dr. Kerry (1976). Principios de tratamiento del agua. Cengage Learning.
11. Johel Rodríguez Zamora (2009), Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio Magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con Asociaciones Administrativas del Acueducto (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela. Revista Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica.
12. NMX-AA-005-SCFI-2000 Análisis de Agua – Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de Prueba.



Tratamiento de aguas residuales textiles mediante electrooxidación asistido con Hierro Zero Valente

Edison GilPavas ■ Santiago Correa Sánchez
Izabela Bobrosz Gómez ■ Miguel Gómez García

Grupo de Investigación en Procesos Ambientales.
Departamento de Ingeniería de Procesos.
Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
egil@eafit.edu.co

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo evaluar una metodología sistemática para el tratamiento de aguas residuales de una industria textil mediante la aplicación del proceso simultáneo electro-oxidación (EO)/Hierro Zero Valente (ZVI) para el tratamiento de efluentes textiles de una instalación industrial ubicada en Medellín (Colombia), con el fin de garantizar la máxima eficiencia de degradación de contaminantes y materia orgánica. Para este propósito, se empleó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) acoplado a un diseño estadístico de experimentos Box-Behnken (DBB) con el objetivo de optimizar las condiciones de operación del proceso EO/ZVI. Bajo las condiciones óptimas, el proceso EO/ZVI eliminó el 100% del colorante, 86% de la DQO y 71% del COT, a pH 3, densidad de corriente (j) 20 mA/cm², 240 RPM de agitación, ánodo y cátodo de grafito, 0.6 g/L de ZVI durante 60 minutos de electrólisis. Los costos totales de operación, incluyendo costos de los reactivos químicos y electrodos, consumo de energía y disposición de lodos fue de 3.75 USD/m³.

Referencias

1. E. GilPavas, I. Dobrosz-Gómez, M.Á. Gómez-García, Optimization of sequential chemical coagulation - electro-oxidation process for the treatment of an industrial textile wastewater, *J. Water Process Eng.* 22 (2018) 73–79.
2. F. Ghanbari, M. Moradi, A comparative study of electrocoagulation, electrochemical Fenton, electro-Fenton and peroxi-coagulation for decolorization of real textile wastewater: Electrical energy consumption, *J. Environ. Chem. Eng.* 3 (2015) 499–506.



3. S. Garcia-segura, A. El-ghenymy, F. Centellas, R.M. Rodríguez, C. Arias, J.A. Garrido, P.L. Cabot, E. Brillas, Comparative degradation of the diazo dye Direct Yellow 4 by electro-Fenton , photoelectro-Fenton and photo-assisted electro-Fenton, J. Electroanal. Chem. 681 (2012) 36–43.



Diseño de un módulo de transformación para silla de ruedas eléctrica en silla de ruedas inteligente

Mauricio Plaza Torres ■ Andrés Mauricio Cifuentes Bernal ■ Katherine Andrea Caballero Soto

Facultad de Ingeniería.

Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.

u1800868@unimilitar.edu.co

1. Resumen

En la actualidad los desarrollos ingenieriles propenden por el mejoramiento de la calidad de vida de personas que debido a miopatías y neuropatías dependen de una silla de ruedas. Sin embargo, los pacientes en condición de discapacidad tienen acceso limitado a sillas inteligentes que integren soluciones a sus diversos requerimientos.

El presente trabajo describe el proceso de diseño y validación de un sistema embebido adaptable a una silla de ruedas eléctrica estándar y su transformación en una silla de ruedas inteligente, un dispositivo integrado completo que permite al usuario moverse por medio de un novedoso sistema de mapeo y ejecución de ordenes en el que el paciente reducirá el esfuerzo requerido para controlar su translación y orientación. Además de esto, es posible realizar la adquisición y procesamiento de señales fisiológicas para el monitoreo de funciones vitales, que permiten verificar constantemente el estado de salud del paciente.

2. Introducción

A nivel mundial la esperanza de vida ha aumentado significativamente gracias a los avances en las ciencias médicas, sin embargo, la población actual presenta algún tipo de discapacidad que afecta su calidad de vida ^[1].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) ^[2], se realizó la Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías (CIDDDM), donde se unifican y definen los términos que se han de tener en cuenta para identificar una situación de discapacidad:



- **Deficiencia:** hace referencia a las anomalías de la estructura corporal, de la apariencia y de la función de un órgano o sistema, cualquiera que sea su causa; estas representan trastornos en el nivel del órgano.
- **Discapacidad:** refleja las consecuencias de la deficiencia a partir del rendimiento funcional y de la actividad del individuo.
- **Minusvalía:** Hace referencia a las desventajas que experimenta el individuo como consecuencia de las deficiencias y discapacidades (dimensión social).

Como se evidencia en el gráfico de la Fig. 1, en una encuesta realizada a población con discapacidad ^[3], la mayoría de personas reportan alteraciones permanentes en el movimiento de manos, piernas brazos (33.5%), y en el sistema nervioso (23.3%), lo que indica un alto índice de pacientes que requieren sillas de ruedas para su movilidad.



Figura 1. Personas con discapacidad según la alteración permanente que más les afecta

Una silla de ruedas inteligente (SRI), cuenta con mecanismos de medición de variables vitales, sistemas de comunicación y transmisión de información, mecanismos de monitoreo, adaptación a distintos comandos de control diferentes a la palanca de mando e incluso capacidades de navegación autónoma o semiautónoma ^[5].

Se proponen soluciones funcionales a los problemas que se presentan más comúnmente en dicha población, problemas que incluyen, entre otros ^[4]:

- Limitación de movilidad y poco control autónomo.
- Necesidad de asistencia externa en los casos de pérdida de movilidad marcada, para el manejo de elementos de interacción cotidiana como luces y puertas.
- Limitación de las actividades sociales a causa de las dolencias del paciente.
- Ausencia de monitoreo de señales vitales en las personas con padecimientos que así lo requieran.



Figura 2. Silla de ruedas omni-direccional [1]; Figura 3. Silla de Ruedas Vahm-3 [7];
Figura 4. "Stair climbing iBot" [8]; Figura 5. Hardware de arquitectura de la silla Intellwheels [11];
Figura 6. Silla de ruedas Smile-Rehab [12]

Aunque las sillas de ruedas han evolucionado a través de los años, (Fig. 2), alrededor de un 10% de las personas con discapacidad motriz tienen gran dificultad para manipular de forma adecuada este dispositivo, convirtiendo a los mecanismos de guiado autónomo una opción inviable para esta clase de pacientes^[6]. Es por esto que dentro de las tareas que se desean realizar, el desarrollo de algoritmos se emplea directamente para obtener la distancia entre la silla y los obstáculos y así lograr la generación de trayectorias óptimas para la traslación del usuario^[7] (Fig. 3). Ahmad et al. en 2011^[8] presentó un modelo en el que el sistema logra transformarse de 4 a 2 ruedas de apoyo, para poder alcanzar mayor altura y realizar tareas complejas como subir escaleras (Fig. 4). Para 2014 se desarrolló un modelo de SRI donde el usuario controla su desplazamiento a través del movimiento de la cabeza y por comandos de voz^[9]. Ahire N. L.^[10] desarrolla un sistema de control de la pupila del ojo para una silla basado en señales EMG, y posterior en 2015 se aplica el diseño de una interfaz multimodal, describiendo la integración en el proyecto Intellwheels de la Universidad de Porto^[11]. El objetivo fue crear una interfaz que permita la conexión de módulos de distintas entradas (voz, expresión facial, movimientos de cabeza, teclado y joystick) Fig. 5.

En la actualidad el mercado oferta sillas de ruedas personalizadas (Fig. 6), dependiendo las necesidades de cada paciente, siendo usadas ampliamente en escuelas, hospitales y clínicas^[12]. Esto evidencia como los sistemas aumentan el nivel de complejidad de la silla eléctrica y requieren de procesos específicos, por lo que el diseño de un módulo de adaptación en lugar de un rediseño total se convierte en una opción razonable en situaciones en las que se desea una masificación del dispositivo.

3. Condiciones Experimentales

3.1 Diseño del dispositivo

Basado en estudios realizados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística en Colombia DANE^[3], existen tres causas que obligan el uso de sillas de



ruedas: Las afectaciones neuropáticas que se producen a partir de hemiplejías, la amputación de miembros y miopatías o enfermedades propias de la tercera edad.

Por lo anterior, se identificó que las características funcionales mínimas que debe cumplir un sistema inteligente son: Fácil acceso a las funciones de traslación, simplicidad en el manejo, mínimo esfuerzo corporal para la realización de actividades y control de funciones vitales. Para cumplir con ello, se determinaron los siguientes criterios mínimos que debe tener el sistema de adaptación:

- **Entrada de control:** El módulo de visualización implementa dos dispositivos, el SmartNAV^[15], el cual proporciona un control preciso de un cursor mediante el simple movimiento de la cabeza (Head Tracking), a través de una cámara de luz infrarroja (IR) que mapea el movimiento de un material reflectante.

El segundo dispositivo Raspberry Pi 3 con pantalla táctil LCD^[16], trata de una placa computadora (SBC), que hace las veces de un ordenador reducido. Se utiliza como herramienta para programar y visualizar la interfaz gráfica, a través de Labview.

- **Entradas de sensórica:** Agrupa los buses de datos y los conectores a los módulos de sensórica externos, para la adquisición y procesamiento de señales biométricas. El sistema está diseñado para recibir hasta 4 señales diferentes, utilizando un Kit Biosignal Flux que contiene sensores de electromiografía, electrocardiografía, pulsioximetría y temperatura para transmisión inalámbrica por bluetooth.
- **Salidas de control:** Este módulo agrupa las conexiones para la entrega de señales de control, manejado con un circuito de potencia que toma la señal de entrada y la amplifica a la salida, permitiendo el control y arranque de los motores de las ruedas.

El módulo de procesamiento central se basa en ARDUINO^[14], una plataforma de desarrollo computacional de código abierto, utilizando una placa base con un microcontrolador, realiza la lectura de datos de interruptores y sensores, señales biométricas y controlar motores y actuadores. Posee canales de conversión análogo digital y puertos de entrada y salida digital.

- **Módulo de comunicación:** La unidad de procesamiento opera a una velocidad de 5MIPS (Millones de Instrucciones por Segundo), el hardware desarrollado es capaz de realizar todas las operaciones en un tiempo de 10 ms, lo que implica que 100 muestras serán tomadas para cada una de las señales fisiológicas en cada segundo
- **Frenos de emergencia:** Controlados a través de encoders solidarios a cada una de las ruedas para medir la velocidad.
- **Parada de emergencia:** Pulsador de gran tamaño, de fácil accionamiento.



- 1 **Brújula:** Permite conocer la orientación con respecto al norte, y así calcular las trayectorias para movimiento asistido, teniendo compensación automática.
- 1 **Selector de modo:** Personas con afectaciones leves pueden seleccionar entre utilizar modo automático o manual en su silla de ruedas.

3.2 Materialización del diseño

La tarjeta principal del sistema cuenta con pines de conexión para módulos externos que incluyen los pines de adquisición de señales biométricas, pines de comunicación con las interfaces de potencia y pines de entrada para sensorica y domótica adicional [13]. En la Fig. 7 se tiene el diseño de la carcasa para la tarjeta y en la Fig. 8 se muestra la ubicación de los elementos de la tarjeta principal, con cada una de las conexiones y la distribución de pines. La nomenclatura de cada una de las secciones de la tarjeta principal se muestra a continuación:

- A. Mecanismo de Reset.
- B. Encoders 1 y 2.
- C. Sensor de ECG.
- D. Pulsador de Parada de Emergencia.
- E. Entradas de sensorica adicional
- F. Led de funcionamiento de la brújula.
- G. Conector para Brújula electrónica
- H. Conector para entrada de control SMART NAV y Raspberry PI 3 con LCD.
- I. Selector de modo Automático/Manual.

- J. Conector para la tarjeta de potencia y alimentación
- K. Conector para pulsioximetría
- L. Pulsador para calibración de la Brújula
- M. Módulo de comunicación inalámbrica
- N. Unidad de procesamiento y control Arduino.
- O. Led de funcionamiento del núcleo de procesamiento.

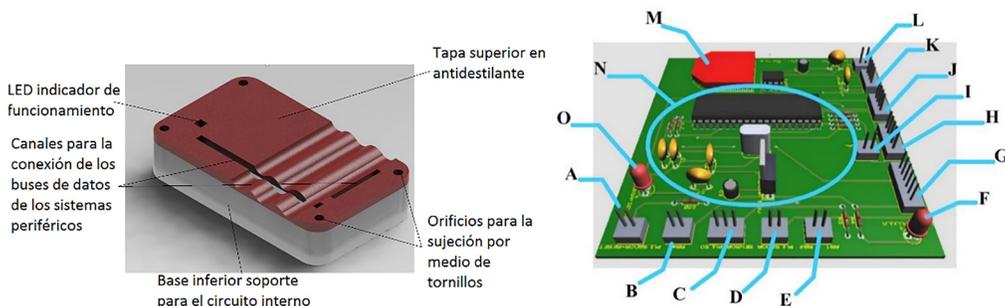


Figura 7. Render de la carcasa del embebido; Fig. 8 Diagrama de la tarjeta principal con etiquetas de cada una de las secciones de interconexión



4. Resultados y discusión

Las pruebas de verificación de captura de señales y transmisión de datos vitales se realizaron a través de dos dispositivos de prueba:

4.1 LEGO MINDSTORM

Para la primera etapa de pruebas y adquisición de señales, se utilizó la herramienta LEGO Mindstorm NXT (Fig. 9), un set programable desde LabVIEW con la estructura de ladrillo microcontrolado que proporciona, mediante toma de decisiones, un comportamiento programado e inteligente. Por medio del software se diseñó una interfaz gráfica con 4 comandos de direccionamiento de traslación de la silla de ruedas, la cual es mostrada en la pantalla LCD, como se ve en la Fig. 10.



Figura 9. Módulo LEGO Mindstorm NXT; Fig. 10 Interfaz gráfica Sistema Inteligente de paraplegia de cuarto grado SIPP4G

Se modeló un robot ensamblado a escala en forma de silla de ruedas usando el kit LEGO (Fig. 11), con el fin de tener un dispositivo físico para pruebas y realizar la respectiva programación de recepción de datos del software, a través de conexión inalámbrica vía bluetooth entre la raspberry y el bloque programable.

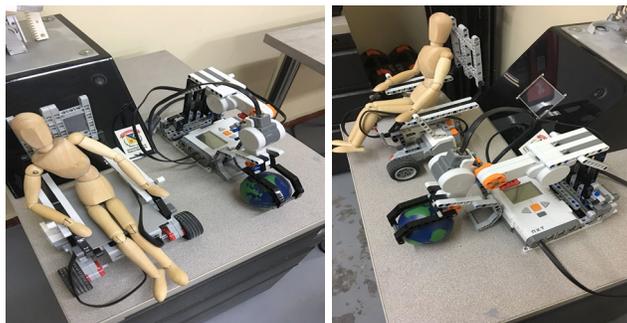


Figura 11. Modelo a escala del módulo LEGO para silla de ruedas



El experimento se realiza con un usuario que simula tener solo el control de su cabeza, la cual usará para moverse, por medio del marcador reflectivo que tiene en medio de sus ojos, como se ve en la Fig. 12, este es capaz de controlar el movimiento del mouse con ayuda del dispositivo SmartNAV, con el cual podrá desplazarse a través de la interfaz gráfica, dando la orden que desea realizar para que la silla de ruedas de prueba se traslade de su punto de origen (*Adelante, Atrás, Izquierda, Derecha*). Se realiza la comprobación de comunicación y sincronización óptima entre la Raspberry y el módulo programable, el cual recibe los datos inalámbricamente del usuario y activa el o los motores necesarios que ejecuten la orden y cumplan la trayectoria deseada.

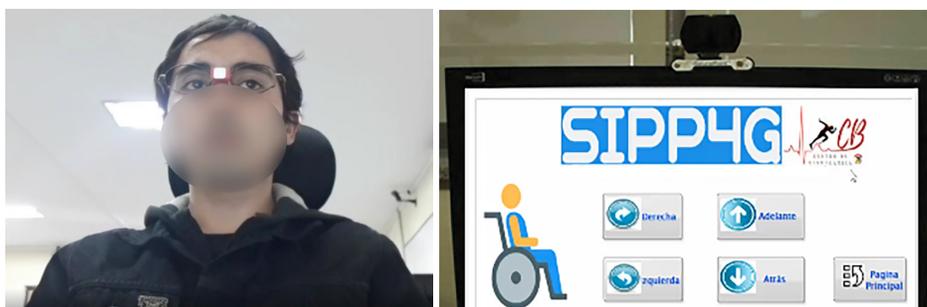


Figura 12. Marcador reflectivo y dispositivo SmartNAV sobre la pantalla

4.2 BIOSIGNAL PLUX

La verificación de confiabilidad del sistema en la transmisión y toma de datos se realizó con un sujeto, el cual fue monitoreado durante 2 horas, mientras se encontraban en reposo. Las señales fueron enviadas al computador sin desincronización superior al 2%, el sistema utiliza el dato de control para la resincronización de los datos en los casos en los que la trama hubiera fallado, este proceso se efectuó de forma automática.

Por medio del kit inalámbrico para detección y registro de señales fisiológicas en tiempo real, usando sensores multimodales adaptables a diversas partes del cuerpo y software para almacenamiento, visualización y análisis de datos, se realiza la toma de muestras de electrocardiografía, frecuencia respiratoria y pulsioximetría como muestra la Fig. 13.

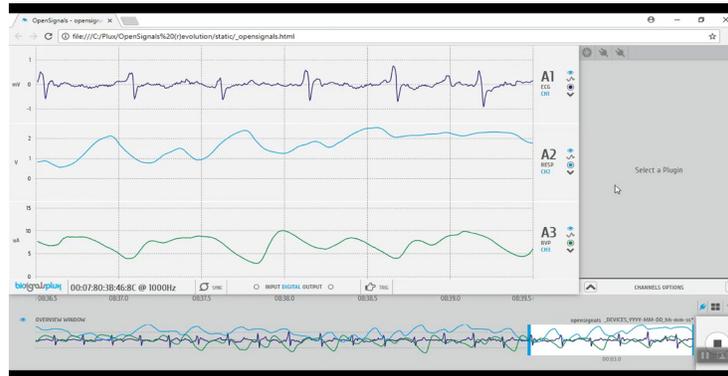


Figura 13. Visualización de señales fisiológicas ECG, Resp y BVP

El control de señales se hizo de manera remota desde un computador, desde el cual cualquier otra persona, incluyendo un médico especializado puede tener acceso a la información del paciente, y así verificar su progreso y su estado de salud.

5. Conclusiones

A lo largo de la evolución de la propuesta se encontró que el manejo de nuevas tecnologías y recursos pueden ser empleados en su totalidad para la creación y simplificación de sistemas modulares, con los cuales se logra una correcta adaptación de diversos dispositivos hardware, obteniendo un novedoso desarrollo para la toma y ejecución de órdenes que indicaban la dirección de movimiento de la silla, permitiendo al usuario, sin mayor esfuerzo físico, elegir la opción deseada para su traslación en un entorno específico. Además de ello, el sistema embebido facilita la distribución de los componentes básicos y necesarios que requiere el paciente, dentro de los que se logra monitorear sus signos vitales, su orientación, manejo autónomo, desplazamiento fácil y sin riesgos, sin embargo es necesario tener presente las separaciones máximas recomendadas de los distintos componentes, para evitar interacciones negativas entre las señales que convergen en la tarjeta de control y circuitos electrónicos utilizados, minimizando así los efectos de capacitancias parasitas, garantizando un adecuado muestreo de las señales y una adecuada comunicación con el sistema computacional.

Los módulos generados, dentro del proyecto fueron comprobados a través de las pruebas realizadas y se encontraron posibilidades de mejora, se evidencia que los consumos de potencia pueden ser controlados de mejor forma, el sistema de hecho permite expansión y mejora, por lo que el diseño propio se toma como la mejor alternativa para este proyecto y proyectos de naturaleza similar. El trabajo modular logro satisfacer las necesidades planteadas en el diseño preliminar y así, en trabajos futuros pueden agregarse más módulos que alcancen nuevos objetivos.



6. RECONOCIMIENTOS

Los autores de este documento reconocen a la Universidad Militar Nueva Granada como ente institucional, he indican que el presente producto es derivado del proyecto IMP_ING_2659 titulado “*Diseño de un sistema de generación de trayectorias en entornos dinámicos con optimización multi-objetivo para una silla de ruedas de pacientes con limitación de movilidad*”.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Noda, Y., Kawaguchi, A., & Terashima, K. (2010). A Mechatronics Vision for Smart Wheelchairs. En A. Barrera (Ed.), *Mobile Robots Navigation* (págs. 609-628). InTech.
2. González, C., & Gómez, J. (2004). Información estadística de la discapacidad.
3. DANE. (2015). Sala situacional de Personas con Discapacidad.
4. Leaman, J., & Manh La, H. (2017). A Comprehensive Review of Smart Wheelchairs: Past, Present, and Future. *IEEE TRANSACTIONS ON HUMAN-MACHINE SYSTEMS*, 47(4), 486-499.
5. AL-Rousan, M., & Assaleh, K. (2011). A wavelet- and neural network-based voice system for a smart wheelchair control. *Journal of the Franklin Institute*, 348, 90-100.
6. L. Fehr, W. E. Langbein y S. B. Skaar, (2000) «Adequacy of power wheelchair control interfaces for persons with severe disabilities: A clinical survey,» *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 37, n° 3, pp. 353-360.
7. F. Leishman, O. Horn y G. Bourhis, (2010) «Smart wheelchair control through a deictic approach» *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 58.
8. S. Ahmad, N. H. Siddique y M. O. Tokhi, (2011) «A Modular Fuzzy Control Approach for Two-Wheeled Wheelchair» *Intell Robot Syst*, vol. 64, p. 401-426.
9. P. Srivastava, S. Chatterjee, and R. Thakur, (2014) “Design and development of dual control system applied to smart wheelchair using voice and gesture control,” *Int. J. Res. Elect. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 1-9.
10. N. Ahire, “Smart wheelchair by using EMG & EOG, (2014)” *Int. J. Res. Comput. Eng. Electron.*, vol. 3, no. 5, pp. 1-5.
11. L. P. Reis, B. M. Faria, S. Vasconcelos, and N. Lau, (2015) “Invited paper: Multimodal interface for an intelligent wheelchair,” in *Informatics in Control, Automation and Robotics (Lecture Notes in Electrical Engineering)*, vol. 325. New York, NY, USA: Springer, pp. 1-34.
12. Smile-Rehab, “Smart chair,” Feb. 2017. [Online]. Available: <https://smilesmart-tech.com/>



13. A. M. Cifuentes Bernal, M. Plaza Torres y R. Castillo, «Diseño de sistemas de apoyo para silla de ruedas inteligentes empleadas por personas con problemas de movilidad debidas a lesiones de sexto nivel cervical.,» Bogotá, 2015.
14. J. M. Ruiz Gutiérrez, «Manual de Programación Arduino,» [En línea]. Available: <https://arduinoobot.pbworks.com>.
15. N. Point, «SmartNAV,» [En línea]. Available: <http://www.ergocanada.com>.
16. U. Eben y H. Gareth, «Raspberry Pi Guía Del Usuario 2da Ed. en Español» 2014. [En línea]: <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?t=77879>



Efecto de la generación de sulfuros en el tratamiento anaerobio de un efluente proveniente del proceso de flotación de una mina

Marisela Bernal González ■ Leonel Miguel Barrea Mena
María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa ■ Enrique Rodolfo Bazúa Rueda

Facultad de Química.
Departamento de Ingeniería Química.
Universidad Nacional Autónoma de México.

marisela_bernal2000@yahoo.com

1. Resumen

Los sulfuros generados en un sistema anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente (RALLFA) puede resultar ser un producto de inhibición para los microorganismos sulfato-reductores (MSR); provocando cambios en el pH del reactor, a través de la generación de alcalinidad por la conversión de sulfatos a sulfuros, acelerando la oxidación de compuestos orgánicos presentes en el agua a tratar. El objetivo del trabajo es evaluar la cantidad de sulfuro de hidrógeno (H_2S) formado en un RALLFA a escala de laboratorio a partir de diferentes proporciones del contenido de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno mediante adiciones de un sustrato carbonoso con respecto de la cantidad de sulfatos presente en el influente ($DQO:SO_4^{-2}$) que fueron suministradas al RALLFA. Los resultados obtenidos demuestran que una relación DQO/SO_4^{-2} menor la cantidad de (H_2S_{ac}) es mayor y por lo tanto el pH del sistema disminuye y la remoción de materia orgánica decae.

2. Introducción

La minería es una de las actividades económicas de mayor tradición en México y contribuye en gran medida en el desarrollo económico del país suministrando insumos a una serie de industrias (construcción, metalúrgica, siderúrgica, química y electrónica) [1]. México se encuentra dentro de los 12 principales productores de 17 minerales a nivel mundial y es además líder mundial en la producción de plata, ocupa el segundo lugar en la producción de fluorita, el



tercero en la producción de bismuto, celestita y wollastonita, el quinto sitio en la producción mundial de cadmio, molibdeno, plomo y barita, el sexto en la producción de zinc y sal, el séptimo en oro, selenio, diatomita y yeso, el noveno en manganeso y grafito y el décimo en cobre [2].

La industria minera está asociada con impactos negativos en el ambiente, ya que ha generado por décadas una gran cantidad de desechos. Se estima que hay de 10,000 a 50,000 sitios abandonados o inactivos y produce el 65% de los residuos industriales [3,4]. El otro gran impacto ambiental de esta industria es el alto consumo del agua que es requerida para la extracción, procesamiento y transporte de minerales en pasos tales como la molienda, separación, flotación, los sistemas de enfriamiento, la supresión de polvo, el agua de lavado, los sellos de las bombas para la mezcla de agua y reactivos [5], principalmente. Por lo tanto, se debe mantener un esquema de extracción ideal, el cual podría resumirse como la conversión de la cantidad de minerales valiosos de una operación minera en un producto con un máximo de concentración y un impacto mínimo al ambiente, mediante el reciclaje del agua. Debido a que a medida que los recursos hídricos se vuelven más escasos y la demanda de la sociedad tienen cada vez más fuerza sobre la extracción de agua dulce, los sitios mineros deben aumentar el reciclaje de este recurso tan importante en los procesos que manejan [6].

La explotación de algunos yacimientos se realiza mediante el proceso de flotación patentado en 1906. Hoy en día es el proceso más importante para la concentración mecánica y de bajo costo, que ha permitido extraer minerales complejos, los cuales habrían sido dejados de lado sin la ayuda de dicho proceso. Se basa en las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales y se trata fundamentalmente de un fenómeno de comportamiento de sólidos frente al agua en donde se pueden emplear varios tipos de sistemas de flotación: por aire disuelto, iónica y por precipitación [7,8].

Dado que la flotación utiliza grandes cantidades de agua, frecuentemente se recicla en circuito cerrado para la separación de los minerales. Este procedimiento gradualmente da lugar a perturbaciones en los resultados metalúrgicos debido a la acumulación de reactivos residuales, cambios en la cantidad de sales disueltas, principalmente sulfatos en el agua y aumento en la cantidad de los llamados lodos o barros [9-13]. Es por ello que muchas empresas están implementando tecnologías que les permitan el reciclado del agua del proceso de flotación, con el objetivo de reducir los costos en el uso de reactivos y tener un manejo adecuado de las aguas residuales [14, 15].

Por lo tanto, para disminuir el consumo de agua de un solo uso de esta industria las soluciones convencionales están basadas en la neutralización química y la precipitación de hidróxidos metálicos [16,17]. Entre las tecnologías destacan: la ósmosis inversa, la electrodiálisis, la precipitación química con sales de bario [18,19]. Alternativamente, los efluentes se pueden dirigir a un tratamiento biológico del agua, como es el objetivo de esta investigación, mediante un reactor anaerobio de lecho de lodos



de flujo ascendente (RALLFA), que utiliza microorganismos para llevar a cabo la transformación de los componentes solubles a insolubles. Esto se logra aprovechando la capacidad de esos microorganismos de asimilar la materia orgánica y los nutrientes disueltos en fase acuosa (carbono, nitrógeno y fósforo) para su propio desarrollo [20] empleando como aceptores de electrones a los sulfatos que, al transformarse en sulfuros, logran precipitar a los cationes presentes como sulfuros metálicos.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

Muestra de agua de proceso

El agua proveniente del proceso de flotación con la que se trabajó fue transportada desde la mina cooperante en el municipio de Zacazonapan, Estado de México, a los Laboratorios 301, 302 y 303 del Conjunto E de la Facultad de Química, sin refrigeración. Una vez en los Laboratorios se mantiene en refrigeración a 4°C hasta su uso. Llega en contenedores de plástico de 19 litros de capacidad. Se caracterizó a su llegada para determinar el contenido de carbono que viene de los agentes surfactantes residuales (Figs. 1a, 1b).



Figura 1a. Tanque de agua de reproceso bombeada desde la presa de jales [19]



Figura 1b. Presencia de agentes tensoactivos o surfactantes residuales en el agua de reproceso (fuente de carbono) [19]

3.2. Reactor

Se usa un reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente, conocido por sus siglas como RALLFA (en inglés *UASB reactor*, *upflow anaerobic sludge blanket reactor*) a escala de laboratorio. El reactor que se empleó (Fig. 2), está construido de vidrio, con un diámetro externo de 120mm y una altura de 300mm, además cuenta con un serpentín, también de vidrio, para recircular agua y mantener el reactor a una temperatura constante. Tiene un separador de gases líquido-sólido-gas, conocido como campana, ubicado en la parte superior del mismo. En este reactor, la biomasa bacteriana está presente en forma de granos compactos (Fig. 3), que se desarrollan



bajo condiciones de flujo ascendente continuo^[21]. Su volumen de trabajo es de 1.9L. Para el acondicionamiento del reactor se consideró al inicio un período de operación por lotes con el fin de reducir el tiempo de residencia hidráulica (TRH) de 12.6 días, para alcanzar de esta manera condiciones de operación continua, dosificando diariamente 150 mL de agua de proceso (Fig. 4).

3.3. Alimentación del RALLFA

3.3.1. Medio general

Para adaptar los sistemas microbianos, se preparó un medio de cultivo (medio sintético)^[22], cuya composición se encuentra desglosada en la Tabla 1. Este es un medio de cultivo específico para los microorganismos sulfato-reductores (MSR). Es importante mencionar que no se adicione ácido bromoetano sulfónico, que sirve para inhibir a las bacterias metanogénicas. La fuente de carbono de este medio general es el ácido láctico.

Tabla 1. Preparación de medio general^[22]

Componente	Modo de preparación	Volumen
Solución mineral 1	6 g K_2HPO_4 , aforado a 1 L con H_2O	50 mL
Solución mineral 2	6 g K_2HPO_4 , 6 g $(NH_4)_2SO_4$, 12 g NaCl, 2.6 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.16 g $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, aforado a 1 L con H_2O	50 mL
Resazurina (0.1%)	0.1 g de resazurina aforado a 100 mL	1 mL
Solución $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (2%)	20 g de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ aforado a 1L con H_2O	0.5 mL
Cisteína		0.5 g
Ácido láctico	Neutralizado con NaOH 6 N	8.5 mL



Fig. 2. Reactor tipo RALLFA^[21]



Fig. 3. RALLFA a escala de laboratorio instalado^[21]



Fig. 4. Sistema completo del RALLFA^[23]



3.3.2. Agua residual sintética (ARS)

Se preparó un litro de agua residual sintética (ARS) de tipo sanitario, tomando como base valores intermedios de agua residual cuyo contenido de nitrógeno total es de 40 mg-N L⁻¹, fósforo total de 8 mg-P L⁻¹, sulfatos de 30 mg-SO₄ L⁻¹ y DQO total de 637 mg-O₂ L⁻¹. Para obtener dichas concentraciones, al agua de la red de suministro de agua potable de la UNAM se le adicionó sacarosa (C₁₂H₂₂O₁₁) como fuente de carbono, sulfato de amonio (NH₄)₂SO₄ como fuente de nitrógeno y sulfato y fosfato monobásico de potasio (KH₂PO₄) como fuente de potasio y fósforo. Además, se utilizó sulfato de sodio (Na₂SO₄) para homogeneizar las cantidades de fósforo entre los distintos niveles de potasio y a esta agua residual sintética se denominó con las siglas ARS₁. La cantidad de cada uno de estos reactivos se presenta en la Tabla 2 [24]. Durante la experimentación se manejaron 6 diferentes formulaciones de agua residual sintética, la cual fue designada como ARS_{2, 3, 4, 5, y 6}, utilizando la misma formulación de la ARS₁ tal como se muestra en la Tabla 1, a excepción de la cantidad de sacarosa. En las Tablas 2a y 2b se muestran las diferencias en la cantidad de sacarosa para las diferentes formulaciones de ARS utilizadas. La última columna muestra la proporción DQO:SO₄⁻² resultante de cada formulación y, para el agua residual sintética usada en los medios de cultivo se emplearon en las formulaciones el medio general, MG y el ácido láctico, AL, como fuente de carbono.

Tabla 2a. Formulación para la preparación del ARS₁[24]

Tabla 2b. Diferencias entre las distintas preparaciones de ARS (MG= Medio general; AL= ácido láctico)

Reactivo	Cantidad utilizada (g)	Denominación	Sacarosa (g/L)	DQO/SO ₄ ⁻²
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	7.13	ARS ₁	7.130	0.04
(NH ₄) ₂ SO ₄	4.72	ARS ₂	20.571	0.087
Na ₂ SO ₄	15.25	ARS ₃	63.000	0.521
KH ₂ PO ₄	1.74	ARS ₄	MG	0.691
NaH ₂ PO ₄	8.00	ARS ₅	MG	0.521
		ARS ₆	AL	0.752

3.4. Análisis químicos

Se realizaron los análisis físicos y químicos del influente líquido y de los efluentes líquido y gaseoso del reactor usando los métodos recomendados por la normativa mexicana^[25-33]. Los ácidos grasos volátiles, AGV, se determinaron por cromatografía de gases con detector de ionización de flama (CG-DIF).



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El equilibrio químico de la especie de sulfuro es dependiente del pH (Fig. 5). A un pH de 8 la mayor parte del sulfuro total (ST) está en la forma HS⁻, mientras que a pH 6 la mayoría está en forma de H₂S_(ac) [34]. La concentración acuosa de H₂S puede ser calculada a partir de la ecuación de equilibrio de la especie, como se presenta en la ecuación 1 [35]:

$$H_2S = [1 + 1.28 \times 10^{(pH-7)}]^{-1} \times ST \tag{Ec. 1}$$

El porcentaje de H₂S no ionizado es del 90% a pH de 6, del 50% a pH de 7 y sólo del 10% a pH de 8 [36]. Por ello, se calculó la cantidad de sulfuro de hidrógeno en medio acuoso, así como en forma gaseosa para evidenciar el efecto inhibitorio de este último en el sistema (Fig. 6). Puede observarse que a mayor concentración de sulfuro de hidrógeno como gas se inhibe el proceso disminuyendo el valor de pH y aumentando los AGV. Esto se puede corroborar al estudiar la correlación de los parámetros de pH, sulfatos y ácidos grasos volátiles en el sistema (Fig. 7). A medida que la relación DQO:SO₄²⁻ aumenta, entonces disminuye la proporción de sulfuro de hidrógeno como gas y aumenta la proporción de este compuesto en forma acuosa lo que podría ayudar a la precipitación de los metales presentes en el agua de proceso en forma de sulfuros.

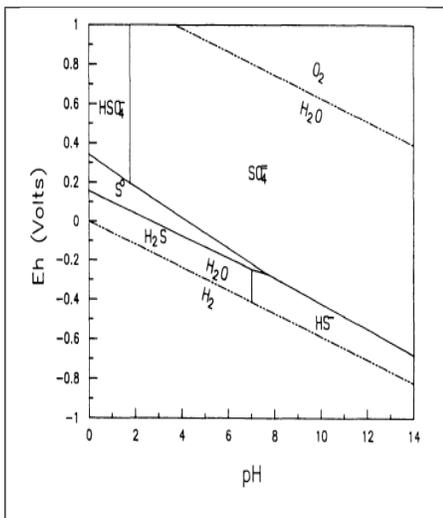


Fig.5. Diagrama de equilibrio E_h -pH de las especies de sulfuros [34]

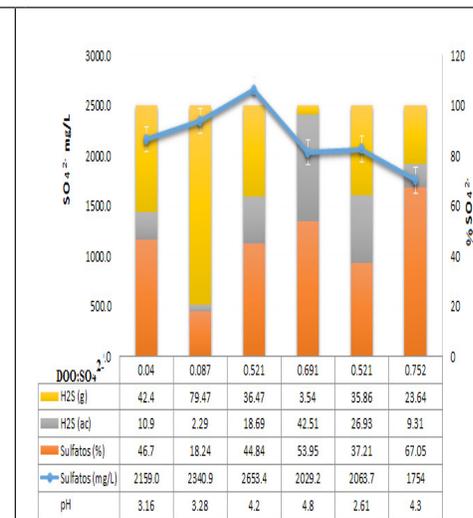


Fig. 6. Correlación de las diferentes especies de sulfuros en el sistema

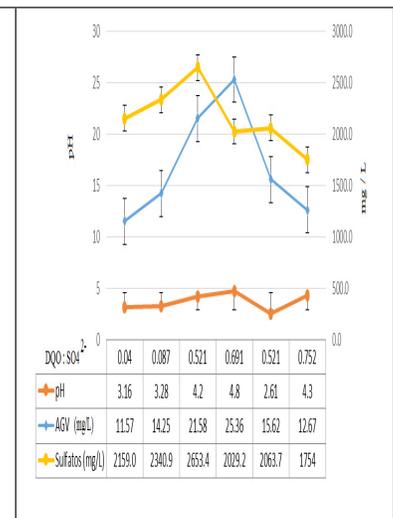


Fig. 7. Correlación de sulfatos, pH y AGV en el RALLFA



3. CONCLUSIONES

Los resultados demuestran la viabilidad para la eliminación de los sulfatos del agua proveniente de un proceso de flotación y resaltan la importancia de la adición de un sustrato orgánico como fuente de carbono, como sería un agua residual de origen sanitario (de una comunidad aledaña a la mina).

Una vez encontrada la mejor relación de $DQO:SO_4^{2-}$ se logrará fácilmente la estabilización del sistema y con ello la precipitación de los metales presentes en este tipo de agua como sulfuros permitiendo la reutilización del agua nuevamente en el proceso de flotación ya sin la presencia de sulfatos disueltos.

Mediante esta investigación se ha comprobado lo reportado referente al hecho de que las bacterias sulfato-reductoras (BSR) juegan un rol importante en los RALLFA: (1) Los sulfuros generados puede resultar ser un producto inhibitorio para las BSR o incluso un producto tóxico para ellas [37, 38]; (2) provocan cambio en el pH del reactor a través de la generación de alcalinidad por la conversión de sulfatos a sulfuros; (3) aceleran la oxidación de compuestos orgánicos tales como el lactato que normalmente son degradados a un ritmo menor por una incompleta oxidación por bacterias que no son sulfato-reductoras; (4) reducen la tasa de metanogénesis y (5) disminuyen la cantidad de metano y / o hidrógeno producidos compitiendo por el carbono disponible.

Reconocimientos

Los autores agradecen la beca de posgrado para el segundo autor por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México. Asimismo, agradecen a la UNAM a través de su Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), mediante el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) con clave IN155118, por el financiamiento parcial para realizar esta investigación y a su Facultad de Química a través del Programa de Apoyo a la Investigación y el Posgrado (PAIP) por el financiamiento parcial de la investigación, brindado a los últimos dos autores. También dan el reconocimiento a la mina cooperante por el suministro del agua del proceso de flotación desde su recolección en el proceso hasta su traslado a los laboratorios de la UNAM.



6. Bibliografía

1. SECOFI. 1995. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Poder Ejecutivo Federal. México D.F. México, dirección electrónica (revisado el 25 de octubre del 2016): <http://www.secofi.gob.mx/>
2. SGM. 2016. Servicio Geológico Mexicano, Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2015. Edición 2016, dirección electrónica (revisado el 25 de octubre del 2016): <http://www.sgm.gob.mx/>
3. Carrillo-Chávez, A., Morton-Bermea, O., González-Patricia, E., Rivas-Solórzano, H., Oesler, G., García-Meza, V., Hernández, E., Morales, P., Cienfuegos, E. 2003. Environmental geochemistry of the Guanajuato Mining District, México. *Ore Geology Reviews*. 23:277-297.
4. INECC. 2007. Fuentes de contaminación en México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Consulta (29 de octubre del 2016). Dirección electrónica: <http://www.gob.mx/inecc/>
5. García, V, Häyrynen, P, Landaburu-Aguirre, J, Pirilä, M, Keiski, RL, Urriaga, A. 2014. Purification techniques for the recovery of valuable compounds from acid mine drainage and cyanide tailings: Application of green engineering principles. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 89(6):803-813.
6. Liu, W., Moran, C.J., Vink, S. 2013. A review of the effect of water quality on flotation. *Minerals Engineering*. 53:91-100.
7. Lutandula, M.S., Mwana, K.N. 2014. Perturbations from the recycled water chemical components on flotation of oxidized ores of copper—The case of bicarbonate ions. *J. Environ. Chem. Eng.* 2(1):190-198.
8. Polat, H., Erdogan, D. 2007. Heavy metal removal from waste waters by ion flotation. *Journal of Hazardous Materials*. 148(1-2):267-273.
9. Coetzer, G, du Preez, HS, Bredenhann, R. (2003). Influence of water resources and metal ions on galena flotation of Rosh Pinah ore. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 103(3), 193-207.
10. Deo, N., Natarajan, K.A. 1998. Biological removal of some flotation collector reagents from aqueous solutions and mineral surfaces. *Minerals Engineering*. 11(8):717-738.
11. Muzenda, E. 2010. An investigation into the effect of water quality on flotation performance. *World Acad. Sci. Eng. Technol.* 69:237-241.
12. Rao, S.R., Finch, J.A. 1989. A review of water re-use in flotation. *Minerals Engineering*. 2(1):65-85.
13. Sandenbergh, R.F., Wei, Y. 2007. The influence of water quality on the flotation of the Rosh Pinah Complex lead-zinc sulfides. In *The 4th Southern African Conference on Base Metals*. South African Institute of Mining and Metallurgy (South Africa). Pp. 45-55. South Africa.



14. Llano, B.A., Cardona, J.F., Ocampo, D., Ríos, L.A. 2014. Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso. *Información Tecnológica*. 25(3):73-82.
15. Shengo, L.M., Gaydardzhiev, S., Kalenga, N.M. 2014. Assessment of water quality effects on flotation of copper-cobalt oxide ore. *Minerals Engineering*. 65:145-148.
16. Gallegos-García, M, Celis, L.B., Rangel-Méndez, R., Razo-Flores, E. 2009. Precipitation and recovery of metal sulfides from metal containing acidic wastewater in sulfidogenic down-flow fluidized bed reactor. *Biotechnol. Bioeng.* 102(1):91-99.
17. Kaksonen, A. H., Puhakka, J.A. 2007. Sulfate reduction based bioprocesses for the treatment of acid mine drainage and the recovery of metals. *Eng. Life Sci.* 7(6):541-564.
18. Ojeda-Berra, L., Bazúa-Rueda, E.R., Durán-de-Bazúa, C. 2010. Simulación computacional de reactores anaerobios para el tratamiento de efluentes industriales / Computational simulation of anaerobic reactors for the treatment of industrial effluents. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)*. 25(2):69-85
19. Pacheco-Gutiérrez, L.A. 2006. Propuesta de reaprovechamiento integral del agua de proceso de una empresa minera empleando sistemas biológicos anaerobios. Tesis de Maestría en Ingeniería (Química, Procesos). Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM. Defensa: Junio 30. Ciudad de México, México.
20. Salgado-Bernal, I., Carballo-Valdés, M.E., Martínez-Sardiñas, A., Cruz-Arias, M., Durán-Domínguez, C. 2012. Interacción de aislados bacterianos rizosféricos con metales de importancia ambiental. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*. 3(3):83-95.
21. Poblete-Mier, C.A. 2015. Arranque y operación de un reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente (RALLFA) para el tratamiento de un efluente proveniente del proceso de flotación de una planta minera. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química. UNAM. Defensa: Noviembre 30. México D.F., México.
22. Vergara-Salgado, S. 2010. Identificación de bacterias metanogénicas y sulfatorreductoras en tres reactores de lecho de lodo de flujo ascendente (RALLFA) operando a 45, 55 y 65°C. Tesis profesional (Biología), FESZ, UNAM. México, D.F., México. 108 p.
23. Ríos-Vázquez, J.L. 2009. Diseño, construcción y arranque de un reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente para el estudio de la precipitación de metales de efluentes de la industria minera. Tesis profesional de Ingeniería Química. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Marzo 25. México D.F., México.
24. Orduña-Bustamante, M.A. 2012. Efecto de la relación nitrógeno:potasio en la eficiencia de remoción de contaminantes carbonosos y nitrogenados en agua en sistemas de laboratorio que simulan humedales artificiales. Tesis de Doctorado en Ingeniería. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería (Ingeniería Ambiental, Agua). UNAM. Defensa: Marzo 5. Ciudad de México, México.



25. DOF. 2013. Análisis de agua- Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de Prueba. Norma Mexicana NMX-AA-007-SFCI-2013. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal Estados Unidos Mexicanos.
26. DOF. 2011. Análisis de agua- Determinación del pH- Método de Prueba. Norma Mexicana NMX-AA-008-SFCI-2011. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. Estados Unidos Mexicanos.
27. DOF. 2001a. Análisis de aguas-Determinación de fósforo en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de Prueba. Norma Mexicana NMX-AA-029-SFCI-2001. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. Estados Unidos Mexicanos.
28. DOF. 2001b. Análisis de aguas-Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de Prueba. Norma Mexicana NMX-AA-030-SFCI-2001. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. Estados Unidos Mexicanos.
29. DOF. 2001c. Análisis de aguas-Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de Prueba. Norma Mexicana NMX-AA-079-SFCI-2001. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. Estados Unidos Mexicanos.
30. DOF. 2001d. Análisis de aguas-Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de Prueba. Norma Mexicana NMX-AA-034-SFCI-2001. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. Estados Unidos Mexicanos.
31. DOF. 2001e. Análisis de aguas-Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de Prueba. Norma Mexicana NMX-AA-036-SFCI-2001. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. Estados Unidos Mexicanos.
32. DOF. 1982. Análisis de aguas- Determinación de sulfuros - Método de Prueba. Norma Mexicana NMX-AA-084-2001. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. Estados Unidos Mexicanos.
33. DOF. 1981. Análisis de aguas- Determinación del ión sulfato - Método de Prueba. Norma Mexicana NMX-AA-074-SFCI-2001. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. Estados Unidos Mexicanos.
34. Cadena, F., Peters, R. W. (1988). Evaluation of chemical oxidizers for hydrogen sulfide control. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 1259-1263.
35. McCartney, D. M., Oleszkiewicz, J. A. (1991). Sulfide inhibition of anaerobic degradation of lactate and acetate. *Water Research*, 25(2), 203-209.
36. Hilton, B. L., Oleszkiewicz, J. A. (1988). Sulfide-induced inhibition of anaerobic digestion. *Journal of environmental engineering*, 114(6), 1377-1391.



37. Bazúa, C.D., Wilke, C.R. 1977. Ethanol effects of the kinetics of a continuous fermentation with *Saccharomyces cerevisiae*. Biotechnology and Bioengineering Symposium No. 7, pp. 105-118.
38. Han, K., Levenspiel, O. 1988. Extended Monod kinetics for substrate, product, and cell inhibition. Biotechnology and Bioengineering. 32:430-437.



Desarrollo de la Industria del Litio y consecuencias en el Salar de Atacama, Chile

Ingrid Mercedes Garcés Millas

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Procesos de Minerales.
Universidad de Antofagasta, Chile.
ingrid.garces@uantof.cl

1. Resumen

Los mayores depósitos de Litio en evaporitas continentales se encuentran en Chile, Argentina y Bolivia, cubriendo por concepto de salmueras el 82% del Litio total del mundo en estos tres países sudamericanos, y el 50% del Litio mundial. Actualmente, el Salar de Atacama concentra las mayores reservas de Litio del planeta, las mejores en calidad, bajo costo de producción y de transporte. Con el objeto de contribuir a la sustentabilidad de este ecosistema salino, lugar de extracción de salmuera para la producción de carbonato de Litio y otros derivados, se realizó la presente investigación, que nos permite reflexionar sobre el impacto del desarrollo de la industria del Litio mundial, sobre el Salar de Atacama desde el punto de vista socio-ambiental. Primeramente, se realizó una revisión bibliográfica de los estudios ambientales del salar, posteriormente, una serie de visitas a terreno que permitieron corroborar la situación real de las actividades mineras sobre el ecosistema y los principales conflictos socio-ambientales generados en la zona. Como resultado, se ha constatado la presión desproporcionada de este recurso natural, principalmente el agua y el deterioro de la biota, por parte de las empresas que operan al interior del Salar. Como conclusión se plantea no aumentar la cuota de extracción de salmueras, pero si a la diversificación de la industria del Litio hacia componentes de baterías, industria de insumos especiales para baterías y/o fabricación de baterías de ion Litio.

2. Introducción

Como resultado del actual desarrollo económico de las sociedades, la demanda de recursos naturales a nivel mundial se ha convertido en punto de atención crítico debido a la alteración de las condiciones socio ambientales de nuestros en-



tornos, generando presión sobre los ecosistemas y comunidades aledañas a las zonas de extracción de recursos, situación que genera fuertes cuestionamientos sobre la sustentabilidad del modelo de desarrollo económico. La realidad de Chile es similar a la de los países latinoamericanos, en que la explotación minera se ha incrementado 20 veces en la última década, ocasionado un sinnúmero de conflictos socio-ambientales a lo largo de la región y la consiguiente violación de derechos sociales, ambientales, económicos y culturales de millones de latinoamericanos, producto del gran potencial de recursos mineralógicos que en casi todos los casos se le limita a la exportación de simples materias primas o *commodities* hacia otros países, desaprovechándose la oportunidad de generar productos manufacturados al interior del mismo.

Sobre este escenario aparece el Litio, un elemento estratégico, utilizado en una diversa gama de productos (Figura 1), muchos de los cuales se encuentran en etapas de desarrollo, panorama ideal para que Chile tome una posición más incluyente en los temas de producción de bienes a base de este elemento. Como en este proceso se realiza un tratamiento mínimo que no se requiere de una cadena de trabajo que pueda dar valor agregado y distribuir la ganancia. La generación de empleo es poco, se destruye el medio ambiente y se empobrece la comunidad. En Chile el 60% de las exportaciones corresponden a productos de la minería, y tan solo el 3% es el empleo generado, es decir, vivimos en un país extremadamente rentista (Figura 2).

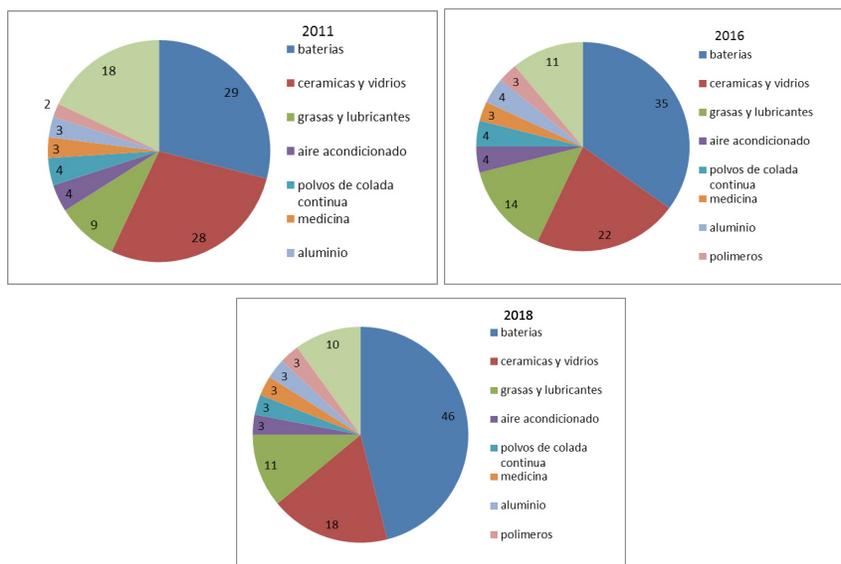


Figura 1. Usos del Litio. Fuente datos: Sigmunbox Inteligencia de Mercados 2017, www.signumbox.com

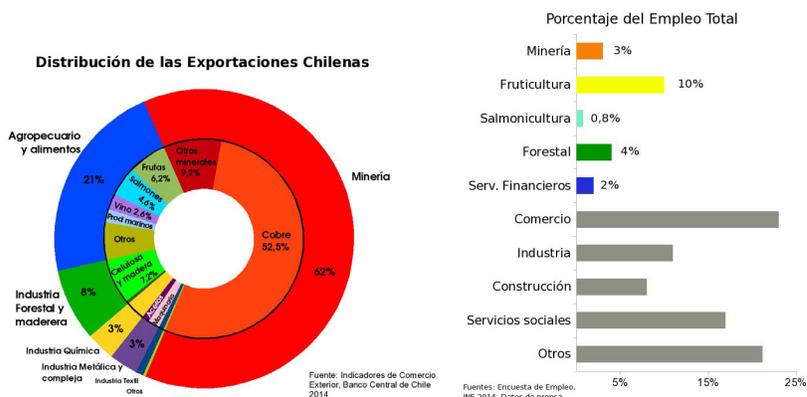


Figura 2. Distribución de las exportaciones chilenas y porcentaje de empleo según el rubro. Fuente datos: Indicadores de Comercio Exterior, Banco Central de Chile 2014; INE 2014

El Litio se encuentra en la naturaleza a partir de yacimientos de roca mineral, evaporitas continentales, arcillas y hasta en el mar. En el caso de las salmueras geotermiales^[1], describe que su concentración de Litio máximo es 3,7 veces menor que las del Salar de Atacama, y se presentan en altas temperaturas asociadas a numerosas y complejas impurezas, como hierro, manganeso, sílice, magnesio. En el año 1995 la producción de Litio provenía en un 65% del mineral, y tan solo 35% de salmueras. En el 2007, ese porcentaje se revierte con el 86% derivado de salmueras^[2]. Los mayores depósitos de salmueras de Litio están en los salares de Atacama (Chile), Hombre Muerto (Argentina) y Uyuni (Bolivia). Estos tres países cuentan con aproximadamente el 85% del Litio (de salmueras) total del mundo y 50% del mundial^[2]. Los dos grandes yacimientos en que actualmente se extrae Litio es del Salar de Atacama y del yacimiento de Greenbushe, Australia. El 2016 el mercado mundial produjo 201.310 ton de LCE (carbonato de litio equivalente), de las cuales 77.284 ton LCE (42%) son del Salar de Atacama^[3]. Es decir, dos tercios de la producción mundial vienen de Chile y Australia. Se proyecta una expansión a partir del 2018 de triplicar la producción actual.

La industria del Litio es un oligopolio que genera una manipulación del precio, tal como lo señala Lagos^[4], ya en el 2008 el 85% de la producción mundial era manejada por cuatro empresas mundiales, Albemarle de Estados Unidos con el 33% del mercado, la Sociedad Química y Minera de Chile (SQM) con el 25% del mercado, FMC Lithium Division (ex Lithco) y FMC Corporation con 12% del mercado, y Talison de Australia (controlada por Tianqi con 51% y Albemarle 49%), situación que a la fecha actual no ha cambiado. Ha sido muy racional e incluso el precio de hoy es 20% inferior de hace a 50 años, lo que demuestra que las empresas oligopólicas no sólo hacen uso a favor de ellas y en desfavor de los consumidores respecto al precio. El carbonato de Litio se ha transado en el mercado entre 5.952 US\$/ton y 6.614 US\$/



ton^[5]. Entre el 2006 y 2015, las ventas del carbonato producido del Salar de Atacama, fueron US\$ 4.706 (por SQM), y US\$ 4.260 por tonelada (Albemarle)^[5], únicas empresas que operan en el salar. A diferencia de otros metales, el Litio no se comercializa en bolsas internacionales, ya que su precio depende de las negociaciones directas entre compradores y productores, por contratos de suministro de largo plazo. Chile es el productor con el precio más bajo.

Las proyecciones de demanda para 2035 se sitúan entre 1,2 a 1,6 millones de ton de LCE, de las cuales cerca de 290.000 tons son para baterías^[6]. Alemania, Reino Unido, Holanda y Noruega, anunciaron que al 2030 solo podrán transitar buses y autos eléctricos, y China anunció que todo los buses de transporte público serán eléctrico, Francia y Reino Unido, prohibirán las unidades convencionales a partir de 2040^[7]. La electromovilidad es el principal factor del aumento de la demanda y del precio del Litio. El debate importante surge hoy porque el Litio es el elemento básico en la producción de baterías de automóviles eléctricos y aparatos electrónicos de bajo consumo energético, en este sentido, su explotación gana adeptos en la mitigación del cambio climático y en el esfuerzo por revertir el calentamiento global.

3. Condiciones experimentales

Área de Estudio: Los salares son unidades geográficas ubicadas preferentemente en cuencas endorreicas, como resultado de un balance hídrico donde las pérdidas del recurso hídrico son producto de la evaporación del agua por efecto de la energía solar y los vientos. En estos ecosistemas tan dinámicos y frágiles se desarrolla biota altamente especializada que resiste condiciones ambientales extremas. En la cuenca se emplaza un total de 50 asentamientos humanos, entre ellos destacan las localidades de San Pedro de Atacama y Toconao por sus atractivos turísticos – culturales.

El Salar de Atacama es un cuerpo evaporítico de 3000 km² que se encuentra a 2300 msnm. Contiene aguas salobres producto de la recarga de los cauces superficiales y subterráneos portadores de sales originadas por la lixiviación de rocas volcánicas^[8], debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas, climatológicas de extrema aridez de la zona, se ha formado en el salar un núcleo central de sales cristalizadas, principalmente halita, junto a sedimentos clásticos^[9], de alrededor de 1.400 km². Esta masa salina es porosa, principalmente en los primeros 30 a 40 metros, ocluyendo salmueras saturadas en NaCl, junto con altos contenidos de potasio, Litio, boro, magnesio, sulfatos, han determinado la importancia económica de este salar^[9]. El clima en la región es árido a muy árido. La precipitación se concentra de diciembre a marzo, presentando un promedio de 10-25 mm por año en la parte central del salar, mientras que en la Cordillera de los Andes llega cerca de los 250 mm



de agua. Debido a la intensa radiación solar, la evapotranspiración potencial excede la precipitación. La evaporación se estima en 2000 mm por año en la parte del núcleo salino y en 1600 mm por año, hacia la Cordillera de los Andes^[10]. La principal entrada de agua de la cuenca es pluviométrica que a partir de un balance hídrico y de cloruros se estima que entre el 6 y el 12% se transforma en recarga subterránea^[11]. La extensión húmeda alcanza alrededor de 1.500 km², que representa un 10% de la superficie total^[12].

El sistema hidrológico del salar, conformado por una serie de canales superficiales y cuerpos lagunares, en conjunto constituyen un hábitat preferente de aves acuáticas, varias de las cuales se encuentran con problemas de conservación, como son las tres especies de flamenco altoandinos *Phoenicopterus chilensis*, *Phoenicoparrus jamesi* y *Phoenicoparrus andinus*, siendo esta última especie la que encuentra en las lagunas Barros Negros, Chaxas y Puilar su centro reproductivo más importante a nivel mundial. Además, dichos cuerpos lacustres representan puntos de reabastecimiento energético para algunas especies de aves acuáticas migratorias interhemisféricas, como son el playero de Baird (*Calidris bairdii*) y el pollito de mar tricolor o pollito de Wilson (*Steganopus tricolor*), entre otros^[13].

4. Resultados y discusión

4.1 Presión sobre los salares para extracción de Litio

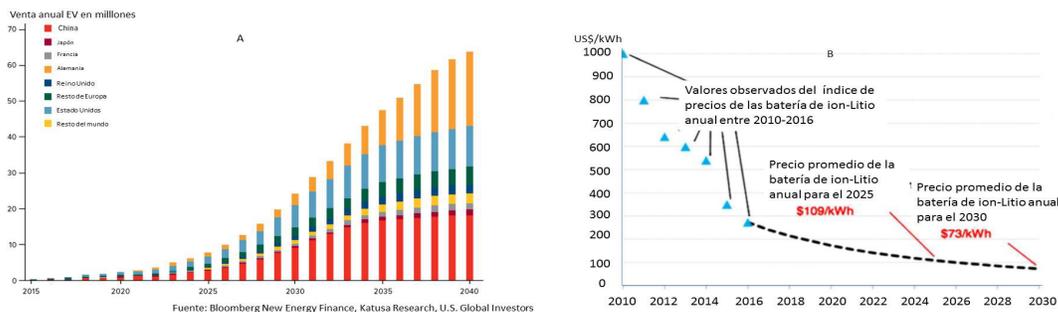
A causa de la gran densidad de energía del Litio y su buen comportamiento en la conducción y almacenamiento de la electricidad, es fundamental en la producción de baterías de ion-Litio, segmento de crecimiento mayor al 10% el último año (Figura 1), producto de la demanda de baterías no sólo pequeñas en electrónica portátil, celulares, computadoras personales, herramientas, reproductores MP3, si no que por el fuerte ingreso al mercado de vehículos eléctricos^[14] (Figura 3A). Se estima la mayor demanda de vehículos eléctricos, bajarán el precio en las baterías, que de 1000 US\$/kWh en el 2010, caen a 73 US\$/kWh el 2030. Por su parte, se ve refrendado en las aplicaciones que del año 2016 al 2017 cobran un aumento del 100% en las baterías (Figura 3B)

Las diversas compañías realizan esfuerzos por abastecerse con Litio para la revolución energética en curso, es así como los salares del norte de Chile, están siendo intervenidos y adscritos. Lithium Chile Inc., minera canadiense, comenzó el 2016 exploraciones y adquiriendo propiedades mineras, incluida parte del Salar de Atacama. Actualmente es el mayor terrateniente de proyectos de exploración de Litio en Chile, fuera del gobierno, posee quince proyectos, que abarcan 152.900 hectáreas en 13 salares con presencia de Litio, entre los que destacan los salares de Ollagüe,



Talar, Laguna Helada, Salar de Turi (a 5Km al norte de Ayquina), Salar de Coipasa (comuna de Colchane en el límite con Bolivia), cabe mencionar que éste es una fracción muy pequeña del Salar de Coipasa ubicado en Bolivia. Por su parte, Wealth Minerals Ltd., adquiere activos en el Salar de Atacama a mediados del 2016, cuyas concesiones cubren 46.200 hectáreas, ubicadas en la parte norte del salar; además de los salares de Pujsa, Aguas Calientes Norte y Quisquiro, que conforman el proyecto Trinity con 6.000 hectáreas de terreno. A finales del 2016 se comenzó con el Proyecto Laguna Verde en la III región, y el proyecto Cinco Salares constituido por los salares de Huasco, Ascotán, Laguna Legía, Piedra Parada. Wealth Minerals en la actualidad tiene intereses en 16 salares con propiedades que abarcan 110.604 hectáreas. Es una de las mayores compañías con participación en propiedades de Litio en Chile. A la luz de estos hechos, y de los antecedentes del último tiempo, es válido preguntarse si existen estudios de las áreas más vulnerables de estos salares y cuáles requieren medidas de protección, antes del otorgamiento de permisos de exploración. Si los hay, no se han difundido.

Los mayores productores mundiales de Litio que controlan el mercado son Albemarle, FMC, SQM, todas ellas instaladas en el Salar de Atacama, Tianqi asociada con Albemarle en Chile, a través del proyecto siete salares (también en Greenbushes, Australia) y con SQM en el Salar de Atacama. El quinto productor es Ganfeng Lithium, que se encuentra asociado con SQM en Argentina. Estas 5 productoras controlan más del 90% de la producción mundial. El Litio extraído de nuestro país a partir de salmueras, tal como se observa en la figura 3, lo concentran los agentes externos con diferentes % de participación en las ventas extractivas y las externalidades negativas las asume la población local, en este caso, las comunidades atacameñas.





4.2 Impacto Ambiental en el ecosistema salino

En zonas del norte chileno y argentino, de donde se extrae el Litio, son extremadamente áridas, el uso de agua potable para la extracción y producción del mineral es un riesgo para la sustentabilidad de la zona. Uno de los mayores peligros durante el proceso de producción se presenta en la extracción de salmueras que alteran la biota del ecosistema, además de la contaminación de las aguas subterráneas, y extracción de las reservas de agua potable para las comunidades. Las perforaciones que se realizan, generan impactos y/o riesgos sobre los niveles salinos superficiales y de los acuíferos, tal como ocurrió en el caso de Salinas Grandes, Argentina^[15]. El informe da cuenta que las primeras perforaciones presentan surgencias de aguas de baja salinidad provenientes de acuíferos profundos, como consecuencia el sistema salino se verá limitado en la extracción de sales superficiales, favoreciéndose la difusión de sales superficiales hacia acuíferos profundos de baja salinidad. Por otra parte, la extracción de la salmuera genera una disminución del nivel de base del agua subterránea de la cuenca, produciendo un descenso del agua dulce fuera de los bordes de la salina, y la consecuencia más inmediata es la desaparición de las vegas y lagunas que allí se forman, hecho que se constató in situ ya que el bosque de algarrobo en la comunidad de Camar está totalmente seco. También existe deterioro en humedales del lado este del salar, producto de la extracción por parte de las dos mineras que operan al interior del salar, unido a la desaparición del recurso hídrico esencial para la fauna, situación que en los últimos años vienen denunciando las comunidades atacameñas^[16,17,18]. Estas explotaciones afectan el ecosistema, la fauna, las migraciones de aves, los camélidos, y también la población humana que, si bien no es numéricamente alta, posee características étnicas particulares. El impacto ambiental de la extracción de Litio no es de menor envergadura que el de otros metales, ni tampoco deja de ser importante los reclamos de las comunidades originarias. En este sentido, encontramos resistencia en comunidades indígenas argentinas, solicitando suspensión de varios proyectos de explotación, por encontrarse en sus legítimos territorios^[18].

La salmuera es bombeada mediante perforaciones a piscinas de evaporación solar. La concentración de Litio en las salmueras es baja y varía dentro de cada salar, que en el caso del Salar de Atacama es 1500 ppm, Uyuni es de 600 ppm y 500 ppm en el Salar del Hombre Muerto. Si estimamos un valor medio por lo bajo por cada tonelada de Litio extraída, que se evaporan alrededor de dos millones de litros de agua, clara evidencia de que la minería del Litio en salares es una minería del agua.

En una región donde hay escasez hídrica por una parte, afecta a los habitantes de comunidades que ancestralmente han vivido de la agricultura, crianza de llamas, productores de quinua, industria del turismo, y a las fuentes de agua potable. El impacto ambiental es innegable, y en la explotación del Litio podemos observar la mayor afec-



tación en: suelos, el agua, la biota, principalmente. Esto se refrenda por el Informe ante denuncias realizadas por los pueblos atacameños^[19, 20].

5. Conclusion

Los salares se encuentran alejados de los sitios urbanos, en áreas naturales mayormente despobladas y retiradas de las grandes urbes donde se van instalando los proyectos mineros, es lógico que encontremos conflictos entre la explotación del mineral y la presencia de comunidades indígenas. La industria del Litio es una nueva amenaza a los recursos naturales: agua, suelo, flora y fauna.

Se constata que las recomendaciones de la Comisión Nacional del Litio, formada el 2016, no se tomaron en cuenta, el país no ha adoptado una política pública en favor de la explotación racional y sustentable del mineral. Tenemos realmente un cuerpo legislativo suficiente, maduro, y eficiente que lo haga de forma tal que el sector empresarial lo cumpla y no sienta un ataque a sus intereses económicos?

Es por ello que es tan necesario una política pública, para evitar que los beneficios de la explotación de materias primas minerales la concentren los agentes externos y que las externalidades negativas la asuma la población local.

6 bibliografía

1. Pavlovic. Capítulo 2.1 Reservas de Litio. En: Estudio Económico Jurídico de una eventual liberalización de la explotación y comercialización del Litio, no publicado, Estudio del Ministerio de Minería de Chile, Santiago, Chile. 2002.
2. Desarrollo minero en Chile. Análisis y desafíos: recopilación de estudios. Comisión Chile de Cobre. ISBN: 9789568242145. Santiago, Chile. 371 pp. 2009.
3. Mercado internacional del litio y su potencial en Chile. Comisión Chilena del Cobre. Minería no Metálica. Registro Propiedad Intelectual © N° 286265. 2017.
4. Lagos, G. El Desarrollo del Litio en Chile:1984-2012, Programa de Investigación en Economía de Minerales, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile. 2012.
5. Precio del Litio. Ministerio de Minería. En: <http://www.minmineria.gob.cl/precios-del-Litio/>, 2018.
6. Convocatoria Litio. Oportunidades de integración de la cadena de valor del Litio en Chile. En: <https://www.corfo.cl/sites/cpp/corfolitio>, 2017.
7. García, G. La prohibición del diésel y la gasolina en 2040. Francia no está sola. En; <https://movilidadelectrica.com/la-prohibicion-del-diesel-la-gasolina-2040-francia-no-esta-sola/> Agosto, 2017.



8. Risacher, F., H. Alonso, y C. Salazar. Geoquímica de aguas en cuencas cerradas: I, II y III Regiones – Chile. Vol III. Estudio de cuencas de la II región. S.I.T. N° 51. Convenio de Cooperación DGA – UCN – IRD. [LOY].121 - [LOY] 133. En: <http://documentos.dga.cl/CQA1921v3.pdf>. 1999.
9. Pavlovic, P. La industria del Litio. Revista Ingenieros. 24-29 (2014).
10. Tejeda, I., Cienfuegos, R., Muñoz, J. y Durán, M. Numerical modeling of saline intrusion in Salar de Atacama. Journal of Hydrologic Engineering, Jan/Feb, 25-34 (2003).
11. CPH Consultores Limitada. Informe: Hidrología e hidrogeología Salar de Atacama. Adenda 2. EIA Planta de producción de sales de potasio SLM NX UNO de Peine. Santiago. Chile. 2010
12. Diagnóstico plan estratégico para la gestión de los recursos hídricos, región de Antofagasta. Informe final. S.I.T. N° 291. Dirección General de Aguas. En: http://www.dga.cl/DGADocumentos/DGA_Antofagasta_IF_Anexos.pdf, Dic. 2012
13. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). Salar de Atacama. Version 2006-2008. En: http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1368204975FichaSitioRamsar_SoncorSalarAtacama_2010.pdf
14. Move Over, Musk! China Holds the Keys to Electric Vehicles. En: <https://www.valuewalk.com/2017/11/tesla-vs-china-electric-vehicles/>, Nov. 2017
15. La fiebre del Litio. Pagina 12 web. En: www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-169555-2011-06-06.html, Junio 2011.
16. Atacameños se enfrentan con Soquimich por contaminación y uso de aguas. Noticias del Mostrador, febrero, 2007. <http://www.elmostrador.cl/noticias/>
17. Presentan denuncia contra SQM y Escondida por daños en salar. Julio 2016 <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=24558&prmTIPO=ACTACOMISION>
18. Conversación con Radio y Diario Universidad de Chile de dirigente sindical. En: <http://radio.uchile.cl/2018/02/23/dirigenta-atacamena-por-rechazo-a-sqm-nos-interesa-conservar-la-cuenca-del-salar/>
19. Aguilar, F. y Zeller, L. Litio El Nuevo Horizonte Minero Dimensiones Sociales, Económicas y Ambientales. Centro de Derechos Humanos y Ambiente (CEDHA). Córdoba, Argentina. 2012.
20. Informe comisión especial investigadora de “la participación de toda empresa u organismo público en la exploración, procesamiento, explotación, exportación y transporte de litio, así como de las características del contrato suscrito entre Corfo y SQM para la explotación de dicho metal”. Noviembre 2016. <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=31700&prmTIPO=INFORMECOMISION>



Alteraciones en el desarrollo embrionario en el pez cebra (*Danio rerio*) inducidas por el insecticida neonicotinoide *clotianidin*.

María Elena Calderón-Segura ■ Berenyce González Marín

Toxicología Ambiental, Centro de Ciencias de la Atmósfera.

Universidad Nacional Autónoma de México.

mcalderon@atmosfera.unam.mx

1. Resumen

Clotianidin, es el ingrediente activo del insecticida comercial Poncho®, el cual se emplea en México para controlar y eliminar patógenos en el cultivo de maíz. Sin embargo, no hay estudios sobre los efectos en el desarrollo embrionario de pez cebra (*Danio rerio*). El presente trabajo analizó las alteraciones en el desarrollo en embriones en el estadio de 6 somitas después de 2 h de exposición a 3.75×10^{-3} , 7.5×10^{-3} y 0.015 mg/ml del insecticida neonicotinoide Clotianidin. Los resultados evidencian que este agroquímico produce deformaciones de la cola, de la notocorda, de la cola, del primordio óptico, con reducción de la respuesta motora, anomalías en las somitas, disminución de la longitud del cuerpo y del ritmo cardíaco comparados con el grupo testigo. El porcentaje de alteraciones embrionarias en el pez cebra fue dependiente de la concentración del insecticida. Pero, la viabilidad embrionaria fue del 0% con relación al grupo testigo.

PALABRAS CLAVE: Insecticida neonicotinoide clotianidin, embriones pez cebra (*Danio rerio*)

2. Introducción

Los plaguicidas son compuestos químicos sintéticos ampliamente utilizados en la medicina humana y veterinaria; en los campos agrícolas y forestales como herbicidas, nematocidas, fungicidas e insecticidas, entre otros; para prevenir, controlar y erradicar vectores de enfermedades en los cultivos, en los animales y en los seres humanos, pero también tienen efectos negativos derivados del uso inadecuado y excesivo, afectando a los ecosistemas debido su persistencia en el ambiente,



aumentando la mortalidad de la flora y la fauna, creando resistencia en los organismos plaga, contaminando la atmósfera, los suelos, mantos acuíferos, y los océanos^[1].

Los neonicotinoides son insecticidas derivados de la nicotina y están clasificados como nitroguanidinas (imidacloprid, tiametoxam, dinotefuran y clotianidín) y nitrocianoimididas (acetamiprid and tiacloprid). Son una nueva clase de agroquímicos sistémicos, actúan sobre el sistema nervioso central, como agonistas y antagonistas del receptor acetilcolina-nicotínico (nAChR)^[2]. Están clasificados en la clase II y III, son marcados como compuestos químicos de “precaución y peligro”. Estos agroquímicos representan el 24% del total de los agroquímicos del mercado global^[3,4]. Debido a su baja persistencia en el ambiente, no se acumulan en tejidos biológicos y son menos tóxicos para los mamíferos, estos insecticidas representan una nueva opción de agroquímicos “menos peligrosos”^[4]. Clotianidín es el ingrediente activo de los insecticidas neonicotinoides comerciales, Poncho® 250 SC, Belay y Clutch, introducidos en el mercado como un nuevo agroquímico. Es un insecticida sistémico, aplicado a semillas del maíz para el control del gusano trozador y la gallina ciega. Es un plaguicida de baja toxicidad para los mamíferos y nula acumulación en tejidos animales^[3,4]. Sin embargo, los invertebrados y vertebrados acuáticos son particularmente más sensibles a los efectos de este insecticida probablemente a su íntima asociación con el medio acuático durante las primeras etapas de la vida, como el desarrollo embrionario y larvario, en la diferenciación de los tejidos y órganos. Debido a que la piel de estos organismos es muy permeable, los hace más vulnerables a las acciones tóxicas de los plaguicidas^[5].

Los insecticidas neonicotinoides han sido detectados en diversas fuentes de agua en Canadá y Estados Unidos, en concentraciones desde 0.0011 a 70.0 µg/L en humedales^[6-8], 0.001–6.1 µg/L in agua subterránea (0.0012–1.7 µg/L en ríos y arroyos (Hladik and Kolpin, 2015), y 0.45–8.72 µg/L en aguas superficiales^[10,11]. Como las mezclas comerciales de los insecticidas neonicotinoides tienen concentraciones elevadas de ingredientes activos ≥60 % y son muy solubles en agua, estos compuestos químicos sintéticos rápidamente se mueven del suelo al agua después de su aplicación en los cultivos agrícolas^[6-8]. Algunos estudios han evidenciado que los insecticidas neonicotinoides causan alteraciones en el desarrollo embrionario, estrés oxidante, inmunosupresión y daño al ADN en peces que consecuentemente desencadenan efectos biológicamente no deseados en diferentes tipos de células y órganos, afectando su reproducción, la calidad de huevos e incluso amenazando la sobrevivencia de las poblaciones^[9,10]. Los peces son comúnmente utilizados para el biomonitoreo de ecosistemas acuáticos, debido a que son organismos que bioacumulan sustancias tóxicas, a través de la ingesta de sedimentos o alimentos contaminados y están en contacto directo con los contaminantes^[11]. Se ha reportado que los peces responden a cambios en el ambiente acuático a bajas concentraciones de plaguicidas, lo cual los hace



especialmente organismos centinelas de los ecosistemas acuáticos^[9-10]. El pez cebra (*Danio rerio*), es un excelente modelo para investigar los mecanismos de toxicidad de los agroquímicos y su impacto en el desarrollo embrionario principalmente por su corto tiempo de reproducción y desarrollo, por su pequeño tamaño, transparencia de sus embriones y por su fácil mantenimiento. Además, el genoma del pez cebra tiene el 87 % de homología con los seres humanos) y en comparación con otros modelos animales como los roedores, los embriones de pez cebra son disponibles en gran número de organismos y no requieren de grandes espacios. Los embriones de pez cebra son un modelo adecuado para evaluar el riesgo ambiental de los plaguicidas ya que ofrecen la posibilidad de realizar análisis a gran escala, de alto rendimiento y generar datos que pueden ser extrapolados a los seres humanos^[11,13].

Por tales antecedentes el presente estudio evaluó los efectos en el desarrollo embrionario en el estadio de 6 somitas del pez cebra (*Danio rerio*) expuestos a tres concentraciones del insecticida comercial neonicotinoide Clotianidin (Poncho). Las estructuras embrionarias analizadas fueron la longitud de los embriones, las somitas, el primordio óptico, la notocorda, y la cola, así como el movimiento y nado.

3. Condiciones experimentales

Esquema de tratamiento de embriones en estadio de desarrollo de seis somitas de pez cebra (*Danio rerio*) con el insecticida neonicotinoide Clotianidin (Poncho®).

Se utilizaron 40 embriones de pez cebra (*Danio rerio*) en el estadio de desarrollo 6 somitas, los cuales fueron agrupados en 4 grupos experimentales con 10 organismos cada uno de la siguiente manera: 1) 10 embriones fueron colocados en medio de embrión más 3.75×10^{-3} mg/ml del insecticida clotianidin; 2) 10 embriones fueron expuestos a 7.5×10^{-3} mg/ml; 3) 10 embriones fueron expuestos a 0.015 mg/ml del insecticida Poncho®, y 4) El grupo testigo, fueron 10 embriones colocados en medio de embrión sin insecticida clotianidin. Todos los embriones fueron incubados en un volumen final de 500 μ L de medio de embrión en pozos (Costar, Corning, USA) dos horas a temperatura de 28.5°C. Después de las dos horas de exposición se realizaron tres lavados con 500 μ L de medio de embrión para eliminar el plaguicida, posteriormente fueron transferidos con cajas petri estériles con 5 ml de medio de embrión e inmediatamente se observaron en el microscopio estereoscópico con un aumento de 20X y 40X, para la determinación de alteraciones morfológicas de los embriones, retirando el corion de los embriones para la captura de las imágenes en el microscopio estereoscópico con una cámara y software a 40X. Todos los organismos fueron manipulados de acuerdo a la Office of Laboratory Animal Welfare (OLAW) de los United States National Institutes of Health (NIH, #A5281-01)^[9,15,16].



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Alteraciones morfológicas en los estadios embrionarios 6 somitas de pez cebra (*Danio rerio*) expuestos al insecticida Clotianidin.

El análisis morfológico de los organismos en el estadio embrionario de 6 somitas después de 2 h de exposición a 3.75×10^{-3} mg/ml, 7.5×10^{-3} mg/ml y 0.015 mg/ml del insecticida clotianidin (Poncho®), mostraron degeneración del surco somítico, del primordio óptico, de la notocorda y de la cola (Figura 1). La frecuencia y tipo de alteración en las estructuras embrionarias fue dependiente de la concentración del plaguicida clotianidin (Tabla 1). A concentraciones de 0.015 mg/ml de insecticida estas alteraciones en el desarrollo fueron más severas y más frecuentes comparadas con el desarrollo de los embriones del grupo testigo (0.0 mg/ml de insecticida) (Figura 1. B, C, D) (Tabla 1). Los embriones del grupo testigo mostraron desarrollo normal del surco somítico (SS), del primordio óptico (PO), de la notocorda (N), y de cola (C) (Figura 1A).

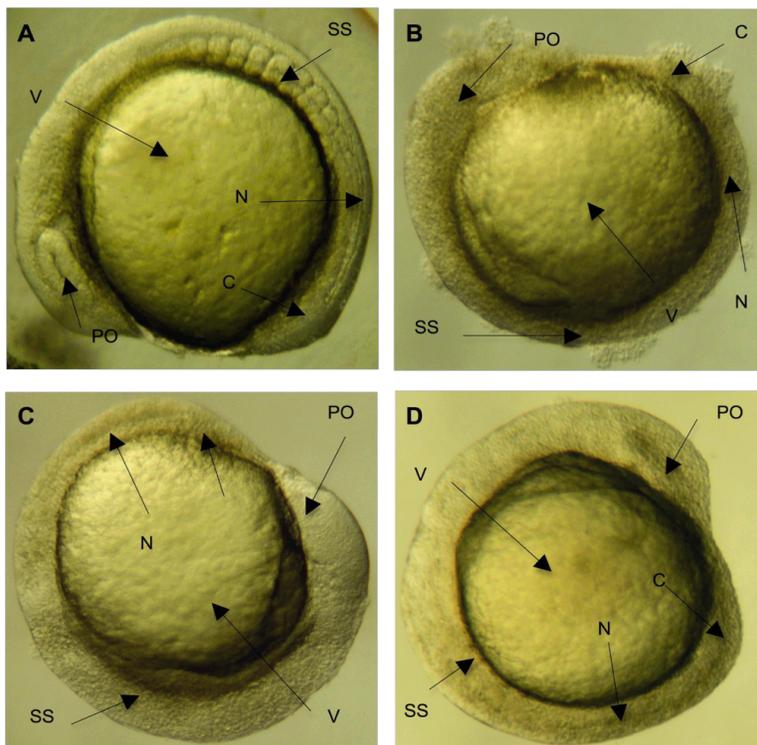


Figura 1. Embriones de pez cebra en estadio embrionario 6 somitas. A) Embrión de grupo testigo con desarrollo embrionario normal, las flechas señalan estructuras como surco somítico (SS), primordio óptico (PO), notocorda (N) y vitelo (V). Embriones de los grupos experimentales las flechas señalan la degeneración del surco somítico (SS), primordio óptico (PO), notocorda (N), cola (C). B) Embrión del grupo experimental 3, mayor grado de degeneración. C) Embrión del grupo experimental 2, grado medio de degeneración. D) Embrión del grupo experimental 1, menor grado de degeneración.



4.2. La tasa de sobrevivencia de los embriones después de dos horas de exposición al insecticida clotianidin.

La tasa de sobrevivencia y la frecuencia de alteraciones en los embriones en el estadio de seis somitas después de 2h de exposición al insecticida clotianidin, fue de 0 % todos los organismos expuestos al insecticida clotianidin murieron en corto tiempo comparados con el grupo testigo.

Clotianidin, es el ingrediente activo del insecticida comercial Poncho®, el cual se emplea en México para el tratamiento de las semillas de maíz. Estudios recientes han detectado insecticidas neonicotinoides en diversas fuentes de agua en Canadá y Estados Unidos, en concentraciones desde 0.0011 a 70.0 µg/L en humedales (Main et al., 2014; Smalling et al., 2015), 0.001–6.1 µg/L in agua subterránea^[1-7], 0.0012–1.7 µg/L en ríos y arroyos y 0.45–8.72 µg/L en aguas superficiales^[7]. Algunas investigaciones han evidenciado que este insecticida, altera la función reproductora e induce daño en el ADN de células germinales de ratones^[17] y en aves^[14], en células periféricas sanguíneas de ratón CD1^[8] y en linfocitos periféricos humanos in vitro^[8]. Sin embargo, no hay estudios sobre los efectos en el desarrollo embrionario de pez cebra (*Danio rerio*). Por lo que el presente trabajo analizó los efectos en el desarrollo en embriones en el estadio de 6 somitas después de 2 h de exposición a 3.75×10^3 , 7.5×10^{-3} y 0.015 mg/ml del insecticida neonicotinoide Clotianidin. Los resultados del análisis morfológico de los embrionarios expuestos al insecticida neonicotinoide evidencian que este agroquímico produce alteraciones en la estructura de la cola, de la notocorda, de la cola, del primordio óptico, con reducción de la respuesta motora, anomalías en las somitas, disminución de la longitud del cuerpo y del ritmo cardíaco. Estas alteraciones indujeron la muerte de todos los organismos comparados con los organismos del grupo testigo que no presentaron alteraciones en el desarrollo embrionario ni mortalidad. Las alteraciones morfológicas inducidas por el insecticida clotianidin en los embrionarios de pez cebra concuerdan con lo reportado en embriones de pez cebra 30 hpf, expuestos continuamente al insecticida monocrotofos, con reducción de la longitud del cuerpo, degeneración de la cola, notocorda, anomalías e hipercontractilidad del músculo axial^[19]. En embriones de pez cebra de estadio blástula expuestos a insecticida propoxur produjeron deformaciones en la notocorda y reducción significativa en la actividad de nado^[20]. Otros ensayos realizados con embriones de pez cebra de 3 hpf, expuestos durante al insecticida carbaril, al bisfenol demostraron incidencia de edema pericárdico, curvatura de la cola, espasmos incontrolados, y anomalías en la vejiga gaseosa^[22-24].

Varios estudios han mostrado que el mecanismo de toxicidad de los insecticidas neonicotinoides en el pez cebra es vía estrés oxidante a través de la generación de especies reactivas de oxígeno y radicales libres que causan efectos en los sistemas de



defensa antioxidante (superóxido dismutasa, catalasa, glutatión, glutatión-S-transferasas), en las vías de señalamiento celular y en la expresión de los genes en el desarrollo [5]. Aun cuando el mecanismo molecular por el cual los insecticidas neonicotinoides inducen embriotoxicidad es desconocido, nosotros hipotetizamos un mecanismo molecular multifactorial en el cual el insecticida neonicotinoide clotianidin podría ser un agente de acción directa para la generación de radicales libres tales como las especies reactivas de oxígeno (ERO), e indirectamente mediante su biotransformación con la formación de intermediarios metabólicos que produjeron alteraciones en las vías de señalización de los factores de crecimiento epidérmico, de crecimiento fibroblástico, en la expresión de genes *notch1*, *Brachyury*, *sonic hedgehog*, *snail* and *her1* necesarios para la diferenciación celular de las estructuras embrionarias reflejado en la morfología anormal de los organismos lo que finalmente condujo a su muerte^[9,14]. Esta hipótesis es apoyada parcialmente con otros resultados obtenidos para los insecticidas neonicotinoides como acetamiprid e imidacloprid los cuales han demostrado aumentar significativamente los niveles de ERO o radicales libres con daño oxidante en el ADN de células germinales y sanguíneas en mamíferos y aves^[7]. Por otro lado, se ha comprobado que los vertebrados muestran un mecanismo común de biotransformación de los plaguicidas desde los peces hasta los mamíferos, donde se implica la interacción del citocromo P450 para la reducción de Clotianidin (CLO) a su principal metabolito desmetil-clotianidin (CLO-dm). La toxicidad de CLO y CLO-dm, se atribuye principalmente a su acción como agonistas nicotínicos directamente en sistema nervioso. CLO y CLO-dm son metabolitos muy persistentes en el hígado, mismos que pueden interactuar e inducir hepatotoxicidad principalmente por CLO-dm a través de la inhibición de la enzima sintasa^[18,24]. Sin embargo, se desconoce por completo el mecanismo de inhibición, por lo cual las rutas metabólicas en los animales podrían representar otro factor de riesgo adicional para la salud humana y animal (vía cadena trófica). Ya que se ha sugerido que los animales al consumir alimentos contaminados con residuos de plaguicidas y/o sus metabolitos podrían ser biotransformados y/o activados por las enzimas del tracto digestivo, interaccionando con macromoléculas como el ADN y ARN ocasionando alteraciones moleculares, celulares y diversas enfermedades^[18]. Por lo que la degeneración de las estructuras relacionadas con la región caudal (somitas, notocorda y cola), podrían estar asociadas con afectaciones en el sistema nervioso y cardiovascular, así como disminución o inactivación de las vías de señalización neuromuscular para la locomoción y nado, alteración del ritmo cardiaco de los embriones. Se conoce que el insecticida clotianidin tiene acción sobre el sistema nervioso central como agonista parcial, súper agonista y antagonista del receptor de la acetilcolina-nicotínico (nAChR) de insectos y mamíferos^[16], el cual interactúa a nivel de receptores nicotínicos post-sinápticos en el dominio extracelular del complejo acetilcolina-nicotínico (nAChR) y del canal



iónico, lo que posteriormente da un cambio conformacional el cual abre el canal promoviendo la entrada de K^+ y la salida de Na^+ [2,5]. De esta manera se propone que el insecticida neonicotinoide clotianidin funciona como un agonista y antagonista en el sistema neuromuscular, el cual podría estar evitando las señalizaciones de los músculos desarrollados en la cola que a su vez afecta el comportamiento motor. Las alteraciones en el aparato cardiovascular también se asocian con el receptor de la acetilcolina- nicotínico (nAChR) el cual es capaz de disminuir el impulso cardiaco en algunos vertebrados[29,30].

5. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación a nivel morfológico, en embriones de pez cebra expuestos al insecticida comercial neonicotinoide Clotianidin (Poncho®) demuestran que este agroquímico es un inductor de alteraciones en el desarrollo embrionario temprano y contribuye con nuevos datos toxicológicos de esta nueva clase de insecticidas, el cual es ampliamente usado en el tratamiento de las semillas y del cultivo de maíz en nuestro país y apoyan que este plaguicida es de riesgo potencial para la salud de los organismos acuáticos y quizás para los seres humanos, sin embargo, es necesario continuar con los estudios a nivel molecular, bioquímico y morfo-fisiológicos en este organismo para identificar los mecanismos por los cuales el insecticida neonicotinoide clotianidin (Poncho®), induce alteraciones morfológicas en los embriones del pez cebra (*D. rerio*).

6. Bibliografía

1. Morrissey CA, Mineau P, Devries JH, Sanchez-Bayo F, Liess M, Cavallaro MC, Liber K (2015) Neonicotinoid contamination of global surface waters and associated risk to aquatic invertebrates: a review *Environment international* 74:291-303 doi:10.1016/j.envint.2014.10.024
2. Tomizawa M y Casida JE. 2011. Unique neonicotinoid binding conformations conferring selective receptor interactions. *J. Agric Food Chem* 13, 2825-38.
3. Bayer CropScience México. (2008). <http://www.bayercropscience.com.mx/>. (2008).
4. Goulson, D., 2013. An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *J. Appl. Ecol.* 50, 977–987.
5. Tisler T, Jemec A, Mozetic B, Trebse P (2009) Hazard identification of imidacloprid to aquatic environment *Chemosphere* 76:907-914 doi:10.1016/j.chemosphere.2009.05.002



6. Main AR, Headley JV, Peru KM, Michel NL, Cessna AJ, Morrissey CA (2014) Widespread use and frequent detection of neonicotinoid insecticides in wetlands of Canada's Prairie Pothole Region PLoS One 9:e92821 doi:10.1371/journal.pone.009282
7. Hallmann CA, Foppen RP, van Turnhout CA, de Kroon H, Jongejans E (2014) Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations Nature 511:341-343 doi:10.1038/nature13531
8. Hladik ML, Kolpin DW, Kuivila KM (2014) Widespread occurrence of neonicotinoid insecticides in streams in a high corn and soybean producing region, USA Environmental pollution 193:189-196 doi:10.1016/j.envpol.2014.06.033
9. E.M. Maloney, C.A. Morrissey, J.V. Headley, K.M. Perud, K. Libera 2018. Chronic exposure to imidacloprid, clothianidin, and thiamethoxam mixtures exert greater than additive toxicity in *Chironomus dilutus*? Ecotoxicology and Environmental Safety 156 (2018) 354–365
10. González-Marín B, Calderón, ME y Maldonado E. 2012. Detección de daño en ADN en embriones de pez cebra (*Danio rerio*) por el insecticida comercial clotianidin. CICA 2012.
11. Austin B. The effects of pollution on fish health. J Applied Microbiol Symp Suppl 1999; 85:234-242.
12. Oberemm A. The use of a refined zebrafish embryo bioassay for the assessment of aquatic toxicity. Lab Anim 2000;29:32–40.
13. Scholz S, Fischer S, Gündel U, Küster E, Luckenbach T, Voelker D. The zebrafish embryo model in environmental risk. Environ Sci Pollut Res 2008;15:394–404.
14. Main AR, Headley JV, Peru KM, Michel NL, Cessna AJ, Morrissey CA (2014) Widespread use and frequent detection of neonicotinoid insecticides in wetlands of Canada's Prairie Pothole Region PLoS One 9:e92821 doi:10.1371/journal.pone.009282.
15. Ku-Centurión M, González-Marín B, Calderón-Ezquerro MC, Martínez-Valenzuela MC, Maldonado E, Calderón-Segura ME. 2016. DNA damage assessment in zebrafish embryos exposed to Monceren(VR) 250 SC fungicide using the alkaline comet assay. Zebrafish. 13:442–448.
16. Kimmel, C. B.; Billard, W.; Kimmel, S. R., et al., Stages of embryonic development of the zebrafish. Dev Dyn 1995, 2003, (3), 253-310
17. Calderón-Segura ME, Gómez-Arroyo S, Villalobos-Pietrini R, Martínez-Valenzuela C, Carbajal-López Y, Calderón-Ezquerro MDC, Cortés-Eslava J, García-Martínez R, Flores-Ramírez D, Rodríguez-Romero MI. 2012. Evaluation of genotoxic and cytotoxic effects in human peripheral blood lymphocytes exposed in vitro to neonicotinoid insecticides news. J Toxicol. 2012:612647.
18. Calderón-Segura ME, Marcial-Rojas A, Mézquita-Brito MG, Calderón-Esquerro MC. 2015. Chapter 5, Genotoxicity of the neonicotinoid insecticide poncho (Clothianidin) on CD1 mice based on alkaline comet and micronucleus assays. In: Larramendy



- ML, Soloneski S, editors. Agricultural and biological sciences. Toxicity and Hazard of Agrochemicals. London: INTECH; p. 113–125.
19. Pamanji R, Bethu MS, Yashwanth B, Leelavathi S, Venkateswara Rao J (2015) Developmental toxic effects of monocrotophos, an organophosphorous pesticide, on zebrafish (*Danio rerio*) embryos *Environ Sci Pollut Res Int* 22:7744-7753 doi:10.1007/s11356-015-4120-8
 20. Pandey MR, Guo H (2014) Evaluation of cytotoxicity, genotoxicity and embryotoxicity of insecticide propoxur using flounder gill (FG) cells and zebrafish embryos *Toxicol In Vitro* 28:340-353 doi:10.1016/j.tiv.2013.11.010
 21. Sanchez-Bayo F, Goka K (2005) Unexpected effects of zinc pyrethione and imidacloprid on Japanese medaka fish (*Oryzias latipes*) *Aquat Toxicol* 74:285-293 doi:10.1016/j.aquatox.2005.06.003
 22. Todd NE, Van Leeuwen M (2002) Effects of Sevin (carbaryl insecticide) on early life stages of zebrafish (*Danio rerio*) *Ecotoxicology and environmental safety* 53:267-272
 23. Tse WK, Yeung BH, Wan HT, Wong CK (2013) Early embryogenesis in zebrafish is affected by bisphenol A exposure *Biol Open* 2:466-471 doi:10.1242/bio.20134283
 24. Zhu L, Mu X, Wang K, Chai T, Yang Y, Qiu L, Wang C (2015) Cyhalofop-butyl has the potential to induce developmental toxicity, oxidative stress and apoptosis in early life stage of zebrafish (*Danio rerio*) *Environmental pollution* 203:40-49 doi:10.1016/j.envpol.2015.03.0
 25. Stehr CM1, Linbo TL, Incardona JP, Scholz NL. The developmental neurotoxicity of fipronil: notochord degeneration and locomotor defects in zebrafish embryos and larvae. *Toxicol Sci* 2006 ;92:270-288.
 26. Zhou S, Dong Q, Lia S, Guob J, Xingxing Wang X, Guonian Z. Developmental toxicity of cartap on zebrafish embryos. *Aquatic Toxicol.* 2009;95:339–346
 27. Jin M, Zhang X, Wang L, Huang C, Zhang Y, Zhao M. Developmental toxicity of bifenthrin in embryo-larval stages of zebrafish. *Aquatic Toxicol.* 2009;95:347– 354
 28. Sisman T Dichlorvos-induced developmental toxicity in Zebrafish. *Toxicol Ind Health.* 2010;26:567-573.
 29. Ansari S, Ansari BA. Embryo and fingerling toxicity of dimethoate and effect on fecundity, viability, hatchability and survival of zebrafish, *Danio rerio* (Cyprinidae). *World J Fish Marine Sci* 2011;3:167–173.
 30. Brustein E, Saint L, Buss R, Chong M, McDearmid J. Steps during the development of the zebrafish locomotor network. *J Physiol* 2003;97:77–86.



Sustentabilidad del cultivo de palma de aceite en Campeche, México

Ricardo Isaac Márquez ■ María Esther Ayala Arcipreste
María Consuelo Sánchez González ■ Angélica Patricia Isaac Márquez
Centro de Estudios de Desarrollo Sustentable y Aprovechamiento de la Vida Silvestre.
Universidad Autónoma de Campeche. Campeche
ricisaac@uacam.mx

1. Resumen

La palma de aceite es una alternativa productiva con perspectivas favorables para superar las condiciones de pobreza y marginación de las regiones tropicales, debido a que produce un rendimiento superior al de otras oleaginosas y su uso se ha incrementado en diversas actividades económicas. La producción de aceite vegetal de México es insuficiente para satisfacer la demanda del país, mientras que el aceite de palma se ha convertido en la primera fuente de aceite vegetal del mundo. En el presente trabajo se describe el caso del estado mexicano de Campeche, donde la palma de aceite se ha convertido en un cultivo estratégico para impulsar el desarrollo agroindustrial y promover el desarrollo rural. La expansión de la palma de aceite ha generado controversia debido a que Campeche es un ejemplo de conservación biológica en el país y la palma de aceite es motivo de preocupación por sus impactos ambientales y sociales.

2. Introducción

La palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) es originaria del Golfo de Guinea en África Occidental y actualmente es un cultivo oleaginoso de alto valor productivo y económico^[1]. El aceite de palma es la fuente de aceite vegetal más importante del mundo en términos de producción y volúmenes de comercio de productos oleicos^[2]. Las expectativas futuras de su cultivo son muy promisorias. Se calcula que será necesario incorporar 12 millones de hectáreas de nuevas plantaciones de palma de aceite para satisfacer la demanda mundial de aceite vegetal, que se espera se duplique antes de la primera mitad del presente siglo^[3]. Por su elevada productividad y bajos costos de producción, el cultivo de palma de aceite es una alternativa productiva con perspectivas favorables para superar



las condiciones de pobreza y marginación, características de las regiones tropicales y elevar la calidad de vida de sus pobladores. Por ello, su cultivo resulta relevante en el trópico del país, donde persiste el estancamiento productivo, baja competitividad y rentabilidad. La expansión de la palma de aceite es motivo de controversia en el mundo y ha dado lugar a opiniones contrastantes^[4]. Mientras que para unos es una amenaza al ambiente y un peligro para el bienestar de las comunidades locales, para otros es sinónimo de desarrollo económico y social en el medio rural. A pesar de las críticas vertidas contra la palma de aceite y de sus impactos negativos, campesinos y pequeños productores siguen participando de su cultivo e impulsando su expansión, incluyendo a grupos indígenas^[5].

El artículo describe el contexto político e institucional que ha sustentado la expansión de la palma de aceite en México y particularmente en el estado de Campeche ubicado en el sureste del país. Contrario a lo que ha ocurrido en Asia y Centroamérica donde la expansión de la palma de aceite se ha realizado mediante plantaciones de empresas privadas y transnacionales a gran escala, mediado por las fuerzas del mercado; en México han sido las políticas públicas dirigidas al sector social las que han sustentado el proceso mediante un modelo de plantaciones campesinas a pequeña escala. Los programas de fomento del cultivo de la palma de aceite han ganado paulatinamente aceptación entre los campesinos a través de la reconversión productiva. En Campeche la expansión de la palma de aceite ha generado la oposición de grupos ambientalistas, académicos y políticos quienes alertan de los riesgos de la incompatibilidad del cultivo en un estado que tiene cerca de la mitad de su territorio declarado como área natural protegida y recién ha firmado, en el marco de la Cumbre Mundial de Biodiversidad (COP 13,) un acuerdo para lograr cero deforestación neta en el año 2030 y la reforestación de las selvas, siendo un ejemplo de conservación biológica en el país^[6].

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

Se realizó una investigación documental sobre las políticas públicas que han impulsado el cultivo de palma de aceite en el sureste de México y en particular en el estado de Campeche, en el marco del proyecto ““Biocombustibles y cambio climático: impactos socioambientales del cultivo de palma de aceite en Campeche” financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Se presenta una síntesis del contexto político e institucional que ha permitido la expansión de la palma de aceite con base en investigación documental y entrevistas con informantes clave realizadas durante 2017. Entre los informantes clave se encuentran directores de or-



ganizaciones de palmicultores, secretarios de gobierno y directivos de organizaciones no gubernamentales del estado de Campeche.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Reconversión productiva hacia el cultivo de la palma de aceite en México

Las políticas públicas han dado prioridad a impulsar el desarrollo de las zonas del trópico húmedo y sub-húmedo del territorio nacional, donde la infraestructura productiva y los indicadores de bienestar social muestra un marcado rezago en comparación con el resto del país. A través del Proyecto Transversal Trópico Húmedo^[7], la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación del Gobierno Federal (SAGARPA) ha otorgado financiamiento y asistencia técnica para la reconversión productiva hacia cultivos con mejores perspectivas de productividad, rentabilidad y mercado. En este marco el gobierno mexicano decidió impulsar a la palma de aceite como un monocultivo estratégico en los estados de Chiapas y Campeche, y luego en Tabasco y Veracruz, debido al déficit en la producción nacional de aceite vegetal que en el año de 1996 alcanzaba 97% con relación a la demanda interna del país^[8]. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) identificó, en la década de 1990, una superficie de 2.5 millones de hectáreas en el sureste de México con potencial para el cultivo^[9]. Para el caso de la palma de aceite la reconversión productiva ha hecho énfasis en el uso de las llamadas “tierras ociosas o degradadas” con el fin de evitar la deforestación y la ocupación de suelos con vocación agrícola. Como resultado la superficie cultivada de palma de aceite se duplicó de 3 076 ha a 6 900 ha entre los años de 1995 y 2001, mientras que la producción de aceite de palma aumentó de manera significativa, de 12 304 toneladas a 135 696 toneladas de Racimos de Fruta Fresca (RFF) en el mismo periodo^[10].

En 2001 el cultivo de la palma de aceite tuvo un marcado retroceso en el país debido a factores naturales como inundaciones, plagas e incendios, así como la caída de los precios del aceite de palma lo que afectó significativamente la superficie cosechada y la producción. Ante la creciente demanda interna el Gobierno Federal retoma en 2004 el fomento de su cultivo mediante el Plan Rector de la Palma de Aceite, cuyos objetivos principales son incrementar la superficie de plantaciones en unidades compactas y mejorar la competitividad de la cadena productiva^[8]. La superficie de plantaciones y la producción de palma de aceite se triplicó durante el periodo de 2004 a 2016, hasta alcanzar una superficie sembrada de 90 365 ha y una producción de 755 221 toneladas de RFF, con un rendimiento promedio de 12.8 toneladas de RFF por hectárea^[10]. El país se ubica en el lugar 19 entre los países productores de palma de aceite con 0.22% de la producción mundial^[11] y una tasa promedio anual de



incremento de la producción de 7.25% en el periodo de 2004 a 2014^[12]. El estado de Chiapas es el principal productor del cultivo con 52% de la superficie sembrada^[10]. El segundo estado productor es el estado de Campeche con 22% de la superficie sembrada de palma de aceite, seguido por Tabasco y Veracruz con 16% y 9% respectivamente ^[10]. No obstante, el país sigue siendo deficitario en la producción de aceite de palma ya que sólo produce 60% del consumo interno anual^[10].

4.2 El cultivo de la palma de aceite en el estado de Campeche

Campeche sobresale a escala nacional como una de las principales entidades en cuanto a diversidad biológica, la integridad de sus ecosistemas y las posibilidades reales de conservación. El 39.7% de la superficie total del Estado se encuentra declarado como área natural protegida, y poco más del 70% de la entidad se encuentra cubierta por importantes macizos forestales en diferentes grados de conservación, mientras que la superficie dedicada a actividades agropecuarias representa solamente una cuarta parte^[6]. La palma de aceite fue introducida en 1997 cuando el Programa Nacional de Palma de Aceite comenzó a impulsar la reconversión productiva en los ejidos de Campeche. La expansión de la palma de aceite en Campeche se ha llevado a cabo bajo un modelo de plantaciones a pequeña escala en tierras de ejidatarios que estaban dedicadas previamente a la ganadería. Los ejidatarios interesados recibieron de los programas gubernamentales las plántulas de palma de aceite y un subsidio económico por hectárea sembrada por un periodo de tres años para garantizar el establecimiento de la plantación. En 1998 se sembraron las primeras plantaciones de palma de aceite en Campeche en una superficie de 2 893 ha y en el año 2002 se logró alcanzar un máximo de 6 000 mil ha^[10]. Sin embargo, los resultados no fueron los esperados y la mayor parte de las plantaciones establecidas fueron abandonadas por los ejidatarios debido a la baja productividad y la escasa rentabilidad económica, lo que significó una reducción de la mitad de la superficie sembrada en el año 2006. La superficie sembrada se mantuvo sin cambio significativo hasta el año 2012 cuando el Gobierno del Estado retoma el programa de reconversión productiva con el objetivo de impulsar el desarrollo agroindustrial, modernizar el sector rural y mejorar la calidad de vida de los campesinos de la entidad. Entre 2012 y 2014 la superficie sembrada de palma de aceite se triplicó hasta alcanzar una superficie de 13 805 ha. Actualmente se estima una superficie sembrada de aproximadamente 23 mil hectáreas de palma de aceite en el estado de Campeche.

La actual administración estatal presentó en 2016 el Proyecto Estratégico de Palma de Aceite por medio del cual prevé impulsar la siembra de cien mil hectáreas de plantaciones de palma de aceite en los próximos seis años, con una inversión de 18 900 millones de pesos de carácter federal y estatal. El proyecto contempla establecer



15 plantas extractoras, una refinería y la generación de 18 mil empleos directos y seis mil empleos indirectos rurales. Se espera que esta inversión sin precedentes contribuya a impulsar el desarrollo agroindustrial del estado y su transformación productiva. El proyecto se ha planificado principalmente en función de consideraciones de tipo económico, la disponibilidad de tierras y sobre la base de un creciente interés por impulsar el desarrollo y modernizar el sector rural. De esta manera, Campeche se convertiría en el principal productor de aceite de palma del país con dos terceras partes de la superficie sembrada y en el principal polo de desarrollo de la agroindustria del aceite de palma.

Estudios realizados^[13] indican que las plantaciones campesinas de palma de aceite son rentables e impactan de manera positiva la economía y las condiciones de vida material de las familias de los palmicultores. El cultivo de la palma de aceite es una opción de diversificación productiva generadora de ingresos y de empleo que ha ganado cada vez más aceptación en los ejidos. A pesar de la baja productividad de las plantaciones campesinas (4 ton de RFF/ha en promedio, mientras que la media nacional es de 12.8 ton de RFF/ha), resultan más rentables que otras opciones productivas convencionales. Esto ha sido posible gracias al soporte gubernamental que ha otorgado a los campesinos plántulas de palma de aceite, financiamiento para establecer las plantaciones, así como apoyos y asesoría para su organización productiva e integración al mercado. También ha sido relevante que la expansión de la palma de aceite en las comunidades se ha realizado de manera gradual y con base en la disposición de los campesinos para participar del cultivo, sin que se haya dado lugar a procesos coercitivos que conduzcan al acaparamiento y despojo de sus tierras o la pérdida de los derechos de propiedad de sus parcelas. En un contexto caracterizado por altos incentivos y en ausencia de amenazas a la propiedad de la tierra, los campesinos han demostrado optar por participar en lugar de oponerse a la expansión de la palma de aceite^[14].

Los beneficios económicos generados por la palma de aceite, sin embargo, no parecen suficientes para impulsar el desarrollo económico de las comunidades. Los campesinos muestran limitaciones para realizar un manejo adecuado de la palma de aceite que es un cultivo que demanda un uso intensivo de capital, tecnología y conocimientos para lograr altos niveles de productividad. El financiamiento que reciben los campesinos resulta insuficiente para afrontar los costos de mantenimiento de las plantaciones y para expandir el cultivo. Por tal motivo las plantaciones campesinas tienen una baja intensidad de manejo, y en algunos casos se limita a la cosecha de racimos.

Desde el punto de vista ambiental la sustentabilidad de las plantaciones campesinas sigue siendo incierta. Esto se debe a la relativamente reducida superficie sembrada, la escala de las plantaciones campesinas y al uso de áreas previamente deforestadas



para su establecimiento. Utilizar las áreas de vegetación secundaria para establecer las plantaciones tiene también un alto costo de oportunidad para la regeneración del bosque tropical en vista del proceso extensivo de deforestación que históricamente se ha dado en las tierras del ejido. La vegetación secundaria de los trópicos ha demostrado tener una elevada productividad y resiliencia, por lo cual la protección de las áreas de regeneración de los bosques secundarios resulta muy relevante para la recuperación de los bosques y la mitigación del cambio climático^[15].

5. CONCLUSIONES

Existen ventanas de oportunidad relevantes en materia de organización, crédito, capacitación y asesoría técnica para hacer más productivas las plantaciones campesinas a niveles que dinamicen la economía local e impulse el desarrollo de las comunidades en Campeche. Para ello, será necesario innovar y explorar nuevos esquemas de organización productiva con el fin de lograr una economía de escala. De otra manera, es previsible que los campesinos serán gradualmente marginados de la actividad ante la llegada de empresas nacionales e internacionales, las cuales se encuentran comprando o rentado tierras para establecer plantaciones de palma de aceite a gran escala. Por otra parte, se deberá tener especial atención a los impactos sociales y ambientales que puede generar la expansión acelerada de la palma de aceite. Experiencias previas indican que en escenarios de rápida expansión de la palma de aceite en “áreas degradadas”, los intereses y las expectativas económicas pueden generar altos costos de oportunidad para conservar la biodiversidad y respetar los intereses y formas de vida de las comunidades locales, así como sus derechos sobre el uso de sus tierras^[16]. En Campeche las denuncias por deforestación y contaminación ambiental han comenzado a generarse, a pesar de la superficie relativamente pequeña de plantaciones de palma de aceite que se ha sembrado en el Estado. Por ello, es necesario que se consideren esfuerzos sistemáticos para identificar, monitorear y evaluar los impactos ambientales y sociales asociados a la expansión del cultivo. Este conocimiento resulta esencial para generar políticas que permitan elevar el nivel de sustentabilidad del cultivo y minimizar sus impactos ambientales, al tiempo que se promueve los aspectos positivos que ha demostrado tener palma de aceite para elevar la calidad de vida los pobladores de las comunidades y propiciar el desarrollo rural.



6. BIBLIOGRAFÍA

1. Henderson, J., Osborne, D. J. 2000. The oil palm in all our lives: how this came about. *Endeavour* 24:63-68
2. USDA. 2016. <[http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=Table+03%3a+Major+Vegetable+Oils%3a+World+Supply+and+Distribution+\(Commodity+View\)&hidReportRetrievalID=533&hidReportRetrievalTemplateID=5](http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=Table+03%3a+Major+Vegetable+Oils%3a+World+Supply+and+Distribution+(Commodity+View)&hidReportRetrievalID=533&hidReportRetrievalTemplateID=5)> (09-05-2016)
3. Corley, R. H. V. 2009. How much palm oil do we need? *Environmental Science & Policy* 12: 134-139
4. Rival, Alain., Levang Patrice. 2014. La palma de la controversia: La palma aceitera y los desafíos del desarrollo. CIFOR, Bogor, Indonesia.
5. Feintrenie, L., Chong, W. K., Levang, P. 2010. Why do Farmers Prefer Oil Palm? Lessons Learn from Bungo District, Indonesia. *Small-scale Forestry* 9:379–396.
6. Villalobos-Zapata, G J., Mendoza J. (Coord.), 2010. La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur, México
7. Santacruz, E. E., Morales, S., Palacio, V. H. 2012. <<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2012/>> (23-02-2013)
8. Castro, G. 2009. México. Los efectos de la palma Africana. En: Emanuelli, M. S., Josén, J., Monsalve, S. (Comp.) *Azúcar roja desiertos verdes*. FIAN Internacional, Suecia
9. INIFAP. 2015. <<http://sigi.inifap.gob.mx/INIFAP/paginaweb/DetalleNoticia.aspx?id=1284>> (22-06-2015)
10. SIAP. 2016. <<http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>> (7-12-2016)
11. Aguilar, N., Arias, N., Atanacio, S., Vinicio, H. 2013. La palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Avances y retos en la gestión de la innovación*. Universidad Autónoma de Chapingo, México
12. FAOESTAT. 2015. <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>> (21-05-2016)
13. Isaac-Márquez, R., Sandoval, J. L., Eastmond, A., Ayala, M.E., Arteaga M.A., Isaac A. P. et al. Impactos sociales y ambientales de la palma de aceite: perspectiva de los campesinos en Campeche, México. *Journal of Latin American Geography*, 15 (2): 123-146
14. Castellanos-Navarete, A., Jansen, K. 2015. Oil palm expansion without enclosure: smallholders and environmental narratives, *The Journal of Peasant Studies* 42 (3-4):791-816
15. Becknell, J. M., Poorter, L., Balvanera, P., Bongers, F., Aide, T. M., Almeyda Z. et al. 2016. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*. 530. DOI:10.1038/nature16512.



16. Selfa T., Bain C., Moreno R., Eastmond A., Sweitz S., Bailey C. et al. 2015. Interrogating Social Sustainability in the Biofuels Sector in Latin America: Tensions Between Global Standards and Local Experiences in Mexico, Brazil, and Colombia. *Environmental Management* 56:1315–1329



Sustentabilidad de la producción ovina en el Municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo.

Lorena Luna Rodríguez ■ Ulises Graciano Soto Ortíz ■ Edmundo Ducoing Chahó
Hermenegildo Román Losada Custardoy ■ José Cortés Zorrilla ■ Jorge Eduardo Vieyra Durán
Juan Manuel Vargas Romero ■ Viridiana Alemán López ■ René Rodríguez Florentino

Área de Sistemas de Producción Agropecuarios.
Departamento de Biología de la Reproducción.
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
soou@xanum.uam.mx, edch@xanum.uam.mx

1. Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar la sustentabilidad de unidades de producción ovina en el Municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo. Se construyeron los indicadores con base a las características locales de la zona de estudio. Los datos se obtuvieron mediante encuestas, entrevistas y observaciones de campo. Posteriormente los datos fueron estandarizados (transformación a una escala de 0 a 12.5); además los indicadores fueron ponderados (coeficientes de acuerdo a la importancia relativa respecto a la sustentabilidad). El grado de sustentabilidad para la dimensión social fue de 61.57, para la ambiental de 69.94 y para la económica de 46.92. Las unidades de producción ovina analizadas cumplieron adecuadamente con los componentes de la dimensión ambiental. Se infiere que estos sistemas de producción se mantienen económicamente y las labores relacionadas con el proceso productivo minimizan el deterioro ambiental.

2. Introducción

El impacto negativo como consecuencia de las actividades antropogénicas ha incrementado la concienciación del cuidado de los recursos naturales; es así, como en 1987 la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo en el Informe de Bruntland, definió a la sustentabilidad como: “Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”. Posteriormente surgieron discusiones y aportes con respecto a la definición de sustentabilidad y la manera de evaluarla; ya que esta no sólo concibe la conservación de satisfactores presentes y futuros; también considera la existencia de condiciones económicas, ambientales, sociales, políticas, culturales y educativas que permitan influir en la calidad



de vida de las sociedades; manteniendo la armonía con el entorno y evitando en lo posible, la presencia de externalidades ambientales negativas con sus consecuentes repercusiones^[1].

De manera general la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios tiene una multiplicidad de enfoques metodológicos relacionados con las diferentes escalas y dimensiones; y se realiza tanto en el ámbito regional, como en las unidades de producción (UP) ^[2] recurriendo al uso de indicadores ^[3], los cuales se construyen debido a que no existe un conjunto de indicadores universales. En este contexto el objetivo del presente estudio fue realizar una evaluación de la sustentabilidad de UP ovina en el Municipio de Ixmiquilpan, estado de Hidalgo.

3. Condiciones experimentales

3.1 Descripción del lugar

Se analizaron 10 UP pecuaria del municipio de Ixmiquilpan, estado de Hidalgo, el cual se encuentra ubicado en los 20° 29' latitud Norte y 99° 13' longitud Oeste. Localizado en el eje neovolcánico, formado principalmente por llanuras y en menor proporción por lomeríos, con una altitud entre 1 600 y 3 200 msnm. La zona de estudio presenta un clima semiseco templado (Cs) en la mayor parte de la superficie municipal (51.22 %). Los suelos corresponden al orden de los Feozems y Vertisoles, los cuales se caracterizan por ser profundos y con presencia de materia orgánica.

3.2 Construcción de indicadores

Los indicadores se construyeron modificando la metodología de Losada, et al. ^[4]; se consideró un indicador a una variable que hace clara una tendencia en el ámbito de la UP ^[5]. Las características de los indicadores fueron las siguientes: fáciles de obtener, de interpretar y que pudieran brindar información para detectar tendencias. Los indicadores se agruparon en componentes (Tabla 1) con base a la señalado por Vences et al., ^[1]. Los datos se obtuvieron mediante encuestas, entrevistas y observaciones de campo.

3.3 Estandarización y ponderación de los indicadores

Los datos fueron estandarizados, mediante su transformación a una escala de 0 a 12.5, donde 12.5 el mayor valor de sustentabilidad y 0 el más bajo (Tabla 1). Los valores independientemente de su unidad original, se transformaron a esta escala; para posibilitar la integración de los indicadores de distinta naturaleza; además los indicadores



fueron ponderados multiplicando el valor de la escala por un coeficiente de acuerdo a la importancia relativa de cada variable respecto a la sustentabilidad.

Por ejemplo, para este estudio, en la dimensión social el componente que se consideró más importante fue satisfacción de las necesidades básicas y en especial el de servicios, por lo tanto, se realizó una ponderación a este indicador dándole el doble de peso que al resto con un coeficiente de 2 (Tabla 2).

Tabla 1. Escala de valores utilizada para estandarizar los niveles de sustentabilidad.

Valor de Sustentabilidad	
Malo	0
Bajo	4
Medio	8
Alto	12.5

4. Resultados y discusión

A pesar de que existen estudios que han encarado el desafío de evaluar la sustentabilidad en el ámbito de la UP ^[6,7] no existe un conjunto de indicadores preestablecidos que permitan su utilización en forma universal; por lo que el uso de indicadores en un análisis multicriterio resulta un instrumento válido para cuantificar los distintos aspectos que conforman un sistema ^[5] de producción agropecuaria. El desarrollo de los indicadores para este estudio se realizó considerando las características locales de los sistemas productivos. La metodología especialmente aplicada para este trabajo ^[1,4,5], basada en un abordaje holístico y se tradujo en un conjunto de indicadores que permitieron evaluar el grado de sustentabilidad en las dimensiones social (61.57), ambiental (69.94) y económica (46.92) (Tabla 2, 3 y 4).



Tabla 2. Indicadores utilizados para evaluar sustentabilidad de las unidades de producción para la dimensión social.

Componente	Indicadores	UP	Valor Máximo
Satisfacción de las necesidades básicas	Escolaridad	8.17	12.5
	Servicios ^a	16.12	25
	Aprendizaje de la producción	10.61	12.5
Integración social	Trabajo colectivo	2.78	12.5
	Tiempo de vivir en el lugar	9.89	12.5
Autosuficiencia	Generación de empleo	4.0	12.5
	Antigüedad de dedicarse a la producción	10.0	12.5
TOTAL		61.57	100

^a Ponderación del indicador con un coeficiente 2.

UP: Unidades de producción.

Tabla 3. Indicadores utilizados para evaluar sustentabilidad de las unidades de producción para la dimensión ambiental.

Componentes	Indicadores	UP	Valor Máximo
Diversidad	Razas y origen de los animales	9.11	12.5
Transmisibilidad	Capacidad de persistencia y sucesión	7.89	12.5
	Aprovechamiento adecuado de recursos locales	9.50	12.5
Organización del espacio	Espacio per cápita	8.17	12.5
	Manejo de materia orgánica	11.33	12.5
Salud del Hato	Comportamiento del rebaño	7.22	12.5
	Aspecto del rebaño	7.22	12.5
	Alimentación y sanidad	9.50	12.5
TOTAL		69.94	100

UP: Unidades de producción.



Tabla 4. Indicadores utilizados para evaluar sustentabilidad de las unidades de producción para la dimensión económica.

Componentes	Indicadores	UP	Valor Máximo
Viabilidad Económica	Autosuficiencia ^b	10.8	15
	Canales de comercialización ^b	10.2	15
Eficiencia de proceso productivo	1. Flujo ^b	4.8	15
	2. Flujo económico/ rebaño ^b	10.27	15
	3. Flujo económico/ estacional ^b	3.73	15
	4. Flujo económico/ anual ^a	7.12	25
TOTAL		46.92	100

^a Ponderación del indicador con un coeficiente 2.

^b Ponderación del indicador con un coeficiente 1.2.

UP: Unidades de producción.

Las UP ovina analizadas cumplieron adecuadamente con los componentes de la dimensión ambiental, ya que las condiciones para considerar un sistema ecológicamente sustentable es el reciclaje de la materia orgánica, y la conservación y uso adecuado del capital natural ^[7], y en este estudio los valores de sustentabilidad obtenidos para los indicadores de aprovechamiento de recursos locales (9.50) y manejo de materia orgánica (11.33) confirman la existencia de una racionalidad ecológica de parte de los productores agropecuarios de la zona en estudio.

La dimensión económica obtuvo un valor bajo (46.92) con respecto a las otras dos dimensiones; por lo cual, se infiere que estos sistemas de producción se mantienen económicamente y las labores relacionadas con el proceso productivo de manera consiente o no, minimizan el deterioro ambiental.

5. Conclusiones

Los sistemas productivos obtuvieron un mayor valor de sustentabilidad en la dimensión ambiental al utilizar de forma racional sus recursos en disminución del agotamiento de los recursos. Sin embargo, en estos sistemas no se generan empleos, ya que la mayoría de los productores fueron auto empleados de sus sistemas reflejados en el flujo estacional y flujo anual. Es importante reconocer las características de los sistemas que se consideran dentro de los límites de las reglas ecológicas, para lo cual es necesario el uso de indicadores, como los propuestos en este trabajo para conocer cuales son las variables de la sustentabilidad que son afectadas y tener la oportunidad de modificarlas para la optimización del sistema en términos de la sustentabilidad.



6. Bibliografía

1. Vences P. J., Nájera G. A de L., Albarrán P. B., Arriaga J. C. M., Rebollar-Rebollar S y García M. A. “Utilización del método idea para evaluar la sustentabilidad de la ganadería del Estado de México”. En: Sustentabilidad productiva sectorial. Algunas evidencias de aplicación David Iglesias Piña, Fermín Carreño Meléndez y Alan Noe Jim Carrillo Arteaga (coordinadores) Universidad Autónoma del Estado de México. 2015.
2. Giraldo D. R. y Valencia T. F. L. “Evaluación de la Sustentabilidad ambiental de tres sistemas de producción agropecuarios, en el corregimiento Bolo San Isidro, Palmira (Valle del Cauca)”. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. RIAA 1 (2), 7-17. 2010.
3. Torres L. P., Rodríguez S. L. y Sánchez J. Ó. “Evaluación de la sustentabilidad del desarrollo regional: El marco de la agricultura”. Región y sociedad, 16(29), 109-144. 2004.
4. Losada H., Cortés J., Rivera J., Vieyra J., Castillo A. y González R. Evaluación de la sustentabilidad de sistemas de engorda de ganado de carne de pequeña escala que contribuyen al abasto de la Ciudad de México. Livestock Research for Rural Development. 21 (12). 2009.
5. Sarandón S.J. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En: Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable (Sarandón SJ, ed). Ediciones Científicas Americanas: 393-414. 2002.
6. Pacini C., Wossink A., Giesen G., Vazzana C. y Huirne R. Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment 95: 273-288. 2003.
7. Harte M.J. Ecology, sustainability, and environment as capital. Ecological Economics 15: 157-164. 1995.



Comportamientos e índices de incidencia de *Varroa destructor* en un sistema apícola en el municipio de Tlalmanalco, Estado de México.

Lorena Luna Rodríguez ■ Juan Manuel Vargas Romero ■ Francisco Lenin Bartolo Reyes
Hermenegildo Román Losada Custardoy ■ José Cortés Zorrilla ■ Jorge Eduardo Vieyra Durán
Viridiana Alemán López ■ René Rodríguez Florentino ■ Alejandra González Franco

Área de Sistemas de Producción Agropecuarios.
Departamento de Biología de la Reproducción.
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México
roguez@xanum.uam.mx, dianoa08@gmail.com

1. Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar las variables que afectan la eficiencia de un sistema apícola del municipio de Tlalmanalco, Estado de México. El comportamiento higiénico se determinó a las 24 h con el método de nitrógeno líquido (N_2), para el comportamiento defensivo se utilizó Isopentil Acetato al 97 % y la producción de miel se determinó por diferencia de peso. Se obtuvo la mediana, media, coeficientes de variación y se realizó un análisis de correlación y regresión entre variables. Los resultados indicaron que existió uniformidad en la producción de miel y el comportamiento higiénico. El análisis de correlación indica que cuando se incrementa la presencia de *Varroa destructor*, el porcentaje de higiene es menor. El conocimiento de la situación del apiario proporcionara a los productores alternativas de control acorde a las condiciones encontradas en las variables de defensa, higiene, incidencia por *Varroa destructor* y producción de miel.

2. Introducción

La apicultura es una actividad de gran importancia a nivel mundial, de la cual se obtienen productos como miel (principal producto de la colmena), cera, propóleo, jalea real y apitoxina. La abeja melífera europea (*Apis mellifera*) es originaria del viejo mundo, pero fue traída al continente americano por colonizadores europeos en el siglo XVII. A partir de entonces se extendió la apicultura con este recurso genético por el territorio mexicano. En México, la apicultura se ha de-



sarrollado con éxito y relevancia económica, ocupando el sexto lugar como productor y el tercero como exportador de miel a nivel mundial ^[1].

Las *Apis mellifera* son eusociales, esto se relaciona con una mayor exposición de agentes patógenos y la transmisión de enfermedades. Sin embargo, la sociabilidad también proporciona protección contra parásitos a nivel de colonia; así como, el comportamiento de defensa colectiva resguarda a la colonia; la alta defensividad se asocia con la africanización de las colmenas ^[2]. Los comportamientos anteriores son importantes en el sistema de producción apícola, para el manejo de los apiarios y la economía de los apicultores (producción de miel). Por tanto, las variables que deben de considerarse para la eficiencia del sistema apícola son: 1) El comportamiento defensivo, 2) El comportamiento higiénico, 3) Incidencia por *Varroa destructor* y 4) Producción de miel.

El comportamiento defensivo de *A. mellifera* es considerado como una manifestación fenotípica relacionada con la defensa individual, así como de la población; esta es desencadenada mediante estímulos físicos, químicos o biológicos ^[3] e independientemente del porcentaje de genes africanos responden a los efectos ambientales como temperatura interna o externa de la colmena, la hora del día, la cantidad de pecoreadoras y la cantidad de alimentos que tenga ^[4].

El comportamiento higiénico de *A. mellifera* es una característica y habilidad que presentan las abejas obreras para detectar larvas, pupas enfermas o muertas, desopercular las celdas y remover las crías enfermas desde la cámara de cría hacia el exterior de la colonia de manera temprana en la colmena ^[5], interrumpiendo con esto el ciclo de enfermedades y sus posibilidades de dispersión ^[6] de patógenos de origen bacteriano como Loque Americana (*Paenibacillus larvae*), de origen fungoso ascosferosis (*Ascosphaera apis*) y de parásitos como *Varroa destructor* (*Varroa jacobsoni*) ^[7].

La producción de miel está determinada por el número de cosechas, por las condiciones de manejo, el número de colmenas contenidas en los apiarios, el número de bastidores por alza aprovechados por las abejas y la cantidad de alzas disponibles para este proceso; también la organización de cada colmena influye en la producción individual de cada una de ellas.

En el valle de México en la zona periurbana de la ciudad existen sistemas de producción apícola. Por lo cual, el objetivo de este estudio fue evaluar las variables de comportamiento y productivas que afectan la eficiencia de un sistema apícola del municipio de Tlalmanalco, Estado de México.



3. Condiciones experimentales

3.1 Ubicación

El sistema de producción apícola evaluado pertenece a “Producción e Industrialización de Miel Ixta-Popo S.P.R. de R.L.” y está ubicado en Tlalmanalco, Estado de México; entre los paralelos 19°09′ y 19°16′ de latitud norte; los meridianos 98°38′ y 98°52′ de longitud oeste y a una altitud entre 2 300 y 5 300 m^[8].

3.2 Clima, uso del suelo y vegetación

El municipio tiene un clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (48.12%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (42.37%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (5.03%) y frío de altura con marcado invierno (4.48%). El rango de temperatura es de 4 a 16°C, con precipitaciones de 700 a 1 200 mm. El uso del suelo es agrícola, pecuario y urbano; y la vegetación es de bosque y pastizal^[8].

3.3 Evaluación de variables

Se utilizaron 34 colonias de *A. mellifera* alojadas en colmenas tipo jumbo, alineadas con la piquera hacia la misma dirección (20 cm sobre el piso) para evaluar el comportamiento defensivo, higiénico, producción de miel e incidencia por *Varroa destructor*.

- **Medición de comportamiento productivo**
El método para medir la productividad fue por diferencia de peso. Las alzas que se agregaron a cada colmena se mantuvieron hasta el fin de la floración. Al momento de extraer la miel se hicieron dos pesajes de las alzas; uno antes de extraer la miel y otra después.
- **Medición de comportamiento defensivo**
Se utilizó la metodología modificada de Guzmán et al.^[9]. Sobre la piquera se colocó por 30 s un papel filtro de 1 cm² con 5 µL de feromona de alerta (Isopentil Acetato al 97 %, Sigma-Aldrich, EEUU). Concluido este tiempo se agito por 30 s una bandera de carnaza oscura de 10 cm². Finalmente se contabilizaron los aguijones en la carnaza y se registró el comportamiento de la colonia.
- **Medición del porcentaje de higiene**
Se realizó con el método de nitrógeno líquido (N₂) descrito por Medina et al.^[10], en un bastidor operculado se colocó un cilindro metálico (8 cm de diámetro x



10 cm de altura), luego se contabilizaron las celdas operculadas situadas dentro del cilindro. Para sacrificar a las pupas, se agregaron dos dosis de 150 mL de nitrógeno líquido (1 min entre cada dosis). El conteo de celdas desoperculadas y removidas por las abejas se realizó a las 24 h y se determinó el porcentaje de higiene con la siguiente fórmula:

$$\text{Comportamiento Higiénico} = \frac{(\text{No. de celdas limpias al conteo} - \text{No. de celdas vacías})}{\text{Total de crías operculadas congeladas}}$$

I Diagnóstico de Varroa destructor

Se realizaron muestreos por colmena (200 abejas adultas aproximadamente) en un recipiente con alcohol al 70 % v/v. Posteriormente se lavaron las abejas en una solución de detergente y se contabilizó el número de ácaros y abejas presentes [11]. El porcentaje de incidencia se determinó al dividir el total de ácaros entre el número de abejas de la muestra y el resultado se multiplicó por 100.

3.4 Análisis de datos

Mediante estadística descriptiva se obtuvo la mediana, media y los coeficientes de variación. Además, se realizó un análisis de correlación y regresión entre las variables de porcentaje de incidencia por Varroa destructor y el comportamiento higiénico, utilizando el programa estadístico Statdisk 12.0.2.

4. Resultados y discusión

En la tabla 1 se muestra la estadística descriptiva para las determinaciones de comportamiento defensivo, higiénico, producción de miel e incidencia por Varroa destructor, en donde el coeficiente de variación con mayor magnitud coincide con el número de aguijones con una mayor variabilidad relativa. Debido a la dispersión de los datos se muestran mediante histogramas (Figura 1) que nos permiten observar la tendencia de cada variable y donde los picos representan los valores más comunes, coincidiendo con el valor de la mediana.



Tabla 1. Producción de miel, comportamiento higiénico y defensivo, e infestación por Varroa

Determinación	Mediana	Media	Coefficiente de variación, %
Incidencia por Varroa, %	1.06	1.50 ± 1.311	87.58
Número de agujones	3	9 ± 13.149	146.11
Higiene, %	55.576	55.896 ± 20.799	37.21
Producción de Miel, Kg	33.5	33.5 ± 9.731	30.15

La forma asimétrica de la gráfica (figura 1, inciso a y b), indica que los datos pueden no estar distribuidos normalmente y que existen valores atípicos que afectan o no, la eficiencia de los sistemas apícolas. Por ejemplo, en la figura 1 (inciso a) el número de agujones presenta tendencia a un rango entre 0 y 12, con una media de 3; valores que indican docilidad y favorecen el manejo de las colmenas. En la Figura 1 (inciso c y d) se pueden observar datos multimodales, lo cual indica que existen uniformidad en los comportamientos productivos y de higiene. El análisis de correlación indica que cuando se incrementa la presencia del acaro Varroa destructor, el porcentaje de higiene es menor (Figura 2). Estos resultados permiten inferir que Varroa destructor, tiene un efecto detrimental en el sistema apícola en estudio; ya que puede reducir en el periodo de vida de las abejas, y a su vez la eficiencia de las colonias de abejas.

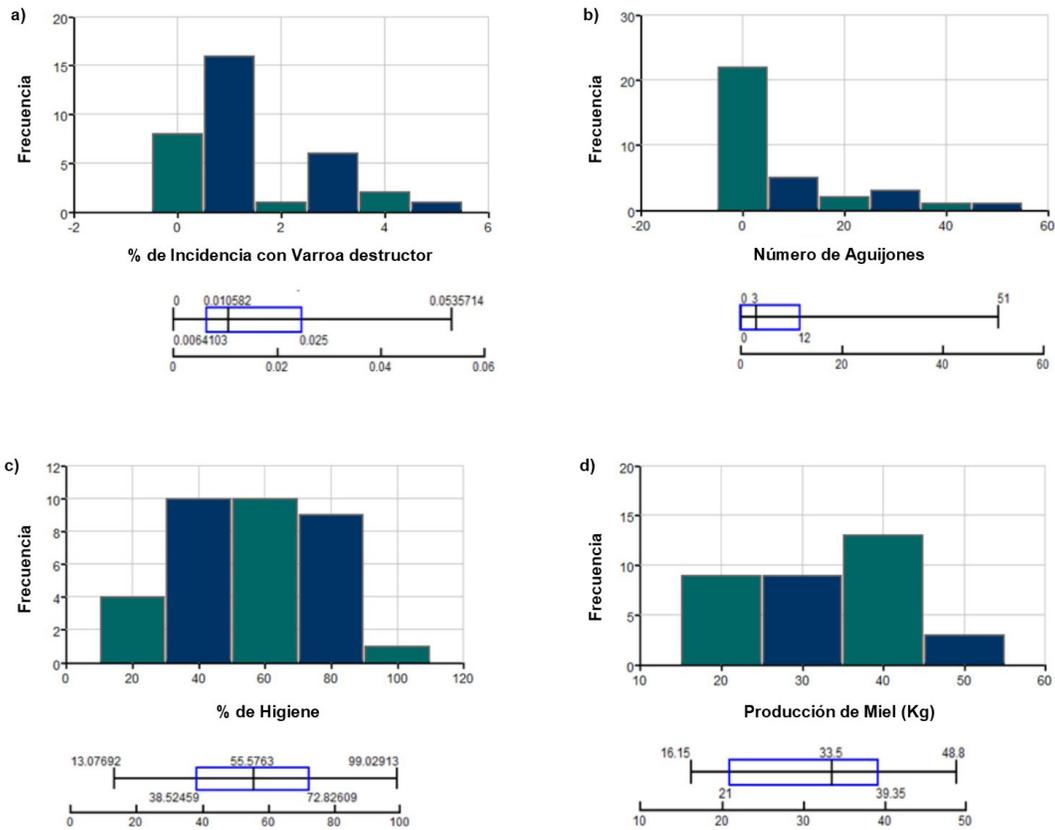


Figura 1. Tendencias en el comportamiento defensivo, higiénico, productivo e incidencia por Varroa destructor en abejas adultas del apiario “Producción e Industrialización de Miel Ixta-Popo S.P.R. de R.L.”

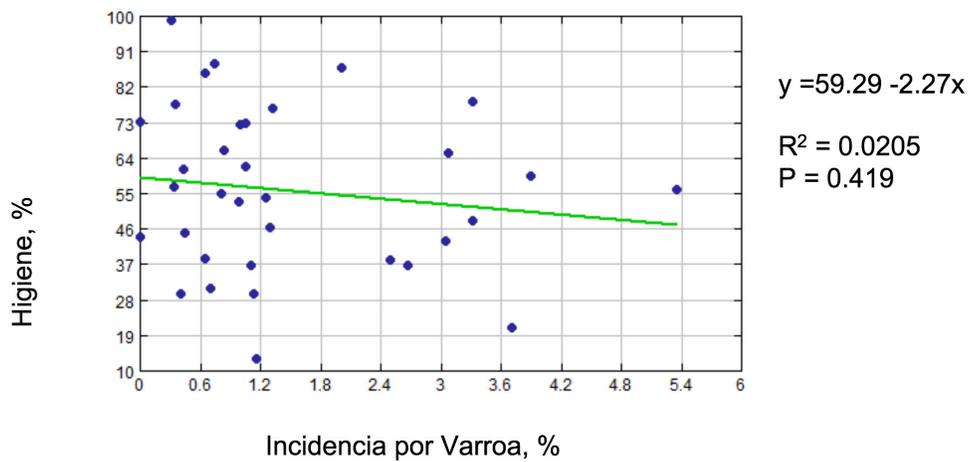


Figura 2. Relación entre el nivel de incidencia (%) por Varroa destructor en abejas adultas y la higiene (%)



5. Conclusiones

En este estudio las tendencias observadas en las variables muestran heterogeneidad en el sistema de producción, lo que hace difícil el manejo y perjudica su producción. El conocimiento de la situación del apiario proporcionara a los productores ventajas en la toma de decisiones respecto al manejo y control del sistema.

6. Bibliografía

1. Magaña M.M.A., Tavera C.M.E., Salazar B.L.L. y Sanginés G.J.R. Productivity beekeeping in Mexico and its impact on profitability. *Revista Mexicana de Ciencia Agrícola*, 7 (5):1103-1115. 2016.
2. Uribe J., Guzmán E., Hunt G., Correa A. y Zozaya J. Efecto de la africanización sobre la producción de miel, comportamiento defensivo y tamaño de las abejas melíferas (*Apis mellifera L.*) en el altiplano mexicano. *Veterinaria México*, 34 (1):47-59. 2003.
3. Castañeda M. F., Padilla G. E., Avelar C. S. y Largle R. E. Programa nacional para el control de la abeja africana. *Notiabeja*; SAGARPA. 2010.
4. Rubio U. J. L., Novoa G. E., Hunt J. G., Benítez C. A. y Rubio Z. J. A. Efecto de la africanización sobre la producción de la miel, comportamiento defensivo, y tamaño de las abejas melíferas (*Apis mellifera L.*) en el altiplano mexicano. 34 (1) 48-49. 2002.
5. Gramacho K. P. y Spivak M. Differences in olfactory sensitivity and behavioral responses among Money bees bred for hygienic behavior. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 54: 472-479. 2003.
6. Spivak M. y Gilliam M. Facultative expression of hygienic behaviour of honey bees in relation to disease resistance. *J. Apic. Res.*, 32 (3-4): 147- 157. 1993.
7. Principal J., D'Aubeterre R., Barrios J. C., Puzzar S., García de la Rosa S. B. y Fuselli R.S. Comportamiento higiénico de las abejas africanizadas (*Apis mellifera scutellata Lepeletier*) en apiarios del estado Lara, Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 26(2): 167-173. 2008.
8. INEGI. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tlalmanalco, México. 2009.
9. Guzmán N.E., Prieto M.D., Uribe R.J.L. y Hunt G.J. Relative reliability of four field assays to test defensive behaviour of honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of Apicultura Research*, 42(3):42-47. 2003.
10. Medina F., Guzmán N., Arechiga F., Gutiérrez B. y Aguilera S. Producción de miel e infestación con *Varroa destructor* de abejas africanizadas (*Apis mellifera*) con alto y bajo comportamiento higiénico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(2):157-170. 2014.
11. De Jong D., Roma A. y Gonçalves L.S. A comparative analysis of shaking solutions for the detection of *Varroa jacobsoni* on adult honeybees. 13(3):297-306.1982.



UAMmero, software para estimar el consumo de combustible y las emisiones de bióxido de carbono de vehículos pesados.

Nicolás Domínguez Vergara ■ José Luis Pantoja Gallegos ■ Daniel Nicolás Domínguez Pérez

Departamento de Sistemas.

Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, México.

ndv@correo.azc.uam.mx

1. Resumen

Se describe el paquete computacional, UAMmero, que es amigable y apropiado para estimar el consumo de combustible y las emisiones de bióxido de carbono de vehículos pesados durante los tres ciclos de manejo del Federal Test Procedure 1975 (FTP-75) de Estados Unidos de América, así como también para recorridos en carretera. UAMmero podría ser la herramienta de certificación a la norma oficial mexicana que desarrolle el Gobierno Federal de México para vehículos pesados sobre el consumo de combustible y emisiones de bióxido de carbono. Además, con las simulaciones se podrá recomendar cómo ahorrar combustible, lo cual es muy importante porque el precio del litro del diésel ha aumentado en más 200% desde el año 2007 y se importa más del 60% del que se consume en el México. En este trabajo se describe el modelo UAMmero; su base teórica, su uso y algunos de sus resultados.

2. Introducción

El sector transporte es el mayor contribuyente de emisiones antropogénicas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), como el bióxido de carbono (CO₂)^[1]. El sector transporte contribuye con el 27% de las emisiones en los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y de éstas del 55 al 99% de las emisiones se originan en el subsector del transporte por carretera, dos tercios de las cuales son asignadas a los automóviles^[1]. No existen normas nacionales para la eficiencia energética de vehículos pesados (de más de 3.857 toneladas (tons)). La edad promedio de la flota vehicular de vehículos pesados en México es de 17 años^[2]. A estos vehículos se les sobrecarga para disminuir el costo del transporte. El precio del diésel aumentó de menos de 6



pesos por litro en enero del año de 2007 a un máximo de 19.21 pesos por litro el 14 de julio de 2018. Mucha normatividad en México se implanta sin estar respaldada por estudios técnicos^[3], como los que se pueden llevar a cabo usando UAMmero. UAMmero, significa Modelo de Emisiones Resultantes de la Operación de vehículos pesados desarrollado por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).

El gasto por el combustible es alrededor del 40% de los costos de operación de las compañías de transporte. Los vehículos pesados nuevos son caros y el *hombre-camión* de México no puede comprarlos; muchos de estos vehículos que se encuentran en operación son *Frankensteins*, re-manufacturados con partes nuevas o usadas que van reemplazando a las desgastadas y sin dispositivos anticontaminantes efectivos.

Estados Unidos de América (EUA), Japón, Canadá, China, países europeos y algunos otros han realizado y realizan esfuerzos para establecer normas de consumo de combustible de vehículos pesados. En EUA se aprobó una regulación en el año 2011 que ha estado en efecto^{[4][5]}. En EUA, la Environmental Protection Agency (EPA) desarrolló un paquete computacional llamado Greenhouse Gas Emissions Model (GEM) para certificar a los vehículos pesados de ese país al consumo de combustible y emisiones de CO₂^{[4] [5] [6] [7] [8]}.

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) de México ha intentado elaborar desde finales del año de 2012 una norma de consumo de combustible y emisiones de CO₂ para vehículos pesados, pero para hacerlo necesita de un paquete computacional como el GEM. En reuniones de planeación para la elaboración de una norma llevada a cabo en la CONUEE en 2012 se concluyó que el GEM no modelaba casos típicos de México. Esa fue la razón principal para desarrollar UAMmero, que es un software creado en la UAM por los autores. UAMmero se ha desarrollado en lenguaje C y usa la paquetería gratuita de *koolplots* para graficar.

El código fuente de la versión 1 del GEM fue distribuido en el año 2012 pero no el de la versión 2 que se desarrolló posteriormente, así que en este texto cuando nos referimos al GEM es a su versión 1. La versión 2 del GEM supuestamente mejora partes que se le criticaron a la versión 1. De hecho, en este sentido también se han promulgado modificaciones a la norma de EUA y una nueva versión de esa norma se publicó en el año 2016^[9]. La versión 1 del GEM ha sido muy útil para los autores; para obtener información de sus modelos de vehículos pesados y para comparar sus resultados con los de UAMmero.

En este trabajo describimos las características de UAMmero, sus bases teóricas y presentamos algunos de los resultados que se obtienen de su uso.



3. CARACTERÍSTICAS DE UAMmero Y SUS BASES TEÓRICAS

El software UAMmero:

- a. Usa software libre. En contraste el GEM de la EPA que ya se usa para certificar vehículos nuevos en EUA requiere el software comercial MATLAB con SIMULINK que es caro y cuya licencia necesita renovarse con frecuencia.
- b. Estima el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ de los vehículos pesados incluyendo aquellos que viajan sobrecargados y se mueven en pendientes considerables. El GEM no modela vehículos sobrecargados ni en pendientes.
- c. Permite considerar transmisiones de hasta 18 velocidades que son muy típicas en México en los tractocamiones con doble remolque. GEM modela sólo hasta 10 velocidades.
- d. Funciona para vehículos nuevos y viejos. El GEM sólo considera vehículos nuevos.
- e. Puede incorporar otros ciclos de manejo diferentes a los del GEM.
- f. Usa modelos de los motores de EPA, pero fácilmente se pueden incorporar otros.
- h. Puede ser una herramienta útil en la capacitación de operadores de vehículos pesados.
- i) Estima consumo de combustible y CO₂ en carretera. El GEM no tiene esta capacidad.
- j) Podría ser la herramienta para certificar vehículos pesados nuevos a la norma mexicana que se desarrolle al respecto.
- k) Los resultados pueden ser útiles en la administración del transporte de carga.
- l) Se podría usar para comparar con resultados de los dispositivos *On Board Diagnostics* (OBD) para asegurar que no estén manipulados.

UAMmero, estima el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ a partir de modelos matemáticos de los vehículos motorizados. El motor genera el torque que se transmite al resto del tren motriz. Las partes del tren motriz son el motor, el clutch, la transmisión, el diferencial, las ruedas y los ejes que unen las partes del tren motriz^[10]. La rotación del eje de motor se transmite hasta las llantas pero modificada por las relaciones de la transmisión dependiendo del engrane al que se esté enganchado (primera, segunda, tercera, etc.); así como también de la relación del diferencial^[10]. La dinámica vehicular se describe por la ecuación 1^[10].

$$(M + m_{inercial})a = \frac{T_e N_t a}{r_w} - F_a - F_p - F_r \quad (1)$$



Donde F_a es fuerza aerodinámica, F_p la fuerza debida a la pendiente del recorrido, F_r la fuerza debida al rodamiento de las llantas, M es la masa del vehículo, $m_{inercial}$ la masa inercial, a la magnitud de la aceleración lineal del vehículo, r_w el radio de las llantas y T_e el torque del motor. En este modelo el vehículo se mueve en línea recta. N_{td} representa las relaciones combinadas de la transmisión y el diferencial incluyendo las eficiencias de la transmisión y el diferencial; esta variable es más compleja para tractocamiones y vehículos con muchas ruedas y ejes. En UAMmero hasta el momento se modelan cinco clases de vehículos pesados. La potencia que se necesita para mover el vehículo está dada por la fuerza total multiplicada por la magnitud de la velocidad. El mapa de combustible del motor proporciona el consumo de combustible en kg/seg para una pareja torque y revoluciones por minuto del motor (rpm) del motor.

Se simula que el vehículo se mueve en línea recta en los 3 ciclos del FTP-75 y en carretera. Cada uno de los 3 ciclos del FTP-75 tiene una duración de 800 segundos. En las desaceleraciones consideramos que no hay consumo de combustible porque en la operación de un vehículo no se oprime el pedal del acelerador. Los modelos de los motores que usamos en este trabajo corresponden a modelos que cumplen con la normatividad de motores EPA 2010. Para calcular el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ se calcula primero el torque y las rpm que debe proporcionar el motor para vencer las fuerzas de resistencia al movimiento del vehículo. Después, ya con el torque y la rpm del motor se usa el mapa de combustible del motor para calcular el consumo de combustible. El mapa depende de cada vehículo. El mapa de combustible del motor, es una tabla con el consumo de diésel para pares de torque y rpm del motor. Del consumo del diésel se calculan las emisiones de CO₂: 2.6 kilogramos de CO₂ por cada litro de diésel.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha comenzado a usar UAMmero para estudiar las emisiones de los vehículos pesados en su operación^[11]. En esta sección mostramos nuevos resultados no publicados antes. En la figura 1 se muestra la altura como función de la distancia (desde la Ciudad de México) de la carretera Ciudad de México (México)-Ciudad de Tapachula (Tapachula) que se usa en UAMmero.

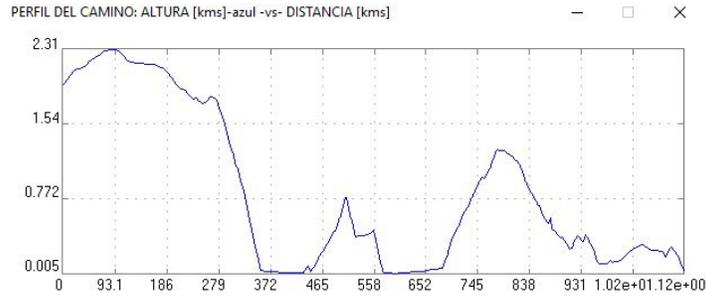


Figura 1. Altura (en km) contra distancia (en km) de la carretera México-Tapachula usada en UAMmero (como se obtiene de UAMmero). El recorrido es de 1117 km.

La figura 2 muestra el consumo de combustible acumulado para un tractocamión con un remolque que transporta 20 tons de carga. Las características del tractocamión son las que se usan en la referencia 11. En la figura 3 se muestra la rapidez del vehículo.

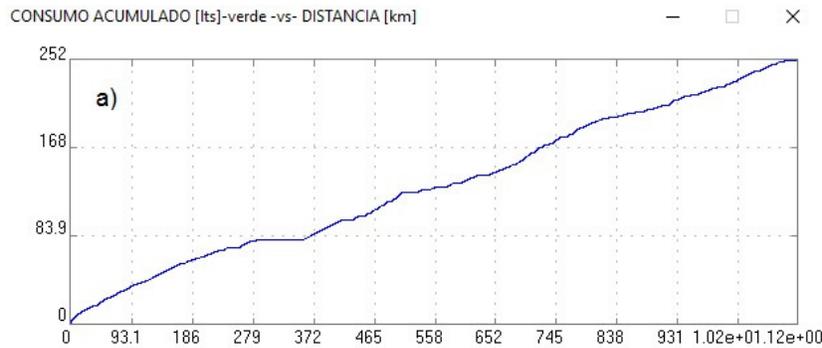


Figura 2. Consumo de combustible de tractocamión con 20 tons de carga. México a Tapachula.

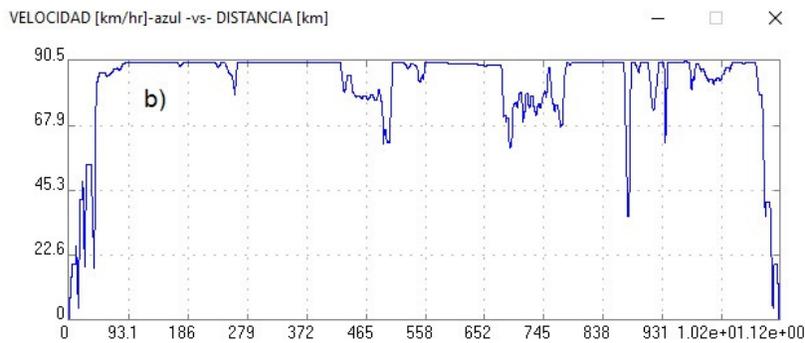


Figura 3. Rapidez del vehículo. México a Tapachula. (Resultado como lo proporciona UAMmero.)

En la figura 3 los mínimos en la rapidez se alcanzan en pendientes positivas (subidas) de la carretera y los máximos cuando el vehículo viaja en pendientes negativas (bajadas) o cero pendientes. Cerca de las ciudades se propuso que la rapidez del ve-



hículo cambiara apreciablemente debido a cruces de carreteras y calles; los detalles de la geografía del camino se incluirán en trabajos posteriores. La figura 4 muestra la potencia para mover al vehículo durante ese viaje.

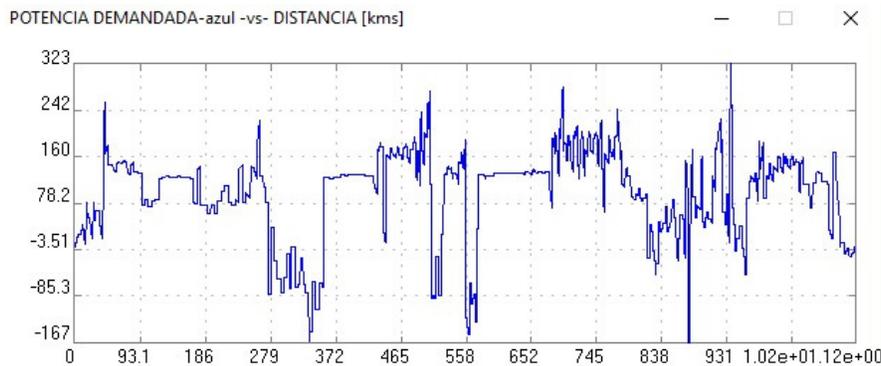


Figura 4. Potencia (kW-hr). (Resultado como lo proporciona UAMmero.)

UAMmero proporciona el costo del viaje que en este caso es de \$4836.38 pesos (considerando a \$19.21 el litro de diésel); las emisiones de CO₂ de 0.65 tons y el costo ambiental de 7.86 dólares (asumiendo la tonelada de CO₂ a 12 dólares) entre otros resultados.

5. Conclusiones

UAMmero es un software que estima el consumo de combustible y las emisiones de bióxido de carbono de vehículos pesados simulando la operación de esos vehículos en carretera. Por lo anterior, podría ser una herramienta útil en la certificación de vehículos pesados al consumo de combustible, así como para hacer recomendaciones de cómo disminuir mediante las simulaciones computacionales el consumo de combustible de empresas que se dedican al transporte de carga.

6. Bibliografía

1. Mendoza Sánchez J. F., Salazar Cortez A., “Inventario de emisiones en los principales corredores de transporte carretero en México”, Instituto Mexicano del Transporte, 2014.
2. Chávez Lara G., “La importancia del autotransporte en México”, Revista Transporte e Industria, No. 83, 4-7 (2016).
3. Delgado Peralta M., “Los errores de la contingencia atmosférica”, Este País, No. 304, 8-15 (2016).



4. EPA-NHTSA, “Final Rulemaking to Establish Greenhouse Gas Emissions Standards and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-Duty Engines and Vehicles, Regulatory Impact Analysis”, 2011.
5. Environmental Protection Agency, “Greenhouse Gas Emissions Model (GEM) User Guide”, 2010.
6. Environmental Protection Agency, “Peer Review of the Greenhouse Gas Emissions Model (GEM)”, 2011.
7. Domínguez N. y Moreno A., “Análisis de un modelo para la certificación de vehículos pesados”, Libro Científico I, 2013, del Congreso Internacional Mujeres en las Ciencias, Editorial UAM, 21-30 (2013).
8. US EPA y NHTSA., “Heavy-Duty Engine and Vehicle, and Nonroad Technical Amendments”, Federal Register, V. 78., No. 116 (2013).
9. EPA y NHTSA., “Greenhouse Gas Emissions and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-Duty Engines and Vehicles — Phase 2”, Federal Register, V. 81, No. 206 (2016).
10. Kiencke U., Nielsen L., “Automotive Control Systems, For Engine, Driveline, and Vehicle”, Springer-Verlag, 2005.
11. N.Domínguez Vergara, J.L. Pantoja Gallegos y D.N. Domínguez Perez., “La contaminación del aire en la Ciudad de México en la primavera del 2016”, Libro Científico I, 2018, del Congreso Internacional Mujeres en las Ciencias, Editorial UAM, 113-126 (2018). (En impresión.)

AGRADECIMIENTOS

Les agradecemos a nuestros colegas Marco Antonio Gutiérrez V., Carlos Alberto Rivera S., Alejandro Cruz S., Armando Maldonado S., Javier García O. y Luis Kato M por muchas discusiones y comentarios. Uno de los autores (N. D.-V.) Le agradece a su esposa por todo su apoyo.



Efecto pirolítico de los sólidos en suspensión de destilados primarios en representación de crudo maya por moléculas modelo.

Jesús Noriega Daniel ■ Lorena Ramírez Cossio
Pavel Rizo Acosta ■ José Ángel Dávila Gómez

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
iq.jesusnoriega@gmail.com

1. Resumen

Una representación de los destilados primarios del crudo Maya obtenida por destilación diferencial, fue llevada a cabo a partir de su análisis PIONA. Para esto se utilizaron reactivos de laboratorio con el fin de obtener una mezcla modelo representativa de dichos destilados primarios en donde también se adicionan sólidos en suspensión del crudo. Estos últimos fueron obtenidos por lavado y centrifugación, y posteriormente sometidos a un proceso equiparable de destilación diferencial o atmosférica; al cual hemos definido como “destilación reactiva (DR)”. Al final se obtuvieron sus curvas características de destilación atmosférica correspondientes mediando la recirculación de las fracciones con el objetivo de hacer una comparación, entre ellas. Esta comparación proporciona información acerca del craqueo térmico que se lleva a cabo en la zona de pirólisis, con posible causa catalítica proporcionado por los sólidos en suspensión presentes.

2. Introducción

Uno de los recursos energéticos más importantes de México son sus hidrocarburos, que se clasifican como Istmo, Maya y Olmeca; siendo el Olmeca el de mayor volatilidad por ser el más ligero, seguido del Istmo y posteriormente del Maya, más pesado; éste último también cuenta con los niveles más altos de azufre y con el más bajo rendimiento en gasolinas^[1].

Con la idea de optimizar la utilidad del crudo Maya, se han realizado investigaciones para mejorar el rendimiento de los destilados de las fracciones ligeras de éste. Cabe mencionar que estos trabajos han permitido resaltar la importancia y el efecto de recircular los destilados ligeros, de la zona de frac-



cionamiento a la zona de agotamiento, para formar compuestos más homogéneos a través del craqueo pirolítico, al producirse una recombinación de las fracciones del crudo acompañada de hidrosulfuración; así también, han permitido seleccionar los compuestos representativos de las fracciones del crudo Maya ^{[1],[2]}.

El mecanismo señalado sólo puede ser estudiado mediante la representación del crudo con moléculas modelo, debido a la complejidad del crudo Maya en particular, derivada de la composición de lotes distintos y de su proveniencia. Al efecto, Rizo et al, 2015, desarrollan una técnica básica para formular estas representaciones de crudo habiendo probado su eficacia en el estudio pirolítico sin sólidos en suspensión que antecede este trabajo ^[3].

3. Condiciones Experimentales

Una vez que ya se definieron las moléculas modelo y sus respectivas porciones, se determinó realizar en primera instancia, pruebas del equipo y de las instalaciones donde había sido desarrollado el proyecto previo, antecedente a éste (Villagrán, 2014), para tomar las precauciones pertinentes ^[5].

Por causas de no existencia en los inventarios universitarios y no disponibilidad en el mercado nacional, cabe resaltar que hubo un reactivo con el cual no se pudo disponer, que fue el correspondiente a la representación de la olefina; en este caso la parte correspondiente a este reactivo se reemplazó con la parte proporcional de los demás reactivos presentes en la mezcla modelo, obteniendo una mezcla, que se denominó “PINA” con la siguiente composición:

Tabla 1. Composición PINA y moléculas modelo

Tabla 6: Composición de mezcla modelo	
Volumen (%) de composición	Reactivo
35.14 %V Parafinas	n-Heptano
31.00 %V Isoparafinas	Iso-Octano
20.80 %V Naftenos	Ciclohexano
12.50 %V Aromáticos	Xileno

3.1 Pruebas y ensayos realizados

Las pruebas realizadas a los reactivos puros y a la mezcla modelo, son descritas a continuación:



- Destilación ASTM-D86 ^[5], es una prueba que consta de una destilación por lotes de 100 ml a presión barométrica; esta prueba tiene la finalidad de obtener la curva normalizada a una atmósfera, en una destilación extractiva (DE), de cada una de las mezclas propuestas para el estudio.
- Destilación Reactiva (DR) es una prueba que consta de una destilación por lotes a reflujo 5:1 y con rectificación; esta prueba tiene la finalidad de obtener una mezcla a partir de la destilación reactiva de misma, recirculando el condensado a la zona de pirólisis de la mezcla destilada.
- Finalmente, la mezcla DR obtenida se somete a una nueva prueba de destilación ASTM-D86 para obtener su curva de caracterización final correspondiente.

3.2. Equipo y montaje experimental

3.2.1. Destilación ASTM-D86 (DE)

Esta prueba se realizó utilizando el siguiente material de laboratorio para lotes de 100 ml como se muestra en la Fig. 1.

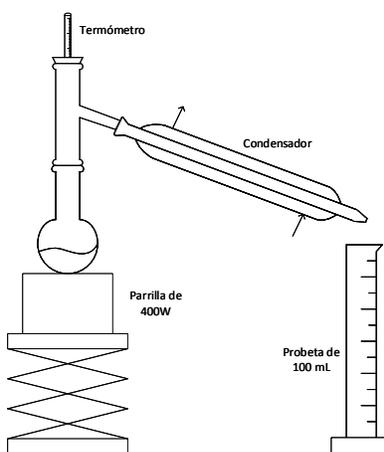


Figura 1. Sistema de destilación para la obtención de curvas ASTM-D86.

Las pruebas consisten en la lectura de la temperatura a la cual se obtiene cierto volumen de destilado; se inicia la lectura de temperatura al obtener la primera gota de destilado y posteriormente a cada 5 ml de destilado obtenido. Cabe señalar que estas pruebas se realizan bajo las condiciones más cercanas a la norma ASTM-D86.

3.2.2. Destilación Reactiva (DR)

Para realizar esta prueba se utilizó el siguiente material de laboratorio para lotes de 500 ml conforme lo muestra la fig. 2.



La prueba consiste en realizar una destilación con rectificación, donde el destilado es condensado y recirculado totalmente al matraz de calentamiento esto a una temperatura por encima de los 170°C, con la finalidad de garantizar un craqueo de las moléculas y obtener la muestra de los gases producidos. Puesto que las temperaturas de equilibrio de los compuestos modelo no permitían mantener el rango de 170-180°C requerido para la desintegración térmica dentro del matraz receptor, se adicionó al mismo un aceite pesado de corte +220°C obtenido por destilación y sin residuos.

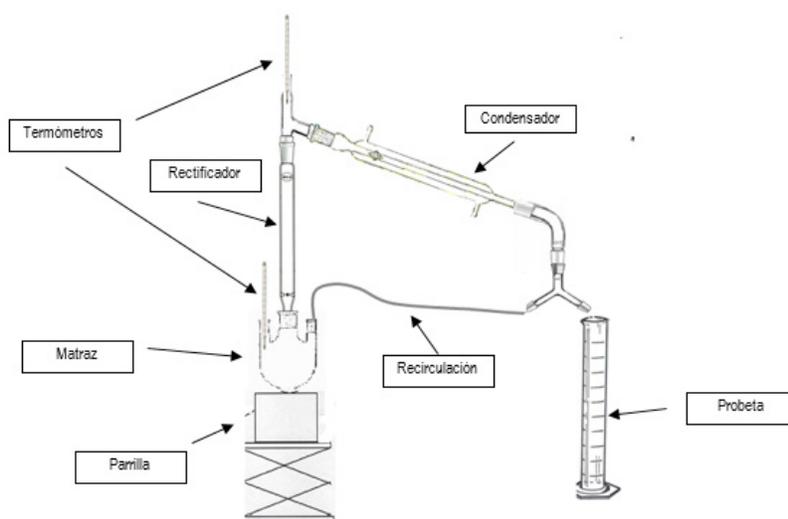


Figura 2. Instalación del equipo para la destilación reactiva.

3.2.4. Obtención de sólidos en suspensión

Para la obtención de los sólidos del Crudo Maya, se obtuvo una cantidad de 70 mil ppm, que corresponde al análisis disponible de sólidos totales en suspensión del crudo, los cuales se extrajeron adicionando 1 g de Crudo Maya en 10 ml de n-Heptano y sometido a centrifugación durante 30 minutos; una vez transcurrido el tiempo, se obtuvieron 0.56 mL para colocarlos dentro de la mezcla modelo PINA y así, proceder a realizar la destilación diferencial y reactiva.

3.2.5. Obtención de mezcla con moléculas modelo

Inicialmente se obtuvieron las curvas TBP^[6] de cada uno de los reactivos con los que se trabajó, obteniendo su temperatura promedio de destilación. Posteriormente, se realizó la mezcla modelo de la cual se obtuvo su curva ASTM-D86 correspondiente, con sólidos en suspensión y sin ellos. Finalmente, la mezcla modelo con los sólidos se sometió a una destilación reactiva obteniendo los gases en una trampa y posteriormente al líquido remanente se le obtuvo su curva de caracterización ASTM-D86 descrita.



4. Resultados y discusión

A continuación, se muestran las gráficas obtenidas en cada una de las pruebas realizadas, tanto de los compuestos modelo, puros, como de la mezcla modelo sometida a una destilación extractiva y a una destilación con recirculación o reactiva por degradación térmica (DR).

Ensayos TBP a compuestos modelo

La figura 3 siguiente, muestra los gráficos TBP para las cuatro moléculas modelo, empleadas. El material útil se tomó de la zona de destilación isotérmica estable.

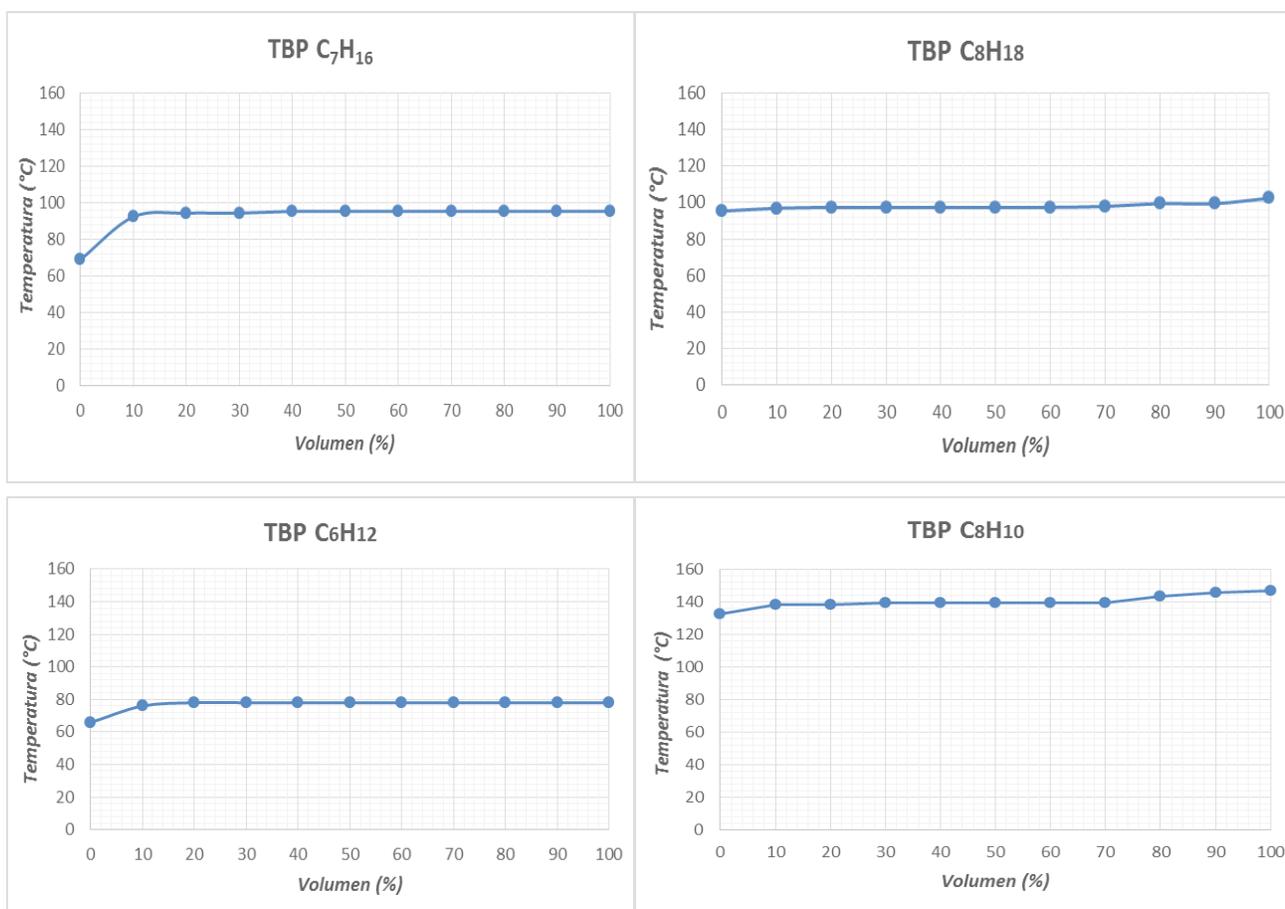


Figura 3. Curvas de destilación TBP para las cuatro moléculas modelo (n-heptano, iso-octano, ciclohexano y xileno), consideradas para la mezcla modelo.



Ensayos ASTM-D86

Las curvas obtenidas a presión normalizada de la mezcla modelo sin y con sólidos en suspensión en una destilación extractiva, son las siguientes (Fig. 4); la curva con sólidos en suspensión muestra un comportamiento térmico del orden de 27°C superior a la respectiva curva sin sólidos (izquierda) y TEMV=103°C y 130°C:

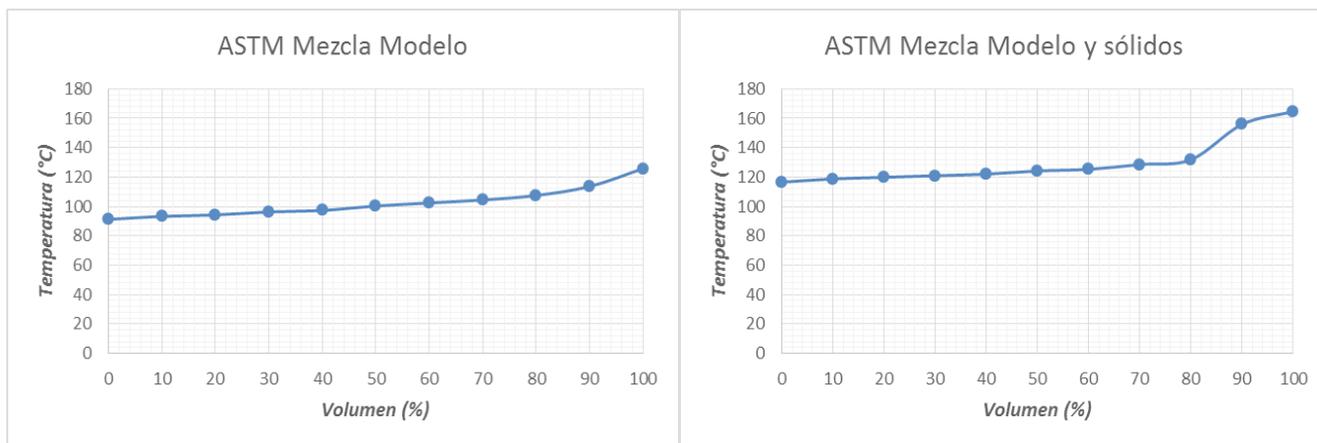


Figura 4. Curvas ASTM de la Mezcla modelo sin y con sólidos provenientes del Crudo Maya.

Ensayos DR

La curva ASTMD-86 obtenida a presión normalizada de la mezcla modelo con sólidos en suspensión, una vez realizada la destilación reactiva muestra el siguiente comportamiento (fig. 5), con un incremento de 35°C en el comportamiento térmico de la mezcla inicial (TEMV=165°C), no obstante merma en el volumen total por desintegración térmica.

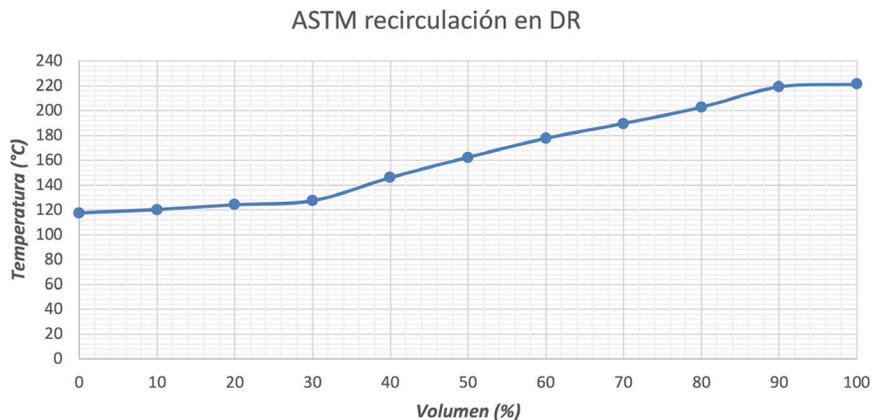


Figura 5. Caracterización ASTM de representación de crudo maya después de destilación reactiva



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La primera comparación entre la destilación extractiva de destilados primarios del crudo maya (DPCM) [2] y la mezcla modelo con sólidos presenta un comportamiento muy similar a diferencia de la temperatura de ebullición (85°C y 117°C respectivamente); la contraste entre ambas curvas se debe a las moléculas modelo empleadas, cuatro para esta mezcla; es decir, parafinas, isoparafinas, naftenos y aromáticos (PINA) y, más de cien moléculas en la DPCM obtenida del crudo. (Fig. 6).

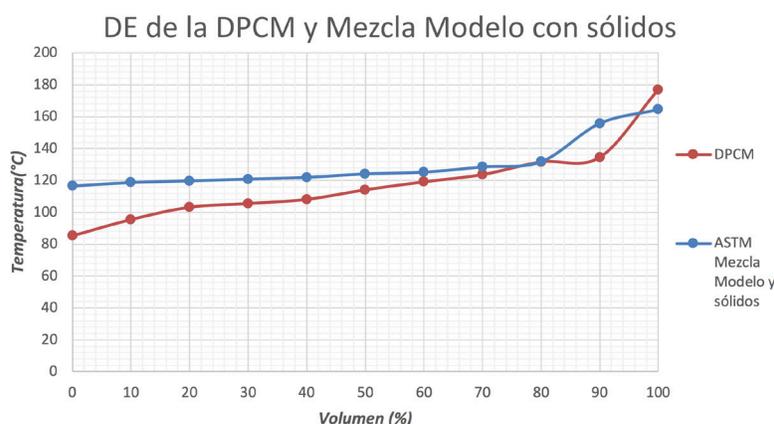


Figura 6. Comparación de las curvas ASTM de DPCM y la Mezcla Modelo con sólidos.

Mezcla modelo sin y con sólidos

Con los datos de la prueba de Destilación Reactiva, se comparan la curva ASTM de esta prueba con la curva ASTM de la Destilación Extractiva, ambos, de la mezcla modelo con sólidos; observamos que inician a una temperatura casi en común (117 para DE y 118 para DR), aumentando gradualmente a diferentes pendientes hasta un 30% del volumen obtenido, y del 30% al 100% hay una variación considerable en la aparición de compuestos más pesados que, aparentemente, se debe al craqueo térmico de las moléculas pesadas presentes (Fig. 7).

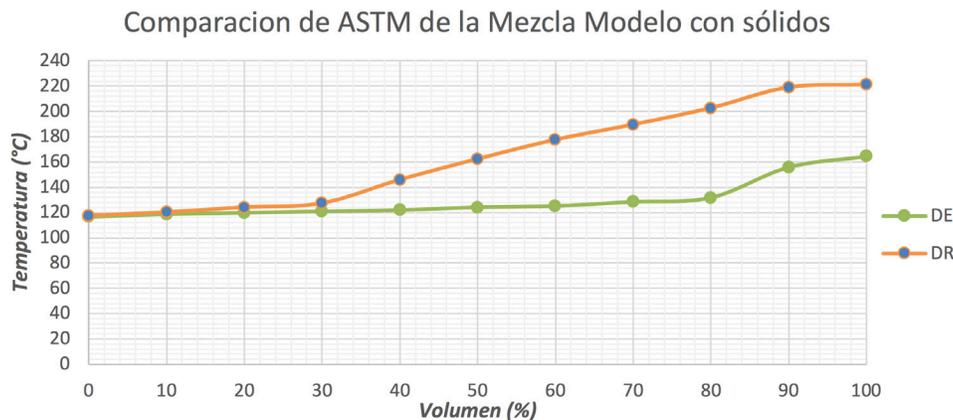


Figura 7. Comparación de las curvas ASTM de la DE y DR de la Mezcla Modelo.

Una última comparación es entre las curvas ASTM de DPCM, en la destilación reactiva con las de la mezcla modelo con sólidos y mezcla modelo sin sólidos obtenida de [Villagrán (2014)] en dicha destilación (Fig. 8). Primeramente, se observa un parecido entre las curvas de la mezcla modelo con y sin sólidos, el efecto que produjeron los sólidos en suspensión en la formación de compuestos más pesados se hace notar con la diferencia de temperaturas y con la creciente que se encuentra posterior al 30% del volumen destilado. Por otra parte, se observa que entre las curvas del DPCM [2] y la mezcla modelo con sólidos hay una tendencia similar y acercamiento en la zona de 30 a 90% del volumen obtenido. Con ello nos asegura que, el craqueo que se lleva a cabo en la zona de pirólisis es térmico y catalítico.

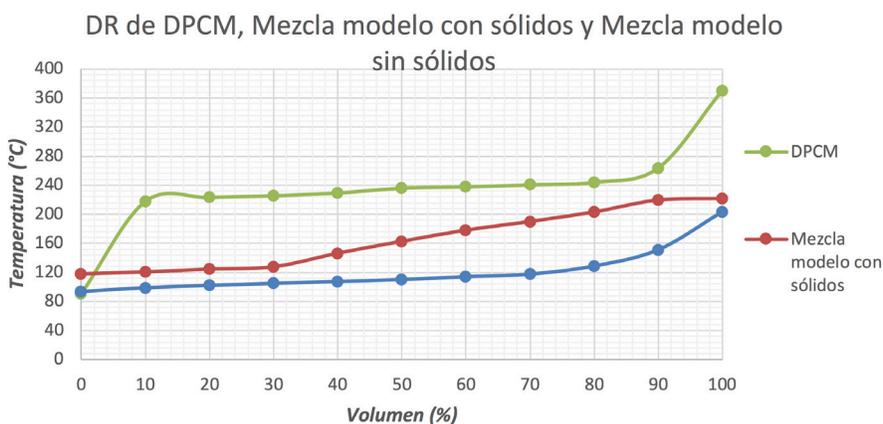


Figura 8. Comparación de las ASTM del DPCM y mezcla modelo con y sin sólidos.



5. Conclusiones

Al final de este estudio es posible darse cuenta de que las mezclas modelo propuestas son una buena representación de los destilados ligeros del crudo Maya lo cual se puede sustentar cuando se observa en la recirculación de la muestra una creciente similitud con el DPCM [2].

La comparación de las curvas ASTM de la destilación diferencial y reactiva de la mezcla modelo, también permite observar que el efecto térmico en la zona de pirólisis se ha realizado sustentando los estudios anteriores. El acercamiento a la curva del DPCM, se deriva del efecto catalítico que realizaron los sólidos adicionados del Crudo Maya al tener influencia en la desintegración reactiva de los compuestos modelo y sus productos.

La comparación entre las curvas de la DPCM y la mezcla modelo con sólidos en suspensión, tanto en destilación diferencial, así como en destilación reactiva, (Figuras 13 y 15), son comparadas con el estudio anterior Villagrán [4]. Cabe mencionar que el estudio de Villagrán se realizó en ausencia de sólidos provenientes del Crudo Maya. Al final esta comparación nos permite conocer el efecto que conformaron los reactivos seleccionados para modelar la nafta, así como también darnos cuenta de la influencia de los sólidos del Crudo Maya que ayudaron a adquirir un comportamiento mucho más cercano a la misma.

Así pues, este estudio permite reafirmar la importancia del empleo de representaciones de crudos de petróleo complejos a través de compuestos modelo. Esto a través del uso de técnicas de analogía de sus composiciones medias y caracterización de sus comportamientos de destilaciones (sin recirculación y con recirculación). Esto abre el camino a nuevas investigaciones que permitirán afinar para cada situación del interés ya sea mecanismo pirolítico, catalítico o bien una combinación de ambos.

Cómo recomendación general es conveniente continuar con este tipo de estudios, con el fin de mejorar la conformación de las mezclas de compuestos modelo en su aproximación a las fracciones reales obtenidas de los crudos.

En lo inmediato, se sugiere reproducir este estudio adicionando moléculas con azufre a las mezclas modelo, lo que permitirá avanzar en lo relativo a la desulfuración de los compuestos hidrocarbonados.

6. Bibliografía

1. Pirólisis e Hidrogenación *in situ* de crudos pesados por naftas (2009). A. Guerrero, J.A. Dávila, L. Delgado (Rev. J Gasca, Mex, Nobel 2007). Revista Tecnología Química. Cuba. Vol. XXIX No. 3, ISSN 0041-8420. (Premio a la Investigación UAM, 2008).



2. Recycle effect of primary distillation cut of Maya crude at pyrolysis zone. (2010). P. Rizo Acosta, J. A. Dávila Gómez, L. Delgado Nuñez, J. A. Muñoz Arroyo. AMIDIQ'2011 PROC-139, ID 835; ISBN: 978-607-95593-0-4, pp. 5209 – 5215.
3. Rizo P, G. Villagran, J. A. Davila, M. T. Linares, J. A. Muñoz. Maya crude oil primary naphtha thermal cracking representation by model compounds from PIONA analysis. (2015) International Journal of Engineering Research on Science & Technology 2015, Vol. 4 (4) 183-191. ISSN 2319-5991. Nov. 2015.
4. G. Villagrán. Representación De Crudo Maya Con Compuestos Modelo Para La Comparación Del Efecto Pirofítico De Destilados Ligeros Primarios. *Proyecto Terminal en Ingeniería Química*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. 2014
5. Designation ASTM-D86-17 “Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure”.
6. Designation D2892-18 “Standard Test Method for Distillation of Crude Petroleum (15-Theoretical Plate Column)”.



Efecto del tipo de injerto químico en SBA-15 empleado como adsorbente de compuestos organonitrogenados en combustibles fósiles

José Antonio Colín Luna ■ Daniela López Becerril ■ Ana Karina Medina Mendoza
Margarita Mercedes González Brambila ■ Carlos Rogelio Tapia Medina
Ricardo Rosas Cedillo ■ Julio César García Martínez

Área de Análisis de Procesos.
Departamento de Energía.
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
jacl@azc.uam.mx

1. Resumen

Las estrictas reglamentaciones ambientales en cuanto al contenido de compuestos contaminantes presentes en combustibles provenientes del petróleo, ha propiciado que los refinadores implementen nuevos procesos para alcanzar estándares inferiores a 5 ppm de azufre. Sin embargo, tales niveles de azufre no pueden alcanzarse por procesos de hidrodesulfuración (HDS) convencional debido a que los catalizadores sulfuros son propensos a inhibición por la presencia de compuestos organonitrogenados. Una alternativa de bajo consumo de energía es la adsorción de los compuestos nitrogenados previo a la HDS. En el presente trabajo, se compararon adsorbentes mesoporosos base sílice tipo SBA-15 modificados con Al y Zr a diversas relaciones másicas de Si/M⁺ (5, 16, 60 y 150). Se encontró que el tipo de catión incorporado modifica la capacidad adsorción de la SBA-15. La alta adsorción del compuesto organonitrogenado también se asoció a la alta área específica de estos materiales.

2. Introducción

Los problemas ambientales provocados por la emisión de contaminantes producidos por la combustión de combustibles fósiles, causantes de la lluvia ácida y el efecto invernadero, han propiciado que los refinadores se enfrenten en la encrucijada de implementar procesos capaces de reducir el contenido de compuestos azufrados^[1,2]. La HDS, es el proceso más común, consiste en la remoción del heteroátomo empleando hidrógeno en presencia de un catalizador sulfuro del tipo CoMoS (CoWS) o reducidos de Pt, Pd o PtPd soportados en γ -Al₂O₃ u óxidos mixtos mesoporosos empleando presiones elevadas (> 5 MPa)



y temperaturas por arriba de los 573 K^[1]. Algunos problemas en éste proceso están relacionados con el alto consumo de energía y el elevado consumo de H₂, el cual es ya escaso o difícil de obtener en las refinerías^[1,3]. Pero adicionalmente, las cargas del orden del diésel, por ejemplo, contienen compuestos organonitrogenados, los cuales compiten por los sitios de adsorción de la HDS ocasionando desactivación por inhibición del catalizador^[3,4]. Una propuesta sustentable de baja demanda de energía y cero consumo de hidrogeno, es el empleo de la adsorción como una etapa previa a la HDS. En este proceso los organocompuestos de nitrógeno son adsorbidos en un material sólido a temperaturas y presiones cercanas a la atmosférica. Por lo que la adsorción dependería de las propiedades texturales, estructurales y fisicoquímicas del adsorbente^[3,4]. En este sentido, los materiales nanoestructurados de sílice sintetizados por el método sol-gel de autoensamblado representarían una opción adecuada para la remoción de moléculas de gran tamaño. En nuestro grupo hemos comparado materiales del tipo SBA-15, SBA-16 y MCM-41 en la adsorción de moléculas modelo tales como quinolina (Q), piridina (P) e Indol (I) a una temperatura de 313 K^[3,4]. De acuerdo con nuestros resultados, estos materiales presentan un porcentaje de remoción del organocompuesto por arriba del 70%, esta adsorción dependería del arreglo poroso (hexagonal o cúbico) y de la naturaleza básica del adsorbato. Al parecer los OH presentes en la red de sílice a esa temperatura se comportan como sitios Brönsted capaces de retener a los compuestos básicos^[3]. En el presente estudio, se pretende mejorar las propiedades de adsorción de compuestos nitrogenados, modificando las propiedades texturales y fisicoquímicas de una SBA-15 incorporando cationes de Al y de Zr en la red de sílice. Los adsorbentes serán probados en un proceso por lote en la adsorción de Q como molécula modelo.

3. Condiciones Experimentales

3.1 Síntesis de la SBA-15 y los modificados con Al y Zr

Se sintetizó una SBA-15 por el método sol-gel de autoensamblado utilizando un surfactante no iónico Pluronic P123 (EO₂₀PO₇₀EO₂₀ Aldrich) y tetraetilortosilicato (TEOS) como fuente de sílice. En una síntesis convencional 474 mL de HCl (2M) y 26 mL de agua desionizada se mezclaron en un recipiente de teflón de boca ancha, la mezcla se colocó en un baño a 311 K manteniendo agitación constante hasta disolver completamente el agente surfactante. Una vez disuelto se agregaron 32 g de TEOS mediante goteo lento y agitación por 24 h a 311 K. Posteriormente, se colocó el recipiente en la estufa a 368 K durante 72 h. Finalmente el sólido obtenido se filtró, lavó con abundante agua desionizada hasta obtener un pH neutro y se dejó secar a temperatura ambiente. Finalmente el sólido se calcinó a 823 K durante 6 h con una rampa de calentamiento de 0.8 K/min. La incorporación del Zr y del Al se realizó mediante



el método de injerto químico usando los isopropóxidos siguientes: $Zr(OCH(CH_3)_2)_4$ y $Al[OCH(CH_3)_2]_3$, ambos de Sigma-Aldrich, respectivamente. La síntesis comprende la eliminación de agua fisisorbida en el material mesoporoso y la incorporación del metal (M^+). Inicialmente se disolvió el isopropóxido en EtOH a una relación de 100 mL/g de SBA-15 por una hora, posteriormente a esta solución se agregó la SBA-15 bajo agitación vigorosa a temperatura ambiente durante 8 h. Después de éste tiempo el sólido resultante se filtró, lavó con EtOH anhidro para eliminar el exceso de M^+ , se secó durante 12 h. Finalmente se calcinó a 823 K por 5 h. Bajo este procedimiento se prepararon materiales a relaciones másicas de $SiO_2/M^+O = 5, 16, 60$ y 150, las cuales se denominaron como SBZr(X) y SBAl(X) para el Zr y el Al, respectivamente, y X es la relación másica SiO_2/M^+O .

3.2 Caracterización de los materiales adsorbentes

La SBA-15 original y las modificadas SBAl(X) y SBZr(X) se analizaron por fisisorción de nitrógeno empleando un equipo Micromeritics 2100E para medir el área específica (S_{BET}), diámetro (D_p) y volumen de poro (V_p) en un sistema volumétrico estático usando nitrógeno como adsorbato a 75.5 K, las muestras fueron previamente desgasificadas a 470 K por 24 h en presencia de vacío. Para determinar el ordenamiento poroso de la SBA-15 se analizó por difracción de rayos-X (DRX) por el método de polvos usando un equipo Brucker acoplado a un tubo de rayos-X de radiación de $CuK\alpha$ ($\lambda = 1.5406$ nm) en el dominio del ángulo $2\theta = 0.5$ a 7° y velocidad de escaneo de $2^\circ/s$ operando a 35 kV y 20 mA.

3.3 Pruebas de adsorción

Las pruebas de adsorción se realizaron en recipientes de vidrio enchaquetados para mantener una temperatura constante de 313 K y presión de 78 kPa. A cada recipiente se le agregaron 40 mL de dodecano con quinolina (Q) como molécula nitrogenada y DBT como molécula azufrada a concentraciones iguales de N en Q y S en DBT desde 50, 100, 150 y 250 ppm. Para cada análisis se empleó 0.2 g del adsorbente. Finalmente, las muestras se inyectaron en un cromatógrafo de gases de columna capilar.

La capacidad de adsorción de cada uno de los adsorbentes se determinó a través de la máxima adsorción, es decir, la concentración en el equilibrio. Por tanto, la cantidad del componente adsorbido con respecto a la cantidad de adsorbente se obtuvo por medio de la ecn. (1):

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$



Donde q_e , es la cantidad máxima adsorbida ($\text{mmol/g}_{\text{adsorbente}}$); V , es el volumen de la sustancia adsorbida (adsorbato); m , es la masa del material adsorbente; C_0 y C_e , son las concentraciones inicial y la del equilibrio del adsorbato en mmol/L .

Para el ajuste de los datos cinéticos de adsorción se probaron los modelos de primero y segundo orden en su forma lineal [referencia], ecns. (2) y (3), respectivamente.

$$\frac{dq}{dt} = (q_e - q_0) \quad (2)$$

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (3)$$

Donde q , es la cantidad adsorbida por unidad de adsorbente ($\text{mmol/g}_{\text{adsorbente}}$); t , es el tiempo de adsorción y k , es la constante cinética ($\text{g}_{\text{adsorbente}}/\text{mmolmin}$).

4. Resultados y discusión

4.1 Caracterización

Los resultados de DRX de la SBA-15 original y las modificadas con Zr y Al se muestran en las Figuras 1 y 2. En el difractograma de las Figuras 1 y 2 se pueden identificar claramente las reflexiones basales características de la SBA-15 (Figura 1a y 2a) en las posiciones 0.9, 1.4 y 1.8 correspondientes a los halos de difracción (100), (110) y (200), respectivamente. De acuerdo con este resultado la SiO_2 presenta un ordenamiento poroso con simetría hexagonal característico de éste material. Los patrones de difracción de la SBA a diferentes relaciones de $\text{SiO}_2/\text{M}^+\text{O}$ se muestran en las Figuras 1b - 1e para la SBZr(X) y 2b – 2c SBAl(X). Se puede observar que los tres picos característicos del arreglo hexagonal se mantienen y una disminución en la intensidad de los picos se presenta al aumentar el contenido de M^+ . Estos resultados muestran que ligeros cambios se presentan en el arreglo hexagonal al incorporar el metal.

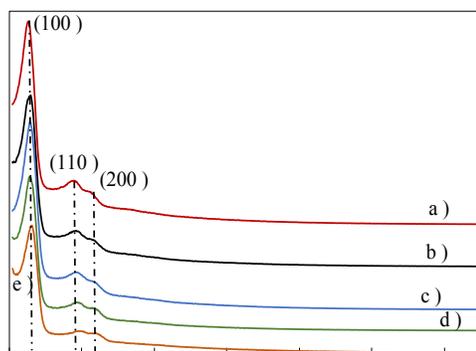


Figura 1. Patrones de DRX de la SBA-15 y las modificadas con Al: a) a) SBA, b) SiZr(150), c) SiZr(60), d) SiZr(16) y e) SiZr(5)

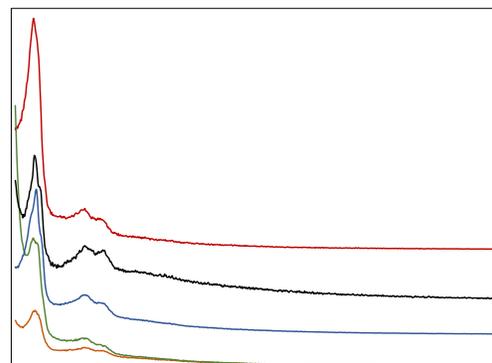


Figura 2. Patrones de DRX de la SBA-15 y las modificadas con Al: a) a) SBA, b) SiAl(150), c) SiAl(60), d) SiAl(16) y e) SiAl(5)

En la Tabla 1 aparecen las propiedades texturales de los materiales adsorbentes. La SBA original presenta un S_{BET} igual a $749.6 \text{ m}^2/\text{g}$ con un V_p de $1.3 \text{ cm}^3/\text{g}$ y un d_p de 6.6 nm valores del orden a lo reportado en la literatura [5]. Para las SBA modificadas con aluminio, se puede observar una variación del área con el contenido de Al. En particular a altos contenidos de Al, la SiAl(5) presenta una disminución del 10%. No obstante, a menor contenido de Al el S_{BET} aumenta de acuerdo al orden SiAl(16) < SiAl(60) < SiAl(150). Este comportamiento puede atribuirse a que la Al_2O_3 formada sobre la superficie de la SBA-15 incrementa el área específica a relaciones Si/Al por arriba de 16, mientras que a relaciones Si/Al por debajo de 5 la S_{BET} tiende al orden de magnitud de una Al_2O_3 comercial (ca. $350 \text{ m}^2/\text{g}$). En cuanto al diámetro de poro y volumen de poro se puede observar que se presentan ligeros cambios con el contenido de Al.

Tabla 1. Propiedades texturales y estructurales de la SBA original y la modificada con Al.

Material	S_{BET} (m^2/g)	V_p (cm^3/g)	d_p (nm)	d_{100} (nm)	a_0 (nm)	E_p (nm)
SB	749.6	1.3	6.8	11.0	12.75	6.0
SBAI(5)	675.3	1.1	6.3	11.0	12.75	6.5
SBAI(16)	758.3	1.2	6.2	11.0	12.75	6.6
SBAI(60)	824.1	1.3	6.2	10.8	12.43	6.3
SBAI(150)	829.1	1.3	6.1	10.8	12.43	6.4

S_{BET} = área superficial, V_p = volumen de poro, d_p = diámetro de poro, d_{100} = distancia interplanar, a_0 = parámetro de celda unitaria ($a_0 = 2 d_{100}$), E_p = espesor de pared ($E_p = a_0 - d_p$).



Adicionalmente, la Tabla 1 muestra resultados del espesor de pared (E_p) estimada por la diferencia del parámetro de red (a_0) y el diámetro de poro (d_p). Según los valores de E_p existe un aumento en el espesor de pared con el contenido de Al, este resultado es importante debido a que éste espesor de pared podría conferirle al adsorbente una mayor resistencia mecánica.

En el caso de los adsorbentes de SBA y los modificados de SBZr(X), presentan un comportamiento semejante al de los de Al (no mostrados aquí), el S_{BET} disminuye al aumentar el contenido de Zr y se mejora el espesor de pared.

4.2 Adsorción de quinolina

En la Figura 2, se muestra la cinética de adsorción en ppm de Q de los adsorbentes de SBAl(5) y SBAl(150) a contenidos de Q de 50, 100, 150 y 250 ppm. En dicha figura se puede observar que en ambos materiales se alcanza la concentración de equilibrio (C_e) en menos de 10 min, por lo que se podría considerar que la adsorción es rápida. La constante de velocidad de adsorción (k), estimada con la ecn. 3, a 50 ppm de Q para la SBAl(5) es igual a $6.0 \text{ gmmol}^{-1}\text{min}^{-1}$ mientras que para la SBAl(150) es igual a $0.98 \text{ gmmol}^{-1}\text{min}^{-1}$, lo cual indicaría que la adsorción se favorece a altos contenidos del aluminio.

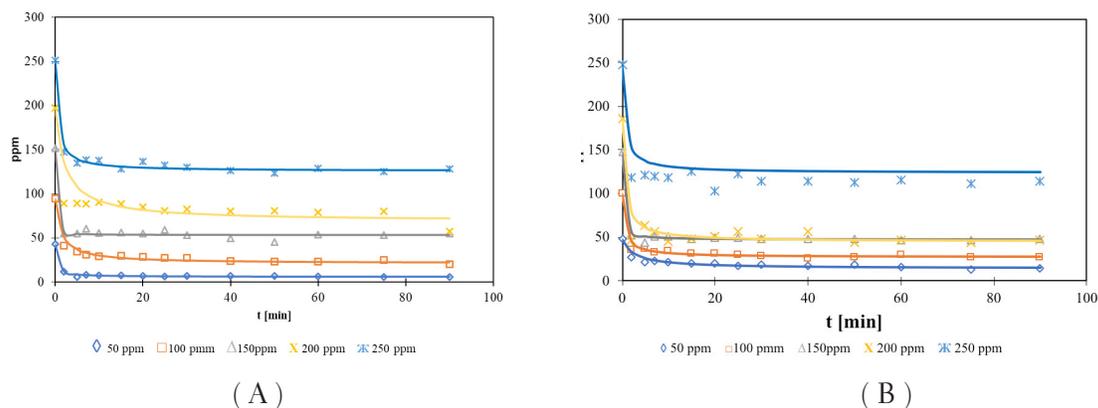


Figura 2. Cinética de adsorción de Q sobre SBAl(A) SBAl(5) y B) SBAl(150)

La Figura 3 muestra los resultados de la adsorción de Q empleando los adsorbentes de SBZr(5) y SBZr(150) a iguales contenidos de Q que para las SBAl(X). A diferencia de los adsorbentes modificados con Al, el tiempo en alcanzar la concentración de equilibrio es mayor a 10 min para ambos adsorbentes en el rango de Q empleado (50 - 250 ppm), por lo que habría que esperar una menor velocidad de adsorción respecto a los encontrados con las SBAl(X).

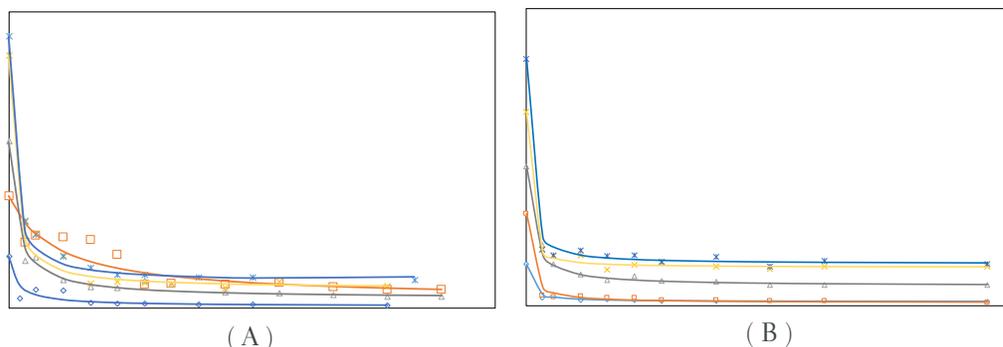


Figura 3. Cinética de adsorción de Q sobre SBZr(A) SBZr(5) y B) SBZr(150)

Estos resultados indican diferencias en cuanto al tipo de catión incorporado y que por tanto la adsorción es más rápida en los adsorbentes de SBAl(X). Sin embargo, al analizar la cantidad removida en el intervalo de contenidos de Q analizados, encontramos resultados interesantes.

La Figura 4, muestra el porcentaje de remoción de Q en la fase líquida utilizando los adsorbentes de SBZr(X), Figura 4A, y SBAl(X), Figura 4B. De acuerdo con estos resultados, se puede observar una mayor adsorción de los adsorbentes modificados con Zr que los que contienen Al en todo el rango de contenidos de Q probados y a diversas relaciones de SiO₂/M⁺O. Según la Figura 4A los SBZr(X) alcanzarían porcentajes de remoción cercanas al 100 % mientras que los modificados con Al apenas cercanos al 90%, manteniéndose casi constante en el intervalo de contenidos de Q, contrario al comportamiento observado para las SBAl(X), para estos adsorbentes el porcentaje de adsorción decae al aumentar el contenido de Q.

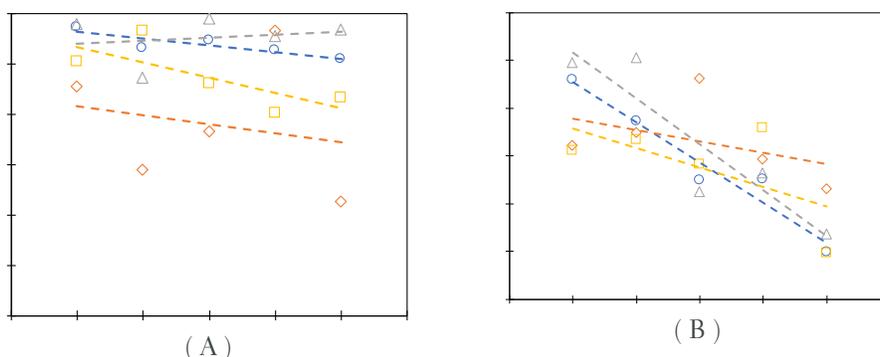


Figura 4. Porcentaje de remoción de Q de los adsorbentes A) SBZr(X) y B) SBAl(X).

Estos resultados mostrarían un mejor comportamiento de los adsorbentes de SBZr(X) frente a los de SBAl(X), lo cual indica que el tipo de metal incorporado modifica la velocidad de adsorción y la cantidad removida del compuesto organitrogenado.



5. Conclusiones

En el presente trabajo se mostró que materiales mesoporosos de sílice modificados con cationes de Zr y Al presentan propiedades interesantes en la adsorción de Q . Los resultados indican que existen diferencias en la cantidad removida del organocompuesto. En particular las SBAl(X) presentan constantes de velocidad de adsorción más grandes que las de SBZr(X). Sin embargo, la cantidad removida es más grande empleando los adsorbentes modificados con Zr. Por tanto, comparando estos resultados, se puede decir que el tipo de catión es importante en la velocidad de saturación del adsorbato sobre el adsorbente.

6. Bibliografía

1. Vázquez-Salas, P.J., Huirache-Acuña, R., Zepeda, T.A., Alonso-Núñez, G., Maya-Yescas, R., Mota, N., Pawelec, B., "Enhancement of dibenzothiophene hydrodesulphurization via hydrogenation route on NiMoW catalyst supported on HMS modified with Ti", *Catalysis Today* 305, 65-74 (2018).
2. Azizian, S., Naviri, R. A new empirical rate equation for adsorption kinetics at solid/solution interface. *Applied Surface Science* 256, 5153-5156 (2010).
3. García-Martínez, J.C., González Uribe, H.A., González-Brambila, M.M., Colín-Luna, J.A., Escobedo-García, Y.E., López-Gaona, A., Alvarado-Perea, L., "Selective adsorption of nitrogen compounds using silica-based mesoporous materials as a pretreatment for deep hydrodesulfurization", *Catalysis Today* 305, 40-48 (2018).
4. García-Martínez, J.C., Tapia-Medina, C.R., González-Brambila, M.M. Medina-Mendoza, A.K., Colín-Luna, J.A., "Nitrogen Adsorption Compounds in the Presence of Dibenzothiophene on Mesoporous Materials for Obtaining Ultra-Low-Sulfur Diesel", *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, DOI: 10.1515/ijcre-2017-0238 (2018).



Hidrodeoxigenación de ácidos grasos para la obtención de diésel verde empleando catalizadores de platino soportado sobre PILC-Zr

Emigdio Gregorio Zamora Rodea ■ Juana Vixtha Viveros ■ Margarita Mercedes González Brambila
ulio Cesar García Martínez ■ Carlos Rogelio Tapia Medina ■ Ricardo Rosas Cedillo ■ José Antonio Colín Luna

Departamento de Energía.
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, México.
gregorio-zamora@hotmail.com

1. RESUMEN

La disminución en las reservas del petróleo ha generado la búsqueda de nuevas fuentes energéticas. En contraste, los altos volúmenes de biomasa que se encuentran disponibles en la naturaleza han propiciado que la comunidad científica busque nuevos procesos para su transformación ya sea en productos de alto valor agregado o en la generación de combustibles. En este sentido la transformación de ácidos grasos libres o de triglicéridos a través de reacciones de hidrodeoxigenación (HDO) ha permitido la obtención de mezclas de hidrocarburos del orden del diésel por tanto denominados combustibles verdes haciendo énfasis en su origen. Para transformar éstas moléculas a mezclas del diésel, es necesario un catalizador con propiedades hidrogenantes, hidrodeoxigenantes y en su caso de hidrodésintegración. En el presente trabajo, se propone emplear un catalizador de platino soportados en arcillas pilareadas intercambiadas con cationes de circonio (Pt/PILC-Zr) en la producción de diésel verde a partir de aceite de canola (AC) y ácido oleico (ACOL).

2. INTRODUCCIÓN

Los altos volúmenes de contaminantes emitidos por combustibles fósiles ^[1] ha estimulado la búsqueda de estrategias para contrarrestar el daño ambiental y el uso de fuentes de energía alternas. Dentro de las fuentes energéticas alternativas se encuentran: energía solar, eólica, geotérmica, mareomotriz, energía a partir de la biomasa, etc. En particular, los biocombustibles se clasifican, de acuerdo con la procedencia de la biomasa: primera generación, proveniente de materias primas derivadas de alimentos; segunda generación, provienen de residuos orgánicos y tercera generación biomasa sin que entre en conflicto con



los inconvenientes de la primera o segunda generación, por ejemplo, microalgas, jatropha, higuerilla, etc. Debido a su abundancia la biomasa, podría reemplazar más de un tercio de los combustibles fósiles consumidos por el sector de transporte [2,3]. La biomasa (origen de animal o vegetal) puede ser dividida en tres categorías: carbohidratos, lignina, grasas y aceites vegetales. Por ejemplo, el componente principal de las grasas y aceites vegetales son los triglicéridos (TG) y ácidos grasos libres (AGL) los cuales pueden transformarse a en combustibles para automotores mediante procesos químicos tales como: transesterificación e HDO. En el proceso de hidrodeseoxigenación HDO de TG se producen hidrocarburos tipo diésel, con un alto índice de cetano, provocando una mejor calidad de combustión [3]. Una de las ventajas de estos biocombustibles es que el CO_2 producido y que se emite a la atmósfera se absorbe en la misma proporción que el carbono para el crecimiento de los seres vivos [4]. En el presente trabajo, se estudiará el efecto de un catalizador de Pt soportado en PILC-Zr en la reacción de hidrodeseoxigenación (HDO) empleando una molécula modelo ácido oleico para entender los efectos de este catalizador en la reacción; posteriormente, se analizará su efecto en la HDO del aceite de canola. Los catalizadores preparados fueron caracterizados por diversas técnicas de análisis: difracción de rayos-X (DRX), fisiorción de N_2 para explicar su comportamiento en dicha reacción. Las pruebas de HDO se llevaron a cabo en un reactor por lotes empleando ácido oleico o aceite de canola en presencia de H_2 en exceso. La identificación y el seguimiento de los productos formados se realizó a través de espectroscopía de infrarrojo (IR) y cromatografía de gases de columna capilar acoplado a espectrometría de masas.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1 Síntesis de la PILC-Zr e impregnación de Pt

La PILC-Zr se sintetizó de acuerdo con procedimiento modificado por Colín et al. [5] En este caso 10 g de bentonita se pre-expande en acetona-agua hasta dispersarla en todo el volumen. Previo al pilareo se prepara una solución de $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich) 0.1 M para obtener la solución oligomérica a temperatura ambiente. Posteriormente, se adiciona la solución por goteo lento y agitación vigorosa a una temperatura de 313 K por 4 h. Finalmente, la arcilla se filtró, lavó hasta la remoción total de cloruros, se secó a temperatura ambiente por 24 h y calcinó hasta 823 K mediante calentamiento lento. La incorporación de Pt se realizó empleando el método de impregnación en estado sólido. Empleando Se utilizó acetilacetato de Platino (II) (Sigma Aldrich) como sal precursora. Se expandieron 5 g de soporte y se pusieron en contacto con la sal precursora hasta que se incorporaron. Posteriormente, se calcinaron hasta una temperatura de 673 K con una velocidad de calentamiento



de 10 K/min. Los materiales con Pt se activaron en una corriente de H_2 a una temperatura de 673 K por 1 h a una velocidad de calentamiento de 10 K/min bajo un flujo gaseoso de 10 L/h. Posteriormente, se enfriaron a temperatura ambiente al tiempo que se purgó mediante un flujo de N_2 , por 30 min [5].

3.2 Caracterización textural y estructural de la PILC-Zr

Se empleó un equipo Micromeritics 2100E para medir el área específica (S_{BET}), diámetro (D_p) y volumen de poro (V_p) de la PILC-Zr en un sistema volumétrico estático usando nitrógeno como adsorbato a 75.5 K. Las muestras fueron previamente desgasificadas a 470 K por 24 h bajo un alto vacío. La estructura laminar de la bentonita original y la PILC-Zr se determinó mediante la difracción de rayos-X (DRX) empleando un equipo Brucker acoplado a un tubo de rayos-X de radiación de CuK_α radiation ($\lambda = 1.5406$ nm) en el dominio del ángulo $2\theta = 2^\circ$ a 80° , velocidad de escaneo de $2^\circ/s$ operando a 35 kV y 20 mA. Para el análisis se empleó la técnica de polvos y las muestras orientadas fueron esparcidas sobre una placa de vidrio.

3.3 Espectroscopía de FTIR

Con el propósito de determinar las especies formadas de las muestras líquidas después de reacción se realizó un análisis rápido por FTIR. Para este análisis se utilizó un espectrofotómetro de IR marca PERKIN ELMER modelo FRONTIER con un accesorio de Reflectancia Total Atenuada (ATR, del acrónimo en inglés) a una resolución espectral de 4 cm^{-1} , en un rango espectral de $4000 - 600\text{ cm}^{-1}$ y 50 scans.

3.4 Evaluación del catalizador Pt/ PILC-Zr en aceite de canola o ácido oleico

La evaluación catalítica se realizó en un reactor por lotes a 523 K, 3 MPa de presión de hidrógeno y una velocidad de agitación de 1500 rpm durante 6 h [6], empleando 50 mL de n-dodecano, 2.5 g de aceite de canola o ácido oleico al 90% (Sigma-Aldrich) y 10 %w de catalizador Pt/PILC-Zr. Finalmente, se realizó un análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas para la cuantificación e identificación de los productos de reacción. Se empleó un cromatógrafo de gases acoplado a masas marca Perkin-Elmer Claurus 580 de columna capilar y un espectrómetro de masas CLAURUS SQ 8 S MS de impacto electrónico.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Caracterización de los soportes.

El análisis de DRX de la bentonita original y la PILC-Zr se muestran en la Figura 1. El espectro en la Figura 1A, muestra las reflexiones basales en las posiciones 2θ igual ca. 7.3, 18.0, 27.4, 34.5, 57.5 y 64.0° que de acuerdo a la ficha cristalográfica JCPDS 02-0037 corresponden a los planos d(001), d(110), d(113), d(104), d(114) y d(061) respectivamente, característicos de este material. Después de la intercalación, un corrimiento del plano d(001) en la posición 2θ igual a 4.8° indica que el catión de Zr se incorporó a las láminas de la arcilla, ocasionando un espaciamiento interlaminar igual a 1.8 nm 2 veces mayor que el material original (ca. 0.9 nm).

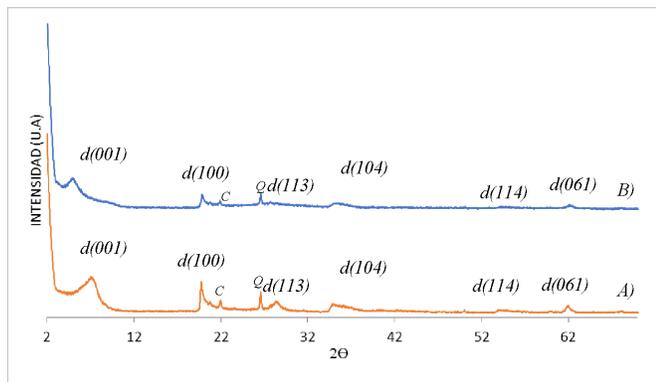


Figura 1. Patrones de DRX de A) Bentonita original sin expandir y B) PILC-Zr después de pilareo. C: cristobalita, Q: cuarzo.

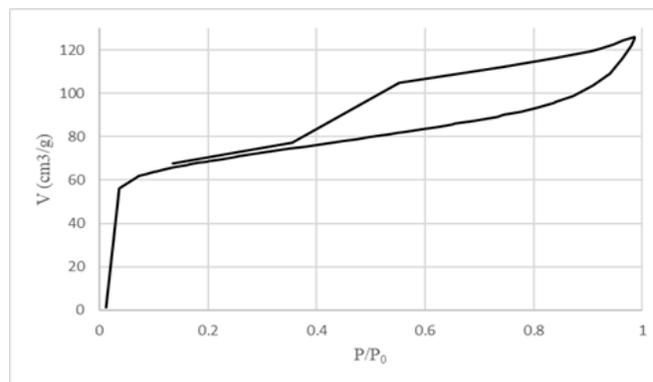


Figura 2. Isotherma adsorción-desorción de la PILC-Zr.

En la Figura 2 se muestra la isoterma de adsorción-desorción típica de la PILC-Zr de acuerdo con la clasificación de la IUPAC corresponde al tipo II de una adsorción libre en monocapa y multicapa. Además, la histéresis que presenta la PILC-Zr es del tipo H3 (acuerdo con la IUPAC), característicos de aglomerados de partículas que forman placas dando lugar a poros en forma de cuñas ó de placas paralelas, comunes a materiales tipo esmectita intercambiada con cationes entre sus láminas. Finalmente, la región inclinada del lazo de desorción que une a los puntos de adsorción (región II, en ca. P/P_0 igual a 0.42) corresponde a una diferencia en mecanismos entre los procesos de condensación y evaporación que ocurre en poros de cuellos estrechos y cuerpos anchos (referidos como botella de tinta). La tabla 1 muestra los resultados de DRX y fisisorción para ambos materiales de arcilla.



Tabla 1. Propiedades estructurales y texturales de la bentonita y la PILC-Zr

	2θ $d(100)^a$	d_{100} (nm) ^b	S_{BET} (m ² /g) ^c	V_p (cm ³ /g) ^d	d_p (nm) ^e
Bentonita	6.75	0.26	32.0	0.09	0.97
PILC-Zr	4.47	1.78	240.0	0.19	3.49

^a2 θ : posición en 2 θ de la reflexión basal d(100); ^bd₁₀₀: distancia interplanar; ^cSBET: área BET; ^dV_p: Volumen de poro; ^ed_p: diámetro de poro.

4.2 Análisis por Espectroscopía de FTIR

Se realizó un análisis rápido de los productos de la reacción empleando espectroscopía de IR. La Figura 3 muestra los espectros de IR de los sistemas: ácido oleico-dodecano antes de reacción (ACOL-D, Figura 3A), la muestra líquida obtenida después de la reacción (HDO LIQ, Figura 3B), sólido blanco obtenido después de la reacción (Figura 3C) y el espectro del ácido esteárico (ACES, Figura 3D). En estos espectros, se pueden observar en la región de 3200 a 2800 cm⁻¹ bandas en de estiramiento C-H características de hidrocarburos alifáticos, específicamente grupos metilo (CH₃-) y metileno (-CH₂-), mientras que en la banda de 1460 y 1380 cm⁻¹ corresponde a vibraciones de deformación de los grupos (CH₃-) y (-CH₂-) respectivamente. Además, en la banda de 720 cm⁻¹ corresponde al grupo -(CH₂)_n con n \geq 4 típica para hidrocarburos de cadena larga. Mientras que la banda característica del grupo carbonilo (C=O) la cual se encuentra en los 1700 cm⁻¹, esto último nos da información de la presencia de un ácido carboxílico proveniente del ácido oleico. Después de reacción el espectro de la figura 3B se puede ver una disminución en la intensidad de esta banda debido a la remoción del oxígeno. El espectro de la Figura 3C (sólido blanco) correspondería también al ácido esteárico (Figura 3D). Lo cual indica que la reacción favorece la hidrogenación de las insaturaciones presentes en el ACOL.

3.3 Análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometrías de masas (CG/MS)

De acuerdo con los resultados de CG/MS, los productos principales de la reacción de HDO de AC fueron: pentadecano, hexadecano, heptadecano y octadecano. Estos resultados demuestran que el catalizador de Pt/PILC-Zr puede tener capacidades hidrodeoxigenantes e hidrocraqueantes convenientes para la transformación de aceites vegetales a hidrocarburos lineales del orden del diésel. Por otro lado, para el hidrotreamiento de ACOL los productos obtenidos en la muestra líquida son: ácido esteárico, heptadecano y octadecano principalmente y en menor proporción octadecanal. Por otro lado, la cantidad de CO₂ y CO se determinó a través del balance de materia, por



lo cual se pudo obtener el perfil de concentraciones mostrado en la Figura 4, donde se puede ver que se ve favorecida la hidrogenación del ácido oleico para formar ácido esteárico.

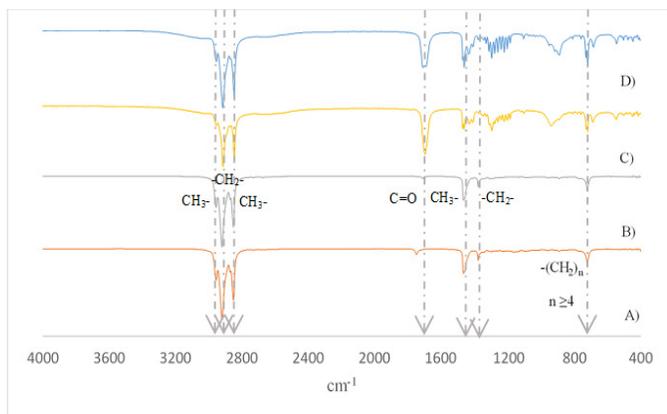


Figura 3. Espectros de IR de: A) ACOL-D, B) HDO LIQ, C) Sólido blanco obtenido después de la reacción, D) ACES

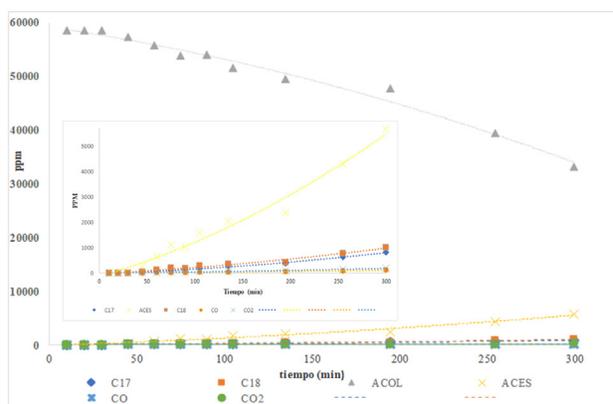


Figura 4. Perfil de concentraciones de la reacción ACOL-D

De acuerdo con estos resultados se propone la ruta de reacción mostrada en la Figura 5, en la cual se tiene inicialmente el ácido oleico que al estar en contacto con el hidrógeno y el catalizador se saturan rápidamente los dobles enlaces formando así el ácido esteárico. Seguido de esto el ácido esteárico se reduce para formar octadecanal, este último forma hidrocarburos de cadena larga a través de tres rutas. La primera, sería por hidrodesoxigenación donde se obtiene el octadecano y agua, la segunda estaría dada por la hidrodecarbonización donde se obtiene heptadecano, CO y agua. Finalmente, la tercera ruta la descarboxilización donde se obtiene heptadecano y CO₂.

La proporción de hidrocarburos formados presentes en la solución se muestran en la Figura 6. De acuerdo con estos resultados, la cantidad y el tipo de hidrocarburos producidos es una función del tipo de ácido graso o triglicérido que se emplea. Además, que en ambos casos se ve favorecida la hidrogenación de las insaturaciones presentes en el aceite de canola y en el ácido oleico, esto se puede ver en la Figura 6 donde el porcentaje de ácido esteárico es mayor respecto a los hidrocarburos formados. Este comportamiento puede ser atribuido a la estereoquímica de las moléculas en cuestión, por ejemplo, el triglicérido es una molécula más voluminosa con respecto al ácido graso libre dificultando la interacción del sitio activo con el grupo carbonilo, favoreciendo la saturación en lugar de la HDO.

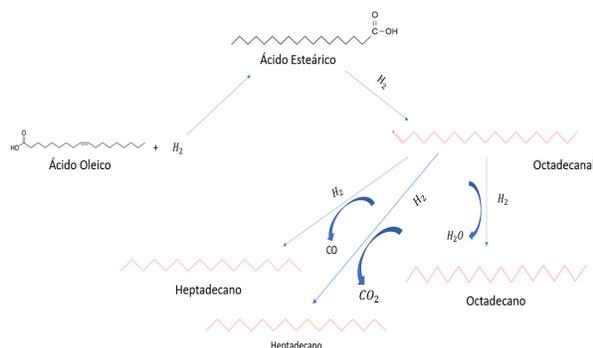


Figura 5. Ruta de reacción propuesta para la HDO del ácido oleico.

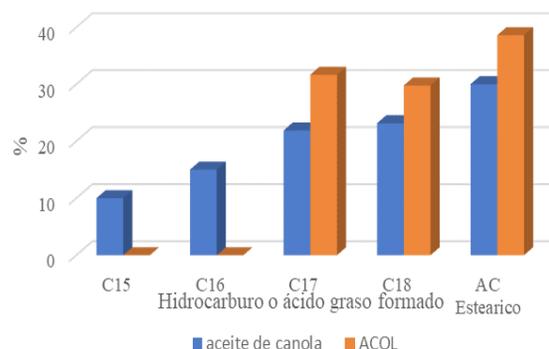


Figura 6. Proporción de productos en 6 h de reacción a 523 K y 3 MPa de H₂ empleando Pt /PILC-Zr, aceite de canola y ácido oleico, respectivamente.

5. CONCLUSIONES

Se sintetizaron catalizadores de Pt soportados en PILC-Zr empleando el método de impregnación en estado sólido. Estos catalizadores mostraron una alta actividad en reacciones de HDO de aceite oleico y aceite de canola a hidrocarburos de cadena larga dentro del rango del diésel (por ejemplo: heptadecano y octadecano). Además, a través de la identificación de los productos tales como ácido esteárico, octadecanal, heptadecano y octadecano se propuso una ruta de reacción para la producción de diésel verde empleando ácido oleico como materia prima. Donde el paso de la hidrogenación de las insaturaciones pasa rápidamente para formar ácido esteárico. Esto último indica que el paso controlante dentro de la HDO sería la degradación de ácido esteárico a octadecanal.

6. BIBLIOGRAFÍA.

1. Chu S., Majumbar A. (2012). Opportunities and challenges for a sustainable energy future. *Nature* 488, 294-298.
2. Sankaranarayanapillai S., Gokhale A., Ho C.R, and Bell A. (2017). Novel Strategies for the Production of Fuels, Lubricants, and Chemicals from Biomass. *Accounts of chemical research* 50, 2589-2597.
3. Hussain A., Arif S.M, Aslam M. (2017). Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 71, 12-28.
4. Patel B., Gami B. (2012) Biomass Characterization and its Use as Solid Fuel for Combustion. *Iranica Journal of Energy and environ* 3, 123-128.



5. Colín L., J.A., De Los Reyes, J.A., Vázquez, A., Montoya (2005) A Pillar effects in MoS₂ catalysts supported on Al and Zr pillared clays in a hydrotreatment reaction. A preliminary study, *Appl. Surf. Sc.* 240(1-4), 48-62.
6. Sudhakara Reddy Yenumala, Sunil K. Maity, Shee D. (2017) Reaction mechanism and kinetic modeling for the hydrodeoxygenation of triglycerides over alumina supported nickel catalyst. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis* 120, 109-128.



SIMCOPLAN: Simulador para analizar costos en plantaciones

José Ciro Hernández Díaz ■ Juna Cristóbal Ortega Moreno ■ José Ángel Prieto Ruíz ■ Christian Anton Wehenkel
Marín Pompa García ■ Gustavo Pérez Verdín ■ Raúl Lara Villa ■ Manuel de Jesús González Guillén

Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera.
Universidad Juárez del Estado de Durango.
jciroh@ujed.mx

1. Resumen

El simulador para estimar costos en plantaciones forestales y reforestaciones (SIMCOPLAN) que aquí se presenta, calcula el valor presente neto (VPN), la relación beneficio/costo (B/C) y la tasa interna de retorno (TIR), considerando: costo de la planta, preparación del terreno, costo de plantación, supervivencia y sustitución de plantas muertas, incrementos, coeficiente mórfico y mantenimiento a lo largo del turno, entre otros factores. Estima los costos medios previstos al primer año “por hectárea plantada”, también considera el “costo por metro cúbico” de madera a producir y el “costo total del proyecto”. Su principal ventaja es que permite responder en segundos a la pregunta “¿qué pasaría si ...?” cuando se modifica alguno(s) de los casi 150 datos (variables) que maneja, lo cual es muy útil para comparar entre diferentes escenarios de interés para el usuario, y por tanto facilita la toma de decisiones en la reforestación y en proyectos de plantaciones forestales comerciales.

2. Introducción

El crecimiento demográfico y desarrollo económico de la sociedad repercuten en el incremento de la cantidad demandada de productos de madera, ejerciendo mayor presión sobre los recursos forestales. En contraparte, también crece la preocupación por conservar o restituir los bosques debido a que la sociedad reconoce que las masas arboladas favorecen al ambiente^[1,2]. Las plantaciones forestales juegan un papel importante al disminuir la presión sobre el bosque natural permitiendo que éste se regenere y así favorecer las condiciones del entorno^[3,4,5].



Para planificar con éxito el diseño, establecimiento y desarrollo de una plantación comercial es importante conocer de antemano los insumos requeridos y sus costos, así como los ingresos probables antes, durante y después del momento de plantar^[6,7]. La información necesaria para estimar la rentabilidad potencial en plantaciones forestales está constituida por decenas de variables que además interaccionan entre ellas, haciendo complejas y laboriosas las estimaciones de los costos y los ingresos de la producción, incluyendo los beneficios netos obtenidos. Por tanto, se requiere contar con herramientas de planificación adecuadas que apoyen la toma de decisiones de manera eficiente y precisa.

Con el objetivo de contribuir a resolver esa problemática, se diseñó el SIMCOPLAN^[8] (un simulador para estimar costos en plantaciones forestales y reforestaciones), utilizando un Libro de Excel constituido por cuatro hojas de cálculo donde el usuario captura cerca de 150 datos (variables) y obtiene aproximadamente 720 cálculos, parciales, subtotales y totales referidos al año en que se efectúa la plantación y también al turno completo (10 a 40 años). Estas estimaciones se realizan a precios corrientes y a precios reales y además se calculan los indicadores económicos principales: relación beneficio/costo (B/C), valor neto actual (VNA o VAN) y tasa interna de rendimiento (TIR) y presenta en forma gráfica el flujo de caja del proyecto total.

3. METODOLOGÍA

En este documento se describe una innovación tecnológica que es un simulador para estimar costos en plantaciones forestales y reforestaciones (SIMCOPLAN), con el cual es posible calcular con agilidad y comparar entre escenarios alternos en cuanto a costos, ingresos y rentabilidad potencial en una plantación forestal comercial específica. Actualmente, el SIMCOPLAN se encuentra en la etapa de validación y transferencia en reforestaciones o plantaciones, específicamente con especies del género *Pinus*, que son las que predominan en los bosques de clima templado-frío de México. SIMCOPLAN también puede aplicarse o adaptarse para estimar costos en otras especies que crecen en otros ecosistemas. El libro de Excel®, donde está integrado el simulador, contiene cuatro hojas de cálculo vinculadas para realizar las operaciones necesarias y presentar los reportes de resultados. En el “Manual del usuario” del SIMCOPLAN^[8], se describe su funcionamiento. Este simulador fue diseñado en Excel® por ser un software conocido y accesible para la mayoría de los usuarios potenciales.



3.1 Primera hoja de cálculo del simulador (Año_1)

En la parte inicial de esta primera hoja se presenta la identificación del SIMCOPLAN, sus autores y adscripciones. Otros datos son: año de la plantación, nombre del proyecto o predio, nombre de la especie(s) a plantar, lugar y fecha donde se realizó la simulación y el nombre o nombres de la(s) persona(s) que consiguieron y plasmaron los datos en este escenario (Figura 1). Esta hoja también contiene 10 secciones o grupos de costos, donde cada usuario puede capturar los datos de la plantación de su interés, que le permitirán identificar el escenario más realista en el que esté trabajando (“corriendo”) y distinguirlo de otros escenarios que sea de su interés “correr” y compararlos con el escenario original, como apoyo para tomar algunas decisiones en su proyecto de plantación/reforestación.

En el Manual del usuario se describen las funciones asignadas a cada columna y los datos y cálculos que aparecen en cada hilera. Los principales conceptos que se consideran son: costo de la planta, preparación del terreno, costo de plantación, supervivencia y sustitución de plantas muertas, incrementos promedio de los árboles plantados, coeficiente mórfico, tamaño individual de las áreas a reforestar, combate contra incendios y control de plagas y enfermedades de la plantación a lo largo del turno, entre otros diversos factores de costos y rendimientos, así como la periodicidad y magnitud de los ingresos esperados de las cortas parciales y de la cosecha final.



SIMULADOR PARA ESTIMAR COSTOS EN PLANTACIONES FORESTALES Y REFORESTACIONES (SIMCOPLAN)									
José Ciro Hernández-Díaz ¹ , José Angel Prieto-Ruiz ² , Gustavo Pérez-Verdín ³ , Christian Wehenkel ¹ , Marín Pompa-García ² , R. Lara Villa ⁴ , Manuel de Jesús González Guillén ⁵									
1	Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera; Universidad Juárez del Estado de Durango (ISIMA-UJED)								
2	Facultad de Ciencias Forestales; Universidad Juárez del Estado de Durango (FCF-UJED)								
3	Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR, Unidad Durango.								
4	Consultor independiente.								
5	Colegio de Posgraduados; Montecillo; Edo. De México.								
LA PLANTACIÓN INICIÓ EN EL AÑO:		2013							
NOMBRE DEL PROYECTO O DEL PREDIO:		PROYECTO HACIENDA EL DURANGUEÑO							
NOMBRE DE LA ESPECIE(S) A PLANTAR:		<i>Pinus greggii</i>							
LUGAR Y FECHA DE LA SIMULACIÓN:		DURANGO, Dgo. Mex., Abril, 2018							
NOMBRE DEL ANALISTA(S) DE ESTE ESCENARIO:		Cristobal Ortega e Inq. Alfredo							
							AÑO 1		
EL USUARIO DEBE CAMBIAR SOLO LOS DATOS DE LA COLUMNA SOMBREADA, EL RESTO LO CALCULA EL SIMULADOR.									
CONCEPTOS TÉCNICOS Y DE COSTO: (Importante: Se recomienda que el usuario describa en un anexo los detalles de los datos que utilice para cada escenario que sea de su interés)		UNIDADES (Predeterminadas)	Escenario realista	Notas	CHEQUEO	CÁLCULOS O DATOS FIJOS	SUBTOTALS POR PROYECTO (MX PESOS)	SUBTOTALS POR HECTAREA (MX PESOS)	SUBTOTALS EN MONEDA EXTRANJERA
SECCIÓN 1: DATOS PRELIMINARES									

Figura 1. Datos de identificación del simulador y del escenario a simular.

3.2 Segunda hoja de cálculo del simulador (“ESCENARIOS”)

La hoja de “Escenarios”, incorporada en la versión de Mayo, 2018 del SIMCOPLAN, facilita el diseño de tres escenarios básicos (realista, optimista y pesimista) que quizás se interesará en probar y analizar cada usuario del simulador. El encabezado de esta hoja contiene la misma información de identificación del SIMCOPLAN y de la plantación con la que se esté trabajando (descrito en la hoja 1).

Posteriormente, esta hoja contiene la columna “Conceptos técnicos y de costos”, que tiene la misma estructura de la hoja 1. También contiene la columna de “Unidades predeterminadas”, que es igual a la columna de unidades en la hoja 1 y sirve para indicar al usuario las unidades “predeterminadas” exactas en las cuales debe plasmar los datos de los tres escenarios a simular (Realista, Optimista y Pesimista) que se muestran en las columnas D a la I en esta hoja. En cada escenario, cada celda está seguida por otra en la cual el usuario podrá escribir “notas” explicativas o recordatorios para aclarar cualquier información sobre los datos y cálculos del renglón respectivo.

3.3 Tercera hoja de cálculo del simulador (TURNO_TOTAL)

Esta hoja contiene 13 columnas y 493 hileras; en ellas, el usuario tiene la opción de introducir o modificar hasta 72 datos numéricos adicionales para diseñar su propio es-



cenario de manejo de la plantación y el sistema responde hasta con 471 cálculos. Los encabezados de las 13 columnas, cuya función se describe con detalle en el Manual del usuario, son los siguientes: (1) Año en que ocurre la acción, (2) Conceptos a considerar, (3) Datos (modificar según cada escenario), (4) Chequeo, (5) Notas, (6) Cálculos, (7) Unidades, (8) Costos parciales y total a precios nominales (Mx\$/Proyecto), (9) Subtotales anuales de costos a precios nominales (Mx\$/Proyecto), (10) Subtotales anuales de ingresos a precios nominales (Mx\$/proyecto), (11) Ejemplos de fechas (en las que ocurrirá cada costo e ingreso), (12) Costos anuales totales a precios constantes equivalentes (Mx\$ referidos al final del turno) y (13) Ingresos anuales totales a precios constantes equivalentes (Mx\$ referidos al final del turno).

Diversos datos de esta tercera hoja del SIMCOPLAN interactúan con información de la hoja 1, para brindar al usuario los resultados parciales y totales sobre el turno completo. Una de las interacciones más importantes permite estimar y visualizar la sumatoria de los costos e ingresos nominales totales (a través del turno completo) y convertirlos a precios constantes equivalentes en Mx\$ referidos al inicio del turno.

3.4 Cuarta hoja de cálculo del simulador (“INDICADORES”)

La cuarta hoja es la única que no requiere que el usuario introduzca datos adicionales, pues todos los cálculos efectuados provienen de la información contenida en las hojas anteriores. En esta hoja se resumen en una hilera por año los ingresos y costos del proyecto a precios nominales y reales. Además, compara las sumas de los costos e ingresos reales acumulados en todo el horizonte de planeación, y calcula los tres principales indicadores de rentabilidad económica del proyecto: B/C, VAN y TIR.

4. Resultados y discusión

Una vez que se capturan los datos necesarios, el simulador permite estimar los costos medios previstos “por hectárea plantada” en el primer año de la plantación, así como el “costo por metro cúbico” de madera a producir y el “costo total del proyecto”, desglosado en porcentajes por grupo de conceptos. También desglosa para cada año del horizonte de planeación, que puede ser de 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 años, o bien una combinación de cortas parciales en esos años hasta llegar a la cosecha final.



4.1 Resumen de resultados numéricos a obtener

En la primera hoja de cálculo, el usuario puede introducir o modificar los valores de hasta 74 variables y el simulador presenta 256 estimaciones de costos, que incluyen: (1) cálculos individuales basados en cada insumo, (2) subtotales de las 10 secciones o grupos de insumos, y (3) el costo total del primer año de la plantación. Este total y sus 10 subtotales se presentan en cuatro formas: (1) “pesos mexicanos por cada metro de madera a producir”, (2) “pesos por cada planta establecida en la plantación”, (3) “pesos por cada hectárea plantada” y (4) “pesos por el conjunto de hectáreas que constituye el proyecto”. Este último aspecto se calcula también en términos de cualquier moneda extranjera que sea de interés del usuario que efectúa la simulación (Figura 2).

SECCIÓN 9: RESUMEN DE SUBTOTALES DE COSTOS OPERATIVOS, POR GRUPO DE CONCEPTOS EN EL AÑO UNO	Pesos MX/M3r	(%)		Pesos MX/planta lograda	Pesos MX/Proyecto	Pesos MX/ha	Moneda extranjera al Proyecto
Subtotal 1: Costo de la renta de la tierra por proyecto	12.03	13.0		\$1.6	\$204,000	\$2,000	\$10,200
Subtotal 2: costo de plántula en vivero/año	23.23	25.2		\$3.0	\$393,975	\$3,863	\$19,699
Subtotal 3: Costo/renta de vehículo	3.10	3.4		\$0.4	\$52,530	\$515	\$2,627
Subtotal 4: Costo/año en preparación del terreno	31.28	33.9		\$4.0	\$530,400	\$5,200	\$26,520
Subtotal 5: Costo de peones plantadores y fertilizadores	0.00	0.0		\$0.0	\$0	\$0	\$0
Subtotal 6: Costo de los implementos, por año (PLANTADORA)	0.00	0.0		\$0.0	\$0	\$0	\$0
Subtotal 7: Costo de peones plantadores, fertilizadores, etc.	2.32	2.5		\$0.3	\$39,398	\$386	\$1,970
Subtotal 8: Costo de los implementos MANUALES, por año	0.18	0.2		\$0.0	\$3,078	\$30	\$154
Subtotal 9: Costo del fertilizante, primer año	0.68	0.7		\$0.1	\$11,491	\$113	\$575
Subtotal 10: Costo por cercado de las áreas plantadas	7.42	8.0		\$1.0	\$125,800	\$1,233	\$6,290
SUMA DE SUBTOTALES DE COSTOS OPERATIVOS, SIN SUBSIDIOS	\$80	87.0		\$10.36	\$1,360,671	\$13,340	\$68,034

Figura 2. Ejemplo parcial del resumen de resultados numéricos que produce el SIMCOPLAN.

Además de lo anterior, el SIMCOPLAN estima el valor esperado del suelo (VES) en una serie periódica perpetua con intervalos iguales al horizonte de planeación y da una estimación de la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) que representa la madera comercial cosechada en los aclareos y en la cosecha final, así como el costo que implica en promedio la captura de cada tonelada de CO₂.

4.2 Presentación gráfica de los resultados de la inversión

Finalmente, además de lo ya descrito el simulador presenta una gráfica que ilustra el saldo de caja acumulado a precios constantes, en términos de pesos mexicanos por hectárea. Éste es otro apoyo que facilita al inversionista prever el comportamiento de la inversión a través de tiempo. Con los datos utilizados para ilustrar el Manual del usuario del SIMCOPLAN se obtuvo la gráfica que se presenta en la Figura 3.

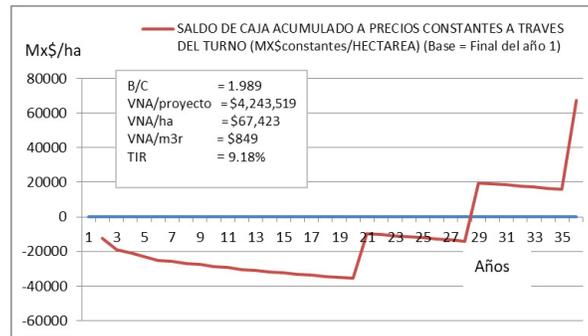


Figura 3. Saldo de caja acumulado a través del horizonte de planeación.

Esta gráfica también se visualiza en la hoja 1, junto con las estimaciones de B/C, VNA (o VAN) y TIR; además, se incluyen los cálculos del VES y la estimación de la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) que representa la madera comercial cosechada en los aclareos y en la cosecha final. Estos elementos dan la pauta para que el usuario pueda tomar decisiones con respecto a su inversión en la plantación de su interés. Finalmente, el SIMCOPLAN constituye una herramienta interactiva de planificación valiosa y eficiente para los tomadores de decisión, al dar respuesta a múltiples y diversas interrogantes sobre la rentabilidad de una plantación forestales comercial.

5. Conclusiones

El nivel de detalle del simulador para estimar costos en plantaciones forestales y reforestaciones (SIMCOPLAN) permite que los cálculos que efectúa tengan un desglose suficiente para distinguir y comparar los cambios en los resultados financieros a obtener entre diferentes escenarios o combinaciones de insumos que puede efectuar un inversionista o un técnico interesado en las plantaciones forestales. La principal ventaja es que, al ser un simulador computarizado, permite responder rápidamente a la pregunta "¿qué pasaría si ...?" en relación con la modificación de alguno o de varios de los datos, lo cual es muy útil para comparar los costos e ingresos de diferentes escenarios de interés para el usuario; por tanto, facilita la toma de decisiones en la reforestación, y también en proyectos de plantaciones forestales comerciales.

6. Agradecimientos

Agradecemos a las organizaciones SIAFANI S.C. y PINACEAS A.C., así como a los Ings. Miguel Ángel Ossio y J. Armando Limones Avitia, quienes participaron en la



etapa de validación del SIMCOPLAN, aportando información de casos reales de plantaciones bajo su responsiva técnica.

Asimismo, reconocemos el apoyo del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología, al financiar el Proyecto COCYTED SIMCOPLAN AC244, para validar el SIMCOPLAN.

6. Bibliografía

1. Arias, G. Análisis del impacto económico y social de las plantaciones en Costa Rica. FUNDECOR, 2004.
2. Prieto Ruíz, J.A.; Aldrete, A.; Hernández D., J.C.; Goche T., J.R. Causas de mortalidad de las reforestaciones y propuestas de mejora. *In: Las Reforestaciones en México. Problemas y alternativas de solución.* Editorial UJED. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. pp: 55-66. 2016.
3. Prieto Ruíz J.A. Establecimiento de plantaciones forestales. México. INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo. 2006.
4. Martínez Salvador, M.; Prieto Ruíz, J.A. Determinación de áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en la región norte de México. Folleto técnico No. 47. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP-SAGARPA. Durango, México. 2011.
5. Hernández-Ramos J., De los Santos-Posadas H.M., Valdéz-Lazalde J.R., Tamarit-Urias J.C., Ángeles-Pérez G., Hernández-Ramos A., Méndez-López B. y Peduzzi A. Estimación del volumen comercial en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* con modelos de volumen total y de razón. *Agrociencia* 51: 561-580. 2017.
6. Torres Rojo JM y Magaña O. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. México, Limusa. Pp: 27-38.
7. CONAFOR. Evaluación de costos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales comerciales. CONAFOR. Guadalajara, Jalisco. 71 p. 2011.
8. Hernández-Díaz J.C., Prieto-Ruíz J.A., Pérez-Verdín G., Wehenkel Ch., Pompa-García M., Lara Villa R., González-Guillén M.J. Simulador para estimar costos en plantaciones forestales y reforestaciones (SIMCOPLAN) (versión v.1). Registro ante el INDAUTOR en México:03-2015-051811065500-01. (2015).



Efecto del clima y el suelo en cuatro plantaciones de Pinus

Ramón Eduardo Soto Cervantes ■ José Ciro Hernández Díaz ■ Christian Anton Wehenkel
José Ángel Prieto Ruíz ■ José Rodolfo Goche Téllez.

Maestría Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales.
Universidad Juárez del Estado de Durango
resc_f300@hotmail.com

1. RESUMEN

En el presente estudio se evaluaron cuatro plantaciones de “pino real” (*Pinus engelmannii* Carr.) de 22 meses de edad, ubicadas en el estado de Durango, México. Las variables dependientes estudiadas fueron: supervivencia, altura, diámetro y área de copa. Para tratar de explicarlas, en cada plantación se obtuvieron 13 variables de suelo, tres fisiográficas y 12 climatológicas (de las estaciones más cercanas). Las cuatro plantaciones presentan diferencias en los valores de las variables dependientes. La hipótesis fue que tales diferencias pueden explicarse porque en cada plantación se presenta diferente valor en las variables ya mencionadas. Mediante la prueba de correlación de Spearman y la técnica de Random Forest se detectó que existe correlación significativa entre las variables dependientes e independientes. Entre las variables que más influyeron positivamente en el desarrollo de las plantas, estuvieron: pendiente, precipitación, temperatura máxima del mes más cálido y nitratos; en cambio el manganeso mostró influencia negativa.

2. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las plantaciones forestales han aumentado 3.6 millones de hectáreas/año en promedio desde 1990 y representan aproximadamente el 10 % de la superficie forestal mundial, estimada en 4 mil millones de hectáreas^[1]. En México, también se han impulsado las plantaciones comerciales, pasando de 100,000 ha plantadas en 2006 a 269,661 ha en 2014^[2]. Las plantaciones son una alternativa para satisfacer la demanda de productos forestales; además, permiten contrarrestar la degradación del suelo por incendios forestales^[3]. El principal problema de las plantaciones en México es la mortalidad, cuyas causas



son diversas: a) fechas inadecuadas de plantación (36%), b) sequías (18%) y c) calidad deficiente de la planta (13%); el resto de factores adversos (33%) incluye: selección inapropiada de especies, manejo deficiente de la semilla, etc.^[4]. De las reforestaciones realizadas entre 2006 y 2014 en la República Mexicana, la supervivencia varía del 30 al 53%; en el caso particular de Durango es del orden del 43%, lo cual es menor que el promedio nacional^[5].

En el presente trabajo se estudiaron cuatro plantaciones de *Pinus engelmannii* Carr., establecidas en diferentes condiciones ambientales. El objetivo fue evaluar su desarrollo y supervivencia después de dos años de plantado y detectar la influencia de algunas variables topográficas, climáticas y de suelo en dicho desarrollo, estableciendo la hipótesis de que: es posible determinar las variables ambientales (o grupos) que tienen mayor influencia en la supervivencia y desarrollo de las plantaciones evaluadas.

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

2.1. Área de estudio

Tres de las plantaciones evaluadas se ubican en el municipio de Durango y la cuarta en el municipio de San Dimas, ambos en el estado de Durango, México. A cada plantación se le asignó un nombre según el predio donde se localiza (Figura 1).

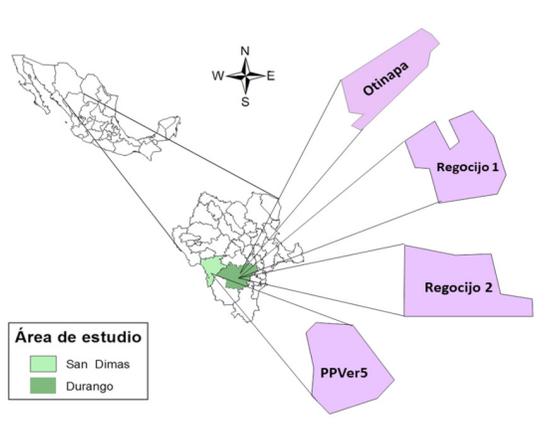


Figura 1. Área de estudio: Otinapa = Plantación en el ejido Otinapa; Regocijo1 y Regocijo2 = Primera y segunda plantación en el ejido Regocijo; PPVer5 = Plantación en el Lote 5 del Predio particular Veredas.

2.2. Esquema de muestreo

Para obtener la información de campo, se aplicó un muestreo sistemático en tripletas con intensidad del 4%^[6], ubicando la primera tripleta (tres filas de árboles) en un



punto cercano a una esquina de la plantación (Figura 2) y recorriendo luego toda la plantación, muestreando una de cada 25 tripletas y registrando en campo las cuatro variables consideradas dependientes en este estudio.

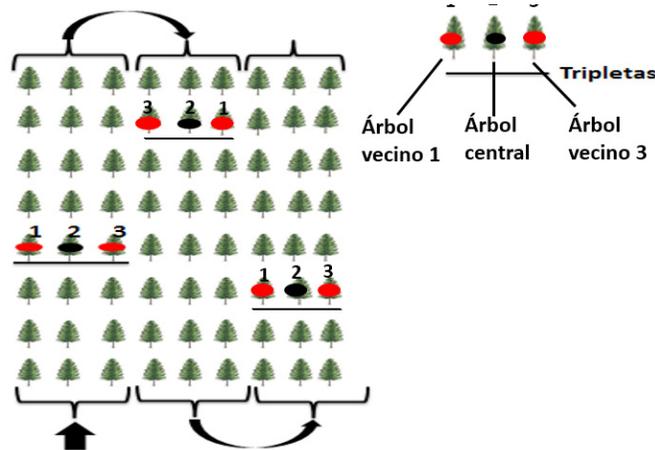


Figura 2. Esquema del recorrido en el muestreo sistemático por tripletas.

En el Cuadro 1 se describen los valores promedio (y desviación estándar) observados de las variables dependientes en cada plantación.

Cuadro 1. Promedio y desviación estándar (entre paréntesis) de las variables dependientes.

Plantación	Superficie (ha)	Observaciones (n)	Supervivencia (%)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área de copa (cm ²)
Otinapa	11.10	448	66.8%	21.05 (7.31)	2.33 (0.94)	564.10 (85.76)
Regocijo 1	3.50	123	53.9%	18.96 (9.00)	2.02 (0.60)	267.64 (36.63)
Regocijo 2	2.10	165	72.3%	35.48 (16.92)	3.14 (0.97)	879.31 (98.34)
PPVer5	3.00	57	86.2%	60.29 (15.40)	2.50 (0.83)	1242.23 (89.41)

PPVer5 = Predio Particular Lote 5 de Veredas.

En el Cuadro 2 se describen los valores de las variables fisiográficas y climáticas de cada plantación evaluada.



Cuadro 2. Variables independientes, fisiográficas y climáticas de cada plantación.

Variables	Otinapa	Regocijo1	Regocijo2	PPVer5	Media	Desviación estándar
Exposición	Cenital	Cenital	Cenital	Este		
Pendiente (%)	0	0	0	25	6.25	12.5
Elevación (m)	2,377	2,574	2,517	2741	2552.25	150.6
PMA2014 (mm)	622	800	800	928	787.5	125.8
PMA2015 (mm)	746	759	759	1050	828.5	147.8
TMA2014 (oC)	13	13	13	13	13	0.0
TMA2015 (oC)	13	13	13	13	13	0.0
TMMMC2014, (oC)	30	28	28	35	30.25	3.3
TMMMC2015, (oC)	30	26	26	35	29.25	4.3
TMMMF2014, (oC)	-10	-4	-4	-9	-6.75	3.2
TMMMF2015, (oC)	-9	-3	-3	-9	-6	3.5

Fuente: Estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua. PMA2014 y PMA2015 (precipitación media anual en 2014 y 2015, mm); TMA2014 y 2015 (temperatura media anual en 2014 y 2015, oC); TMMMC2014 y 2015 (temperatura media del mes más caliente en 2014 y 2015, °C); TMMMF2014, °C) y 2015 (temperatura media del mes más frío en 2014 y 2015, °C). PPVer5 = Predio Particular Lote 5 de Veredas.

En el Cuadro 3 se presentan los valores de las 13 variables del suelo, por plantación.

Cuadro 3. Características del suelo de cada plantación.

Característica	Otinapa	Regocijo 1	Regocijo 2	PPVer5
Nitratos (NO ₃ , kg/ha)	71.42	38.77	8.93	142.89
Materia orgánica (%)	1.18	1.72	0.84	7.46
Saturación de agua (%)	27.5	45.62	40.25	54.5
Sodio (ppm)	85.7	70.50	72	75.5
Manganeso (ppm)	49.2	80.70	70.8	31.14
Fósforo (ppm)	5.43	5.09	4.55	1.91
Densidad del suelo (g/mL)	1.31	1.12	1.27	0.76
Potasio (ppm)	134.7	220.12	145.25	263.75
Zinc (ppm)	3.9	2.18	1.03	1.26
Ph	5.26	5.08	5.33	4.84
Sales C.E. (dS/m)	0.88	0.35	0.46	0.71
Fierro (ppm)	72.87	68.64	57.66	68.76
Cobre (ppm)	0.22	0.29	0.33	0.63

PPVer5 = Predio Particular Lote 5 de Veredas.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis estadístico

Los datos se capturaron en Microsoft Excel® y se analizaron con el software libre R 3.2.2^[7]. Dado que no se encontró normalidad, mediante la prueba no paramétrica de Spearman se analizó la magnitud de la colinealidad entre las variables independientes con el fin de detectar la posible redundancia (tal fue el caso de TMMMC2014 con TMMMC2015 y PPT2014 con PPT2015). También, se utilizó la técnica de Random Forest para determinar los grupos de variables independientes que más contribuyeron a explicar el comportamiento de cada variable dependiente.

El análisis de correlación de Spearman permitió detectar las principales variables independientes que presentaron correlación individual significativa con cada una de las variables dependientes analizadas (Cuadro 4). Además, mediante el análisis con la técnica de Random Forest se detectaron los grupos de variables independientes que resultaron más significativas con respecto a cada variable dependiente (Cuadro 5).

Cuadro 4. Variables independientes que más influyen en las variables dependientes (Correlación de Spearman).

Variables	Supervivencia	Altura	Diámetro	Área de copa
Pendiente	.155 **	.448 **	.166 **	.340 **
TMMMC2014	.171 **	.349 **	.200 **	.320 **
TMMMF2015	-.126 **	-.166 **	-.157 **	-.201 **
Nitratos	.134 **	.286 **	.138 **	.247 **
Materia orgánica	.102 **	.253 **		.176 **
% d saturación de agua	.073 *	.273 **		.162 **
Sodio	.083 *		.080 *	
Manganeso	-.161 **	-.335 **	-.195 **	-.299 **
Elevación		.257 **		.133 **
PPT2014		.281 **		.158 **
Fósforo		.226 **		-.142 **
Densidad		-.228 **		-.130 **
Potasio		.155 **		.074 *
Zinc		-.140 **		
TMMMF2014			-.074 *	

** . Correlación significativa al nivel de $p < 0.01$ (2-colas).

* . Correlación significativa al nivel de $p < 0.05$ (2-colas).



4.2 Variables fisiográficas

La pendiente mostró correlación individual significativa ($p < 0.01$) con las cuatro variables dependientes, siendo más elevada ($\rho = 0.448$) con relación a la altura de las plantas. Terrenos con pendiente presentan un mejor drenaje en el suelo^[8], lo cual favoreció que la plantación PPVer5 tuviera el mayor porcentaje de supervivencia, mayor altura y área de copa, pues esta es la única plantación que no está en terreno plano sino que tiene un 25% de pendiente (Cuadro 2). También PPVer5 cuenta con la mayor elevación, que de acuerdo con los resultados de Spearman y Random Forest muestra un efecto significativo y directamente proporcional con la altura y área de copa de las plantas de *Pinus engelmannii*. Estos resultados concuerdan con los reportados por Mejía^[9].

Cuadro 5. Variables independientes que más contribuyen como grupo a explicar la respuesta de cada una de las cuatro variables dependientes estudiadas. Según el análisis con Random Forest.

Variable	Supervivencia	Altura	Diámetro	Área de copa
PPT2014		17378.46		2798.98
Densidad	0.51	15676.73	9.23	3485.36
Nitratos	1.72	15665.1	21.03	3314.96
Pendiente		15079.83		
TMMMC2014		13101.43		2415.1
Elevación		12675.58		5641.58
% de Saturación de agua		11554.46	7.38	4063.22
Materia Orgánica		10627.53		3118.8
Fósforo	1.2	10495.42	9.51	3686.14
pH	1.64		20.04	
Sales	0.82		19.16	
Zinc			14.07	
Sodio	0.7		13.37	
Manganeso	1.74		8.41	
Fierro	0.54		7.62	
Cobre	0.87			
Potasio	0.49			

4.3 Variables climáticas

De acuerdo con los resultados de Spearman, la temperatura media del mes más caliente tuvo un efecto individual significativo ($p < 0.01$) sobre las cuatro variables dependientes, entendiendo desde luego que existen otros diversos factores e interac-



ciones que afectan la supervivencia y desarrollo de las plantas, como se describe en el estudio de Vega (2013)^[10]. La precipitación media anual (PPT2014) mostró una relación individual significativa con la altura y con el diámetro de la copa de las plantas (Cuadro 4), lo cual se confirmó con los resultados de Random Forest (Cuadro 5). En los Cuadros 1 y 2 se observa que la plantación con mayor valor de PPT2014 y PPT2015 es también la de mayor altura y cobertura de copa. Este efecto significativo y evidente era de esperarse, pues el agua es esencial en el desarrollo de la vegetación^[11].

4.4 Características del suelo

El Cuadro 3 muestra que la plantación PPVer5 presenta los valores máximos en nitrógeno, materia orgánica, saturación de agua, potasio y cobre; variables que pueden ser muy significantes para el crecimiento de las plantas (Cuadros 4 y 5), excepto el cobre si está en grandes cantidades^[12]. En cambio, las plantaciones de Otinapa y Regocijo 1 obtuvieron los valores mínimos en altura y diámetro (y también bajos en supervivencia y área de copa). lo cual puede estar relacionado con el mayor contenido de zinc presente en estas dos plantaciones, pues su correlación individual con la altura resultó negativa (Cuadro 4). El alto contenido de manganeso en la plantación Regocijo 1 (Cuadro 3), parece haber afectado el desarrollo de las cuatro variables dependientes, ya que esta plantación presentó los valores mínimos en desarrollo de las plantas (Cuadro 1).

5. CONCLUSIONES

Aunque las cuatro plantaciones estudiadas son de la misma especie y edad, los promedios de las variables dependientes fueron muy distintos, indicando que influyeron diversos factores en el establecimiento y desarrolló de cada plantación, lo cual era de esperarse^[13]. Los resultados encontrados pueden contribuir a facilitar la detección de lugares con mejores características para establecer plantaciones de *Pinus engelmannii* y así obtener un mayor porcentaje de supervivencia y un mejor desarrollo de las plantas.

6. BIBLIOGRAFIA

- 1- Guariguata M. R., Arce J., Ammour T., Capella J. L., Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro. Documento Ocasional 169 169, CIFOR. (2017).



- 2- PRONAFOR (Programa Nacional de Reforestación). Plantaciones forestales comerciales, www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales.
- 3- Bustamante G. V., Prieto R. J. A., Merlín B. E., Álvarez Z. R., Carrillo P. A., Hernández D. J. C. Potencial y eficiencia de producción de semilla de *Pinus engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango. *Madera Bosques* 18(3):7-21. (2012).
- 4- Prieto R. J. A., Martínez A. J. Análisis de conos y semillas en dos áreas semilleras de *Pinus cooperi*. Folleto Científico No. 1. Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC. INIFAP. 18 p. (1993).
- 5- Prieto R. J. A., Aldrete A., Hernández D. J. C., Sánchez V. J. R. Antecedentes sobre la reforestación en México. *In: Prieto R.J.A. y Goche T.J.R. Las reforestaciones en México: problemática y alternativas de solución.* (2016).
- 6- Rojas G. J. G. Sistema de inventario forestal continuo para reforestación. Grupo internacional rgi S.A. Zona Norte, 2014.
- 7- R Development Core Team. 2015. R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- 8- Ávila F. J., Hernández D. J.C., González Elizondo M. S., Prieto R. J. A., Wehenkel C. *Pinus engelmannii* Carr. in northwestern Mexico: a review. *Pak. J. Bot.* V. 48(5):2159-2166 (2016).
- 9- Mejía B. J. M., García R. J. L., Muñoz F. J. Evaluación de plantaciones de cuatro especies forestales en el estado de Durango. *Reacción Ciencia y Tecnología Universitaria.* (2012).
- 10- Vega A. A. Evaluación de las plantaciones forestales comerciales establecidas entre 1994 y 1996 en Los Tuxtlas. Tesis M.C. Universidad Veracruzana. (2013).
- 11- De Santa Olalla M, M. F., López F, P., Calera B, A. *Agua y Agronomía.* V. 9788484762461 (2005).
- 12- Gasparatos D. Comparative effects of organic and conventional Apple orchard management on soil chemical properties and plant mineral content under mediterranean climate conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* V. 11 (2011).
- 13- Prieto R. J. A., Hernández D. J. C. Aldrete A., Goche T. J. R., Wehenkel C. Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. *In: Prieto R.J.A. y Goche T.J.R. Las reforestaciones en México: problemática y alternativas de solución.* (2016).



Estudio de caso: Sustentabilidad de un Agroecosistema

Hermenegildo Román Losada Custardoy ■ José Cortés Zorrilla ■ Ana Karen Carlos Márquez ■ Zuleima Castán Flores
 ■ Nayla Adriana Flores Hernández ■ Cindy Emily Gómez Vergara ■ Mariana Lule González ■ Karla Maldonado Canul ■
 Tania Silva Pedraza Fuentes ■ Eleazar Rodríguez Ruíz ■ Lorena Luna Rodríguez

Área de Sistemas de Producción Agropecuarios.
 Departamento de Biología de la Reproducción.
 Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
 llunaro@xanum.uam.mx

1. Resumen

En el presente escrito se determina el grado de sustentabilidad del ‘Rancho Flor y Canto’, ubicado en el municipio de Tlalmanalco, Estado de México. Los indicadores de sustentabilidad se eligieron de acuerdo al marco MESMIS y se evaluaron tres áreas (ambiental, social y económica). Los datos se obtuvieron mediante una entrevista y observaciones de campo. Los valores obtenidos para la sustentabilidad en cada una de las dimensiones indican la tendencia a lo sustentable en el ámbito ambiental. Lo anterior se debe a que al ser un modelo que se maneja utilizando técnicas agroecológicas en la búsqueda de cambios significativos y desarrollo de capacidades de la sociedad para afrontar los cambios ambientales, dejando de lado los aspectos económicos.

2. Introducción

El termino sustentabilidad se remonta a los años 50, pero fue en 1987 cuando se reconoció mundialmente en el informe Brundtland de la comisión de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y desarrollo; definiéndose como: “la capacidad de satisfacer necesidades de la generación humana actual sin que esto suponga la anulación de que las generaciones futuras también puedan satisfacer las necesidades propias”. La sustentabilidad se refiere a los sistemas biológicos que pueden conservar la diversidad y la productividad a lo largo del tiempo; esta se encuentra ligada al equilibrio que guarda cualquier sistema con los recursos de su entorno.

Los agroecosistemas fueron diseñados sobre la hipótesis de que los recursos renovables y no renovables eran infinitos y que nunca se agotarían, y la capacidad del planeta podría absorber y transformar todos los residuos sin alterar los



sistemas. Derivado de la idea que nuestro planeta tenía recursos inagotables actualmente los sistemas convencionales ponen en peligro tanto la calidad del ambiente como la capacidad productiva del mismo. El uso de grandes cantidades de energía, agua, insumos externos, los monocultivos y la crianza de especies de alta selección genética han propiciado el agotamiento de la capa arable y la disminución en el número de especies; por lo cual estos sistemas no pueden considerarse sustentables^[1].

Por ello, debemos reorientar los sistemas productivos antes de que las pérdidas ambientales, de especies y de variabilidad genética sean irreversibles. Es necesario hacer conscientes a las personas que se requiere un equilibrio entre el desarrollo económico y el ambiental. Resulta menester crear conciencia basada en el principio fundamental de la sustentabilidad, lograr una sinergia entre el desarrollo y el cuidado al ambiente; por supuesto no es una tarea fácil y requiere de mucho esfuerzo y dedicación de la población humana. Con el propósito de aproximarse a la sustentabilidad para garantizar la conservación de la vida en nuestro planeta, hoy y en el futuro; se requiere que repensemos la agricultura y el desarrollo rural de forma sistémica, incorporando los diferentes contextos sociales, económicos, ecológicos y tecnológicos de cada región. Para lograr la sensibilización de la población se han creado modelos educativos con la intención de que los jóvenes aprendan un manejo sustentable de los procesos de producción. En este trabajo se analiza la propuesta de sustentabilidad del 'Rancho Flor y Canto' localizado en el municipio Tlalmanalco, Estado de México, con el objetivo de determinar el grado de sustentabilidad del mismo.



3. Condiciones experimentales

3.1 Descripción del sitio

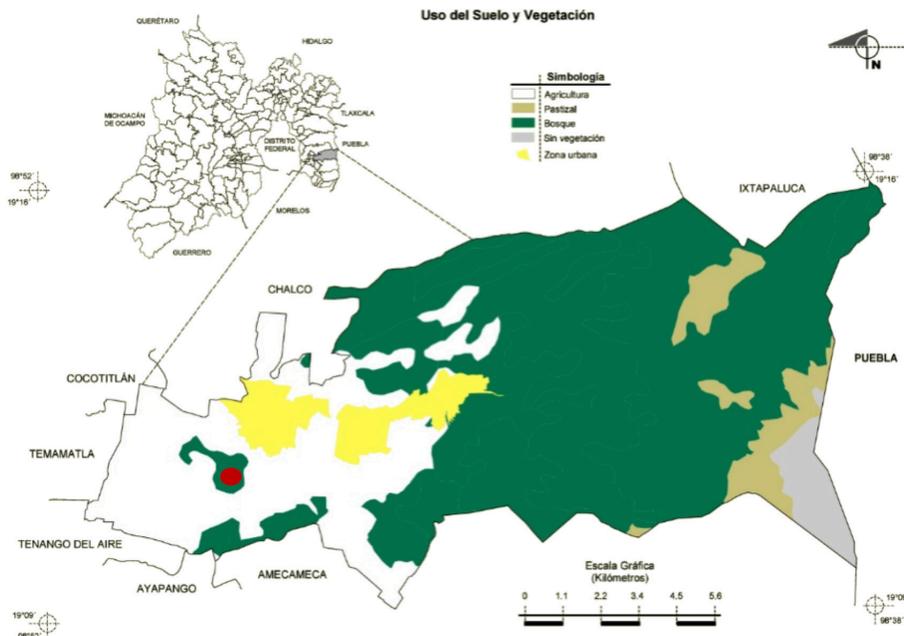


Figura 1. Ubicación del Rancho flor y canto ●

Este estudio se desarrolló en las instalaciones del ‘Rancho Flor y Canto’ de la fundación Flor y Canto A. C. el cual se encuentra en el Municipio de Tlalmanalco, ubicado en el sureste del estado de México, a una altitud de 2400 m.s.n.m., y se ubica en las coordenadas geográficas: latitud: 19° 80’47”N y longitud: 98° 48’ 09” O.

El clima es templado subhúmedo con un régimen de lluvias en verano, su temperatura media anual es de 13.2 °C, el mes más frío es enero con temperatura de 10.9 °C y el más cálido es abril con temperatura de 15.4 °C. El tipo dominante de suelo es andosol (65.81%), abundante en materia orgánica. Los ecosistemas nativos predominantes son los bosques de coníferas y encinos (Figura 1) y el uso del suelo es de agricultura y urbano.

3.2 Construcción participativa de indicadores de sustentabilidad

Para la construcción de los indicadores se utilizó la metodología modificada de Albicette et al. (2009) [2] y Losada, et al. [3]; mediante un trabajo participativo, visualización simultánea y discusión se eligieron los indicadores de sustentabilidad de acuerdo al marco MESMIS; además que marcaran una tendencia clara en el ámbito del sistema en estudio [4]. Posteriormente, se relacionan con tres áreas de evaluación (ambiental,



social y económica) y finalmente se definieron los indicadores y se discutieron posibles formas de medirlos. Los datos se obtuvieron mediante una entrevista y observaciones de campo.

3.3 Estandarización de los indicadores

Los datos fueron estandarizados, mediante su transformación a una escala para dar valor a la sustentabilidad (Tabla 1). Los valores independientemente de su unidad original, fueron transformados a estas escalas para hacer posible la integración de los indicadores de distinta naturaleza. Además, algunos indicadores fueron ponderados al darle un valor mayor de acuerdo a su importancia relativa respecto a la sustentabilidad. Por ejemplo, en la dimensión social al indicador 'Generación de empleo' se le dio un valor máximo de 20.

Tabla 1. Escala de valores utilizada para estandarizar los niveles de sustentabilidad

Valor de sustentabilidad	Dimensión				
	Social		Económica	Ambiental	
Mínimo	0	0	0	0	0
Máximo	16	20	25	10	15

4. Resultados y discusión

La evaluación realizada en este estudio fue integral, se caracterizó el sistema, el contexto socio-ambiental y económico incluyendo todos los componentes del sistema. Los indicadores se diseñaron para un sistema de manejo concreto, en un lugar y tiempo determinado y con un entorno social y ambiental específico, como lo es el rancho sustentable de la Fundación Flor y Canto A.C.

Tabla 2. Dimensión económica.

Indicadores	Rancho	Máximo
Especialización económica	15	25
Eficiencia del proceso	25	25
Planificación	15	25
Capacidad financiera	15	25
Total	70	100



Tabla 3. Dimensión ambiental.

Indicadores	Rancho	Máximo
Grado de compactación	10	10
Medidas de conservación de suelo	10	10
Cobertura del suelo	10	10
Calidad del agua	10	10
Manejo de residuos	15	15
Manejo de reservas	15	15
Grado de dependencia del clima	8	10
Elaboración de fertilizantes orgánicos	10	10
Diversidad vegetal	10	10
Total	98	100

Tabla 4. Dimensión social.

Indicadores	Rancho	Máximo
Calidad de las viviendas	4	16
Posibilidades de educación	16	16
Grado de innovación tecnológica	8	16
Grado de satisfacción personal	16	16
Involucramiento de la familia	8	16
Generación de empleos	15	20
Total	67	100

Los valores obtenidos para la sustentabilidad en cada una de las dimensiones indican la tendencia a lo sustentable en el ámbito ambiental (Figura 2, Tabla 3), sin embargo, en las otras dimensiones es bajo (Tabla 2 y 4). Lo anterior se debe a que al ser un modelo que se maneja utilizando técnicas agroecológicas con mayor énfasis en la parte de educación en la búsqueda de cambios significativos y desarrollo de capacidades de la sociedad para afrontar los cambios ambientales, dejando de lado los aspectos económicos.

La diversidad de plantas cosechadas en un rancho sustentable puede minimizar el consumo externo, favoreciendo la economía interna, es decir, proporcionando gastos menores y obteniendo distintos alimentos.

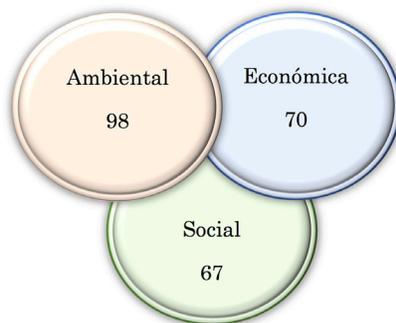


Figura 2. Diagrama de Venn para las dimensiones evaluadas.

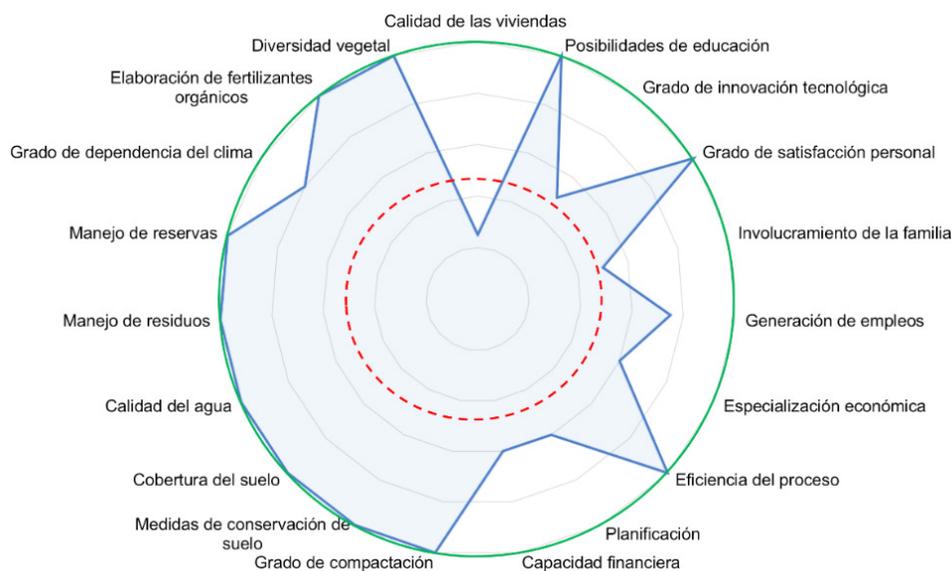


Figura 3. Sustentabilidad del sistema agroecológico por medio del Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). El círculo punteado interno (- - -) delimita el 50 % de sustentabilidad. La línea sólida () el 100 % de sustentabilidad.

La importancia de este tipo de ranchos radica en tratar de transmitir a través de la educación implementando actividades que fomenten la conservación del entorno que los rodea (Figura 3); con el principal objetivo, de promover procesos sustentables, de manera que los recursos existentes en las localidades no se agoten y satisfagan durante un largo tiempo las necesidades de las generaciones futuras.

Este sistema lleva a cabo el uso de materiales orgánicos con el objetivo de mejorar las técnicas de cultivo y mantener la productividad del suelo. Las prácticas agroecológicas que se usan en el ‘Racho Flor y Canto’ conllevan implícitamente la protección del ambiente.



5. Conclusiones

En el 'Racho Flor y Canto' las actividades que se realizan esta dirigidas a dar una idea clara sobre los procesos sustentables, con la intención de que los participantes aprendan otras formas de producción, que sean más amables con el ambiente, como hemos visto en los mercados actuales los productos “orgánicos” o “ecológicos” tiene mejor precio en el mercado y esto compensa la pérdida del volumen de producción que se persiguió como un logro de la revolución verde en nuestro país y el mundo con la producción intensiva de los monocultivos. Se incluyen tácitamente la protección del ambiente. Por lo tanto, la dimensión que se ve favorecida es la ambiental lo que es importante, pero se recomienda estabilizar la balanza para promover la equidad en las tres dimensiones (social, económica y ambiental).

6. Bibliografía

1. Sarandón S. y Flores C. La insustentabilidad del modelo agrícola actual. En Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables coordinado por Santiago Javier Sarandón y Claudia Cecilia Flores. 1a ed. La Plata: Universidad Nacional de La Plata. 2014.
2. Albicette M., Brasesco R. y Chiappe M. Propuesta de indicadores para evaluar la sustentabilidad predial en agroecosistemas agrícola-ganaderos del litoral del Uruguay. *Agrociencia* (2009) Vol XIII N° 1 pág. 48 – 68. 2009.
3. Losada H., Cortés J., Rivera J., Vieyra J., Castillo A. y González R. Evaluación de la sustentabilidad de sistemas de engorda de ganado de carne de pequeña escala que contribuyen al abasto de la Ciudad de México. *Livestock Research for Rural Development*. 21 (12). 2009.
4. Sarandón S.J. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En: *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable* (Sarandón SJ, ed). Ediciones Científicas Americanas: 393-414. 2002.



Seguimiento a calidad de peces para consumo tras derrame de petróleo en quebradas que desembocan en el río Sogamoso en el departamento de Santander – Colombia.

Laura Cristina Aguilar Casas ■ Maribel Castañeda Rodas
 Laboratorio de Aguas y Suelos Instituto Colombiano del Petróleo ECOPETROL S.A
 laura.aguilar@ecopetrol.com.co

1. Resumen

Tras el afloramiento de petróleo en cercanías del pozo Lisama 158, se presenta contaminación en las quebradas que desembocan al río Sogamoso, viéndose afectada gran cantidad de peces y otros animales de la zona. Debido al riesgo por posible intoxicación humana por consumo de pescado contaminado con hidrocarburos, las autoridades ambientales y de salud de la zona prohíben las actividades de pesca y solicitan a la empresa de petróleos confirmar si los peces están aptos para el consumo humano. Se realiza muestreo representativo de peces en la zona afectada y se procede a utilizar los procedimientos establecidos para preparación, extracción y análisis de hidrocarburos en tejido de peces, basados en los métodos de la Agencia Americana de la Protección del Medio Ambiente (US-EPA), buscando específicamente 16 Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) establecidos como contaminantes prioritarios por El Comité Mixto de Expertos FAO/OMS y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (Directiva 2000/60/EC) [1,2,3,4].

2. Introducción

La Agencia de Protección Ambiental (US EPA) ha establecido 16 tipos de HAP con clara actividad genotóxica, carcinogénica y mutagénica en animales de experimentación, estos son: benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(j)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, b(a p, criseno, ciclo-penta(c,d)pireno, dibenzo(a,h), antraceno, dibenzo(a,e)pireno, dibenzo(a,h)pireno, dibenzo(a,i)pireno, dibenzo(a,l)pireno, indeno(1,2,3-cd)pireno, 5-metilcriseno. Este grupo de expertos, antes mencionado, recomendó utilizar como marcador de toxicidad para HAP la suma de cuatro de estos: benzo (a) pireno



+ criseno + benzo(a)antraceno + benzo(b)fluoranteno). En situaciones de derrame de crudo la EPA hace referencia al Benzo(a) pireno como compuesto indicador^[5,6].

3. Condiciones Experimentales

3.1 Descripción del área de estudio

La recolección de los peces se llevó a cabo por el personal técnico de la empresa Cabildo Verde, en nueve puntos sobre el río Sogamoso, aguas arriba y aguas abajo del sitio de desembocadura de caño La Muerte y en dos puntos sobre el río Sogamoso antes y después de una red colocada sobre la desembocadura del caño La Muerte al río Sogamoso.

Las muestras de peces recolectadas se refrigeraron y posteriormente se sometieron a congelamiento durante el transporte desde el sitio de muestreo al laboratorio y hasta el momento del procesamiento...

En la tabla 1 se relacionan los puntos de muestreo con sus respectivas coordenadas planas y geográficas y con la identificación de individuo recolectado (nombre común y nombre científico).



Tabla 1. Relación de sitios de muestreo, coordenadas e identificación de los individuos recolectados.

Punto de Muestreo	Descripción de Punto de muestreo	COORDENADAS		Nombre Común	Nombre Científico
		N	E		
Punto 1	Rio Sogamoso entre el kilómetro 5 y 4, aguas arriba de la desembocadura Caño La Muerte	7° 11 ' 38,2"	73° 36 ' 46,2"	Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
				Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
Punto 2	Rio Sogamoso entre el kilómetro 4 y 3 aguas arriba desembocadura de Caño La Muerte	7° 11 ' 59,2"	73° 37 ' 14,8"	Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
				Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
				Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
				Comelón	<i>Leporinus Muyscorun</i>
Punto 3	Rio Sogamoso entre el kilómetro 3 y 2 aguas arriba desembocadura de Caño La Muerte	7° 12 ' 37,8"	73° 37 ' 26,4"	Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
Punto 4	Rio Sogamoso entre el kilómetro 2 y 1 aguas arriba desembocadura de Caño La Muerte	7° 12 ' 46,3"	73° 38 ' 01,7"	Hocicón	<i>Ichthyoelephas longirostris</i>
				Hocicón	<i>Ichthyoelephas longirostris</i>
				Chango	<i>Cynopotamus magdalenae</i>
				Choca	<i>Chaetostoma Sp1</i>
Punto 5	Rio Sogamoso en la desembocadura de Caño La Muerte	7° 12 ' 37,8"	73° 38 ' 41,8"	Blanquillo	<i>Sorubin cuspicaudus</i>
				Blanquillo	<i>Sorubin cuspicaudus</i>
				Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
Punto 6	Rio Sogamoso entre el kilómetro 1 y 2 aguas abajo desembocadura de Caño La Muerte	7° 12 ' 59,2"	73° 39 ' 06,6"	Hocicón	<i>Ichthyoelephas longirostris</i>
				Choca	<i>Chaetostoma Sp1</i>
Punto 7	Rio Sogamoso entre el kilómetro 2 y 3 aguas abajo desembocadura de Caño La Muerte	7° 13 ' 29,7"	73° 39 ' 15,6"	Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
				Vizcaina	<i>Curimata mivartii</i>
Punto 8	Rio Sogamoso entre el kilómetro 3 y 4 aguas abajo desembocadura de Caño La Muerte	7° 13 ' 44,3"	73° 39 ' 46,1"	Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
				Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
				Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
Punto 9	Rio Sogamoso entre el kilómetro 4 y 5 aguas abajo desembocadura de Caño La Muerte	7° 13 ' 32,7"	73° 40 ' 15,4"	Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
				Comelón	<i>Leporinus Muyscorun</i>
				Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
Punto 1 antes del Trasmayo	Desembocadura de Caño La Muerte en rio Sogamoso. Trasmallo Ubicado 10 metros de la última barrera de control. Peces que entran a Caño La Muerte desde el rio Sogamoso	1047763	1289127	Coroncoro	<i>Prochilodus magdalenae</i>
				Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
				Comelón	<i>Leporinus Muyscorun</i>
				Comelón	<i>Leporinus Muyscorun</i>
Punto 2 despues del Trasmayo	Desembocadura de Caño La en rio Sogamoso. Trasmallo Ubicado 10 metros de la última barrera de control. Peces que bajan de Caño la Muerte hacia en rio Sogamoso con los	1047763	1289127	Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
				Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
				Cachama	<i>Piaractus Brachypomus</i>
				Raya	<i>Potamotrygon magdalenae</i>
				Raya	<i>Potamotrygon magdalenae</i>

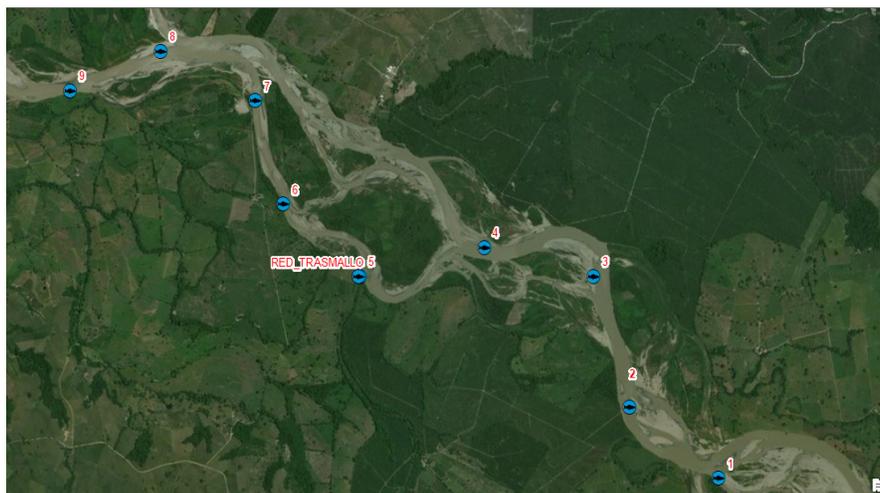


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo de peces sobre el río Sogamoso

Durante la jornada de muestreo se capturaron 106 individuos usando como arte de pesca la atarraya (86 Individuos) y trasmallo (20 individuos). Las especies de peces recolectadas son de nombre común: bocachico, blanquillo, comelón, hocicón, vizcaína, coroncoco, choca y raya. El presente estudio corresponde al análisis realizado en 34 individuos en los cuales se les practicó necropsia para identificar el contenido estomacal y determinar presencia de hidrocarburo de manera macroscópica.

3.2. Tratamiento de las muestra

El pretratamiento de los peces recolectados fue descamación, disección y congelamiento a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ para de esa forma realizar el proceso de liofilizado usando un Liofilizador Labconco. Finalmente este material liofilizado es macerado y tamizado. Las muestras de material animal liofilizado y seco se someten a extracción con n- Hexano grado cromatografico HPLC, en un Extractor Acelerado DIONEX ASE350, sistema cerrado a $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 1500 psi .^[6,7]

Para retirar de la matriz las grasas polares el extracto se filtra a través de sílica gel 100-200 mesh ^[7]. El filtrado se rotoevapora para eliminar el solvente y el residuo se re-disuelve con Diclorometano Suprasolv para el análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PHAs) por Cromatografía de gases usando detector FID ^[8,9]. Equipo usando Cromatógrafo de gases con puerto de inyección Split/splitless. Detector FID. Columna HP-5MS, 30m x 0.25mm x 0.25 μm . La confirmación de los resultados de GC- FID se lleva a cabo por cromatografía de gases con detector de masas GC-MS, Modo SIM, el equipo usado fue Cromatógrafo de gases Agilent 7890 con detector de masas 5975C.



4. Resultados y discusión

La identificación de los compuestos de interés se realiza por comparación del tiempo de retención obtenido durante el análisis, y la ventana de tiempo de retención establecida en la calibración. En el análisis por GC- FID la solución de referencia con la cual se hace la curva de calibración contiene 16 compuestos establecido por la Agencia de Protección Ambiental (US EPA) como componentes prioritarios para analizarse en caso de derrame de petróleo.

A continuación se presenta tres de los cromatogramas de GC FID obtenidos en las muestras analizadas. El cromatograma de color azul corresponde al estándar de HAP y el color rojo corresponde a la muestra de extracto de pez.

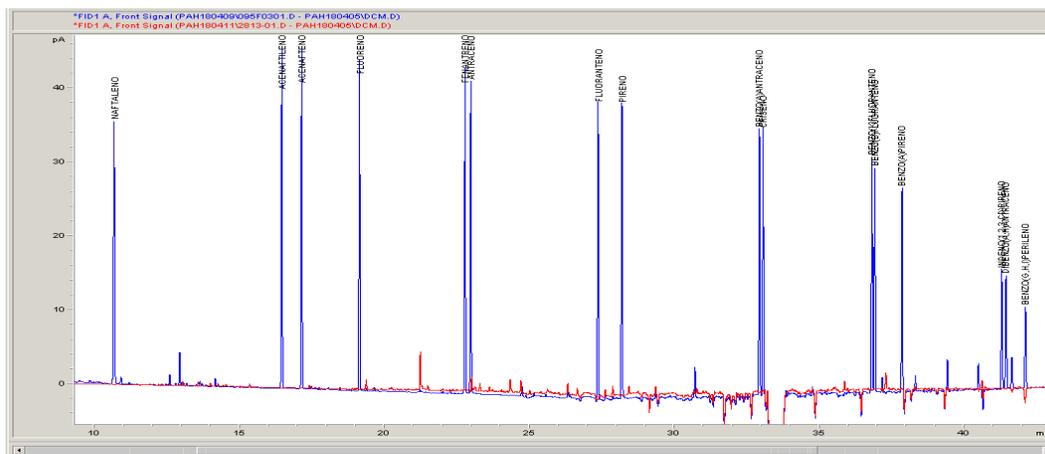


Figura 2. Cromatograma HAP (GC- FID) Prochilodus magdalenae (Bocachico) 2813-01. Punto 3. Río Sogamoso entre el kilómetro 3 y 2 aguas arriba desembocadura de Caño La Muerte

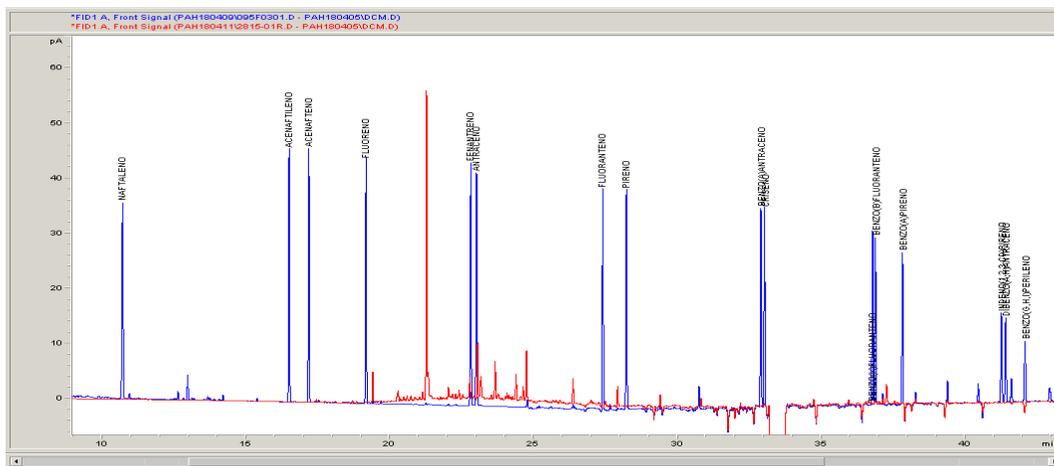


Figura 3. Cromatograma HAP (GC –FID). Sorubín cuspicaudus (Blanquillo) 2815-01. Punto 5 Río Sogamoso en la desembocadura de Caño La Muerte

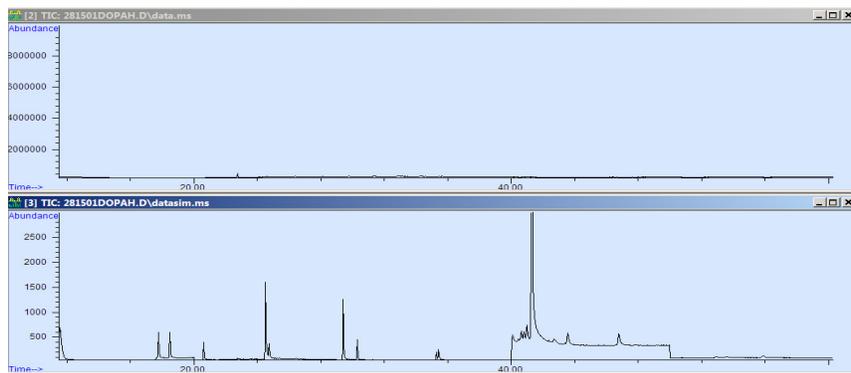


Figura 6. Imagen de GC MS estándar de HAP de 10 mg/L

Al comparar las dos imágenes de cromatografía de gases masas, se observa que en el extracto de pez no presenta ninguna señal, lo que indica la no presencia de los compuestos de interés.

5. Conclusiones

Según los cromatogramas obtenidos en las muestras analizadas por GC-FID método de PHAS, no es posible la cuantificación de los componentes especificados en el estándar, toda vez que, los picos en los cromatogramas de las muestras (línea roja) no coinciden con los tiempos de retención en el estándar

En el análisis por GC-MS Método PHAs a 32 extractos recolectados en los 11 puntos de muestreo sobre el río Sogamoso, se permite confirmar la NO presencia de los compuestos hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) que se monitorean.

6. Bibliografía

1. Codex Alimentarius Commission (CX/FAC 05/37/34), 2004. Joint FAO/WHO food standards programme Codex Committee on food additives and contaminants. Discussion paper on polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contamination.
2. FAO/WHO. report Evaluation of certain food contaminants, sixty-seventh of the Joint Expert Committee on Food Additives. Geneva; 2006. WHO Technical report series, N° 930.
3. Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. (Question N° EFSA-Q-2007-136) adopted on 9 June 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food. EFSA J. 2008;724:2-114



4. Franco, Y.N.; Ramírez, C.M., 2013. El benzo(a)pireno en los alimentos y su relación con el cáncer. *Perspectivas en Nutrición Humana*. 15: 99-112.
5. Rubio Armendáriz, C; Álvarez, R; Hardisson de la Torre, A Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en productos de la pesca: *Revista de Toxicología*, vol. 23, núm. 1, 2006, pp. 1-6.
6. Method 9071B. n- Hexane extractable material (HEM) for sludge sediment, and solid samples.
7. EPA Method 1664, Revision A: N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and silica Gel Treated N-Hexane Extractatable Material (SGT-HEM; Non-Polar Material) by Extraction and Gravimetry
8. U.S. EPA SW-846 METHOD 8000C "Determinative Chromatographic Separations". Revision 3, Mar 2003.
9. U.S. EPA SW-846 METHOD 8100 "Polynuclear Aromatic Hydrocarbons." Revision 0, Sep 1986.



La investigación participativa y su importancia para los estudios socio-ecológicos en zonas áridas: Estudio de caso del ejido La Soledad en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, México.

Ricardo Ismael Mata Páez ■ Elisabeth Huber Sannwald ■ Natalia Martínez Tagüeña ■ José Tulio Arredondo Moreno
Ruperto Cazáres Reyes ■ Victor Manuel Reyes Gómez ■ Jorge Alberto Urquidi Macías

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.

San Luis Potosí

ricardo.mata@ipicyt.edu.mx

1. RESUMEN

Para atender las tendencias mundiales, tanto de la agenda internacional para el desarrollo sostenible como de la investigación en sistemas socio-ecológicos, se deben generar alianzas entre los diferentes actores de los sistemas, donde todos actúen como colaboradores. Una alternativa viable para esto es la investigación participativa, la cual, busca combinar el conocimiento local/tradicional y el científico para co-generar conocimiento y para la resolución de problemas. Por lo anterior, el presente trabajo propone la aplicación de un enfoque participativo en el abordaje de problemáticas en zonas áridas, desde su identificación hasta su resolución, el cual, permitió la creación de relaciones de colaboración y confianza entre los investigadores y los pobladores y un mayor intercambio de conocimientos y técnicas a ambos lados. Presentamos la percepción desde el punto de vista de la investigación de nuestra experiencia con este método en el ejido La Soledad en la Reserva de la Biosfera de Mapimí.

2. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la agenda internacional busca crear alianzas entre los diferentes sectores de la sociedad como base para el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible ^[1]. Dicha agenda, en conjunto con otros factores sociales, culturales y políticos, repercuten en la toma de decisiones y en las políticas públicas a nivel tanto local como global. Aunado a esto, la investigación ecológica realizada en sitios donde está presente el humano, como en ciertos lugares de las zonas áridas, incluye cada vez más el entendimiento de los factores socioe-



conómicos, socio-políticos y socioculturales vinculados al ambiente, es decir, bajo un enfoque socio-ecológico ^[2].

La integración de las comunidades locales en la investigación y en la generación de programas de manejo es necesario, ya que son ellos los que aprovechan directamente los recursos naturales de los ecosistemas de sus tierras y toman decisiones sobre su manejo, utilizando el aprendizaje intergeneracional, el conocimiento local/tradicional, así como, las capacitaciones por técnicos de sectores del gobierno. Estos factores influyen conjunta y directamente sobre el manejo y funcionamiento de los ecosistemas de las zonas áridas, sobre todo en los agostaderos por la producción extensiva de ganado ^{[3], [4]}.

La investigación participativa busca estudiar e incidir en resolver problemas en sistemas socio-ecológicos, particularmente en las zonas áridas, en la cual, se busca la integración del conocimiento científico, técnico y el local/tradicional ^[5], por medio de la colaboración entre el investigador y los pobladores locales, desde el diagnóstico de problemas hasta la aplicación de soluciones ^[2]. La implementación de este enfoque ofrece mejores resultados para lograr integrar el conocimiento científico y local/tradicional en las políticas públicas y en las acciones de las comunidades, ya que permite que el aprendizaje entre los diferentes actores fluya de manera bidireccional y entre las diferentes escalas del sistema ^[6].

El presente estudio participativo se realizó en la Reserva de la Biosfera de Mapimí (RBM), ubicada dentro del desierto Chihuahuense, la cual se localiza en la zona sur del Bolsón de Mapimí entre los estados de Durango, Coahuila y Chihuahua. Inicialmente fue decretada en el año 1979 como zona de protección forestal y más tarde como Reserva de la Biosfera de Mapimí en el año 2000. La zona se caracteriza por ser una cuenca cerrada con grandes extensiones de planicies que tienen una altitud promedio de 1150 msnm, con vegetación correspondiente a un clima extremo, muy árido, semicálido y con lluvias en verano ^[7].

En la RBM existen 11 ejidos, en los cuales viven aproximadamente 326 pobladores distribuidos en pequeños asentamientos aislados. La ganadería extensiva ha sido la actividad más importante desde la época de la Colonia Española ^{[7], [8]}. Desde el año 2002, la RBM es manejada por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y tiene como objetivos la conservación de los recursos naturales y el desarrollo humano, esto le confiere una dinámica muy compleja entre las políticas de conservación de la institución gubernamental y las actividades productivas llevadas a cabo por los pobladores de los ejidos ^{[7], [8]}.

El presente trabajo tuvo como objetivos: 1) Identificar de manera participativa los actores multisectoriales presentes y sus relaciones en el sistema socio-ecológico de la RBM, así como los factores externos al sistema que los controlan, 2) identificar áreas de oportunidad para la investigación según las necesidades e intereses de los pobla-



dores y 3) realizar en participación el proyecto de investigación definiendo objetivos, metodologías, interpretación y resultados, como una manera de que la ciencia y el conocimiento local/tradicional sean aplicadas para la resolución de problemas en la zonas áridas.

3. MÉTODOS

3.1. MÉTODO PARTICIPATIVO

Para cumplir con los objetivos planteados se consideraron tres etapas principales: 1) exploración, 2) detección de las necesidades, ambas correspondientes al diagnóstico del sistema ^[9], y 3) el desarrollo de protocolo de investigación y desarrollo de proyecto en colaboración. La primera etapa constó de una entrevista con el director de la RBM de la CONANP, para darse a conocer como grupo de investigación, obtener autorización para trabajar en la reserva y compartir inquietudes e intereses. En seguida se realizaron dos visitas exploratorias, en los meses de abril y julio del 2017, guiados por el encargado del laboratorio del desierto, quien fue clave para contactar a los actores locales y tener acceso rápido a los ejidos que cuentan con población permanente. Dichas visitas, tuvieron los objetivos de presentarse como grupo de investigación interdisciplinario con los pobladores de la RBM y familiarizarse con el terreno, los sistemas productivos, y el estado de los agostaderos. En esta etapa se realizaron entrevistas no estructuradas para identificar los principales actores presentes.

La segunda etapa constó de una tercera visita a los ejidos de La Soledad, La Flor, Colonia Ganadera y Los Álamos para realizar entrevistas estructuradas con el objetivo de conocer las relaciones entre los principales actores y los factores externos que controlan la toma de decisiones en la RBM. Además, se recabó información acerca de las necesidades, intereses y, si la había, la problemática de los pobladores de la RBM; para identificar oportunidades para la investigación.

En la tercera etapa se delimitaron los alcances de la investigación respecto al 1) financiamiento, 2) a los tiempos a cumplir, y 3) a los ejidos interesados en colaborar en la investigación. De esa manera, se eligió al ejido La Soledad de la RBM, el cual se volvió a visitar en el mes de octubre de 2017 y se formaron equipos de trabajo con los ejidatarios para el diseño de la investigación, con respecto a lo que se obtuvo en las etapas 1 y 2 ^{[10][9]}, así mismo, se establecieron los objetivos y los métodos a seguir.

Una vez que se determinó el rumbo de la investigación, se visitó La Soledad en el mes de diciembre de 2017, en la cual, por medio de transectos guiados por los pobladores se recorrió el ejido con el fin de comprender mejor el ecosistema y la problemática presente. En posteriores visitas en los meses de marzo, mayo y junio 2018 se realizaron los levantamientos de campo en colaboración con los pobladores.



4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Como se mencionó anteriormente, la RBM es un sistema complejo, donde existe una dinámica entre los objetivos gubernamentales de conservación y las actividades económicas de los pobladores. Existen diversos actores que influyen directamente en el funcionamiento del ecosistema. En la Figura 1 se pueden observar los actores identificados y sus interacciones.

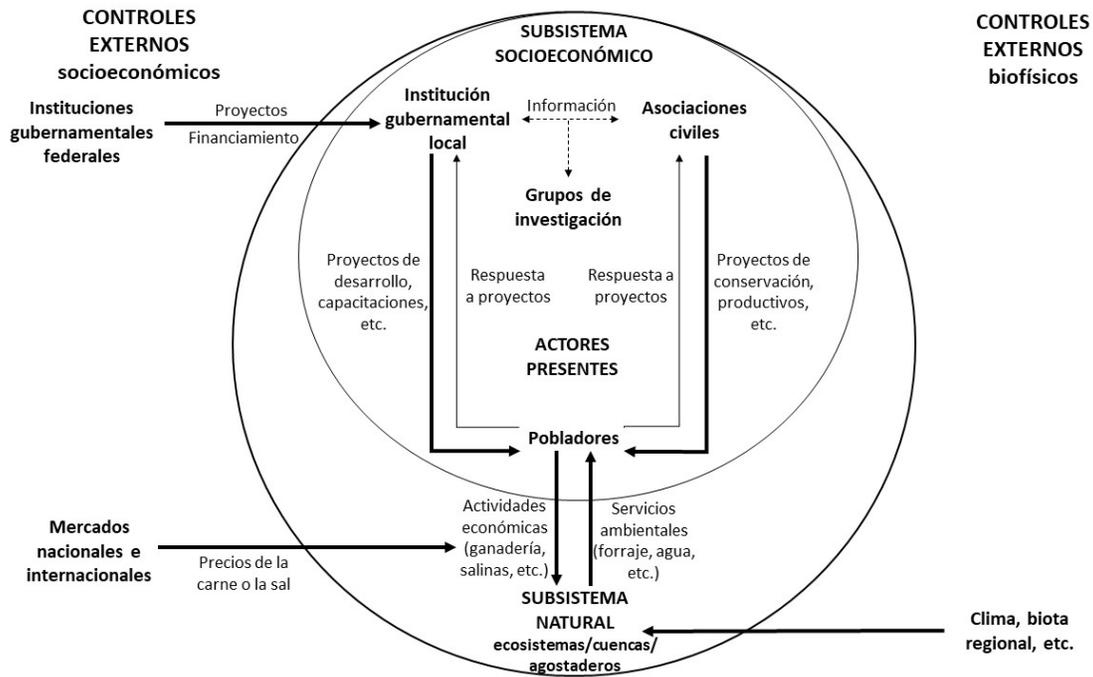


Figura 1. Diagrama de la estructura del sistema socio-ecológico local, los principales actores presentes y sus interacciones con los factores internos y externos de la RBM.

Dentro de la RBM se identificaron cuatro grupos principales de actores tomadores de decisión: los pobladores de los ejidos, la CONANP como institución gubernamental, asociaciones civiles como PRONATURA, A. C. y los diferentes grupos de investigación. El grupo de los pobladores, el cual se compone por los ejidatarios y vecindados que viven en la reserva o en las poblaciones circundantes pero que desarrollan sus actividades productivas en los agostaderos dentro de los límites de la RBM y son un componente central de los sistemas socio-ecológicos. Las principales actividades económicas son: la ganadería, y en el caso del ejido Carrillo y La Flor, la producción de sal y el ecoturismo, respectivamente. Estas actividades influyen en la calidad de los servicios ambientales y éstos, a su vez, influyen en la calidad de vida de los pobladores.



Se detectó que aproximadamente el 10 % de los ingresos anuales de los ejidatarios entrevistados dependen de los proyectos otorgados tanto por la CONANP y los provenientes de asociaciones civiles dedicadas a la protección del medio ambiente como PRONATURA, A.C., por lo que dichos proyectos tienen gran impacto en las actividades realizadas en la reserva. A su vez, estas instituciones dependen de instituciones a otra escala, como la dirección federal de la CONANP, para obtener financiamiento y autorizaciones de proyectos productivos, de desarrollo, de ecoturismo y de conservación. Se puede observar que actualmente existe un enfoque “*top-down*” en la organización y planeación de proyectos ^[6], por lo que hay poca retroalimentación desde los pobladores a las instituciones a otras escalas y por lo tanto, puede significar el fracaso de dichos proyectos.

Otro grupo de interés, son los diferentes grupos de investigación multi-e interdisciplinario que están presentes intermitentemente en la RBM. Éstos, generan conocimiento científico que puede servir al gobierno y a las asociaciones civiles a dirigir sus proyectos, sin embargo, actualmente no existe una vinculación directa entre estos grupos y sobre todo con los pobladores.

En las entrevistas realizadas se pueden ver patrones en los intereses de los pobladores, los cuales rondan en torno a 1) la cantidad y calidad de agua en los pozos, ya que es una zona árida y el principal recurso limitante es el agua para consumo humano y para el ganado y 2) la condición de los agostaderos de la reserva, debido al interés de los pobladores en la cantidad y calidad de forraje disponible para el ganado. Estos intereses son potenciales temas de investigación para un grupo interdisciplinario.

Para el trabajo realizado en el ejido La Soledad se atendió la necesidad de evaluar el estado de sus agostaderos, para esto se acordó con los pobladores abordar el problema desde un enfoque más holístico y no solo desde el punto de vista del forraje para el ganado. Esta evaluación se realizó por medio del método LFA (“Landscape Function Analysis”), el cual, es un método que incluye índices cualitativos, pensados para que los ganaderos y tomadores de decisiones puedan usarlos para monitorear a largo plazo el estado de sus agostaderos ^[11].

Se combinó el conocimiento científico con el local/tradicional, por medio de la co-generación de nuevas ideas y formas de pensar ^[12] respecto a la evaluación y monitoreo del estado del agostadero. Para lograr esto, se requirió crear nuevas relaciones de confianza entre el grupo de investigación y los pobladores del ejido y que los diferentes actores involucrados tuvieran una mejor comunicación entre ellos ^[13], esto facilita los flujos de información e ideas ^[6]. Existen algunos estudios que utilizaron dicho enfoque como herramienta para crear capital social en las comunidades indígenas de la Nación Tohono O’odham, la cual es una reserva indígena localizada en el sur de Arizona ^[14] o para co-generar mejores estrategias de manejo para evitar la degradación en los agostaderos del desierto del Kalahari en África ^[15].



Además, la integración de los pobladores en todas las etapas del proyecto propició la transferencia de la metodología de evaluación y monitoreo y a que los resultados obtenidos se adoptaran como parte de las acciones del manejo de los agostaderos del ejido, esto puede traer mejores resultados para que la investigación se conviertan en políticas y acciones públicas ^[6], y se generen comunidades de aprendizaje y mecanismos de autogestión ^[16].

5. CONCLUSIONES

La Reserva de la Biosfera de Mapimí es un sistema socio-ecológico compuesto de diferentes actores que interactúan entre sí y tienen repercusiones en el funcionamiento de todo el sistema. La organización de los actores en el sistema tiene un enfoque “*top-down*”, comenzando con las instituciones gubernamentales hasta los pobladores de la reserva. Existen factores externos que influyen fuertemente en el sistema, por un lado, las instituciones de gobierno federal, las cuales dictan los rubros y los presupuestos que se apoyarán en los programas dentro de la reserva, y, por otro lado, los cambios en el clima, que se manifiestan en sequías prolongadas y modificaciones en el funcionamiento de los agostaderos.

El método participativo permitió crear relaciones de confianza entre el grupo de investigación y los pobladores del ejido La Soledad, por lo que facilitó el intercambio de ideas y conocimiento para el co-diseño y elaboración de la investigación. De esta manera, la co-generación de conocimientos y metodologías puede permear en el conocimiento de la reserva, por lo que el método participativo es una buena alternativa para la aplicación de la ciencia para la resolución de problemas reales en las zonas áridas.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente a la CONANP y a los pobladores de los ejidos de la RBM, en particular al ejido La Soledad por su aportación y colaboración en este trabajo. A CONACYT por la beca otorgada. Este trabajo fue realizado con fondos de investigación por SEP-CB-2015-01-251388.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. U.N. United Nations, “Metas para el desarrollo sostenible”, 2015, <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.



2. Coppock, D. L., Desta, S., Tezera, S., Lelo, R. K., "Pastoral Risk Management in Southern Ethiopia: Observations From Pilot Development Projects Based on Participatory Community Assessments," *ENVS Fac. Publ.*, no. August, pp. 1921–1931, 2004.
3. Agrawal, A., Gibson, C. C., "Enchantment and disenchantment: The role of community in natural resource conservation," *World Dev.*, vol. 27, no. 4, pp. 629–649, 1999.
4. Walker, B. H., Abel, N., Anderies, J. M., Ryan, P., "Resilience, adaptability, and transformability in the Goulburn-Broken Catchment, Australia," *Ecol. Soc.*, vol. 14, no. 1, 2009.
5. Cornwall, A., Jewkes, R., "What is participatory research?," *Soc. Sci. Med.*, vol. 41, no. 12, pp. 1667–1676, 1995.
6. Stringer, L. C., Dougill, A. J., Fraser, E., Hubacek, K., Prell, C., Reed, M. S., "Unpacking 'participation' in the adaptive management of social–ecological systems: a critical review," *Ecol. Soc.*, vol. 11, no. 2, p. 39, 2006.
7. CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Programa de Conservación y Manejo de Reserva de la Biosfera de Mapimí, México. México D.F., 2006.
8. Kaus, A., "Environmental perceptions and social relations in the Mapimí Biosphere Reserve", *Cult. Agric.*, vol. 45–46, pp. 29–34, 1993.
9. Martí, J., "La investigación-acción participativa. estructura y fases," in *La investigación social participativa. Construyendo ciudadanía*, T. Vallasante, Ed. El viejo Topo, pp. 79–123.
10. Davidson-Hunt, I. J., O. Flaherty, R. M., "Researchers, indigenous peoples, and Place-Based Learning Communities", *Society*, vol. 20, pp. 291–305, 2007.
11. Tongway, D J., Hindley, N. L., landscape function analysis: procedures for monitoring and assessing landscapes", no. January 2004. CSIRO Sustainable Ecosystems, 2004.
12. Tippett, J., Handley, J. F., Ravetz, J., "Meeting the challenges of sustainable development – A conceptual appraisal of a new methodology for participatory ecological planning", *Prog. Planin.*, vol. 67, pp. 9–98, 2007.
13. Bautista, S., Llovet, J., Ocampo-Melgar, A., Vilagrosa, A., Mayor, G. A., Murias, C., Vallejo, V. R., Orr, B. J., "Integrating knowledge exchange and the assessment of dryland management alternatives: A learning-centered participatory approach," *J. Environ. Manag.*, vol. 195, pp. 35–45, 2017.
14. Arnold, J. S., Fernandez-Gimenez, M., "Building social capital through participatory research: an analysis of collaboration on Tohono O'odham Tribal Rangelands in Arizona," *Soc. Nat. Resour.*, vol. 20, no. 6, pp. 481–495, May 2007.
15. Reed, M. S., Dougill, A. J., Taylor, M. J., "Integrating local and scientific knowledge for adaptation to land degradation: Kalahari rangeland management options", *L. Degrad. Dev.*, vol. 18, no. 3, pp. 249–268, 2007.
16. Davidson-Hunt, I., Berkes, F., "Learning as you journey: Anishinaabe perception of social-ecological environments and adaptive learning", *Conserv. Ecol.*, vol. 8, no. 1, p. 5, 2003.



Investigación Participativa; Un acercamiento a la Restauración Socio-ecológica en la Reserva de la Biósfera Mapimí.

Juan José López Pardo ■ Elisabeth Huber Sannwald ■ Natalia Martínez Tagüeña ■ Ruperto Cazáres Reyes
Héctor Sergio Cortina Villar ■ Víctor Manuel Reyes Gómez ■ Jorge Alberto Urquidi Macías

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.
San Luis Potosí, México.
Juanjose.lopez@ipicyt.edu.mx

1. Resumen

Este trabajo es un acercamiento del método de investigación participativa en el desierto de Chihuahua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Se trata de un caso de estudio en el que se plantea un mecanismo de evaluación integral de obras de restauración de suelos a través de un índice co-diseñado con un grupo de ejidatarios de la reserva.

2. Introducción

La investigación participativa no es un concepto nuevo, tiene sus orígenes en los años 40's del trabajo de Kurt Lewin^[1], en campos sociales, con el fin de crear poder en la gente, sobre todo entre las minorías y grupos marginados. Este campo de investigación distingue la existencia de los actores internos y externos de un sistema, quienes con su conocimiento, técnicas y experiencias contribuyen a un mejor entendimiento de su realidad, que finalmente con un alto nivel de compromiso conlleva al proceso de transformación de ésta^{[1],[2] [3]}.

Quienes han trabajado investigación participativa en campos sociales, educativos y políticos, con el fin de crear poder en la gente, toman a la ciencia como una forma útil y válida de conocimiento para propósitos específicos y la combinan con el conocimiento de las vivencias de los participantes^[2]. Esta práctica ha cobrado bastante auge en otros campos de conocimiento, un ejemplo de ello es la restauración ecológica, debido a que es clave generar estrategias robustas de restauración. Para generar un conocimiento útil es esencial integrar a expertos no académicos^[1], incluyendo al conocimiento tradicional referido a las innova-



ciones y prácticas de comunidades indígenas y locales, nacidas de largos periodos de observación y experimentación compartidas, que se desarrollan, se mantienen y son pasadas de generación en generación [4], [5]. En práctica no es algo trivial, el camino de la investigación participativa requiere un alto grado de cohesión de las partes y de aprendizaje compartido^[1]. Este acercamiento es de especial interés en estudios de sistemas socio-ecológicas, donde se busca entender las dinámicas de las interacciones entre la sociedad y los ecosistemas.

Estas fueron las bases de este trabajo desarrollado en la Reserva de la Biosfera de Mapimí (RBM) en Durango, México de modo que se invitó a participar a los tomadores de decisiones clave de esta reserva; la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), los propietarios y habitantes de la tierra, y expertos en disciplinas como antropología, ecología, hidrología y geografía desde el momento de plantear los problemas, y los mecanismos para abordarlos. Como resultado se plantea un caso de estudio de evaluación participativa de los proyectos de la CONANP de las obras de restauración de suelo en el ejido La Soledad.

La RBM es un área Natural Protegida reconocida a nivel internacional en el programa El Hombre y la Biósfera (MAB por sus siglas en inglés), con una extensión de 340 000 has, administrada por la CONANP desde el 2002. Se han aplicado diversos programas donde se invita a participar como ejecutores a los habitantes. El programa de restauración de suelos se ha aplicado en todos los ejidos y se promueven año con año, con el objetivo de construir diversas estructuras u "obras" de restauración, entre los que están los bordos semicirculares para la retención de suelo y escorrentía y para la producción de forraje para el ganado. Los bordos semicirculares (40 m diámetro) pueden tener un impacto importante en el paisaje, la hidrología y el funcionamiento de los ecosistemas de la RBM. Este tipo de obras se han construido en todas las propiedades ejidales, federales, y privadas. En varias propiedades se han construido en diferentes años desde el 2002 a la fecha, en ese periodo el tipo de herramientas de construcción ha cambiado de forma manual (pala, escrepa) a una mecanizada (tractor) y como su objetivo principal es la producción de forraje, existen variantes con y sin sembra de pastos, con y sin exclusión de ganado. Dado su potencial impacto ecológico y su implicación social como beneficio directo (pago por jornal) e indirecto (producción de forraje), los bordos semicirculares son de un mayor interés para un estudio de carácter socio ecológico.

Actualmente por parte de CONANP no existe un programa acompañado de seguimiento y de monitoreo del éxito de los bordos semicirculares, y el indicador de restauración es "la superficie (en hectáreas) en proceso de restauración", incluido en la Estrategia Regional y Noreste y Sierra Madre Oriental 2015-2020, está vinculado a la línea de acción de ganadería mal planificada, se trata del objetivo A.1.6 que dice: "Elaborar e implementar programas de restauración en los predios con programas de



manejo”, por lo que el trabajo con este tipo de estructuras durará al menos dos años más. Sin embargo, como se ha documentado la solución de problemas ambientales pueden ser viables de forma ecológica, pero suele fallar a mediano y largo plazo si no se considera simultáneamente a los intereses sociales, económicos, políticos y el sistema de valores de los actores involucrados^[5].

3. Condiciones experimentales

En Abril 2017, se realizó una visita en las Oficinas de CONANP estatal, con el fin de presentar al grupo de trabajo e invitar a una participación en asociación con los ejidos. La dependencia demostró interés de sistematizar los esfuerzos realizados en la RBM por su administración. Después se realizaron visitas a 5 ejidos de la RBM (Santa María de Mohovano, Las Lilas, Colonia Ganadera, La Soledad, Puerto Carrillo) para presentar al grupo de trabajo y las intenciones de trabajar de forma colaborativa, en la que se les invitó plantear posibles áreas de trabajo comunes. Posteriormente (julio) se realizó una visita a las instalaciones de CONANP para compilar la información de los programas que se busca sistematizar, además en los ejidos se escucharon las opiniones y propuestas de trabajo, así como las áreas de interés de colaboración, además se buscó relación con dos ejidos más, Tlahualilo y Los Álamos.

Debido a la magnitud de la RBM, en Octubre 2017 se realizaron entrevistas semiestructuradas dirigidas a seleccionar un ejido para trabajar, considerando la disponibilidad de trabajo de los ejidatarios y las áreas de interés en común del grupo y las características de los ejidos, así mismo se realizaron recorridos en los ejidos involucrados. En Diciembre, se decidió trabajar con el ejido de La Soledad, visitando las obras de restauración (bordes semicirculares) se geo-referenciaron los bordos, y se elaboró una base de datos considerando el año de construcción, equipo usado en su construcción, año y especie de siembra de pastos, la intensidad de pastoreo actual, y la riqueza de especies florales presentes con ayuda de los ejidatarios.

Se co-diseñó un índice de éxito socio-ecológico de las obras de restauración con los ejidatarios, cuyo objetivo fue asignar a cada bordo un valor integral en función de la importancia (forrajera, medicinal, ornamental, etc.) de las especies vegetales presentes, desde la perspectiva ganadera, y el área del semicírculo cubierto por vegetación, que actualmente es el indicador de éxito de restauración para CONANP.

El índice socio-ecológico de éxito de las obras = $((a+b+e)*c)-d$, donde

- a) la prioridad con la que el ganado consume las plantas, según observaciones de los ganaderos, con valores de 1-4, 4 para las especies prioritarias y 1 para las especies menos palatables, pero que sirven de forraje, sobre todo en temporada de estiaje.



- b) la forma de vida de las plantas (perennifolia, caducifolia) asigna un valor 2 a las caducifolias y 1 a las perennifolias, bajo el supuesto que las caducifolias son más demandadas por el ganado, en base su porcentaje de presencia perennifolia vs caducifolia se asigna el valor 1 cuando las perennifolias tienen mayor presencia, 2 cuando están por debajo del 67% y 3 cuando las caducifolias dominan.
- c) La cobertura vegetal dentro de los bordos se tiene clasificado en base a las observaciones en campo como Alta (3) cuando el bordo tiene una vegetación abundante y cerrada, en ocasiones similar a los mogotes naturales, Media (2) cuando la vegetación está presente de forma en mayor proporción que en los interespacios que rodean al bordo, y Baja (1) cuando no hay una diferencia entre la cobertura de los interespacios y del interior de los bordos.
- d) Si la vegetación está dañada por el secuestro del flujo de agua se asigna un valor -1.
- e) Usos alternos; esta variable también de carácter sumatorio se asigna a las especies que tengan que sean de utilidad para la comunidad local (aún no está incluida en el cálculo del índice).

En Marzo 2018 se realizó una visita para geo-referenciar todos los bordos, y compilar los datos relativos a ellos. Se verificó la conformidad de los ejidatarios con los resultados obtenidos del índice de éxito de calidad de forraje calculado.

4. Resultados y discusión

El índice se aplicó a los 352 bordos semilunares en el ejido, sin embargo para su análisis se incluyeron filtros para mitigar posible ruido. Por ejemplo, no se incluyeron aquellos que se encontraran rotos al momento del levantamiento ya que se desconoce el momento de su ruptura, ni aquellos que no se colocaron de forma perpendicular a la pendiente del terreno, ya que eso compromete la función de captación del agua, ni aquellos que tuvieran un interespacio pendiente arriba mayor a 80 m, ya que la acumulación de agua en ellos podría ser mayor debido al escurrimiento.

Con esos filtros podemos observar diferencias comparando sitios excluidos de ganado y con pastoreo libre, ambos tratamientos corresponden al año 2009 y fueron realizados con pala, y diferencias debido la herramienta usada en la construcción en el año 2013 *ver tabla 1*.



Tabla 1. Valor del índice socio-ecológico del éxito de obras de restauración obtenido por los bordos según su tratamiento

Tratamiento	Valores obtenido					
	3	4	5	8	10	12
Bordos en exclusión de ganado	0	0	0	4	8	
Bordos con pastoreo	2	7	4	1	2	1
Bordos hechos con escrepa		1		3	6	
Bordos hechos con maquinaria	1	8	2	0	0	0

Para entender la dinámica temporal de los bordos, se compararon los bordos en exclusión y con pastoreo en diferentes periodos de construcción, pero con las mismas herramientas de construcción. Ver tabla 2 y 3

Tabla 2. Valor del índice socio-ecológico del éxito de obras de restauración obtenido por los bordos en exclusión de ganado según el año de construcción

Año de construcción	Valores obtenidos							
	4	5	6	8	9	10	12	15
2006	0	0	1	0	1	2	2	3
2008	4	2	0	0	1	0	2	0
2009	0	0	0	1	0	4	0	0
2010	1	0	0	1	0	1	1	0

Tabla 3. Valor del índice socio-ecológico del éxito de obras de restauración obtenido por los bordos con pastoreo de ganado según su año de construcción

Año de construcción	Valores obtenidos							
	4	5	6	8	9	10	12	15
2006	0	0	1	0	1	2	2	3
2008	4	2	0	0	1	0	2	0
2009	0	0	0	1	0	4	0	0
2010	1	0	0	1	0	1	1	0



5. Conclusiones

Los valores obtenidos del índice muestran que las observaciones hechos por los ejidatarios pueden reflejar el resultado de la suma de varios factores bióticos y abióticos que interactúan de forma sinérgica, pero el monitoreo del porcentaje de cobertura no los puede explicar por sí misma. Un análisis complementario a los diversos factores presentados como el manejo del ganado, la herramienta de construcción, combinado con análisis complementarios como análisis fisicoquímicos del suelo podrían ayudar a generar un conocimiento socialmente robusto, al que este análisis participativo aporta dando las bases de observación del conocimiento local y de los intereses ganaderos.

6. Bibliografía

1. Buners, B. Understanding Planned Change: A Reappraisal. In: Organization Development, 1st ed. San Francisco: Joan V. Gallos, pp.133-156 (2006)
2. Fals-Borda O., Anisur Rahman M., ACTION AND KNOWLEDGE Breaking the Monopoly with Participatory Action-Research, Chapter 1, The Apex Press, 1991.
3. Gross , M, Beyond expertise: Ecological science and the making of socially robust restoration strategies, J Nat Conserv, 14,172-179 (2006).
4. Mantyka-Pringle C S, Jardine T.D., Bradford L., Bharadwaj L., Kytherotis A.P., Fresque-Baxer J., Kelly E., Somers G., Doing L.E., Jones P.D., Lindenschmidt K., the Slave River and Delta Parthership, Bridging science and traditional knowledge to assess cumulative impacts of stressors on ecosystem health, Environ. Int. 102, 125-137 (2017).
5. Austin, D. E. 2004. Partnerships, Not Projects! Improving the Environment Through Collaborative Research and Action. Hum. Organ., 63, 419-430 (2004).



Tratamiento de aguas residuales utilizando adsorbentes

Julisa García Albortante ■ Icela Dagmar Barceló Quintal ■ Hugo Eduardo de Jesús Solís Correa
Luis Jesús Osornio Berthet ■ Magdalena García-Martínez

Área de Química y Físicoquímica Ambiental. Departamento de Energía.
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
julygaal@yahoo.com.mx

1. Resumen

La contaminación de aguas residuales es un problema que enfrenta todo el mundo. La industrialización ha llevado a la producción y eliminación de metales en el medio ambiente. El lirio acuático, olote de maíz y bagazo de coco son residuos de fácil adquisición, que se utilizaron como adsorbentes para la remoción de Pb (II) y Cu (II) en solución acuosa, donde se determinó la influencia del tiempo de contacto, pH y la concentración inicial de metal. El estudio se llevó a cabo a 25 ° C y se encontró que las eficiencias dependen del pH y tiempo de equilibrio para cada sistema adsorbato-adsorbente. Los parámetros de adsorción se obtuvieron con el modelo de Langmuir donde el Pb (II) presentó mayor afinidad por los tres adsorbentes. La q_{max} fue de 12 mg g⁻¹ para el Pb (II) y Cu (II) con olote de maíz con un pH=5 en 18 minutos.

2. Introducción

Cada año se vierten a los cuerpos de agua millones de metros cúbicos de aguas residuales, descargas municipales, industriales y agrícolas tratadas de forma inadecuada o sin tratamiento. En la actualidad, existe una gran preocupación a nivel mundial, debido al incremento en los índices de contaminación de efluentes industriales por metales. Estas sustancias persisten indefinidamente en el medio ambiente [7], comprometiendo el bienestar y equilibrio no solo de la fauna y la flora existente en dicho ecosistema sino también en la salud, mediante su acumulación e ingreso a la cadena trófica [1,5]. La organización mundial de la salud [9] estima que la exposición a estos metales causa cada año 600 000 nuevos casos de discapacidad intelectual debido a la acumulación en pulmones y en el tracto gastrointestinal. Dentro de los principales sectores industriales, que



son fuentes de contaminación de metales se encuentran: la minería, industria del cemento, colorantes, curtiduría, galvanoplastia, entre otras [3]. Se calcula que en 2015 el costo económico de la contaminación causada por aguas residuales no tratadas fue de 57 403 millones de pesos [3]. Se han propuesto muchos métodos fisicoquímicos para la eliminación de metales de los efluentes industriales: precipitación química, separación de membranas, extracción líquida, flotación que son costosos y no eliminan por completo el metal. Por lo tanto, es necesario buscar alternativas de bajo costo, efectivas y económicas. La adsorción es una técnica físico químicas de tratamiento de aguas residuales que contienen metales, es de bajo costo, efectiva y con la generación de cantidades mínimas de residuos, los cuales pueden ser tratados químicamente para la recuperación de los metales [5, 10]. Utiliza materiales como algas, plantas, productos agroindustriales, de fácil disponibilidad. Un caso particular de uso de estas plantas es el lirio acuático o Jacinto de agua, que puede considerarse una plaga en cuerpos de agua, por su alta tasa de reproducción, otros materiales que se generan en gran cantidad son el olote de maíz y la cáscara de coco, los cuales se incendian y se depositan a los suelos, es en este sentido, se requiere reusar e investigar a nuevos materiales que puedan ser utilizados en la adsorción de metales en aguas residuales provenientes de industrias químicas, por lo que el objetivo general de este trabajo es determinar las variables que influyen en el proceso adsorptivo utilizando tres adsorbentes sin tratamiento químico: bagazo de lirio acuático (LA), olote de maíz (OM) y bagazo de coco (BC) para la remoción de Pb (II) y Cu (II) que permitan generar información que pueda ser utilizada en los métodos de tratamiento para metales.

3. Condiciones Experimentales

3.1 Recolección y Preparación de los adsorbentes

El lirio acuático se recolectó en una zona llamada Blen Guadalupe, Toluca, edo. de México; el bagazo de coco y el olote de maíz se recolectaron en el balneario las termas en Atotonilco y en Zacualpan de Amilpas, Morelos. Se lavaron, se secaron a 60 °C durante 48 h, se molieron y se tamizaron empleando un tamiz Tyler No 325 (< 0.044 mm) [4].

3.2 Análisis por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier

Los espectros infrarrojos de los residuos de lirio acuático, bagazo de coco y olote de maíz se realizaron con un equipo Thermo Scientific, modelo Nicolet.



3.3 Análisis de área superficial (BET)

La determinación del área superficial de cada adsorbente se realizó en un equipo marca BEL, modelo BELSORP considerando la isoterma de adsorción de N_2 a 77 °K, utilizando el modelo de Brünauer- Emmett- Teller (BET) basado en la adsorción física de nitrógeno.

3.4 Determinación de metales totales

Para determinar la concentración de metales totales de los adsorbentes, se realizó una digestión ácida, empleando un horno de microondas (CEM-MARS 5).

3.4 Tiempo de contacto del lirio acuático, bagazo de coco y olote de maíz

Se realizó una prueba preliminar de adsorción con agitación y concentración de metal constante, empleando diferentes tiempos (3, 6, 9, 12, 15, 18, 30 y 60 min).

3.3 Variación de pH

Con el tiempo de contacto determinado se realizaron pruebas de adsorción en un intervalo de pH de 3-7 con los tres adsorbentes para los dos metales.

3.4 Isotermas de adsorción

Las adsorciones se realizaron por triplicado a 25 °C y 180 rpm, por contacto por lotes con 100 ml de diferentes concentraciones de metales. Se filtraron y la concentración de metal no adsorbida se determinó empleando un espectrofotómetro de Absorción atómica marca Thermo elemental modelo SOLAAR M6.

4. Resultados y discusión

4.1 Caracterización Química

La espectroscopia infrarroja del lirio acuático (LA), bagazo de coco (BC) y del olote de maíz (OM), se realizó antes y después de cada adsorción, los resultados fueron similares para los tres materiales, con picos entre 3200 cm^{-1} y 3600 cm^{-1} (grupos OH^-), 1600 cm^{-1} y 1680 cm^{-1} ($\text{C}=\text{C}$), 1540 cm^{-1} y 2420 cm^{-1} ($\text{C}=\text{O}$), 1375 cm^{-1} y 1450 cm^{-1} (CH_3), 1300 cm^{-1} y 1565 cm^{-1} (CH_2), 1000 cm^{-1} y 1370 cm^{-1} ($\text{C}-\text{O}$), 830 cm^{-1} y 900 cm^{-1} (CH) que corresponden a enlaces que forman parte de grupos funcionales que



pertencen a estructuras de la celulosa, hemicelulosa y lignina que forman parte de los adsorbentes, que se relacionan con la adsorción entre los grupos funcionales y los metales adsorbidos [8,2].

La adsorción es un fenómeno superficial en donde el grado de adsorción es proporcional al área superficial específica, en este estudio resultó que el OM, presentó mayor área superficial (Tabla 1), seguido del BC y finalmente el LA, lo que permite inferir que el olote de maíz podrá remover mayor cantidad de metales en solución acuosa.

Tabla 1. Areas superficiales y tamaño de poro [4]

Material adsorbente	Área superficial m ² /g	Dp (nm)
LA	1.9 ± 0.020	1.6
BC	2.5 ± 0.038	32.15
OM	2.8 ± 0.04	32.09

En cuanto a la concentración de metales (Pb y Cu) se determinaron cantidades menores a 1 mg de Pb en LA y en BC (Tabla 2), para el caso de Cu se cuantificaron cantidades más bajas de este metal tanto en LA como en OM.

Tabla 2. Concentración de metales

Adsorbente	Pb	Cu
	mg/Kg	
LA	0.084± 0.005	0.0249 ± 0.002
BC	0.194± 0.008	<LD
OM	<LD	0.082 ± 0.003

4.2 Factores que afectan la adsorción

a) Tiempo de Contacto

El tiempo de contacto máximo para los tres adsorbentes que se utilizó con los dos metales de forma individual fue de 60 minutos. En la figura 1a se puede apreciar que el ion Pb tuvo una adsorción rápida en los primeros tres minutos con los tres adsorbentes, logrando un porcentaje de remoción mayor al 50 % de la concentración del metal inicial, posteriormente la adsorción en el LA aumenta lentamente hasta hacerse constante en un tiempo máximo de 12 minutos (68 % de remoción de Pb). Para el caso del OM y el BC (Figura 1a) el aumento en el porcentaje de remoción fue más significativo hasta llegar al equilibrio en 18 minutos con 89 % y 83 % de remo-



ción del metal, respectivamente. En la adsorción del ion Cu (Figura 1b), se obtuvo una adsorción constante de 33 % en 3 minutos, para el BC y el OM la adsorción fue mayor (63-67 %) incrementándose hasta 92 % en un tiempo máximo de contacto de 18 minutos (Figura 1b).

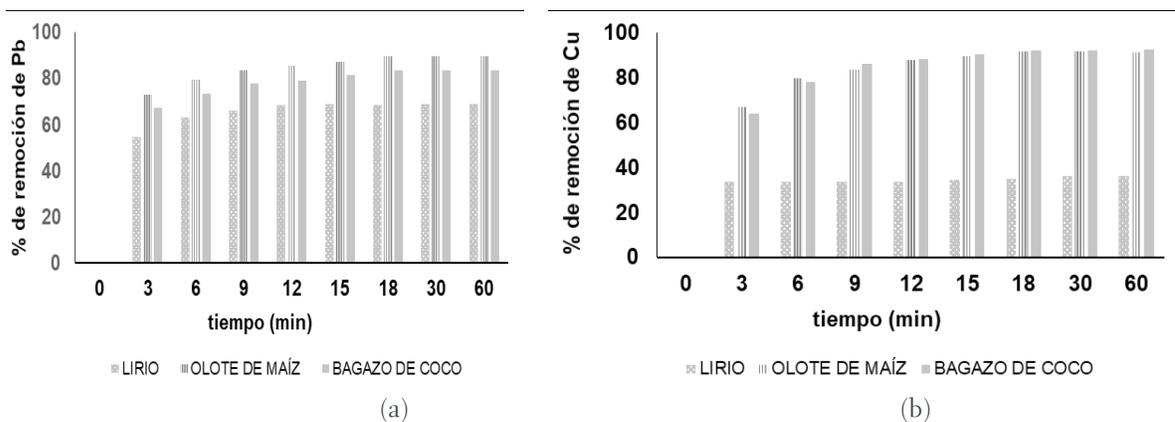
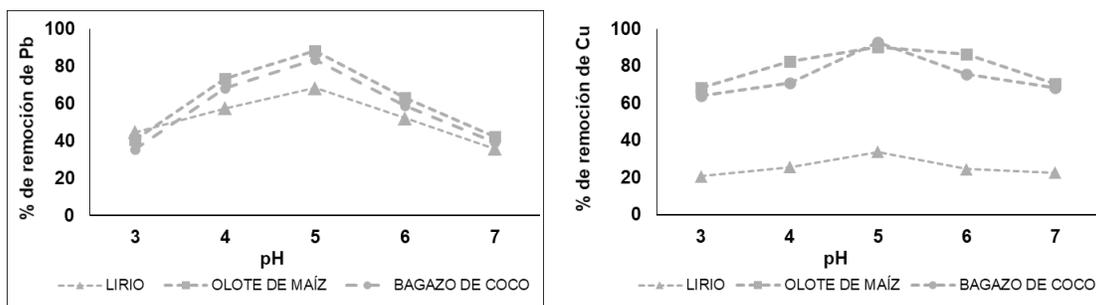


Figura 1. Tiempos de equilibrio para los iones (a) Pb y (b) Cu

4.3 pH

El pH de trabajo es una variable importante en los procesos de adsorción, este es diferente para cada sistema estudiado, se relaciona con los grupos funcionales presentes en la pared celular del adsorbente y con la química del metal en solución [6]. Los resultados denotan que en un pH= 3, la adsorción del ion Pb es afectada considerablemente para los tres adsorbentes (20-30 %) (Figura 2a), este comportamiento se puede atribuir a la competencia de los iones H⁺ los cuales compiten con los cationes por los sitios activos disponibles de las superficies de los adsorbentes, cuando el pH se incrementa hasta un pH=5, la adsorción aumenta, pero si sobrepasa este valor los metales precipitan. Para el caso del ion Cu (Figura 2b) se presentó un comportamiento similar, en valores menores a 5 la adsorción disminuye y en un pH=5 se tiene una adsorción óptima (90 %).



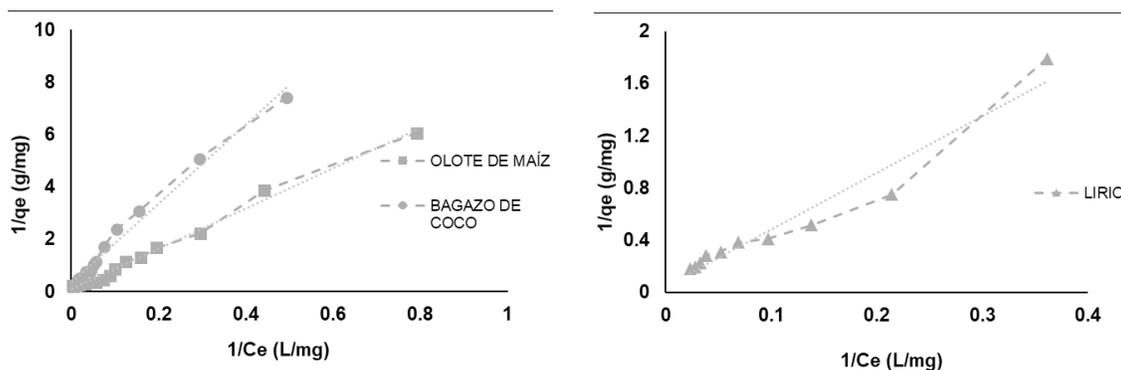
2(a) 2 (b)

Figura 2. Efecto del pH para los iones Pb y Cu

4.4 Concentraciones iniciales de los iones metálicos

Las isotermas de adsorción son una herramienta que permiten determinar el comportamiento adsorptivo entre el adsorbente y el adsorbato en función de diferentes concentraciones de metal y variables predeterminadas como el pH, tiempo de contacto, entre otras que permiten obtener resultados confiables para correlacionar los equilibrios entre las dos fases. En este trabajo se encontró que la capacidad de adsorción aumentó con base en el aumento de la concentración inicial de iones metálicos. La figuras 3a y 3b muestran como los tres adsorbentes (LA, BC y OM) tuvieron un compartamiento similar hasta saturarse y llegar al equilibrio. Con el modelo de Langmuir en forma lineal (ecuación 1) se obtuvieron los parámetros adsorptivos para cada adsorbente y para cada metal. Donde: q_e es la concentración del soluto adsorbido por unidad de peso de adsorbente (mg/g); C_{eq} , concentración del soluto en equilibrio (mg/L); K , constante de Langmuir (L/g) y q_m es la capacidad máxima de adsorción del adsorbente (mg/g)

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{Kq_m C_{eq}} \quad (1)$$



3 (a) 3 (b)

Figura 3. Isotermas de adsorción de Langmuir de iones metálicos Pb y Cu



Los valores de K son indicativo de la afinidad del adsorbente por el adsorbato, para nuestros sistemas se determinó que el Pb tiene una mayor afinidad (Tabla 3) por los sitios de los tres materiales adsorbentes, quedando un orden de afinidad:

$$Pb_{OM} > Pb_{BC} > Pb_{LA}$$

Con respecto a la capacidad máxima de remoción de los adsorbentes, el OM presentó valores más altos comparados con los otros dos adsorbentes, tanto para el Pb y el Cu.

Tabla 3. Parámetros de Adsorción de Langmuir para LA, BC y OM

Metal	q_{max} (mg/g)			Constantes de Langmuir (K)			Coeficiente de correlación		
	LA	BC	OM	LA	BC	OM	LA	BC	OM
Pb	4.7	5.5	12	0.128	0.301	0.603	0.958	0.988	0.981
Cu	2.5	3.3	12.9	0.092	0.291	0.410	0.946	0.985	0.991

5. Conclusiones

Considerando los resultados de esta investigación se concluye que el tiempo de contacto, pH y concentración inicial de metal, son variables que influyen en el proceso adsorptivo para cada sistema metal- adsorbente, obteniendo adsorciones máximas en tiempos cortos (18 minutos) con un pH de trabajo=5.

Por lo que es factible el uso de lirio acuático, bagazo de coco y olote de maíz para la remoción de iones Pb y Cu debido a que son procesos sencillos, rápidos y los materiales adsorbentes son de fácil adquisición.

7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo para la realización de esta investigación a las instalaciones del Área de Química y Físicoquímica Ambiental.

8. Bibliografía

1. Barceló Q. I. D. [a]. Estudio de la Movilidad de Ca, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, y Zn en sedimentos de la presa José Antonio Alzate en el Estado de México. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma del Estado de México (2000).



2. Barranco B. H. Evaluación de la capacidad de adsorción del bagazo de coco y el olote de maíz para remoción de Cu y Pb en aguas residuales. Proyecto terminal de investigación en Ingeniería Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana, México D.F. (2015).
3. Comisión Nacional del Agua (Conagua), Estadísticas del agua en México. 122-126 (2016).
4. García A. J., Barceló Q. I., García R. M., Salazar P. M. L., Solís C., Hernandez M. A. Remoción de Pb (II) utilizando mezclas de bagazo de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y cáscara de huevo en un sistema acuoso. IV Congreso Internacional de Docencia e Investigación en Química (CIDIQ), México, D.F, 52-62 (2015).
5. García A. J., Barceló Q. I. D, Solís C. H.E., Salazar P. M. L., Bioadsorción de Pb (II) utilizando bagazo de coco y olote de maíz del municipio de Zacualpan de Amilpas, Morelos. V Congreso Internacional de Docencia e Investigación en Química (CIDIQ), México, D.F, 77-82 (2016).
6. Kotrba P., Mackova M., Macek T. Microbial Biosorption of Metal. *Bioremediation Technology*. V.1,11-35 (2011).
7. Manahan S. E. Introducción a la química ambiental:Contaminación del agua, México, D.F, Reverté, 1ª ed.145-156 (2007).
8. Montañez P. A. L., Uzcátegui I. Utilización de la fibra de coco como sustituto del Amianto en los procesos industriales. *Revista Ingeniería UC, Universidad de Carabobo Venezuela*. V.16, 20-26 (2009).
9. OMS (Organización mundial de la salud) (2016). Intoxicación por plomo y salud <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/> de
10. Rahul Negi., Gouri Satpathy., Yogesh K. Tyagi and Rajinder K. Gupta., Biosorption of heavy metals by utilising onion and garlic wastes, *Int. J. Environment and Pollution*.V. 49, 172-196 (2012).



Capacidad adsortiva del sedimento en función de la distribución geoquímica de Pb y Cd

Julisa García Albortante ■ Icela Dagmar Barceló Quintal ■ Hugo Eduardo de Jesús Solís Correa
Luis Jesús Osornio Berthet ■ Magdalena García-Martínez

Área de Química y Fisicoquímica Ambiental.
Departamento de Ciencias Básicas.
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
julygaal@yahoo.com.mx

1. Resumen

Se efectuaron experimentos de adsorción de los iones Pb^{2+} y Cd^{2+} en una muestra de sedimento de la zona B de la presa J. A. Alzate, con el objeto de determinar el tipo de adsorción y la afinidad de dichos metales por el sedimento, basándose en los resultados de la distribución geoquímica de Pb y Cd en las fracciones no residuales (F1, F2, F3, F4 y F5) y en la residual (F6). Los resultados de las isothermas de adsorción fueron tipo I. Considerando los modelos de Freundlich y Langmuir, se obtuvieron los parámetros (n y K_L) para cada sección correspondiente a las fracciones del sedimento, resultado ser adsorciones sencillas ($n > 1$) y presentando mayor afinidad el Pb por el sedimento.

2. Introducción

Los sedimentos son importantes en el transporte de muchos contaminantes, entre ellos los metales, estos son fijados mediante diferentes procesos, entre ellos se encuentra la adsorción sobre sustancias de grano fino, coprecipitación por hidróxidos, óxidos de hierro y manganeso, precipitación con materia orgánica, entre otros que son relacionados con las características fisicoquímicas de los sedimentos. Entre los principales componentes que conforman a un sedimento se encuentran: arcillas, materia orgánica, coloides inorgánicos (Xing y Pignatello, 1997; Barceló, 2000) que presenta grandes superficies adsortivas que permiten incorporar a los metales y posteriormente desorberlos hacia aguas superficiales o acumularse en las cadenas alimenticias como resultado de procesos físicos, químicos y biológicos (Bakan y Balkas, 1999, Barceló, 2015), siendo así los sedimentos una fuente de contaminación. En trabajos de Barceló *et al.*, 2012, realizados en el sedimento de la presa José Antonio Alzate reportó que Pb y Cd



son metales potencialmente tóxicos debido a que sus concentraciones metálicas (48.7 y 0.97 mg/Kg, respectivamente) se encuentran cerca de los límites establecidos por el Ministerio de Ontario del Medio Ambiente (M.O.E., 1976), esta información no es suficiente ya que no basta con conocer el contenido total de metal, si no se debe conocer la relación existente entre la potencialidad tóxica de los elementos y la forma química en que se encuentran. En los sedimentos, todavía no se pueden identificar las especies metálicas asociadas a la fase sólida, solo se puede determinar la distribución geoquímica que ponen de manifiesto las asociaciones de un metal con los principales constituyentes del sedimento (Zhengua *et al.*, 2003). En la investigación de García *et al.*, 2017, se utilizó una técnica de extracción secuencial de 6 fracciones (Tessier *et al.*, 1979, Barceló, 2000) con liofilización para determinar las concentraciones metálicas de Pb y Cd en las fracciones no residuales y residuales, donde las concentraciones de estos metales en las fracciones residuales, se atribuyeron a asociaciones con los componentes comunes del sedimento como: minerales de arcilla-ácidos húmicos (F1), carbonatos-bicarbonatos (F2), óxidos e hidróxidos de manganeso (F3) y hierro (F4), y materia orgánica (F5); para la fracción residual se atribuyó que la concentración de Pb y Cd determinados se encuentran asociados a minerales, dentro la estructura cristalina, lo que los hace inertes, debido a que no se encuentran disponibles para la flora y fauna de los ecosistemas. Derivado de lo anterior, el objetivo de este trabajo consiste en emplear las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir para determinar el tipo de adsorción y la afinidad de Pb y Cd en las diferentes fracciones asociadas a las superficies adsorptivas del sedimento de la zona B de la presa José Antonio Alzate.

3. Condiciones Experimentales

3.1 Área de estudio

Los sedimentos de zona de estudio (zona B) fueron recolectados en la presa José Antonio Alzate, que está ubicada sobre el río Lerma (Figura 1) en el tramo comprendido de la carretera Toluca-Naucalpan, en los municipios de Ixtlahuaca y Almoloya de Juárez.

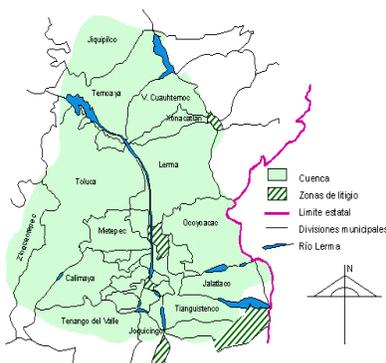


Figura 1. Ubicación de la zona B de la presa José Antonio Alzate

3.2 Muestreo y tamizado

El sedimento recolectado de la zona B se mantuvo en bolsas de plásticos oscuras con sello y en refrigeración a 4 °C. Se secó en una estufa (50 °C). Una vez seco, se trituró y se tamizó en un equipo CE Tyler, modelo R-20011-B, empleando tamices (60, 100, 250, 325 y 400) con 300 rpm durante dos horas

3.3 Adsorción de Langmuir y Freundlich

Las adsorciones de Pb y Cd se realizaron por triplicado a 17 °C con un tiempo de contacto de 48 horas empleando 2 gr y 20 ml de solución metálica de 15 concentraciones diferentes (3-80 mg/L). De manera análoga se realizó un blanco, utilizando solo sedimento y electrolito soporte (NaNO_3). Se filtraron y se cuantificó su concentración en un equipo de absorción atómica marca Thermo elemental modelo SOLAAR M6.

4. Resultados y discusión

4.1 Tamizado del sedimento

En el tamizado del sedimento de la zona B de la presa José Antonio Alzate, se obtuvieron diferentes tamaños de partícula, desde menores a 0.02 mm hasta mayores a 1.4 mm (Figura 2), por lo que la composición del sedimento corresponde a un sedimento grueso-compuesto formado principalmente por grava, arena (fina, media y gruesa) y limo grueso (Förstner, 1986, Barcelo, 2000, Boggs, S. J. 2009).

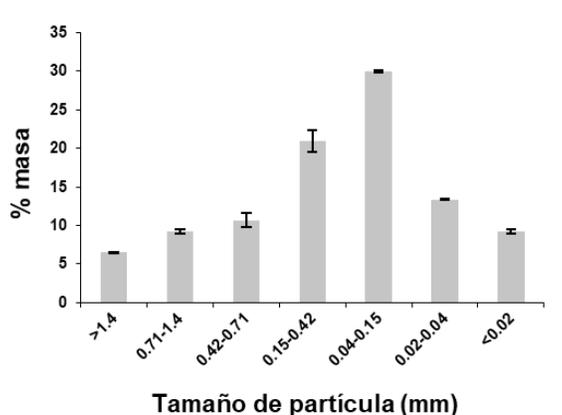


Figura 2. Porcentajes de masa en cada tamaño de partícula

4.2 Procesos de Adsorción de Pb y Cd en el sedimento

En los resultados de la prueba preliminar de adsorción de Pb y Cd con el sedimento de la zona B, se observó que el sedimento actúa como un material adsorbente debido a las concentraciones finales de dichos metales (Tabla 1), donde la concentración final de Pb fue menor comparada (3.65 mg/l) con la de Cd, por lo que se deduce que posiblemente tenga mayor tendencia de adsorción al sedimento que el Cd.

Tabla 1. Adsorción de los iones metálicos

Ion metálico	Concentración inicial (mg/l)	Concentración final (mg/l)	Concentración adsorbida (mg/l)	Adsorción (%)
Cd ²⁺	30	6.93	23.07	76.5
Pb ²⁺	30	3.65	26.35	86.5

En las isotermas de adsorción experimentales para Pb y Cd (Figura 3(a) y 3 (b)) se observó una tendencia creciente a adsorber estos metales, como ya se había predicho con anterioridad, para ambos casos se obtuvo una isoterma Tipo I, con una rápida adsorción formando una monocapa.

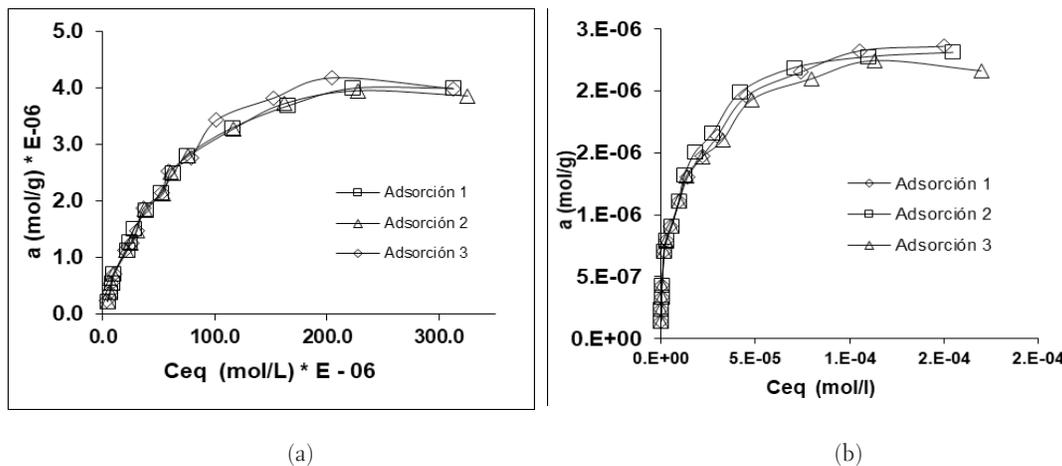


Figura 3. Isothermas de adsorción experimentales de iones metálicos: (a) Pb y (b) Cd

Con la distribución geoquímica de Pb y Cd determinada por García, *et al.*, 2017 y los modelos de Freundlich y Langmuir se obtuvieron los parámetros adsortivos, considerando que el 80 % de la concentración total de Pb se encuentra asociado dos fracciones (F4 y F5), donde el 44 % corresponde a F4 y el 37 % a la fracción F5 (Tabla 2), considerando el modelo de Freundlich (Figura 4a) se obtuvieron dos secciones de puntos, donde la primera es asociada a los óxidos hidratados de hierro que corresponde a la fracción F4 y la segunda recta a la materia orgánica (F5), este comportamiento es semejante para el modelo de Langmuir (Figura 4b).

Tabla 2. Distribución geoquímica de los metales en el sedimento (García, 2017)

Fracciones	Cd		Pb	
	mg/Kg	%	mg/Kg	%
F1	0.11	10.6	0.06	0.1
F2	0.06	5.8	0.38	0.8
F3	0.07	6.7	0.13	0.3
F4	0.01	1.0	20.15	44.1
F5	0.08	7.7	27.96	37.4
F6	0.81	68.6	8.28	17.3

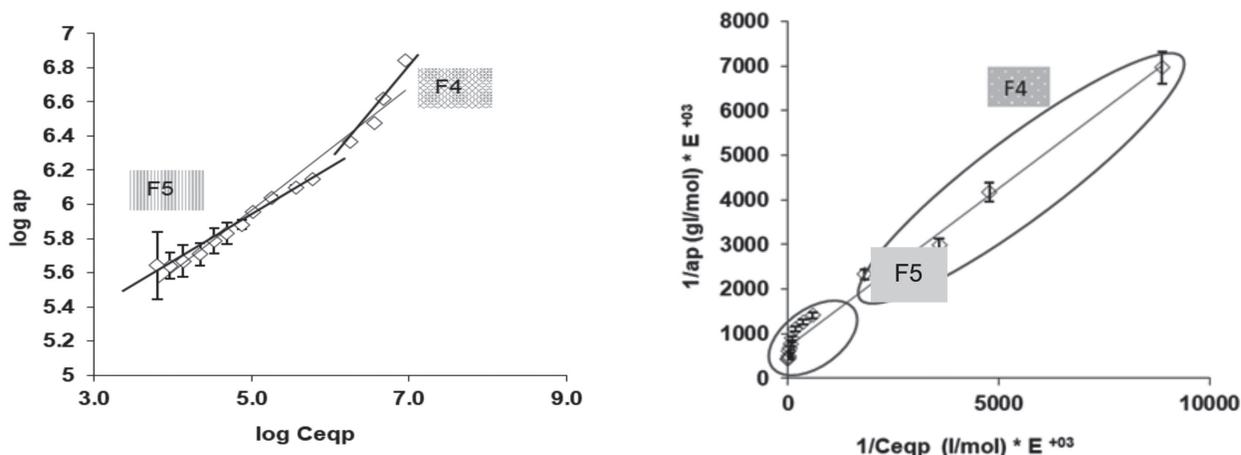


Figura 4. Modelos de adsorción: (a) Freundlich y (b) Langmuir para Pb

Para el caso de Cd se determinó que el mayor porcentaje (68 %) está asociado con la matriz cristalina (F6) del sedimento, lo que se considera de bajo riesgo de liberación hacia a la columna de agua (Tabla 2), el resto se distribuyó en la fracción F1, seguido de las fracciones F2, F3 y F4 con concentraciones semejantes y la fracción F5, considerando el modelo de Freundlich (Figura 5a), se determinaron tres rectas donde la primera formada de tres puntos se atribuye al metal adsorbido a la materia orgánica (F5), en la segunda recta de 7 puntos se consideran los componentes de fácilmente intercambiables (F2) y fácilmente reducibles (F3), así como los coloides de hierro y en la última sección de cuatro puntos se encuentra la fracción intercambiable (F1) que puede ser liberada con cambios fisicoquímicos muy débiles. Con el modelo de Langmuir se obtuvieron el mismo comportamiento, ya que se denotan tres secciones correspondientes a las fracciones anteriores

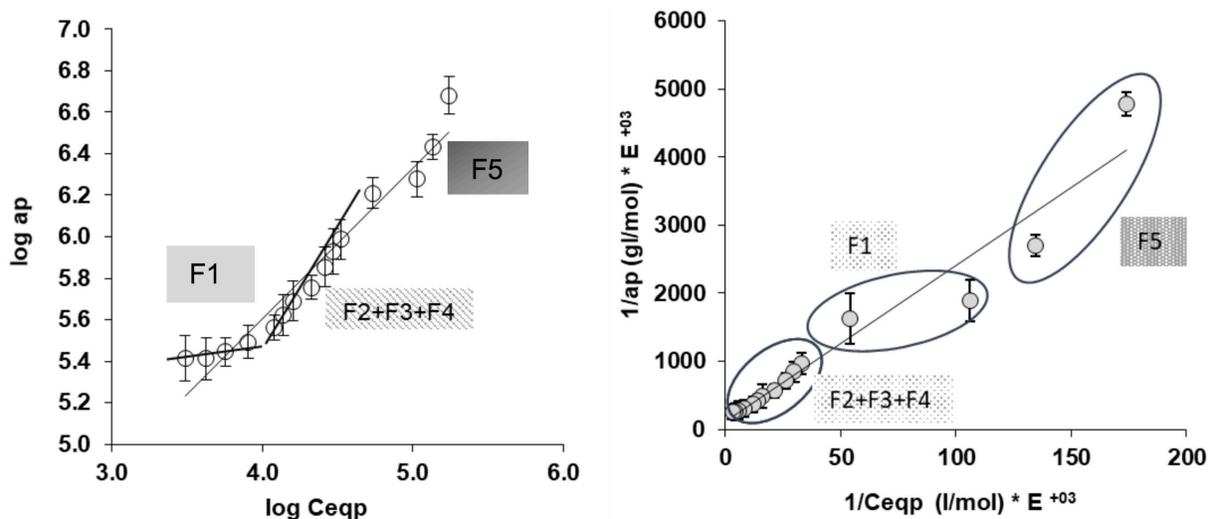


Figura 5. Modelos de adsorción: (a) Freundlich y (b) Langmuir para Cd



Los valores de $n > 1$ en el modelo de Freundlich (Tabla 3) indicaron tanto para el Pb como el Cd que puede tratarse de una adsorción sencilla la que se lleva a cabo en los sitios preferenciales del sedimento. Con respecto a los parámetros de Langmuir se determinó que el Pb tiene una alta afinidad por la materia orgánica (F5), seguida de las especies asociadas a óxidos de Fe (F4), para el Cd se observó el caso inverso, la afinidad es casi nula (Tabla 3), lo que permite inferir que la fracción F1 puede ser biodisponible para la biota del lugar.

Tabla 3. Parámetros de Adsorción de Freundlich y Langmuir para Pb y Cd

Metales	Fracciones	Freundlich		Langmuir	
		n	R ²	K _L	R ²
Pb	F4	1.4	0.9504	113113	0.9923
	F5	3.5	0.9814	1470114	0.9684
Cd	F5	3.5	0.9951	-42955	0.9934
	F2+F3+F4	1.0	0.9881	11853	0.9684
	F1	1.0	0.9892	-32156	0.9956

5. ConclusionEs

Los modelos de Freundlich y Langmuir son una herramienta útil para determinar la complejidad de las adsorciones del Pb y Cd en el sedimento. El primero indica que se trata de una adsorción sencilla, no compleja para ambos metales, el segundo modelo muestra que el Pb presenta mayor afinidad por el sedimento, particularmente por la fracción orgánica.

7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo para la realización de esta investigación a las instalaciones del Área de Química y Físicoquímica Ambiental.

8. Bibliografía

1. Bakan G., Balkas T.I. (1999). Enrichment of Metals in Surface Sediments of Sapanca Lake. Water Environ. Resc. V. 71, 71-74. (1999).



2. Barceló Q. I. D. [a]. Estudio de la Movilidad de Ca, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, y Zn en sedimentos de la presa José Antonio Alzate en el Estado de México. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma del Estado de México (2000)
3. Icela Dagmar Barceló-Quintal, Hugo Eduardo Solís-Correa, Pedro Ávila-Pérez, Edgar López-Galván, Sergio Gómez-Salazar, Julisa García-Albortante. Determination of distributions of Cd, Cu and Pb concentrations in sediments of a Mexican reservoir to infer their environmental risk. *Biol Trace Elem Res.* V. 148, 122–132 (2012).
4. García A. J., Barceló Q. I. Distribución geoquímica de Cd, Cu y Pb en sedimentos utilizando extracciones secuenciales por liofilización. VIII Congreso Internacional de Docencia e Investigación en Química (CIDIQ), México, D.F, 52-62 (2017).
5. Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate metals. *Anal. Chem.* V. 51, 844-851 (1979).
6. M.O.E., Ministry Ontario of the Environmen. Evaluating construction activities impacting on water resources (Construction Handbook). Toronto, Ont (1976).
7. Xing B., Pignatello J.J. Dual-Mode Sorption of Low-Polarity Compounds in Glassy Poly VinylChloride and Soil Organic Matter. *Environ. Scien. and Tech.*V. 31, 792-799 (1997).
8. Zhenghua W., Zhimang G., Xiaorong W., Les E. and Hongyan G. Effects of organic acids on adsorption of lead onto montmorillonite, goethite and humic acid, *Environmental Pollution.*V.3, 469-475 (2003).



Degradación de hidrocarburos por hongos filamentosos aislados de un sistema de compostaje con palma aceitera

Kelvin Saint García Martínez ■ María del Carmen Cuevas Díaz ■ Areli del Carmen Ortega Martínez
L E Gómez Reyes ■ Oswaldo Guzmán López

Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Veracruzana
osguzman@uv.mx

1. RESUMEN

En este estudio se utilizaron cinco cepas fúngicas (*Aspergillus parasiticus* HT1, *Aspergillus ochraceus* HT3, *Penicillium* sp. HT4, *Aspergillus* sp. H1P y *Aspergillus niger* H2P) aisladas de un sistema de compostaje con palma aceitera. De las cepas estudiadas se seleccionó a la cepa con mejores resultados de velocidad de crecimiento y peso seco micelial en presencia de petróleo crudo Maya. La cepa seleccionada (*Aspergillus niger* H2P) se utilizó para estudiar la cinética de degradación de hidrocarburos utilizando un caldo mineral adicionado de petróleo crudo al 2 % V/V a 150 rpm y 28 °C. Los hidrocarburos totales del petróleo (HTP's) degradados durante el cultivo a los 22 días fue del 97.58 %. La ecuación de la cinética de degradación de HTP's dio como resultado la constante de velocidad de degradación de 0.1902 día⁻¹ y la vida media de 3.66 días en medio mineral contaminado con petróleo crudo.

2. INTRODUCCIÓN

En México, la industria del petróleo ha tenido un impacto negativo en materia ambiental como resultado de la exploración petrolera, explotación, refinación, fugas de los sitios de almacenamiento, distribución de petróleo crudo y sus derivados. La contaminación con hidrocarburos se trata con métodos físicos, químicos y biológicos. Los dos primeros tienen limitaciones como son los altos costos, ineficacia y alteración del ecosistema natural; mientras que el tratamiento biológico resulta ser un proceso más interesante. En los últimos años, el empleo de microorganismos degradadores de hidrocarburos para tratar un suelo contaminado con petróleo se ha convertido en una técnica prevalente, eficiente y económica. Además, proporciona la capacidad de realizar un tratamiento *In*



situ sin perturbar indebidamente los ecosistemas nativos, en comparación con los métodos de remediación física y química^[1].

Debido a la propiedad hidrofóbica de los compuestos del petróleo, la mayoría de los microorganismos no pueden asimilar hidrocarburos y, por lo tanto, no pueden ser utilizadas en procesos de biorremediación. Se han reportado varios estudios sobre la degradación de hidrocarburos utilizando hongos filamentosos que ofrecen ciertas ventajas sobre las bacterias con respecto a la biodegradación debido a su resistencia a los hidrocarburos^[1], la alta velocidad de crecimiento, la capacidad de crecer en diferentes condiciones ambientales y la capacidad de utilizar una amplia gama de sustratos como fuentes de carbono y nitrógeno^[2].

3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1 Resiembra de las cepas

Las cinco cepas fúngicas se sembraron independientemente y por triplicado en agar papa dextrosa (PDA) con rosa de bengala, se realizó la siembra por medio de un asa por estriado continuo. Las cepas se incubaron a 28 ± 2 °C por 10 días y se almacenaron a 4 °C para su posterior utilización.

3.2 Activación de las cepas en agar glucosa sales (GSA)

Cada una de las cepas fúngicas fueron cultivadas independientemente y por triplicado en agar glucosa sales a 28 ± 2 °C por 15 días. Los cultivos obtenidos se utilizaron para las pruebas de crecimiento en presencia de hidrocarburos.

3.3 Crecimiento radial de las cepas en medio mineral con presencia de hidrocarburos

Cada una de las cepas fúngicas fueron cultivadas independientemente y por triplicado en placas Petri con agar mineral adicionado con 2 mL de petróleo crudo (impregnado en papel filtro que fueron colocados en las tapas de las cajas Petri). Para ello, a partir de un cultivo de la cepa fúngica en estudio se extrajo con un sacabocado de 10 mm de diámetro un círculo de agar con micelio y se depositó en el centro de la placa con agar mineral añadido de petróleo. Las placas sembradas fueron incubadas a 28 ± 2 °C por 6 días, se midió el diámetro de la colonia alcanzada cada 24 horas hasta los 6 días de incubación.



3.4 Determinación peso seco micelial en medio mineral con presencia de hidrocarburos

Se procedió a sembrar de la misma forma que el punto anterior. Las placas sembradas fueron incubadas a 28 ± 2 °C por 10 días. Al término del periodo de incubación las cajas fueron calentadas en el horno de microondas hasta fusionar el agar, el contenido de cada caja Petri se filtró a través del papel filtro Whatman 2. El micelio del hongo retenido en el filtro se depositó en una estufa de secado a 60 °C hasta la obtención del peso seco constante del micelio.

3.5 Cultivo de la cepa fúngica en caldo mineral adicionado de petróleo

Como criterio para la selección de la potencial cepa que utilizó el petróleo en mayor cantidad como fuente de carbono, se utilizó el diámetro de la colonia alcanzada a los 6 días de incubación y el peso micelial seco fúngico a 10 días de incubación. La cepa en estudio se inóculo (50, 000 propagulos fúngicos) en forma individual y por duplicado en matraces de 125 mL que contenían 30 mL de caldo mineral más 2 % de crudo Maya, los matraces sembrados se incubaron en un agitador orbital a 28 ± 2 °C a 150 rpm y al tiempo 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16 y 22 días se retiraron los matraces respectivos y su contenido se utilizó para determinar los hidrocarburos totales de petróleo que fueron degradados.

3.6 Determinación de hidrocarburos totales de petróleo y cinética de degradación

Para la determinación de los HTP's que fueron degradados se utilizó el método 5520 B y F contenido en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater^[3]. Las curvas de cinética de degradación de HTP's se ajustaron a la ecuación lineal: $Y = mx + b$, donde Y es el logaritmo natural de la concentración de hidrocarburos totales del petróleo en el medio líquido (mg/L); x es el tiempo (días), m es la pendiente que representa la constante de velocidad del cambio de la concentración total de hidrocarburos totales del petróleo en el medio líquido (k_1) y b es la intersección en y. El tiempo de vida media de biodegradación ($t_{1/2}$) se calculan mediante la siguiente ecuación: $t_{1/2} = \ln 2 / k_1$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las velocidades radiales (μ_r) de las cinco cepas se muestran en la Figura 1. La cepa H2P ($\mu_r = 0.2768$ mm/h⁻¹) tuvo la mayor velocidad de crecimiento, seguida por las ce-



pas HT4 ($\mu_r = 0.185 \text{ mm/h}^{-1}$) y HT1 ($\mu_r = 0.1615 \text{ mm/h}^{-1}$), las cepas H1P ($\mu_r = 0.0798 \text{ mm/h}^{-1}$) y HT3 ($\mu_r = 0.0755 \text{ mm/h}^{-1}$) mostraron una μ_r inferior a las demás.

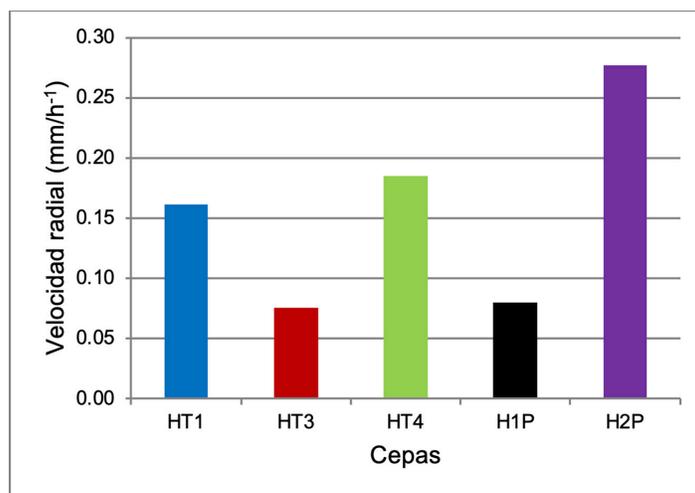


Figura 1. Velocidades de crecimiento radial de los micelios de las cepas fúngicas ensayadas en agar mineral con presencia de petróleo crudo

En otros estudios de selección de cepas se ha determinado la μ_r de la misma manera pero utilizando agar nutritivo basal con 1% de diesel, hexano, tolueno y queroseno. Se reportó para la cepa *Aspergillus fumigatus* una $\mu_r = 0.258, 0.284, 0.297$ y 0.230 mm/h^{-1} , para la cepa no identificada EFB1 una $\mu_r = 0.431, 0.330, 0.286$ y 0.112 mm/h^{-1} y la cepa no identificada FL3A una $\mu_r = 0.181, 0.184, 0.191$ y 0.215 mm/h^{-1} respectivamente^[4].

Como se observa en la Figura 2, el mayor peso micelial corresponde a la cepa H2P con 42.10 mg y el menor peso micelial corresponde a la cepa HT3 con 3.60 mg. Los datos de peso seco micelial demostraron que el hongo H2P (*Aspergillus niger*) presentó una producción de biomasa significativamente mayor que las demás cepas en presencia de petróleo. Esto se debió a que el hongo produce esporas cuando entra en contacto con los hidrocarburos y como respuesta defensiva aumenta el grosor de las paredes celulares.

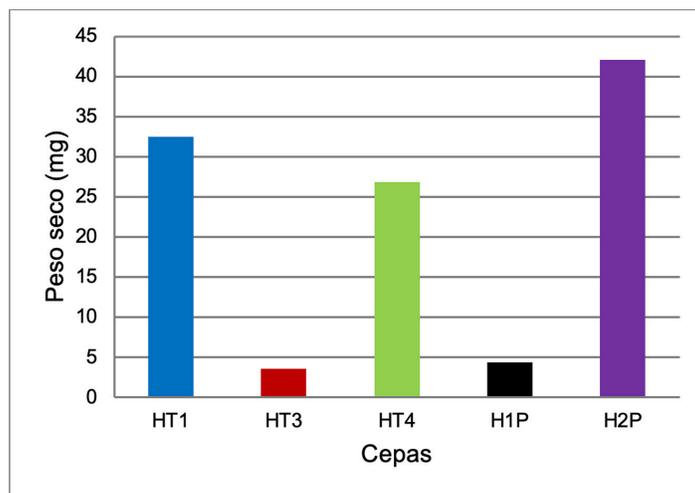


Figura 2. Velocidades de crecimiento radial de los micelios de las cepas fúngicas ensayadas en agar mineral con presencia de petróleo crudo

Estos resultados son parecidos a los reportados para las cepas *Aspergillus terreus* FA3, *Aspergillus niger* FA5, *Aspergillus terreus* FA6, *Penicillium chrysogenum* FP4, *Aspergillus terreus* FP6, *Aspergillus flavus* FP10, y *Candida* sp. FG1 en cultivos en PDA con 1% de diesel (41.0, 39.0, 33.0, 40.7, 37.7, 31.3 y 30.7 mg respectivamente) y en cultivos en medio HAF (hydrocarbon-adoptive fungi) con 1% de diesel (24.3, 11.7, 29.7, 32.0, 20.0, 28.3 y 29.3 mg respectivamente)^[5].

Se seleccionó a la cepa *A. niger* H2P para estudiar la degradación de HTP's ya que presentó los mejores resultados en el crecimiento radial y peso seco. El mayor porcentaje de pérdida de concentración de HTP's del petróleo crudo por el cultivo axénico del hongo H2P fue del 97.58% después de 22 días de biodegradación, en la Tabla 1 se puede observar la disminución de la concentración de los HTP's del petróleo crudo a través del tiempo.

Este resultado fue similar a los que mostraron que *Aspergillus niger* en cultivo axénico exhibió una biodegradación de hidrocarburos del petróleo de 95% y que el cultivo mixto de hongos *Aspergillus niger* y *Aspergillus fumigatus* logró una degradación del 90% en medio de sales minerales (98 mL) más 2 mL de petróleo crudo Al-Nasiriya (como única fuente de carbono y energía) en matraces de 250 ml después de 28 días de tratamiento^[6].



Tabla 1. Tasa de cambio de la concentración de los (HTP's) con relación al tiempo en la biodegradación del petróleo crudo presente en el medio mineral

Tiempo (Días)	(C) HTP (mg/L)	ln (C) HTP	(C) HTP + SD	HTP Degradados (mg/L)	% de Degradación
0	5104	8.54	5104 ± 18.52	0	0.00
1	4864	8.49	4864 ± 51.56	241	4.72
2	4487	8.41	4487 ± 37.78	618	12.10
3	3896	8.27	3896 ± 22.96	1209	23.68
4	2860	7.96	2860 ± 42.22	2244	43.97
6	1426	7.26	1426 ± 70.37	3679	72.07
8	808	6.69	808 ± 21.48	4297	84.18
12	442	6.09	442 ± 34.81	4662	91.34
16	208	5.34	208 ± 34.07	4897	95.93
22	123	4.81	123 ± 20.00	4981	97.58

De acuerdo a la Figura 3 se obtuvo la ecuación cinética de primer orden: $\ln (C) \text{ HTP's} = -0.1902t + 8.5894$. Se estimó la vida media ($t_{1/2}$) de 3.66 días. La constante de velocidad de degradación de HTP's es igual a 0.1902 día^{-1} .

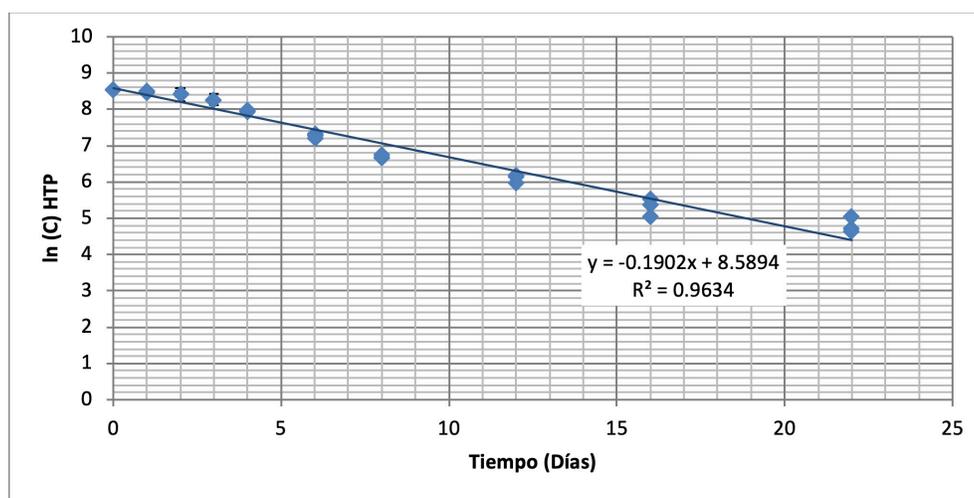


Figura 3. Gráfico de ln (C) (HTP's) frente al tiempo en la biodegradación de HTP's en el medio mineral líquido adicionado con petróleo crudo

Se reportaron resultados similares de la constante de velocidad de degradación de HTP's (0.108 días^{-1}) y $t_{1/2}$ (6.4 días) en la degradación de HTP's de suelo contaminado con 10% p/p de diesel con efluentes residuales de cervecía como bioestimulación con bioventilación utilizando un consorcio microbiano de *Pseudomonas* sp, *Acetobacter* sp, *Flavobacterium* sp, *Aspergillus niger*, *Curvularia* sp y *Alternaria* sp. en un ensayo con una duración de 28 días^[7].



5. CONCLUSIONES

De las cinco cepas fúngicas ensayadas en agar mineral adicionado con petróleo todas mostraron crecimiento lo que garantiza la tolerancia a estos compuestos. Se seleccionó a la cepa *A. niger* H2P para estudiar la degradación de HTP's ya que presentó los mejores resultados en el crecimiento radial y peso seco. Esta cepa tuvo un alto porcentaje de degradación de HTP's en cultivo líquido y se logró determinar la velocidad de degradación con la metodología empleada por lo que H2P podría ser utilizada en posteriores estudios para la remoción de hidrocarburos de sitios contaminados.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Mirdamadian S. M., Emtiazi G., Golabi M. H., Ghanavati H., Biodegradation of petroleum and aromatic hydrocarbons by bacteria isolated from petroleum contaminated soil, *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*. V. 1, N. 1, 1-5 (2010).
2. Martínez-Vázquez J., Hernández-Rivera M., Ojeda-Morales M., García-Marín M., Condiciones ambientales y de nutrientes óptimos para el desarrollo del microorganismo hidrocarbonoclasta *Penicillium* sp. in vitro, *Akadémeia*. V. 9, 97-112 (2011).
3. APHA-AWWA-WEF., "Oil and grease", Methods 5520 B & F, Standard methods for the examination of water and wastewater. 22th edition. American Public Health Association, 2012.
4. Gabiatti C., Vendruscolo F., Zanchet, P. J., Costa R. R., Durrant L., Vieira C. J., Radial growth rate as a tool for the selection of filamentous fungi for use in bioremediation, *Brazilian archives of biology and technology*. V. 47, N. 5, 35-40 (2004).
5. Khan A. H. A., Tanveer S., Anees M., Muhammad Y. S., Iqbal M., Yousaf S., Role of nutrients and illuminance in predicting the fate of fungal mediated petroleum hydrocarbon degradation and biomass production, *Journal of Environmental Management*. V. 176, 54-60 (2016).
6. Al-Jawhari I. F. H., Ability of some soil fungi in biodegradation of petroleum hydrocarbon, *Journal of Applied & Environmental Microbiology*. V. 2, N. 2, 46-52 (2014).
7. Agarry K., Latinwo G., Biodegradation of diesel oil in soil and its enhancement by application of bioventing and amendment with brewery waste effluents as biostimulation-bioaugmentation agents, *Journal of Ecological Engineering*. V. 16, N. 2, 82-91 (2015).

COMPENDIO DE
CIENCIA APLICADA



2018

Editada por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Se terminó el 20 de noviembre de 2018

Departamento de Diseño Gráfico y Editorial
de la Secretaría de Vinculación y Proyectos Especiales:
edificio 2, planta baja, FMVZ-UNAM

Avenida Universidad 3000, Ciudad Universitaria,
Coyoacán, 04510, México, Ciudad de México

Formación y composición tipográfica
en tipo Antenna 16 puntos y Electra 11 puntos

Medio electrónico: Cd-rom e Internet

Tamaño: 65 MB

Formato: PDF

Cuidado de la edición:

María de Lourdes Juárez Mosqueda