

# Ciencias de la Ingeniería y Tecnología T-VIII

## *Handbook*

**MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel**  
**CORRES-AYALA, Héctor Alejandro**  
**CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo**

*Coordinadores*

# ECORFAN®

## **Editora en Jefe**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

## **Coordinadores**

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel. PhD

CORRES-AYALA, Héctor Alejandro. BsC

CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo. BsC

## **Redactor Principal**

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

## **Asistente Editorial**

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC

## **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

## **Editor Ejecutivo**

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

## **Editores de Producción**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

## **Administración Empresarial**

REYES-VILLAO, Angélica. BsC

## **Control de Producción**

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

ISBN: 978-607-8534-73-9

Sello Editorial ECORFAN: 607-8534

Número de Control HCIT: 2018-05

Clasificación HCIT (2018):181118-0105

## **©ECORFAN-México, S.C.**

Ninguna parte de este escrito amparado por la Ley Federal de Derechos de Autor, podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Para los efectos de los artículos 13, 162,163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169,209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Violaciones: Ser obligado al procesamiento bajo ley de copyright mexicana. El uso de nombres descriptivos generales, de nombres registrados, de marcas registradas, en esta publicación no implican, uniformemente en ausencia de una declaración específica, que tales nombres son exentos del protector relevante en leyes y regulaciones de México y por lo tanto libre para el uso general de la comunidad científica internacional. HCIT es parte de los medios de ECORFAN ([www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org))

## **Handbooks**

### **Definición de Handbooks**

#### **Objetivos Científicos**

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en las Áreas de investigación CONACYT y PRODEP.

ECORFAN-Mexico S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

#### **Alcances, Cobertura y Audiencia**

Handbooks es un Producto editado por ECORFAN-Mexico S.C en su Holding con repositorio en México, es una publicación científica arbitrada e indizada. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de las Área de investigación CONACYT y PRODEP respectivamente con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

## **Consejo Editorial**

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD  
Oak Ridge National Laboratory

CARBAJAL - DE LA TORRE, Georgina. PhD  
Université des Sciences et Technologies de Lille

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD  
Institute of Technology

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD  
University of La Rochelle

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD  
University of Bristol

DECTOR - ESPINOZA, Andrés. PhD  
Centro de Microelectrónica de Barcelona

TELOXA - REYES, Julio. PhD  
Advanced Technology Center

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD  
Universidad Gestalt

CENDEJAS - VALDEZ, José Luis. PhD  
Universidad Politécnica de Madrid

HERNANDEZ - ESCOBEDO, Quetzalcoatl Cruz. PhD  
Universidad Central del Ecuador

HERRERA - DIAZ, Israel Enrique. PhD  
Center of Research in Mathematics

MEDELLIN - CASTILLO, Hugo Iván. PhD  
Heriot-Watt University

LAGUNA, Manuel. PhD  
University of Colorado

VAZQUES - NOGUERA, José. PhD  
Universidad Nacional de Asunción

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD  
University of Alberta

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD  
University of Southampton

LÓPEZ - HERNÁNDEZ, Juan Manuel. PhD  
Institut National Polytechnique de Lorraine

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD  
Universidad de Sevilla

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD  
Universidad Politécnica de Valencia

MARTINEZ - ALVARADO, Luis. PhD  
Universidad Politécnica de Cataluña

MAYORGA - ORTIZ, Pedro. PhD  
Institut National Polytechnique de Grenoble

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD  
University of South Florida

LARA - ROSANO, Felipe. PhD  
Universidad de Aachen

TIRADO - RAMOS, Alfredo. PhD  
University of Amsterdam

DE LA ROSA - VARGAS, José Ismael. PhD  
Universidad París XI

CASTILLO - LÓPEZ, Oscar. PhD  
Academia de Ciencias de Polonia

LÓPEZ - BONILLA, Oscar Roberto. PhD  
State University of New York at Stony Brook

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD  
Syracuse University

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD  
University of Texas

VEGA - PINEDA, Javier. PhD  
University of Texas

PÉREZ - ROBLES, Juan Francisco. PhD  
Instituto Tecnológico de Saltillo

SALINAS - ÁVILES, Oscar Hilario. PhD  
Centro de Investigación y Estudios Avanzados -IPN

RODRÍGUEZ - AGUILAR, Rosa María. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD  
Universidad de Guanajuato

MORILLÓN - GÁLVEZ, David. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

CASTILLO - TÉLLEZ, Margarita. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

SERRANO - ARRELLANO, Juan. PhD  
Universidad de Guanajuato

ZAVALA - DE PAZ, Jonny Paul. PhD  
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada

ARROYO - DÍAZ, Salvador Antonio. PhD  
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

ENRÍQUEZ - ZÁRATE, Josué. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

HERNÁNDEZ - NAVA, Pablo. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica

CASTILLO - TOPETE, Víctor Hugo. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD  
Intitut National Polytechnique Toulouse

QUETZALLI - AGUILAR, Virgen. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

PORTILLO - VÉLEZ, Rogelio de Jesús. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

ROMO - GONZALEZ, Ana Eugenia. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

VASQUEZ - SANTACRUZ, J.A. PhD  
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

OCHOA - CRUZ, Genaro. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

SÁNCHEZ - HERRERA, Mauricio Alonso. PhD  
Instituto Tecnológico de Tijuana

PALAFX - MAESTRE, Luis Enrique. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

AGUILAR - NORIEGA, Leocundo. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

GONZALEZ - BERRELLEZA, Claudia Ibeth. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

REALYVÁSQUEZ - VARGAS, Arturo. PhD  
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RODRÍGUEZ - DÍAZ, Antonio. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

MALDONADO - MACÍAS, Aidé Aracely. PhD  
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

LICEA - SANDOVAL, Guillermo. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

CASTRO - RODRÍGUEZ, Juan Ramón. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

RAMIREZ - LEAL, Roberto. PhD  
Centro de Investigación en Materiales Avanzados

VALDEZ - ACOSTA, Fevrier Adolfo. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Samuel. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

CORTEZ - GONZÁLEZ, Joaquín. PhD  
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

TABOADA - GONZÁLEZ, Paul Adolfo. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

RODRÍGUEZ - MORALES, José Alberto. PhD  
Universidad Autónoma de Querétaro

## **Comité Arbitral**

ESCAMILLA - BOUCHÁN, Imelda. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

LUNA - SOTO, Carlos Vladimir. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

URBINA - NAJERA, Argelia Berenice. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

PEREZ - ORNELAS, Felicitas. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

CASTRO - ENCISO, Salvador Fernando. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

CASTAÑÓN - PUGA, Manuel. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

GONZÁLEZ - REYNA, Sheila Esmeralda. PhD  
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

RUELAS - SANTOYO, Edgar Augusto. PhD  
Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas

HERNÁNDEZ - GÓMEZ, Víctor Hugo. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

OLVERA - MEJÍA, Yair Félix. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

CUAYA - SIMBRO, German. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

LOAEZA - VALERIO, Roberto. PhD  
Instituto Tecnológico Superior de Uruapan

ALVAREZ - SÁNCHEZ, Ervin Jesús. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada

SALAZAR - PERALTA, Araceli. PhD  
Universidad Autónoma del Estado de México

MORALES - CARBAJAL, Carlos. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

RAMÍREZ - COUTIÑO, Víctor Ángel. PhD  
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica

BAUTISTA - VARGAS, María Esther. PhD  
Universidad Autónoma de Tamaulipas

GAXIOLA - PACHECO, Carelia Guadalupe. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - JASSO, Eva. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD  
Universidad Politécnica de Amozoc

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD  
Universidad de Guadalajara

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

GUTIÉRREZ - VILLEGAS, Juan Carlos. PhD  
Centro de Tecnología Avanzada

HERRERA - ROMERO, José Vidal. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

MARTINEZ - MENDEZ, Luis G. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

LUGO - DEL ANGEL, Fabiola Erika. PhD  
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero

NÚÑEZ - GONZÁLEZ, Gerardo. PhD  
Universidad Autónoma de Querétaro

PURATA - SIFUENTES, Omar Jair. PhD  
Centro Nacional de Metrología

CALDERÓN - PALOMARES, Luis Antonio. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

TREJO - MACOTELA, Francisco Rafael. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

TZILI - CRUZ, María Patricia. PhD  
Universidad ETAC

DÍAZ - CASTELLANOS, Elizabeth Eugenia. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ORANTES - JIMÉNEZ, Sandra Dinorah. PhD  
Centro de Investigación en Computación

VERA - SERNA, Pedro. PhD  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

MARTÍNEZ - RAMÍRES, Selene Marisol. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

OLIVARES - CEJA, Jesús Manuel. PhD  
Centro de Investigación en Computación

GALAVIZ - RODRÍGUEZ, José Víctor. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

JUAREZ - SANTIAGO, Brenda. PhD  
Universidad Internacional Iberoamericana

ENCISO - CONTRERAS, Ernesto. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

GUDIÑO - LAU, Jorge. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

MEJIAS - BRIZUELA, Nildia Yamileth. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

FERNÁNDEZ - GÓMEZ, Tomás. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

MENDOZA - DUARTE, Olivia. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

ARREDONDO - SOTO, Karina Cecilia. PhD  
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

NAKASIMA - LÓPEZ, Mydory Oyuky. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

AYALA - FIGUEROA, Rafael. PhD  
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

ARCEO - OLAGUE, José Guadalupe. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

HERNÁNDEZ - MORALES, Daniel Eduardo. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

AMARO - ORTEGA, Vidblain. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

ÁLVAREZ - GUZMÁN, Eduardo. PhD  
Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

CASTILLO - BARRÓN, Allen Alexander. PhD  
Instituto Tecnológico de Morelia

CASTILLO - QUIÑONES, Javier Emmanuel. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

ROSALES - CISNEROS, Ricardo. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

GARCÍA - VALDEZ, José Mario. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

CHÁVEZ - GUZMÁN, Carlos Alberto. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

MÉRIDA - RUBIO, Jován Oseas. PhD  
Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital

INZUNZA - GONÁLEZ, Everardo. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

VILLATORO - Tello, Esaú. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

NAVARRO - ÁLVEREZ, Ernesto. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

ALCALÁ - RODRÍGUEZ, Janeth Aurelia. PhD  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Juan Miguel. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

RODRIGUEZ - ELIAS, Oscar Mario. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

ORTEGA - CORRAL, César. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

GARCÍA - GORROSTIETA, Jesús Miguel. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

## **Cesión de Derechos**

El envío de una Obra Científica a ECORFAN Handbooks emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones científicas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.

## **Declaración de Autoría**

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación de la Obra Científica y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor de la Obra Científica.

## **Detección de Plagio**

Todas las Obras Científicas serán testeadas por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandará a arbitraje y se rescindirá de la recepción de la Obra Científica notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

## **Proceso de Arbitraje**

Todas las Obras Científicas se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homologo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del ECORFAN Handbooks con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de la Obra Científica Modificado para Edición-Publicación.

# ECORFAN Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

---

## Volumen VIII

---

El Handbook ofrecerá los volúmenes de contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyan a la actividad de difusión científica del Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. en sus áreas de investigación en Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Educación, Potencia y Energía, Ciencias de la Computación, Mecatrónica, Aplicaciones Industriales y Comunicaciones, Gestión de la Tecnología en la Industria y en la Educación, Nuevas Tecnologías, Informática, Desarrollo de aplicaciones, Seguridad Informática, Tecnologías de la Información y Comunicación, Mantenimiento Industrial, Subestaciones Eléctricas, Motores Eléctricos, Termografía Infrarroja, Ahorro de Energía, Análisis de Vibraciones, Automatización, Cocinas Solares, Biomasa, Biocombustibles, Sistemas Fotovoltaicos, Celdas de Combustible, Energía Solar, Educación, Generación de Energía, Eléctrica, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, Gestión de Sistemas de Energía Eléctrica, Sistemas de Información, Energías Renovables, Aplicaciones Computacionales, Instrumentación aplicada a la industria, Telecomunicaciones y protocolos de seguridad. Además de tener una evaluación total, en las manos de los directores del Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. se colabora con calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada a estándares internacionales (RESEARCH GATE, MENDELEY, GOOGLE SCHOLAR y REDIB), el Handbook propone así a la comunidad académica, los informes recientes sobre los nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de investigación en Ciencias de la Educación.

Para futuros volúmenes:

<http://www.ecorfan.org/handbooks/>

Marroquín-de Jesús, Ángel • Corres-Ayala, Héctor Alejandro • Cruz-Carpio, Luis Eduardo

Directores

# Ciencias de la Ingeniería y Tecnología T-VIII *Handbooks*

Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. Octubre 2018

## Introducción

El Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. (CIER-QUERÉTARO), y sus capítulos de Energía Renovable, Mantenimiento industrial, Mecatrónica e Informática, patrocinadores técnicos del Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento, Mecatrónica e Informática, CIERMMI 2018 tiene como objetivo general establecer un espacio de discusión y reflexión en temas relacionados con las áreas de: energías renovables, mantenimiento industrial, mecatrónica e informática con la participación de estudiantes, profesores, investigadores y conferencistas nacionales e internacionales, promoviendo la conformación y consolidación de redes de investigación. Contribuyendo a brindar un espacio de divulgación y debate de las ponencias de estudiantes, egresados, académicos e investigadores, representantes de las distintas instituciones de educación superior y centros de investigación de nuestro país. Promoviendo la conformación de redes de investigación entre diferentes instituciones. Ofreciendo un espacio para los estudiantes de licenciatura, maestría, doctorado y de posdoctorado, en el cual puedan dar a conocer el avance de las investigaciones que llevan a cabo como tesis o trabajos de grado. Brindando un espacio en el cual los grupos de estudios e integrantes de cuerpos académicos, vinculados al programa curricular de las carreras de energías renovables, mantenimiento industrial, mecatrónica e informática, den a conocer los trabajos de investigación desarrollados al interior de su institución y en colaboración con otras instituciones educativas nacionales o internacionales. Estableciendo un espacio de capacitación para los (las) asistentes, mediante el desarrollo de ponencias y conferencias específicas.

Este volumen VIII-2018 contiene 9 Capítulos arbitrados que se ocupan de estos asuntos en elegidos de entre las contribuciones, reunimos algunos investigadores y estudiantes de posgrado, a partir de 32 estados de México. Agradecemos a los revisores por su retroalimentación que contribuyeron en gran medida en el mejoramiento de los artículos, para la publicación en estos procedimientos revisando los manuscritos que fueron sometidos.

Como primer capítulo, *Rosales, López, Mastache y Enríquez*, explican el diseño e implementación de la instrumentación electrónica de una estación meteorológica móvil, con una conexión inalámbrica entre el emisor y receptor con la finalidad de captar, visualizar y almacenar variables físicas en tiempo real, implementado por el software (LabView) y el hardware (tarjeta Arduino) y los módulos de XBee PRO S1.

Como segundo capítulo, *Hernández, Mex, Cab y Chan*, demuestran el uso de una tecnología capaz de proporcionar una alta disponibilidad a pesar de las fallas en el sistema. La Organización Internacional de Normalización y la Comisión Electrónica publican ISO 27002 como un estándar de mejores prácticas en Seguridad de la Información, definiendo como "preservar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la Información", como tercer capítulo, *Hernández, Lugo, Peña y Montiel*, proponen la implementación de una segunda capa de seguridad: para usar también un dispositivo móvil que registre la dirección MAC mediante la lectura desde el módulo Bluetooth, como cuarto artículo, *Mirón, Avendaño, Angheven y Juárez*, proponen el desarrollo de una aplicación web enfocada en la generación de indicadores para respaldar la toma de decisiones de una división profesional en el nivel de educación superior, con credenciales de acceso cifradas, como quinto artículo, *Pérez, Bertoldi y Miranda*, muestran los resultados del diseño de un amplificador de fibra dopada con Thulium (TDFA) con operación a 2  $\mu\text{m}$ , como sexto capítulo, *Linares & Rea*, realizan el análisis de los componentes del aerogenerador dentro del diseño, su simulación y la conversión de energía, como séptimo artículo, *Hernandez, Olvera, Gonzalez y Gonzalez*, estudian la producción de biogás utilizando diferentes tipos de materia orgánica que tienen en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, como octavo capítulo, *Flores, Pacheco, Corro y Ruiz*, realizan el análisis de la caracterización química de las emisiones producidas por la combustión de nitrometanol (nitrometano-etanol-castor aceite a 20, 71 y 9%, respectivamente), como noveno capítulo, *Delgado, Pérez y Wong*, buscan la manera de reutilizar el unigel que se desecha dentro de las universidades, principalmente en las cafeterías, para producir una impermeabilización que pueda usarse dentro de las mismas instituciones. De esta manera, se pretende ahorrar en gastos y reducir el desperdicio en unigel.

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>1 Estación Meteorológica para el análisis de la tierra para la siembra del maíz, en el municipio de Jocotitlán, Estado de México</b> ROSALES-DAVALOS, Jaime, LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto, MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo y ENRÍQUEZ-PÉREZ, Ma. de los Ángeles	1-12
<b>2 Implantando una Tecnología de Alta Disponibilidad en SQL Server 2016</b> HERNÁNDEZ CRUZ, Luz María, MEX ALVAREZ, Diana Concepción, CAB CHAN, José Ramón y CHAN CAUICH Victor Manuel	13-23
<b>3 Cerradura con Seguridad Biométrica y Móvil con Bluetooth</b> HERNÁNDEZ-LEYVA, Jovanny del Rosario, LUGO-LUGO, Juan De Dios, PEÑA-BOJORQUEZ, Dania Esther y MONTIEL-VILLA, Christian Allan	24-32
<b>4 Diseño e Implementación de ERP académico con llave USB</b> MIRÓN-CHACÓN, María José, AVENDAÑO-CORTES, Isaías, ANGHEVEN-NEGRETE, Jesús Santiago y JUAREZ-IBÁÑEZ, Julia Aideé	33-40
<b>5 Diseño de un Amplificador de Tulio a 2 μm Mediante el Método ASE</b> PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina, BERTOLDI-MARTINS, Indayara y MIRANDA-TELLO, José Raúl	41-49
<b>6 Modelo, simulación y control del sistema eléctrico y electrónico de un sistema eólico de baja potencia</b> LINARES-ENRÍQUEZ, Alejandro & REA-CABRERA, Edgar	50-61
<b>7 Estudio del potencial de generación de metano empleando diferentes materias orgánicas de desecho</b> HERNÁNDEZ-GÓMEZ, Víctor, OLVERA-GARCÍA, Omar, GONZALEZ-AGUIRRE, Jesus y GONZALEZ-MAYA, Luis	62-73
<b>8 Caracterización Química de las emisiones producidas por la combustión de las mezclas de Nitrometanol-Biodiesel en un motor de compresión asistida por bujía incandescente de 2t</b> FLORES-MARQUEZ, Juan, PACHECO-AGUIRRE, Francisco, CORRO, Griselda y RUIZ-REYES, Mayra	74-91
<b>9 Reciclado del poliestireno expandido en instituciones educativas para su uso como impermeabilizante. Caso de estudio: Universidad Politécnica de Altamira</b> DELGADO-HERNÁNDEZ, Xochitl Samantha, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva y WONG-GALLEGOS, Juan Yared	92-100

## Capítulo 1 Estación Meteorológica para el análisis de la tierra para la siembra del maíz, en el municipio de Jocotitlán, Estado de México

### Chapter 1 Meteorological Station for the analysis of the land for the sowing of corn, in the municipality of Jocotitlán, State of Mexico

ROSALES-DAVALOS, Jaime†\*, LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto, MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo y ENRÍQUEZ-PÉREZ, Ma. de los Ángeles

*Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, Carretera Toluca-Atacomulco KM 44.8, Ejido de San Juan y San Agustín Jocotitlán, 50700 Jocotitlán, México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Jaime, Rosales-Davalos* / **ORC ID:** 0000-0002-9059-6093, **Researcher ID Thomson:** MVQ9OX-GXKHUL, **CVU CONACYT-ID:** 812961

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Roberto, López-Ramírez* / **ORC ID:** 0000-0001-8341-3684, **CVU CONACYT-ID:** 233228

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Jorge Edmundo, Mastache-Mastache* / **ORC ID:** 0000-0001-6104-6764, **Researcher ID Thomson:** H-1187-2018, **CVU CONACYT-ID:** 544943

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Ma. de los Ángeles, Enríquez-Pérez* / **ORC ID:** 0000-0002-2280-0661, **Researcher ID Thomson:** H-9399-2018

J. Rosales, R. López, J. Mastache y M. Enríquez

jaime.rosales@tesjo.edu.mx

A. Marroquín, H. Corres y L. Carpio. (Dir.) Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2018.

## Abstract

The current climate change affects different areas of development; among them agriculture and particularly that of corn production. In the following work a wireless meteorological (EM) station was designed and built to measure, visualize and store physical magnitudes (temperature, light intensity, atmospheric pressure, relative humidity, wind speed, soil moisture), in any point of a cultivation area, which was validated in Jocotitlán, State of Mexico. The EM measurement system consists of several stages, starting with capture, which consists of measuring each of the physical quantities, transforming them to electrical signals and sending them to a data acquisition card. After processing, signals are transmitted to a computer and processed by LabView software to obtain real time measurements of the physical quantities. The coding, transmission, reception and decoding of the signals was done using XBEE modules. With the automated meteorological information, the farmer would be helped to make opportune decisions in the handling of crops to be able to face any environmental eventuality.

## Meteorological Station, Physical Variables, Magnitudes, Sensors

### 1 Introducción

En este trabajo, se explica el diseño e implementación de la instrumentación electrónica de una estación meteorológica móvil, con una conexión inalámbrica entre el emisor y receptor con la finalidad de captar, visualizar y almacenar variables físicas en tiempo real (temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, humedad del suelo, luz ambiental y velocidad del viento), implementado por el software (LabView) y el hardware (tarjeta Arduino) y los módulos de XBee PRO S1.

Por consecuencia del cambio climático, se han empezado a modificar las estaciones del año en el planeta. En México; en la zona norte del país, han aumentado la sequías; en el centro de país las heladas e inundaciones que afectan los cultivos (maíz, trigo, cebada, frijol, etc.) y al sur aumentan las lluvias extremas y huracanes (Greenpeace, 2012), por lo tanto, se prevé que el calentamiento podría aumentar de 2 a 4 grados en las partes centrales y en el norte del país (INE, 2006), provocando un aumento en la evaporación, reducción de la precipitación y de los escurrimientos lo que incidirá la distribución del recurso hídrico sobre el suelo (afectando al cultivo, ganado o asociaciones vegetales naturales) (Sanchez-Salazar & Matínez-Galicia, 2006), la disponibilidad y captación de la radiación solar, el agua y los nutrientes son factores básicos para el crecimiento y supervivencia de las plantas de maíz.

El incremento de la temperatura afecta en la polinización, aumenta la respiración y disminuye la fotosíntesis (Ojeda, Sifuentes, Íñiguez, & Montero, 2011). Por lo que, las condiciones ambientales, son elementos que limitan el crecimiento y desarrollo de las plantas y cultivos, en la germinación se requiere de apropiadas temperaturas, humedad y aireación y no se necesita luz en esta etapa, el cambio de la fase vegetativa a la fase productiva se realiza más temprano, cuando el periodo de cultivo coincide con los días cortos. Por ejemplo, durante días largos (más de doce horas con luz) el maíz tarda en florecer. La duración del ciclo de vida del maíz depende de las condiciones genéticas, aunque también del ambiente; periodos de sequía y temperaturas altas provoca una maduración temprana, el granizo y las heladas afectan su maduración. Por lo tanto el maíz requiere un clima cálido y agua en cantidades adecuadas, finalmente las condiciones ecológicas y edáficas son: temperaturas de 25 a 30°C, la humedad debe ser mayor a 500mm (bien distribuidos), Altitud desde 300 a 2500 metros sobre el nivel del mar, latitud 40 grados de latitud norte a 40 grados de latitud sur, fotoperiodo de 11 a 14 horas (optimo) (INE, 1997).

Por lo tanto, el cambio climatológico afecta el crecimiento y desarrollo de la planta de maíz, que dependen de las magnitudes físicas como: temperatura, humedad del suelo, intensidad de la luz solar y velocidad del viento. Cuando incrementa la temperatura aumenta la evaporación y por lo tanto disminuye la precipitación y la humedad del suelo, lo que ocasiona sequías y una mayor velocidad del viento. Por desgracia, el clima se ha ido modificando (INE, 1997), lo que ocasiona cambios en las condiciones del tiempo para el crecimiento y desarrollo del maíz, siendo los agricultores de pocos recursos económicos los más afectados por su bajo acceso a tecnologías, insumos, información y recursos monetarios para tomar medidas de adaptación, por esa razón se propone la construcción de una estación meteorológica móvil diseñada y edificada en el Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, con al cual se pretende ayudar a los agricultores de la región con los datos y registros de las variables físicas sin gastos.

El INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) cuenta con estaciones meteorológicas que integran redes de estaciones agroclimáticas y están equipadas con sensores de temperatura del aire, precipitación, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, dirección del viento y humedad de las hojas, cuyas características son la medición de las magnitudes se realiza cada 15 minutos y los datos son transmitidos en el laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos ubicados en el campo experimental (Media, Grageda, Ruiz , & Báez , 2008); Estación Meteorológica con anemómetro alecto, las magnitudes físicas que capta son: velocidad del viento, temperatura, humedad, además de una pantalla LCD (Jadineria.top, s.f.); la estación Meteorológica Inalámbrica está diseñada para medir cinco variables físicas: temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, velocidad del viento y dirección del viento, controlado por un microcontrolador 16F877A y una LCD (Arango, Rincón, Manrique, & Buitrago, 2010), el sistema de monitoreo está constituida por los sensores para medir la velocidad del viento, termistor, y Pirómetro, además transmite datos cada cinco minutos y se almacenan en la memoria; finalmente la Estación Meteorológica para el análisis de la tierra para la siembra del maíz, en el municipio de Jocotitlán, Estado de México se implementó con el software LabView, el Hardware de Arduino y los sensores que mide la temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, humedad del suelo, luz ambiental y velocidad del viento donde está la variable de humedad del suelo con la (Media, Grageda, Ruiz , & Báez , 2008), las magnitudes son almacenadas en una PC cada minuto, y al mismo tiempo visualizadas en tiempo real en la computadora y almacenarlas en una base de datos (Excel), es importante mencionar que no solo afecta las condiciones climatología para el crecimiento y desarrollo del maíz, también influye los nutrientes de la tierra y otros factores, pero este trabajo solo está enfocado a la obtención y almacenamiento de las variables físicas.

El diseño está basado en una red de sensores inalámbricos; el sistema está compuesto por TX (transmisión de datos)/RX (recibir datos) de radio frecuencia, sensores y microcontroladores y fuentes de poder, que generalmente es autoorganizable, autocofigurable, autodiagnosticable y autoreparable (Jimenez , Ravelo, & Gómez, 2010).

El sistema de captación es conformado de la etapa de sensado constituido por sensores (temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, humedad del suelo, luz ambiental y velocidad del viento), su función consiste convertir un fenómeno físico en señales eléctricas analógicas (voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico), que se pueda medir y varia con el tiempo (National instruments, 2015), una estación meteorológica móvil está constituida por un conjunto de sensores, que están conectados en la topología estrella, porque cada una de las magnitudes físicas son enviadas a un nodo en común (Faludí, 2010), después estas son digitalizadas y procesadas por la tarjeta Arduino y son enviadas al módulo Xbee pro S1 (transmisor), para ser enviados los datos por el medio ambiente y las capta el receptor del módulo del Xbee PRO S1, que implementa la tecnología de comunicación inalámbrica de radio frecuencia XBee-Pro S1, que trabaja con el protocolo de comunicación IEEE 802.15.4 y solamente aplica para las dos primeras capas del modelo OSI (nivel físico y nivel de enlace); algunas de sus características están basada en redes de bajo costo, sensores inalámbrico de baja potencia y de control en cualquier mercado, también se puede utilizar en cualquier lugar, es fácil de implementar y requiere poca energía para funcionar (Kinney, 2003), posteriormente son enviadas a la computadora su función es acondicionar y procesar la información por medio del receptor, y el usuario para adquirir, analizar y presentar datos y finalmente obtener la magnitudes de las magnitudes de las variables físicas.

## 1.1 Definición y Etapas

La estación meteorológica móvil e inalámbrica es un sistema de control que esta constituido de entradas, proceso y salidas, en donde las salidas tienen relación con respecto a las entradas (Bolton, 2014), o es una red de sensores inalámbricos, que está constituido por sensores, módulos de radio frecuencia, microcontrolador y fuentes de poder (Jimenez , Ravelo, & Gómez, 2010). También, es considerado como un sistema de medición donde sus entradas son las magnitudes que se desean medir y sus salidas son el valor correspondiente a cada una de las entradas; es decir, están constituidos por tres elementos: sensado, acondicionador de señal y medio de representación visual (Bolton, 2001).

En la figura 1.1, se muestra el diagrama de bloques de una estación meteorológica móvil, constituido por:

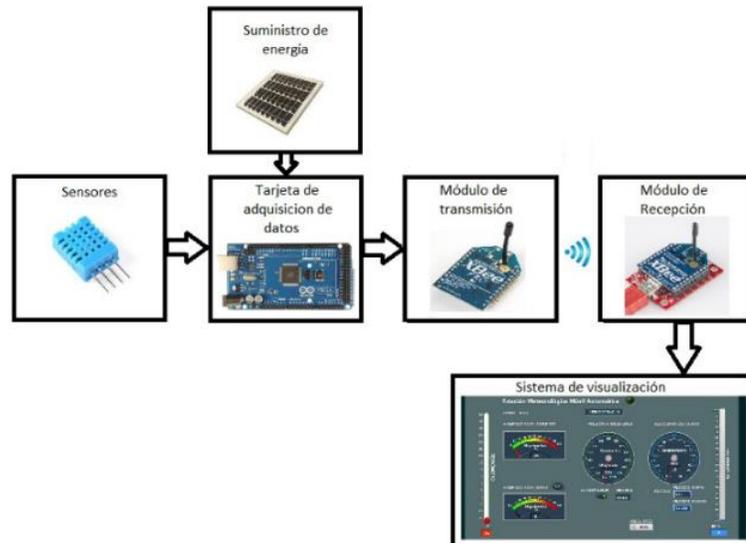
1. Etapa de sensado, donde está ubicado cada uno de los sensores de las variables físicas que se captan y procesadas.

2. Etapa de transmisión y recepción de datos (módulo Xbee Pro S1).
3. Fuente de alimentación solar (panel solar). La interfaz, consiste en una conexión entre las señales de entrada y salida.
4. Etapa de visualización, de las magnitudes de las variables físicas (software de LabView).

## 1.2 Sensores

Son dispositivos, que convierten las variables físicas en señales eléctricas, como voltaje, corriente, resistencia, etc. (National instruments, 2015). Las variables físicas que intervienen en la siembra y desarrollo del maíz son: temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, humedad del suelo, luz ambiental y velocidad del viento (Granados & Sarabina, 2013).

**Figura 1.1** Diagrama a bloques de la estación meteorológica móvil



Fuente: Autoría Propia

## Temperatura

Se implementó el sensor de temperatura AD22100ATZ, su rango de medición esta entre  $-50$  a  $150$  °C, suministra de  $4$  a  $6.5V_{DC}$ , con una corriente de salida (sensibilidad)  $500\mu A/^{\circ}C$  y una exactitud de  $\pm 1$  °C. El rango de temperatura es manipulable y el suministro de corriente (Voltage Output Temperature Sensor with Signal conditioning, 2004). La función de transferencia del sensor está dada por:

$$V_{salida} = \left(\frac{V_{sum}}{5V}\right) \left(1.375V + 22.5 \frac{V}{^{\circ}C}\right) * T_A \quad (1)$$

Donde:

$$V_{sum}=5V$$

$V_{salida}$ = Voltaje que entrega el sensor.

$T_A$ = Temperatura.

Despejando a  $T_A$  de la ecuación 1

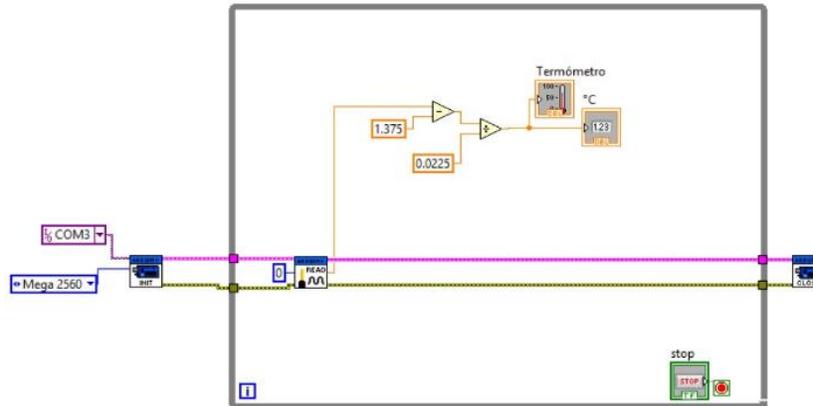
$$T_A = \frac{(V_{salida}-1.375V)}{\left(0.0225 \frac{V}{^{\circ}C}\right)} \quad (2)$$

Con la ecuación 2, se realizó el código en el software de LabView, para obtener la magnitud de la variable física de la temperatura (ver figura 1.2).

## Presión atmosférica

Es la presión ejercida por la atmósfera terrestre, depende de la altitud y se mide en Pa (pascales), hPa (hectopascal), es decir que 1hPa=100Pa (Creus, 2010). Se seleccionó, el sensor MPX4115AP, por su rango de medida está en el orden 150 a 1150 hPa y suministra un voltaje entre 4.85 a 5.35V. En base a la función de transferencia.

**Figura 1.2** Código de programación en LabView de la variable física de la temperature



Fuente: Autoría Propia

$$V_{salida} = (V_{sumin}(0.009(P - 0.095))) \quad (3)$$

Donde:

$V_{salida}$ = voltaje que entrega el sensor.

$V_{sumin}$ =voltage que se le suministra al sensor.

$P$ = presión atmosférica en KPa.

Despejando de la ecuación 3 a la variable P, multiplicando por 10, para obtener en KPa, se tiene:

$$P = 10 \left( \frac{(0.095*5)+V_{salida}}{5*0.009} \right) \quad (4)$$

Además, se debe considerar la altura con la presión atmosférica.

$$Altitud = 44330 \left( 1 - \left( \frac{P}{1013.25hPa} \right)^{\frac{1}{5.225}} \right) \quad (5)$$

Sustituyendo, la ecuación 4 en 5, la altitud está dada por:

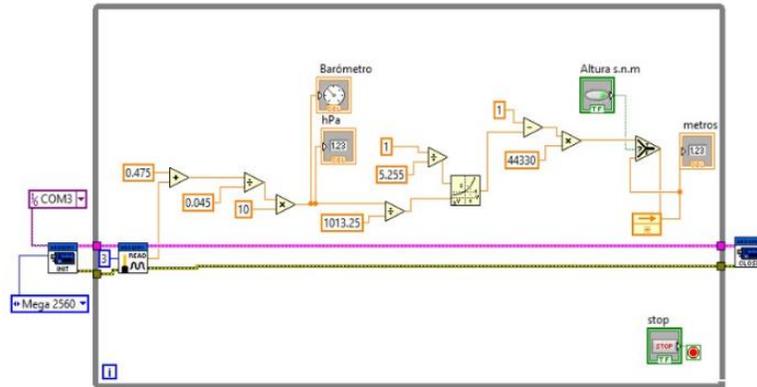
$$= 44330 \left( 1 - \left( \frac{10 \left( \frac{(0.475)+V_{salida}}{0.045} \right)}{1013.25hPa} \right)^{\frac{1}{5.225}} \right) \quad (6)$$

Con la ecuación 6, se obtiene la ecuación que determina la magnitud de presión atmosférica, como se muestra en la figura 1.3.

## Humedad relativa

Es la relación entre la masa de vapor de agua contenida en la unidad de volumen de aire y de vapor de agua en la atmósfera (Higrómetro), se optó por el H1H-4030-00, manipula un rango de 0 a 100% y una exactitud del 3.5%. En base (H1H-4030/31 SERIES HUMEDITY SENSORS, 2008), la función de transferencia del sensor está determinada por:

**Figura 1.3** Código de programación en LabView de la variable de la presión atmosférica



Fuente: Autoría Propia

$$V_{salida} = (V_{sumin})(0.0062(\%RH) + 0.16) \quad (7)$$

Donde:

$V_{sumin}=5V$  es el voltaje que se le suministra al sensor.

$V_{salida}$ = voltaje que entrega el sensor.

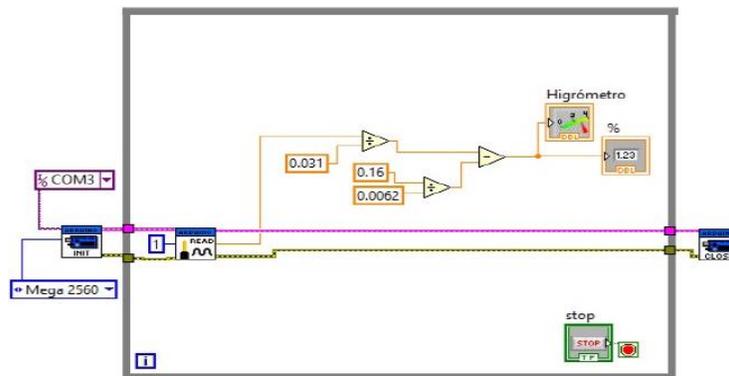
$\%RH$ = humedad relativa sensada dada en porcentaje.

Finalmente, se despeja a la humedad relativa de la ecuación 7, quedando:

$$\%RH = \left( \frac{V_{salida}}{0.031} - \frac{0.16}{0.0062} \right) \quad (8)$$

De la ecuación 8, se obtiene el código del algoritmo, que se usa para determinar la magnitud de la humedad relativa, ver figura 1.4.

**Figura 1.4** Código de programación en LabView de la variable de la humedad relativa

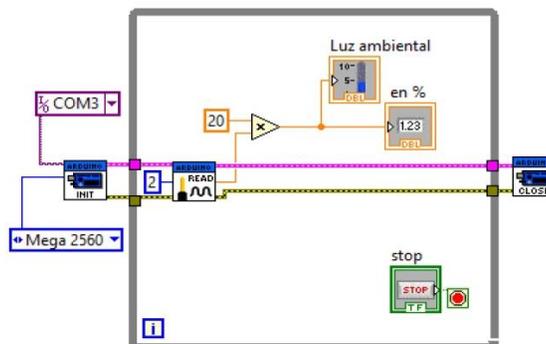


Fuente: Autoría Propia

## Luz ambiental

Es la radiación visible emitida por el sol. Por lo tanto, se seleccionó el TEPT4400, por tener mayor respuestas (Pablo, 2015). A partir de las especificaciones del sensor (TEPT4400 Vishay Semiconductor, 2016), el voltaje se multiplica por 20 para obtener el 100% de la intensidad de la luz; cuando sea cero se obtendrá el 0%, se muestra en la figura 1.5, el código de la ecuación para determinar la magnitud de la intensidad de la luz ambiental.

**Figura 1.5** Código de programación en LabView de la variable de la luz ambiental



Fuente: Autoría Propia

## Humedad del suelo

Mide la cantidad de agua por volumen de tierra, se seleccionó el YL-69, su funcionamiento depende de la corriente que suministra entre las dos terminales y que fluye a través del suelo; por lo tanto, la humedad del suelo se determina en relación con la resistencia que presenta el suelo ante el flujo de corriente. Posee una exactitud de  $\pm 2\%$  y señal es analógica o digital (Becerril, 2017). Con respecto a las hojas de especificaciones del sensor de humedad del suelo, se obtiene la función de transferencia, como:

$$\%RHs = \frac{(V_{salida} - 5)(-100)}{5} \quad (9)$$

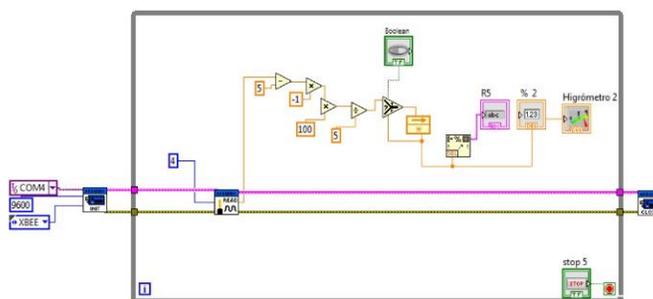
Donde:

$\%RHs$  = Humedad relativa del suelo

$V_{salida}$  = Voltaje de salida del sensor

Con la ecuación 9, se determina el código con el que se calcula la magnitud de la variable física de la humedad relativa, ver figura 1.6.

**Figura 1.6** Código de programación en LabView de la variable de la humedad relativa del suelo



Fuente: Autoría Propia

## Velocidad del viento

Este sensor determina la velocidad de aire; es decir, es el aire en movimiento, el instrumento que se implementa para medir esta variable se llama anemómetro. Se seleccionó el UGC-FS por su precisión, está en el rango de  $0.3 + 0.03$  m/s y su rango es de 0 a 32 m/s (Becerril, 2017). Basándose en las hojas especificaciones del fabricante se obtuvo la función de transferencia.

$$V_{vel\_vto} = (20V_{salida} - 8) (m/s) \quad (10)$$

$$V_{vel\_vto} = 3.6(20V_{salida} - 8) (Km/h) \quad (11)$$

$$V_{vel\_vto} = 1.940(20V_{salida} - 8) (Nudo) \quad (12)$$

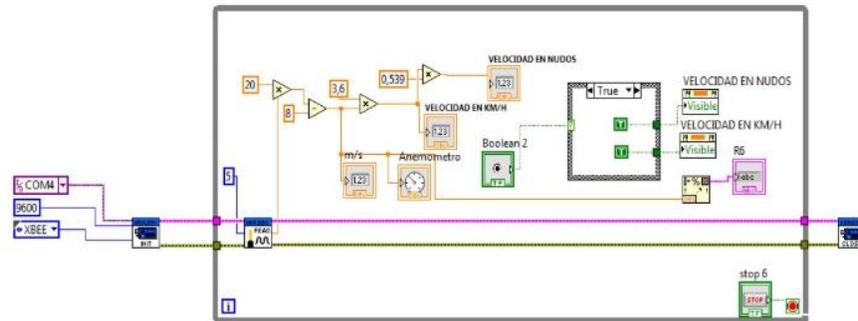
Donde:

$V_{vel\_viento}$  = Velocidad del viento.

$V_{salida}$  = Voltaje de salida del sensor.

Con las ecuaciones 10, 11 y 12, se calculó el código para determinar el valor de la magnitud de la velocidad del viento en m/s, Km/h y Nudos, ver la figura 1.7 (Becerril, 2017).

**Figura 1.7** Código de programación en LabView de la variable de la velocidad del viento

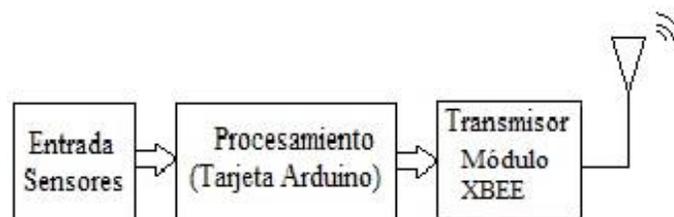


Fuente: Autoría Propia

## Transmisión de datos

Para la comunicación inalámbrica, entre el sistema de sensado de las variables físicas (transmisor de datos) y el sistema de control (receptor de datos), se implementaron dos módulos de Xbee Pro S1, estos trabajan utilizando el protocolo de red IEEE 802.15.4, además soportan el modo transparente, se implementan para la conexión inalámbrica, la recepción de datos, a través de UART, es decir, es la transmisión y recepción de datos por medio de Pines (TXD y RXD) para comunicarse con el microcontrolador, finalmente se implementó el modo directo e indirecto que consiste en enviar los datos sin retenerlos un determinado tiempo, se implementó la red de sensores inalámbricos y utilizando la topológica estrella (Vera, Barbosa, & Pabón, 2015), además utiliza dos capas físicas y enlace del modelo OSI (Castellano, Padrón, Martínez, Bargaña, & Madruga, 2015), donde los nodos son cada uno de los sensores que está acoplados al nodo común, que es la tarjeta de adquisición de datos (Arduino Mega 2560). Su función consiste en acondicionar y procesar las señales de entrada y/o obtener señales digitales (National Instruments, 2015) y son enviadas al transmisor XBEE Pro S1, empaqueta los datos y los envía en el modo directo (DIGI, 2009), a una velocidad de operación es de 2.4 GHz, como se muestra en la figura 1.8.

**Figura 1.8** Sistema a bloques de la captación, procesamiento y envío de las magnitudes de las variables físicas

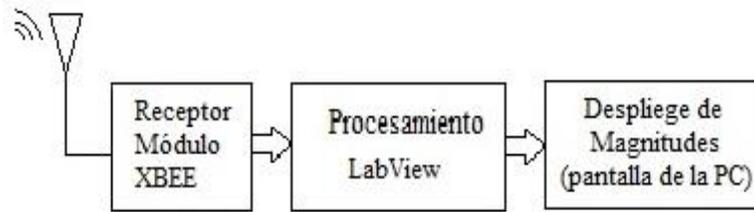


Fuente: Autoría Propia

Los paquetes de datos, son recibidos por el receptor, es decir, todos los datos que fueron divididos en paquetes y son enviados a una computadora para visualizar las magnitudes numéricas y gráficas de las variables físicas. Después, son almacenadas en una base de datos, la información se guarda en el software de Excel, ver figura 1.9.

Para el funcionamiento de los módulos de transmisión y recepción, se configuraron los módulos, con la implementación del software X-CTU (DIGI X-CTU Configuration & test, 2012), donde se asignó la velocidad del puerto serial, paridad; además se determinó el receptor y emisor.

**Figura 1.9** Sistema a bloques de la recepción y visualización de datos



Fuente: Autoría Propia

## Resultados

Se obtuvo la interfaz gráfica, para la visualización de las magnitudes numérica y gráfica de las variables físicas, temperatura, humedad ambiental, humedad del suelo, presión atmosférica, velocidad del viento y luz ambiental implementando el software de LabView y tarjeta de interfaz el Arduino, a través de una conexión inalámbrica, ver figura 1.10. En la figura 1.11, se muestra el sistema de monitoreo, donde se muestra el sistema de alimentación su función es suministrar voltaje a los sensores y al módulo de transmisión (XBEE), después se muestra el sistema de procesamiento y acondicionamientos de los datos y la interfaz gráfica del sistema de monitoreo y finalmente la estructura de sistema de captación de las variables físicas.

También se realizaron pruebas de ubicación entre el emisor y receptor, en donde la distancia entre el receptor y el emisor eran de 70mts con obstáculos, es decir estaban emisor en el interior de un edificio y el receptor en el interior de un edificio y entre los dos estaba un edificio. Además, al aumentar la distancia entre el sistema de captación y recepción de datos se perdía la comunicación, ver figura 1.12.

**Figura 1.10** Interfaz gráfica de la estación meteorológica móvil e inalámbrica



Fuente: Autoría Propia

**Figura 1.11** Sistema de monitoreo de las variables físicas



Fuente: Autoría Propia

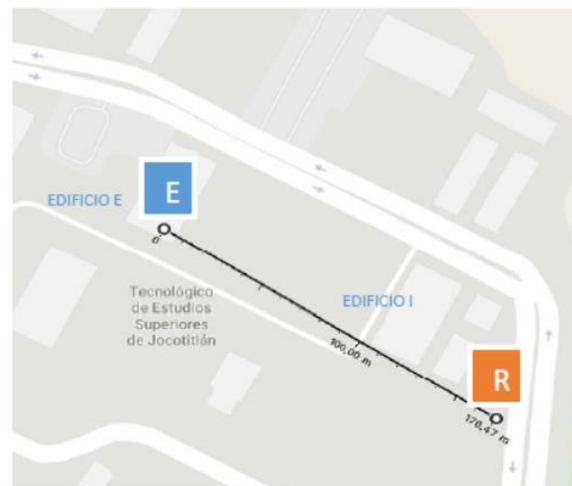
**Figura 1.12** Distancia entre el emisor y receptor con tres obstáculos



Fuente: Autoría Propia

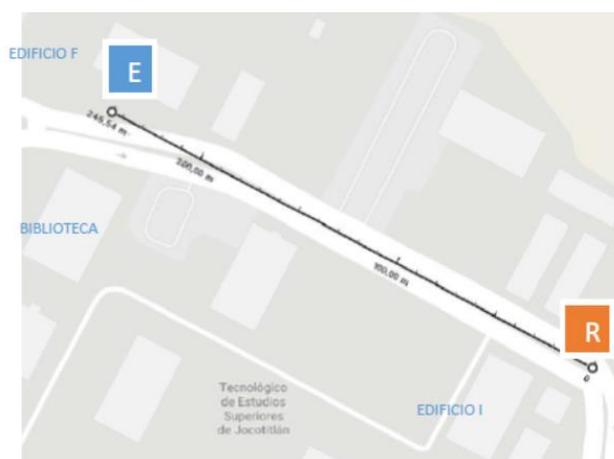
Segunda prueba a una distancia de separación entre el emisor y receptor de 170mts, el obstáculo solo era una pared de un edificio, es decir el emisor estaba en la parte exterior y el receptor en la parte interior de una construcción ver figura 1.13. Finalmente, se realizó una prueba sin obstáculos, como se muestra en la figura 1.14, donde la distancia máxima entre el emisor y receptor fue de 245 mts, no se pierde la conexión entre ambos y a mayor distancia la comunicación se pierde.

**Figura 1.13** Distancia entre el emisor y receptor con un obstáculo



Fuente: Autoría Propia

**Figura 1.14** Distancia entre el emisor y receptor es de 246.54 mts, sin obstáculo



Fuente: Autoría Propia

## Agradecimiento

Agradecemos al Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, por el apoyo económico para desarrollar el proyecto, además por utilizar la infraestructura de la institución y proporcionar un espacio de trabajo.

## Conclusiones

Se diseñó y construyó un sistema inalámbrico que transmite y recibe datos a diferentes distancias entre el receptor y emisor en tiempo real, con una interfaz gráfica entre el usuario y PC, además si hacer uso de red local que dependa de la red inalámbrica, también almacena las magnitudes de las variables físicas cada minuto o puede ser manipulado en una base de datos en el software Excel en un tiempo real, por lo tanto, se puede obtener y almacenar las magnitudes de las variables físicas durante días, semanas, meses o años, con la finalidad de poder analizar las condiciones climatológicas en el municipio de Jocotitlán. Para que los habitantes, que se dedican a la agricultura puedan adaptar la siembra del maíz a las variantes en las condiciones climatológicas que están ocurriendo.

Con los dos módulos XBEE Pro S1 empleados, se obtuvo un sistema de configuración punto a punto operando de manera eficiente hasta 20 metros de distancia con obstáculos y 245.6 mts en un espacio libre; logrando obtener datos entre el emisión y recepción en la comunicación, entre el sistema de captación y visualización de las variables físicas.

Durante todo el proceso, se comprobó que los módulos XBEE Pro S1, son dispositivos de comunicación confiables, de bajo costo y alto desempeño en aplicaciones como esta, además permite utilizar el protocolo ZigBee y soportar todas las capas de red del estándar 802.15.4 utilizada en estos dispositivos.

## Referencias

- Arango, D. A., Rincón, F. E., Manrique, L., & Buitrago, D. (2010). Estación Meteorológica Inalámbrica. Umbral Científic, Bogotá Colombia, 66-72.
- Becerril, I. (2017). Rediseño de una estación meteorológica móvil con comunicación XBEE para el monitoreo de condiciones climatológicas en el municipio de Jocotitlán, Estado de México.
- Bolton, W. (2001). Ingeniería de Control. Alfaomega.
- Bolton, W. (2014). Mecatrónica . En Sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica (Segunda ed.). Alfaomega.
- Castellano , A., Padrón, F., Martínez , F., Bárgaza, Á., & Madruga, L. (2015). Diseño de un sistema electrónico utilizando modulos Xbee para transmitir voz. Revista de Ingeniería Electrónica Automatica y Comunicacion.
- Creus, A. (2010). Instrumentación industrial (Octava ed.). Alfaomega Grupo Editores.
- DIGI X-CTU Configuration & test. (2012). DIGI. Obtenido de [www.digi.com/resources/documentation/digidocs/90001458-13/default.htm#concept/c\\_90001458-13\\_start.htm%3FTocPath%3D\\_\\_\\_\\_\\_1](http://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/90001458-13/default.htm#concept/c_90001458-13_start.htm%3FTocPath%3D_____1)
- DIGI. (2009). XBee/XBee-PRO Sa1 802.15.4. Obtenido de [www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90000982.pdf](http://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90000982.pdf)
- DIGI X-CTU Configuration & test. (2012). DIGI. Obtenido de [www.digi.com/resources/documentation/digidocs/90001458-13/default.htm#concept/c\\_90001458-13\\_start.htm%3FTocPath%3D\\_\\_\\_\\_\\_1](http://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/90001458-13/default.htm#concept/c_90001458-13_start.htm%3FTocPath%3D_____1)
- Faludi, R. (2010). Building wireless sensor network: with Zigbee, Xbee, arduino and processing. Publiised O'Reilly Media, Inc. 1005 Gravenstein Highway North .

- Granados , R., & Sarabina, A. (2013). Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista Mexican de Ciencias Agrícolas*.
- Greenpeace. (2012). La agricultura mexicana y el cambio climático. Obtenido de [www.greenpeace.org.mx](http://www.greenpeace.org.mx)
- HIH-4030/31 SERIES HUMEDITY SENSORS. (2008). HONEYWELL. Obtenido de [www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/SEN-09569-HIH-4030-datasheet.pdf](http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/SEN-09569-HIH-4030-datasheet.pdf)
- Impacto del estrés hídrico y la temperatura alta sobre las plantas cultivadas: el caso del maíz (*Zea mays* L.) en Tamaulipas. (2009). *Revista Digital Universitaria*.
- INE. (1997). Características generales del maíz. Estado de Mexico.
- INE, I. (2006). Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Distrito Federal, México.
- Jadineria.top. (s.f.). Las ocho mejores estaciones meteorológicas domésticas del 2018. Obtenido de <https://jardineria.top/mejores-estaciones-meteorologicas-domesticas/>
- Jimenez , A., Ravelo, D., & Gómez, J. (2010). Sistema de adquisición, almacenamiento y análisis de información fenológica para el manejo de plagas y enfermedades de un duraznero mediante tecnologías de agricultura de precisión . *Tecnura*.
- Kinney, P. (2003). Zigbee technology: Wireless control that simply works. *Communications desing conference*, (págs. 1-7).
- Media, G., Grageda, J., Ruiz , J. A., & Báez , A. D. (2008). Uso de Estaciones Meteorológicas en la Agricultura. *Zacatecas*.
- National instruments. (2015). Adquisición de datos. Obtenido de [www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/](http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/)
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Íñiguez, M., & Montero, M. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 1-11.
- Pablo , H. (2015). Estacion Meteorologica Movil.
- Sanchez-Salazar, M., & Matínez-Galicia , M. (2006). La vulnerabilidad de la industria y los sistemas energéticos ante el cambio climático global. *Instituto Geografía. UNAM*.
- TEPT4400 Vishay Semiconductor. (2016). Vishay. Obtenido de [/www.vishay.com/docs/81341/tept4400.pdf](http://www.vishay.com/docs/81341/tept4400.pdf)
- Vera, C., Barbosa , J., & Pabón, D. (2015). Configuración de parámetros en el Módulo Xbee Pro ZB S"B para Medir Variables Ambientales. *Tecnura*.
- Voltage Output Temperature Sensor with Signal conditioning. (2004). Analog Device. Obtenido de <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD22100.pdf>

## Capítulo 2 Implantando una Tecnología de Alta Disponibilidad en SQL Server 2016

### Chapter 2 Implementing High Availability Technology in SQL Server 2016

HERNÁNDEZ CRUZ, Luz María†\*, MEX-ALVAREZ, Diana Concepción, CAB-CHAN, José Ramón y CHAN-CAUICH Victor Manuel

*Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Luz María, Hernández-Cruz* / **ORC ID:** 0000-0002-0469-5298, **Researcher ID Thomson:** H-3153-2018, **arXiv Author ID:** 2234586, **CVU CONACYT-ID:** 662220

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Diana Concepción, Mex-Álvarez* / **ORC ID:** 0000-0001-9419-7868, **Researcher ID Thomson:** I-4164-2018, **CVU CONACYT-ID:** 842039

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *José Ramón, Cab-Chan* / **ORC ID:** 0000-0003-1043-629X, **Researcher ID Thomson:** I-5425-2018, **CVU CONACYT-ID:** 204250

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Victor Manuel, Chan-Cauich* / **ORC ID:** 0000-0002- 3432-4877, **Researcher ID Thomson:** I-5555- 2018, **Arxiv ID:** 904854, **CVU CONACYT-ID:** 904854

L. Hernández, D. Mex, J. Cab y V. Chan

lmhernan@uacam.mx

A. Marroquín, H. Corres y L. Carpio. (Dir.) Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2018.

## Abstract

Currently, all organizations, institutions and companies use Information Systems for automating their processes. The main objective of this article is to demonstrate the use of a technology capable of providing high availability despite failures in the system. The International Standards Organization and the Electronic Commission publish ISO 27002 as a standard of best practices in Information Security, defining as "preserving the confidentiality, integrity and availability of Information". In this sense, this research contributes to the study, analysis and implementation of the use of a high availability technology offered by Microsoft in the database management system SQL Server 2016 called "Mirror", defining a Descriptive methodology for its implementation, having as a case study the Web application "BITA" implemented for the management of digital dental records considering the abundance, relevance and criticality of the information. Finally, it is relevant to mention as added value the management of virtual environments for the implementation of technology.

## Microsoft SQL Server 2016, Mirroring, High availability

### 1. Introducción

La mayor preocupación de los Administradores de Bases de Datos (DBA's) para mantener la disponibilidad de una Base de Datos es implementar una Tecnología fácil de configurar y mantener, eficiente y económicamente sustentable. La Tecnología Espejo (Mirroring) proporciona una solución de alta disponibilidad en las bases de datos, aumentando la seguridad y la disponibilidad, mediante la duplicación de la base de datos. Microsoft SQL Server dispone de esta herramienta a partir de su versión 2005, surgiendo de la evolución del Log Shipping presente en versiones anteriores.

La hipótesis central de la presente investigación es "La Tecnología Espejo es una tecnología viable para aprovisionar alta disponibilidad utilizando el sistema gestor de base de datos Microsoft SQL Server 2016". Las dos secciones principales del presente son:

1. Antecedentes. Describe el marco teórico de la Tecnología Espejo, características principales, implementación y configuración dentro del sistema gestor de bases de datos Microsoft SQL Server 2016.
2. Metodología. Detalla el análisis del caso práctico del sistema web BITA ante la necesidad de una estrategia de alta disponibilidad y la implementación de la Tecnología Espejo o Espejo (Mirroring) empleando el sistema gestor de base de datos Microsoft SQL Server 2016.

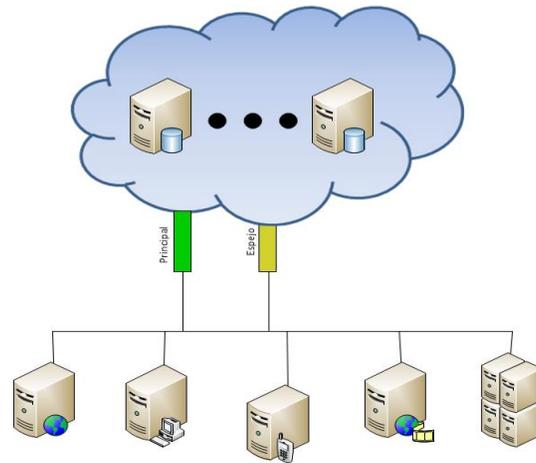
### 2. Antecedentes

La Disponibilidad es una propiedad que se refiere a la capacidad que los usuarios tienen para acceder a un sistema, si un usuario no puede acceder a un sistema, se dice que no está disponible. Un sistema en productivo invariablemente tiene el riesgo de una falla. A partir de ella, se considera el tiempo de inactividad (downtime *-offline-*) como pérdida del servicio, y el impacto para los usuarios podrá ser bajo, medio o alto.

La Tecnología Espejo o Espejo, mejor conocida como Mirroring, busca que, cuando un servidor en productivo falle, algún otro servidor, sea capaz de tomar la carga de operatividad que están generando los consumidores de la base de datos sin pérdidas ni de datos, ni de tiempo, manteniendo la consistencia y la disponibilidad de datos en todo momento.

La configuración básica de una Base de Datos Espejo necesita dos servidores de bases de datos que estén comunicados entre sí. Normalmente, estas instancias de servidor residen en computadoras en diferentes ubicaciones. La Figura 2.1 muestra la idea esencial de la tecnología, cuenta con dos bases de datos una primaria o principal y un espejo, copia de la primaria o reflejo. La principal es la base de datos activa u operativa (sobre la que se ejecutan todas las transacciones) y la base de datos espejo será la copia idéntica de la base de datos principal incluyendo el registro de transacciones (log). De tal forma que, al ocurrir un fallo, se pueda habilitar la base de datos espejo.

**Figura 2.1** Tecnología Espejo o Espejeo (Mirroring). Configuración con dos servidores

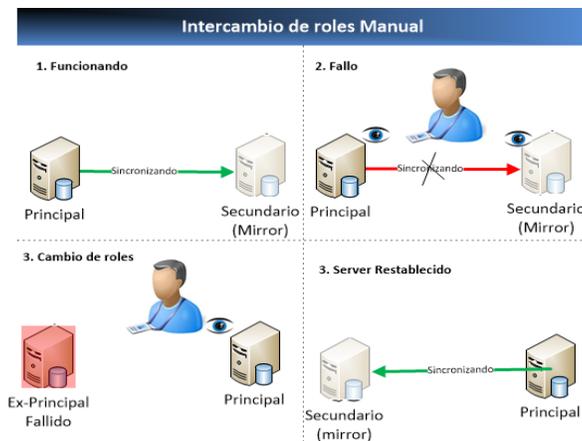


Fuente: Microsoft Corporation

En este tipo de configuración el intercambio de servidores se realiza de forma manual y es responsabilidad del administrador de la base de datos (DBA). La Figura 2.2 muestra la secuencia de eventos cuando ocurre un fallo dentro de este tipo de configuración:

1. Sincronización de la base de datos *principal* con la base de datos *espejo*. La configuración básica de Espejo está activa.
2. Ocurre un Fallo en la base de datos principal.
3. El DBA deshabilita la base de datos *principal*, para recuperarla. Inmediatamente configura la base de datos *espejo* como principal. Entonces, la base de datos espejo ahora es la base de datos activa.
4. Después de recuperar la base de datos dañada o deshabilitada al momento del fallo, se configura como base de datos espejo.

**Figura 2.2** Secuencia de eventos en una configuración básica de la Tecnología Espejo



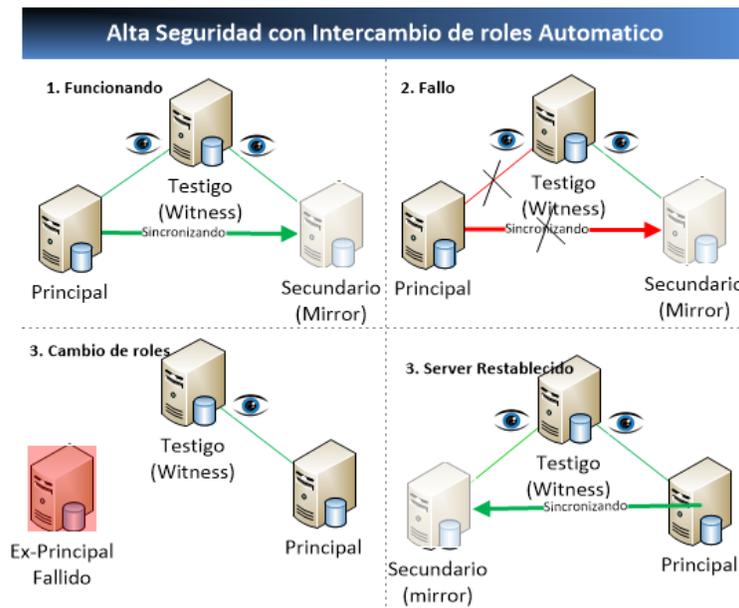
Fuente: Microsoft Corporation

Sin embargo, para ofrecer Alta Disponibilidad en una base de datos empleando la Tecnología Espejo, es necesario que exista un tercer servidor llamado servidor *testigo* o *árbitro*. El Testigo (Witness) no mantiene una copia de la base de datos, únicamente es necesario para detectar el fallo y determinar cuál de los otros dos servidores toma el rol de la base de datos *principal* en caso de una caída de servicio. Cuando existen el servidor *testigo* en la configuración, el intercambio de servidores se realiza de forma automática y transparente a los usuarios. La Figura 2.3 muestra la secuencia de eventos cuando ocurre un fallo dentro de este tipo de configuración:

1. Sincronización de la base de datos *principal* con la base de datos *espejo*. La Configuración con Testigo de la Tecnología Espejo está activa.
2. Ocurre un Fallo en la base de datos principal.
3. El servidor Testigo detecta el fallo de la base de datos *principal* e inmediatamente configura la base de datos *espejo* como principal. La base de datos espejo ahora es la base de datos activa.

4. Después de recuperar la base de datos dañada al momento del fallo, se configura como base de datos espejo.

**Figura 2.3** Secuencia de eventos en una Configuración con Testigo en la Tecnología Espejo



Fuente: Microsoft Corporation

Por lo anterior, se identifican tres roles de la configuración de la Tecnología Espejo:

- Servidor *Principal*. Mantiene la copia activa de la base de datos (*base de datos principal*), a través de la cual se ofrece el servicio a los usuarios.
- Servidor *Espejo (Mirror)*. Mantiene una copia de la base de datos principal (*base de datos espejo*) y aplica todas las transacciones enviadas por el Servidor Principal, manteniendo *sincronizada* la base de datos espejo.
- Servidor *Testigo (Witness)*. No es necesario implementar un Servidor Testigo. No obstante, si deseamos que nuestra solución ofrezca recuperación automática ante fallos (automatic failover), entonces sí se debe configurar.

Dentro del sistema gestor de base de datos Microsoft SQL Server 2016, éstos tres roles de la Tecnología Espejo deben residir en diferentes instancias. Particularmente, en el sistema gestor de base de datos Microsoft SQL Server 2016 la configuración de la Tecnología Espejo funciona con una relación, conocida como sesión de creación de espejo o reflejo de la base de datos, entre estas instancias del servidor. Una de las instancias sirve como base de datos *principal* (en producción) a los clientes o usuarios. Otra instancia actúa como base de datos *espejo* (en espera o cálido). El servidor principal y el servidor espejo cooperan como socios en una sesión de creación de espejo o reflejo de la base de datos. Los dos socios realizan funciones complementarias en la sesión: el rol principal y el rol espejo o reflejo.

La creación de reflejo de la base de datos implica rehacer cada operación de inserción, actualización y eliminación que se produce en la base de datos principal en la base de datos espejo o reflejada. La reedición se lleva a cabo enviando una secuencia de registros de transacciones activos al servidor reflejado, que aplica los registros a la base de datos reflejada, en secuencia, lo más rápido posible. A diferencia de la tecnología Replicación, que funciona en el nivel lógico, el Espejo de la base de datos funciona en el nivel de registro físico. Microsoft SQL Server 2016 permite configurar tres tipos de Espejo:

- Alta disponibilidad: Garantiza la consistencia transaccional entre el servidor principal y el servidor de espejo y ofrece recuperación automática ante fallos mediante un servidor testigo.
- Alta Protección: Garantiza la consistencia transaccional entre el servidor principal y el servidor espejo.

- Alto Rendimiento: Aplica las transacciones en el Servidor Espejo de manera asíncrona ocasionando mejoras significativas en el rendimiento del servidor principal pero no garantiza que dichas transacciones se hallan realizado de manera exitosa en el espejo.

La Tabla 2.1 muestra los diferentes modos de configuración y sus características principales.

**Tabla 2.1** Tipos de Espejo en Microsoft SQL Server

Modo	Recuperación automática ante fallos	Posible pérdida de datos	Servidor Testigo
Alta disponibilidad	✓	✗	✓
Alta protección	✗	✗	✗
Alto rendimiento	✗	✓	✗

Fuente: Microsoft Corporation

El modo de configuración a implementar en este estudio es el de Alta disponibilidad, el cual requiere una tercera instancia cuyo rol actúa como árbitro o testigo que permite la automatización del cambio de roles dentro del mecanismo y permitiendo la recuperación automática de la base de datos principal ante un fallo.

### 3. Metodología

La Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Campeche ofrece servicios dentales para contribuir a la salud bucal de la comunidad. El proceso administrativo se mantiene en una aplicación web denominada BITA. Entre la información crítica manipulada por la aplicación se encuentra el expediente clínico odontológico de cada paciente, su tratamiento, y el seguimiento y control.

La universidad cuenta con cinco clínicas donde se brindan los servicios odontológicos por los estudiantes, éstos cumplen metas de servicio en correspondencia al semestre en el cual se encuentren cursando con carácter de obligatorio. Lo anterior, hace que la información almacenada por la aplicación sea significativa en cada semestre, y al mismo tiempo, que se demande una alta disponibilidad o tiempo de acceso continuo a la aplicación para poder ofrecer el servicio.

Atendiendo a la aplicación web BITA como un proveedor de servicio, se debe determinar un el nivel de servicio requerido, para conocer si se requiere o no de una estrategia de alta disponibilidad. El Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA)/ Service Level Agreement es el contrato entre un proveedor de servicios (ya sea interno o externo) y el usuario final que define el nivel de servicio esperando de parte del proveedor de servicios. (Guide PMBOK v6.0, 2017). “EL SLA es lo que se acuerda con el cliente para garantizar la calidad del servicio” (Calvo, 2014). Según Calvo, la disponibilidad puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{HR}{HT} \times 100 \quad (1)$$

Donde,

*D: Porcentaje de Disponibilidad*

*HR: Horas de actividad reales*

*HT: Horas totales disponibles*

Ahora hay que responder la pregunta *¿Cuánto tiempo se requiere disponible la aplicación?* El horario de atención en las clínicas es de 8 horas diarias de lunes a viernes, los sábados y domingos no se brinda atención en las clínicas. Las clínicas se ajustan al calendario del ciclo escolar activo con una duración de cinco meses. Los periodos vacacionales son destinados para el mantenimiento de los servicios, incluyendo la aplicación. Con la información recolectada se aplica la fórmula (1), obteniendo:

- HT: Horas totales disponibles (horas comprometidas de disponibilidad en el SLA) = 8hrs x 5días = 40 horas/semanas.
- Lo que significa que, la aplicación deberá estar disponible 40 horas a la semana, incluyendo cinco días a la semana.

- HR: Horas de actividad reales = HT - (número de horas de “caída del sistema - offline”) = 40 – 8 = 32 horas/semanas.
- Lo que significa que, la aplicación estaría disponible sólo 32horas a la semana si ocurre una falla que produzca una caída del sistema de un día, o cualquier caso equivalente con un tiempo de inoperatividad de 8horas.
- $D = 100 \times 32/40 = 80\%$
- El porcentaje de Disponibilidad es del 80%.

Enseguida, se realiza una proyección con diferentes tiempos de inoperatividad (offline) para visualizar el comportamiento del porcentaje de disponibilidad resultante. La Tabla 2.2 muestra la proyección estimada del porcentaje de disponibilidad ante diferentes tiempos de caída del sistema (offline) en un periodo semanal.

**Tabla 2.2** Proyección de tiempos de inoperatividad (offline)

Disponibilidad (%)	Tiempo (offline/año)	Tiempo (offline/mes)	Tiempo (offline/sem)
95%	96hrs	8hrs	2hrs
90%	192hrs	16hrs	4hrs (1/2día)
80%	384hrs	32hrs	8hrs (1 día)
60%	768hrs	64hrs	16hrs (2días)
40%	1,152hrs	96hrs	24hrs (3días)

Fuente: Elaboración Propia

Así, observamos claramente la relación directa del porcentaje de disponibilidad con el tiempo de inoperatividad del sistema. Por consiguiente, se alude la necesidad de una estrategia de alta disponibilidad. Llevando a la pregunta *¿Qué Tecnología implantar?* La Facultad de Odontología no tiene un área de tecnologías de la información, y no existe un presupuesto económico asignado para la implantación o mantenimiento de soluciones tecnológicas. Sin embargo, la Dirección General de Tecnologías de la Información (DGTI) aporta soporte a la infraestructura y el servicio de soporte y mantenimiento para escenarios de críticos de fallas. Además, se cuenta con un convenio con la empresa Microsoft y se utilizan las soluciones tecnológicas de dicho proveedor.

Microsoft SQL Server ofrece entre sus diferentes estrategias de disponibilidad: Replication, Database Mirroring (Espejeo) y Failover Clustering.

Para el análisis y evaluación de las estrategias mencionadas se atienden cuatro factores críticos principales:

- Recurso humano especialista
- Recuperación automática
- Posible pérdida de datos
- Costo

La Tabla 2.3 muestra el resumen del análisis realizado de las estrategias de disponibilidad con respecto a estos factores críticos.

**Tabla 2.3** Análisis de Estrategias de Disponibilidad en Microsoft SQL

	A	B	C	D
<b>Replication</b>	No se requiere RH especialista	No dispone de Failover automático	Con posible pérdida de datos	Su costo es bajo
<b>Database Mirroring</b>	No se requiere RH especialista	Puede disponer de Failover automático	Sin posible pérdida de datos	Su costo es accesible
<b>Failover Clustering</b>	Se requiere RH especialista	Dispone de Failover automático	Sin posible pérdida de datos	Es muy caro

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, se asigna un peso de prioridad a cada factor crítico de análisis con una escala de 1 a 4 siendo 4 el factor más prioritario y 1 el menos prioritario. La Tabla 2.4 muestra las prioridades establecidas para los factores críticos de interés.

**Tabla 2.4** Prioridad para los Factores de críticos de interés

Factor	Prioridad
<b>A</b> Recurso humano especialista	<b>1</b>
<b>B</b> Recuperación automática	<b>2</b>
<b>C</b> Posible pérdida de datos	<b>4</b>
<b>D</b> Costo	<b>3</b>

Fuente: Elaboración Propia

Inmediatamente se asigna un valor de impacto asociado como Alto=3, Medio=2 y Bajo=1 por cada Factor crítico de análisis. La Tabla 2.5 muestra el valor del impacto asociado a los Factores críticos de análisis.

**Tabla 2.5** Valor de Impacto de los Factores críticos de análisis

Factor	Impacto
Sin Recurso humano especialista	Bajo (1)
Sin Recuperación automática	Alto (3)
Con Posible pérdida de datos	Alto (3)
Costo elevado	Medio (3)

Fuente: Elaboración Propia

Para cuantificar el impacto de los Factores críticos de interés se calcula una ponderación recogida del producto de la prioridad y el valor del impacto. La Tabla 2.6 muestra las Ponderaciones de los Factores críticos de análisis.

**Tabla 2.6** Ponderación de los Factores críticos de análisis

Factor	Prioridad	Impacto	Ponderación
<b>A</b> Sin Recurso humano especialista	1	Bajo (1)	1
<b>B</b> Sin Recuperación automática	2	Alto (3)	6
<b>C</b> Con Posible pérdida de datos	4	Alto (3)	12
<b>D</b> Costo elevado	3	Medio (2)	6

Fuente: Elaboración Propia

Se evalúa cada estrategia de disponibilidad por Factor crítico de análisis para determinar cuál de ellas es apropiada implantar en este caso de estudio. Advierta que se evalúan las deficiencias de cada una de las estrategias de disponibilidad, es decir, a mayor valor alcanzado, la estrategia es menos apta para su implantación en el escenario analizado. La Tabla 2.7 muestra el resultado final del análisis de las estrategias de disponibilidad en Microsoft SQL.

**Tabla 2.7** Evaluación cuantitativa de las Estrategias de Disponibilidad en Microsoft SQL

	A	B	C	D	Total cuantificado
Replication	1	6	12	0	19
Database Mirroring	1	0	0	0	1
Failover Clustering	0	0	0	6	6

Fuente: Elaboración Propia

Con el resultado de nuestra metodología, se ha determinado que la estrategia que se alinea con el escenario del caso de estudio usando el sistema gestor de base de datos Microsoft SQL es el Espejo (Database Mirroring). En este punto del estudio, se pone en práctica la implantación de la Tecnología Espejo, optando por el modo de "Alta disponibilidad" con la presencia de tres instancias, incluyendo el árbitro o testigo (Witness). Se realiza la instalación y configuración de la tecnología en dos entornos diferentes.

El primero usando equipos físicos diferentes y el segundo con el uso de máquinas virtuales. En cada una se emplea el ciclo de vida propuesto que consta de tres fases: Preparación, Configuración y Validación. La Figura 2.4 muestra las fases significativas del ciclo de vida propuesto para la instalación y configuración de la tecnología espejo en Microsoft SQL Server 2016.

**Figura 2.4** Fases de Configuración de la Tecnología



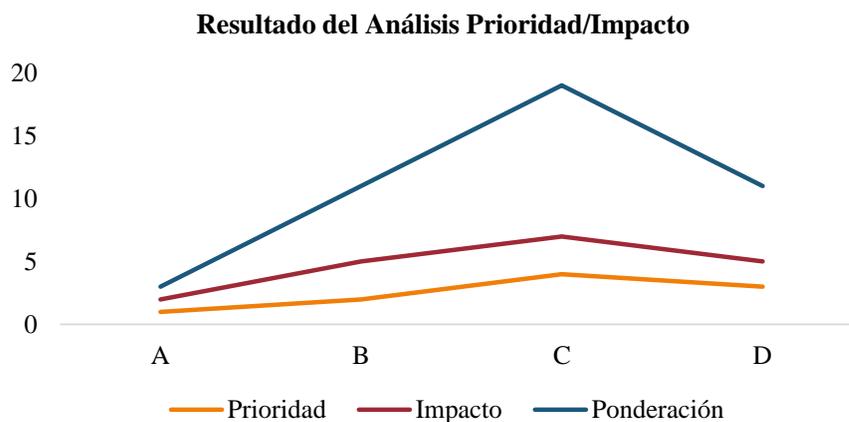
Fuente: Elaboración Propia

En la fase de Preparación se analizan los requerimientos de hardware, software, sistema y seguridad en cada servidor. Enfatizando en la compatibilidad entre ellos. La fase de Configuración inicia con el respaldo de la base de datos principal (a reflejar) y su restauración en el servidor espejo, para continuar la configuración del servidor espejo y testigo (opcional) se utiliza el asistente de seguridad de creación del reflejo de base de datos (véase Anexo 1). Por último, la fase de Validación consiste en verificar el correcto funcionamiento de la tecnología simulando una falla y contrastando el comportamiento de los servidores configurados en la misma.

#### 4. Resultados

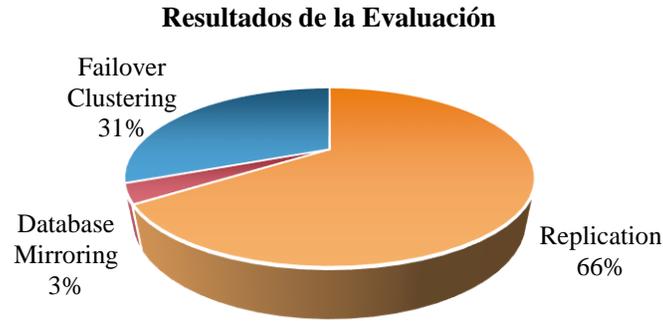
Durante nuestra metodología se aporta un esquema para calcular el valor porcentual de disponibilidad y conocer si se requiere alguna estrategia de Disponibilidad. Exhibiendo el caso de estudio de la aplicación web BITA, se contribuye con el análisis y evaluación de las principales tecnologías de disponibilidad de Microsoft SQL especificando cuatro factores críticos de su implementación. La Gráfica 2.1 muestra el resultado del análisis Prioridad/Impacto/Ponderación obtenidos en la Tabla 2.6 para cada Factor crítico de análisis de las estrategias de disponibilidad analizadas.

**Gráfico 2.1** Factores críticos evaluados



Fuente: Elaboración Propia

Además, partiendo de las estrategias mencionadas en la Tabla 2.3 y consolidando la información del análisis realizado en la Tabla 2.7, la Gráfica 2.2 muestra los porcentajes de evaluación resultado por cada estrategia de disponibilidad analizada. Se puede visualizar que la Tecnología Espejo sólo tiene un 3% de impacto negativo de acuerdo con los cuatro factores críticos definidos en nuestro estudio. El Clúster un 31% y la replicación un 66%. Por lo cual es la tecnología implantada para el caso de estudio de la aplicación web BITA.

**Gráfico 2.2** Resultado de la evaluación de las Estrategias de Disponibilidad en SQL

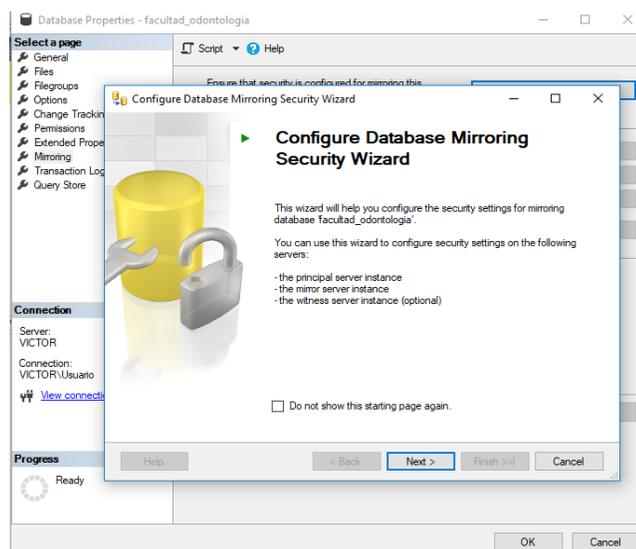
Fuente: Elaboración Propia

Para finalizar, siguiendo el esquema propuesto en la Figura 2.4 se logra implantar exitosamente (véase Anexo 2) la tecnología espejo en el sistema gestor de base de datos Microsoft SQL 2016. La implementación de la tecnología espejo en el caso de estudio de la aplicación web BITA ofrece los beneficios siguientes:

- Aumenta la disponibilidad de la Base de datos
- Protege los datos, ya que existe una réplica idéntica de la base de datos.
- La configuración de la Tecnología se realiza dentro del propio sistema gestor de base de datos, sin necesidad de un pago adicional u otra herramienta.
- No existe un costo adicional por el uso de la Tecnología Espejo.
- No se requiere de un personal especializado.

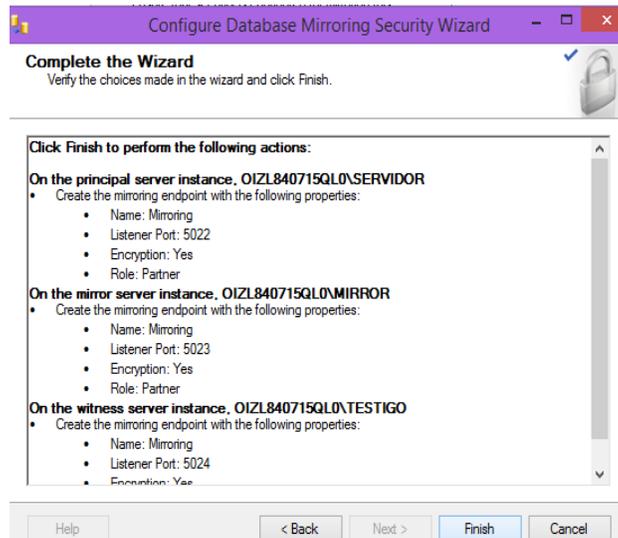
A pesar de que la tecnología espejo es una solución de alta disponibilidad viable y puede usarse en ambientes productivos, existen numerosas alternativas a considerar y evaluar antes de elegir una estrategia tecnológica a implementar dependiendo de los requerimientos propios de cada caso. La Tecnología de Espejo no es propia de Microsoft SQL Server, en el presente estudio se emplea dicho sistema gestor por ser el recurso disponible con el que cuenta la Institución para el caso de estudio en particular.

## 5. Anexos

**Figura 2.5** El Asistente de Seguridad de creación de Reflejo de la base de datos en Microsoft SQL Server 2016

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 2.6** Resumen de la Configuración de la Tecnología Espejo con Alta Disponibilidad en Microsoft SQL Server 2016



Fuente: Elaboración Propia

## 6. Agradecimiento

Un agradecimiento al apoyo otorgado por la Universidad Autónoma de Campeche, al director de la Facultad de Odontología, M. en C. Juan Ricardo Oliva Luna y al director de la Facultad de Ingeniería, M.C.C. Guadalupe Manuel Estrada Segovia. De igual manera, a la Coordinadora de la Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales, la Mtra. Nancy Georgina Ortiz Cuevas, por las facilidades para el uso de equipo y manejo de herramientas tecnológicas del área afín. Y, por último, enaltecer la dedicación y participación de los alumnos que formaron parte del equipo de trabajo para la implementación de la aplicación web BITA.

## 7. Conclusiones

En el presente artículo se ha exhibido una Tecnología de Alta Disponibilidad usando el sistema gestor de base de datos Microsoft SQL Server 2016. Hoy en día, diferentes circunstancias ponen en riesgo latente la consistencia y disponibilidad de las bases de datos, siendo esto una justificación suficiente para ocuparse en implementar tecnologías que permitan sobreponerse a daños o fallas en cualquier momento. Mediante el empleo de un caso de estudio se ilustra cómo implementar la Tecnología Espejo (Mirroring) usando la configuración con la presencia de un Servidor Testigo, capaz de funcionar automáticamente ante un fallo haciendo posible que la operatividad de la base de datos no se detenga. Es necesario analizar las tecnologías existentes de alta disponibilidad y valorar las ventajas y desventajas que poseen para elegir la que mejor se adapte a las necesidades propias de cada empresa. Existe un amplio campo de investigación a futuro con el surgimiento de nuevas tecnologías e incluso, con el uso de diferentes sistemas gestores de bases de datos no incluidos en el presente estudio.

## 8. Referencias

Chávez, E., Hermosa, E., & Villacís, C. (2016). Generador de Código Fuente para Gestión de Información de MySQL, SQL Server y Access para JAVA, PHP y ASP. *GEEKS DECC-REPORTS*, 4(1).

Dumler, M. (2007). Microsoft SQL Server 2008 Product Overview.

Gabillaud, J. (2015). *SQL Server 2014: Administración de una base de datos transaccional con SQL Server Management Studio*. Ediciones ENI.

GuilleSQL. (12 de junio de 2018). Obtenido de GuilleSQL.es: [http://www.guillesql.es/Articulos/Database\\_Mirroring\\_SQL\\_Server\\_2005\\_2008\\_Como\\_Configurar.aspx](http://www.guillesql.es/Articulos/Database_Mirroring_SQL_Server_2005_2008_Como_Configurar.aspx)

Hayat, Z., & Soomro, T. R. (2018). Implementation of Microsoft SQL Server using 'AlwaysOn' for High Availability and Disaster Recovery without Shared Storage. *International Journal of Experiential Learning & Case Studies*, 3(1), 09-17.

Lanting, E. (2014). SQL Server 2012 DBA Recipes.

Microsoft. (20 de junio de 2018). Obtenido de microsoft.com: <https://docs.microsoft.com/es-es/sql/database-engine/database-mirroring/prepare-a-mirror-database-for-mirroring-sql-server?view=sql-server-2017#PrepareToRestartMirroring>

Microsoft. (10 de junio de 2018). Obtenido de microsoft.com: <https://docs.microsoft.com/es-es/sql/database-engine/database-mirroring/setting-up-database-mirroring-sql-server?view=sql-server-2017>

Mistry, R., & Misner, S. (2012). *Introducing Microsoft SQL Server 2012*. Redmond, Washington: Microsoft Press.

Mistry, R., & Seenarine, S. (2012). *Microsoft SQL Server 2012 Management and Administration*. Sams Publishing.

Petkovic, D. (2012). *Microsoft SQL Server 2012: A Beginner's Guide*. McGraw-Hill.

Rizzo, T., Machanic, A., Skinner, J., Davidson, L., Dewson, R., Narkiewicz, J., ... & Walters, R. (2006). Database Mirroring. *Pro SQL Server 2005*, 567-607.

Sack, J. (2006). Database Mirroring. *SQL Server 2005 T-SQL Recipes: A Problem-Solution Approach*, 595-614.

Sharma, A. B., Mishra, D. R., & Kumar, S. (2015). *U.S. Patent No. 8,930,395*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Varga, S., Cherry, D., & D'Antoni, J. (2016). *Introducing Microsoft SQL Server 2016*. Redmond, Washington: Microsoft Press.

Thomas, O., & Ward, P. (2012). *Training Kit Exam 70-462: Administering Microsoft® SQL Sever® 2012 Databases*. Microsoft Press.

## Capítulo 3 Cerradura con Seguridad Biométrica y Móvil con Bluetooth

### Chapter 3 Biometric Security and Mobile Security Lock with Bluetooth

HERNÁNDEZ-LEYVA, Jovanny del Rosario†\*, LUGO-LUGO, Juan De Dios, PEÑA-BOJORQUEZ, Dania Esther y MONTIEL-VILLA, Christian Allan

*Instituto Tecnológico de Nogales-Tecnológico Nacional de México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Jovanny del Rosario, Hernández-Leyva* / **ORC ID:** 0000-0001-6019-9996, **arXiv Author ID:** jovanny\_hernandez, **CVU CONACYT-ID:** 904332

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Juan De Dios, Lugo-Lugo* / **ORC ID:** 0000-0001-5980-3607, **Researcher ID Thomson:** I-2888-2018, **CVU CONACYT-ID:** 665853

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Dania Esther, Peña-Bojorquez* / **ORC ID:** 0000-0003-4146-4867, **Researcher ID Thomson:** I-2797-2018, **CVU CONACYT-ID:** 904344

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Christian Allan, Montiel-Villa* / **ORC ID:** 0000-0001-8118-5956, **Researcher ID Thomson:** I-3328-2018, **CVU CONACYT-ID:** 903675

J. Hernández, J. Lugo, D. Peña y C. Montiel

14340452@itnogales.edu.mx

A. Marroquín, H. Corres y L. Carpio. (Dir.) Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2018.

## Abstract

Society is advancing by leaps and bounds, which makes the issue of security, vital, therefore new ways of protecting belongings and new ways of circumventing them, are created every day. Biometric locks are no exception, most systems are based solely on fingerprint reading. This work proposes the implementation of a second layer of security: to use also a mobile device registering the MAC address by reading it from the Bluetooth module, this is possible because you can associate it with a user. The algorithm works this way: the user fingerprint is registered in the computer, the mobile is connected using Bluetooth, then a fingerprint sample is taken, and this way the system checks its registration, the connection of the associated mobile device is requested and access is granted or denied. The system has been tested using an Arduino component and has had 99.5% of accuracy when implementing the system in a safe box prototype.

## Lock, Biometric, Bluetooth

### Introducción

Un sistema biométrico es un método de identificación y verificación de un individuo utilizando biometría estática, en este trabajo, la huella dactilar, ya que esta característica es inherente a la persona, tiene la ventaja de la comodidad del usuario, y que las características siempre están con la persona sin la posibilidad de olvidar o perder. También en el aumento de la seguridad, estas no se pueden transmitir de forma deliberada (Marquez Moreno, Niño Garzón, & Luengas Contreras, 2017).

Con la llegada de los dispositivos móviles y la convergencia de las tecnologías inalámbricas e Internet, tanto el contenido como la calidad de la investigación en este campo está sujeta a cambios regulares (Hae-Duck J.Jeong, 2015). Se han producido una variedad de dispositivos informáticos de última generación que son compatibles entre sí, que tienen la capacidad de interactuar con las personas, lo que se conoce como computación generalizada (Hae-Duck J.Jeong, 2015).

Debido al medio social, la seguridad es un tema de vital importancia, simplemente hablando de robo a casas – habitación sin violencia, en un año ha aumentado casi un 3%, pasando de 75,140 a 77296 de 2016 a 2017, según cifras de (SENSP, 2018), por lo cual, nuevas formas de proteger las pertenencias y también nuevas formas de burlar dichas protecciones son creadas día con día. Las cerraduras biométricas no son la excepción, ya que la mayoría de los sistemas de este tipo, están basados en la lectura de huellas digitales, password y pestillos mecánicos (SignTech, 2016).

Aunque existen diversos dispositivos móviles que utilizan Bluetooth en el mercado, la mayoría de los sistemas biométricos de cerraduras existentes se basan en la adaptación de dispositivos que se encuentran en el mercado, que les permite construir los prototipos a los que hacen mención (Aguirre & Luzuriaga Hidalgo, 2015), algunos se basan en la implementación de la cerradura desde cero pero sin utilizar Bluetooth (Pérez García, 2014).

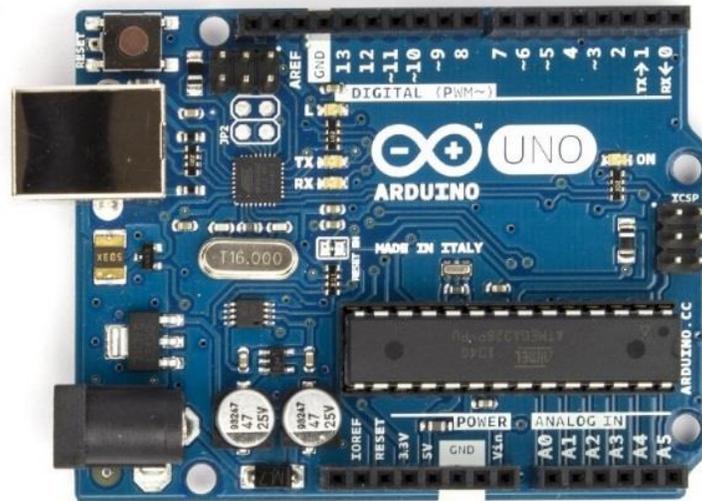
No encontramos dispositivos que implementen una cerradura igual a la que se propone, una Cerradura con Seguridad Biométrica y Seguridad Móvil con Bluetooth que cuenta con una segunda capa de seguridad que consiste en incluir a la seguridad biométrica la utilización de un dispositivo móvil.

En éste documento encontrará una descripción de los elementos utilizados para la construcción del prototipo: el funcionamiento del módulo Arduino utilizado, el Servomotor que abre la puerta de la caja fuerte del prototipo y dispositivo de lectura de huella digital utilizado. Asimismo se explica la parte de software que controla los accesos al programa, registro y validación. Al final se presenta la metodología, resultados, agradecimientos, conclusiones y referencias utilizadas.

### Funcionamiento Arduino UNO

Para hacer funcionar el prototipo se utilizó un dispositivo llamado Arduino UNO (figura 3.1), el cual es una placa electrónica basada en el microprocesador Atmega328. Contiene lo necesario para apoyar el microcontrolador (Arduino, 2014).

**Figura 3.1** *Arduino UNO*



Fuente: Recuperado de [https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno\\_R3\\_Front.jpg](https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno_R3_Front.jpg)

El Arduino UNO recibirá una señal enviada desde el programa, una vez hayan sido comprobado que los datos de la huella y la MAC Address coinciden con los que están guardados en la base de datos, lo cual hará que se active un servomotor dándonos acceso al contenido o lugar en el que haya sido instalada nuestra cerradura.

### **Funcionamiento del servomotor**

Un servomotor (figura 3.2) es un motor eléctrico al que podemos controlar tanto la velocidad, como la posición del eje que gira.

**Figura 3.2** Servomotor MicroServo



Fuente: Recuperado de <https://circuitdigest.com/article/servo-motor-basics>

Las características principales de un servomotor son el par y la velocidad. (Tecnología, 2017).

Una vez activado el servomotor por el Arduino UNO, este hará una rotación de 90°, en este prototipo se simula la acción de abrir una cerradura en una caja fuerte prototipo (figura 3.3) que contiene en su interior el servomotor que apertura la cerradura, permitiendo acceder al contenido o lugar y una vez que se haya salido del programa, el servomotor regresará a su posición original para cerrarse.

**Figura 3.3** Prototipo de caja fuerte



### **Funcionamiento del Lector de Huella**

El lector U.are.U 4500 (figura 3.4) es un lector de reconocimiento huellas digitales USB (Seat, 2017).

**Figura 3.4** Lector U.are.U® 4500

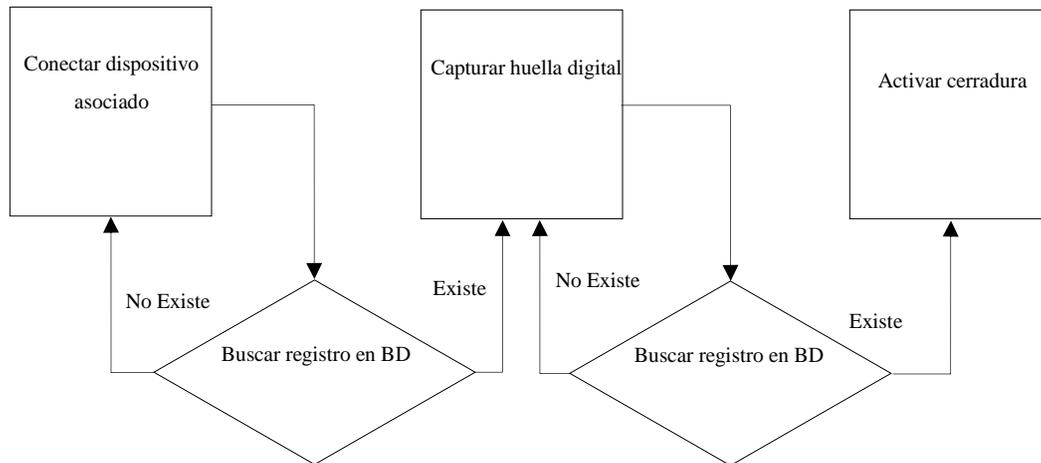


Fuente: Recuperado de <http://www.siasa.com/productos/imagenes/medianas/uareu4500.jpg>

En el sistema se lee una vez la huella digital para comprobar que la persona que intenta ingresar, es la que está registrada en la base de datos del programa, al cual se le identificará como el administrador y tendrá acceso a las acciones dentro la interfaz del programa.

### **Algoritmos utilizados y Arquitectura**

El diagrama (Gráfico 3.1) muestra cómo es el proceso por el que se debe pasar para poder acceder a la apertura del cerrojo de la caja fuerte.

**Gráfico 3.1** Diagrama de registro y validación

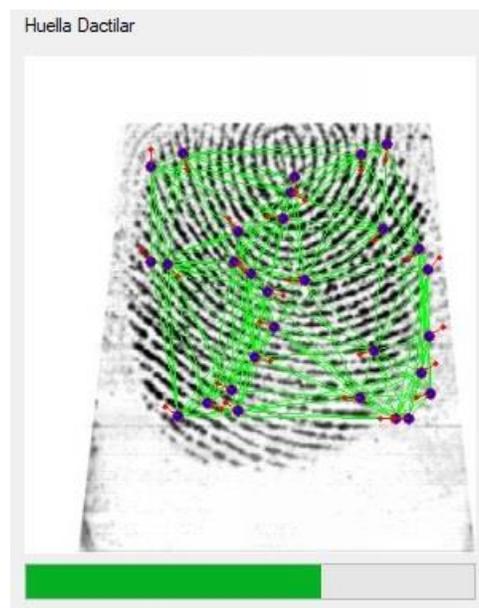
El cual funciona de la siguiente manera: registrar la dirección de control de acceso del dispositivo (MAC Address), extrayéndolo del módulo Bluetooth, este dato se puede asociar a los datos de un determinado usuario.

De esta forma se registra la huella dactilar del usuario en la computadora, se conecta el móvil a través del Bluetooth, se toma una muestra de huella dactilar, en el sistema se verifica su registro, se solicita la conexión del dispositivo móvil asociado y se concede o niega el acceso.

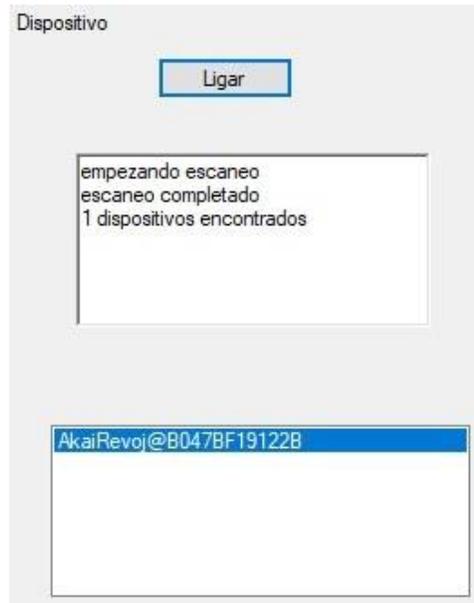
Para hacer la programación del sistema se utilizó C# con base de datos MySQL, en el módulo del dispositivo móvil, se utilizó Android Studio.

### Módulo de Registro

Al iniciar el registro el sistema pide al usuario que ingrese su huella dactilar (figura 3.5), esta es captada por un dispositivo conectado a la computadora (en nuestro caso el lector de huellas para posteriormente analizar sus características. Si la cantidad de minucias captadas es suficiente el usuario podrá proceder al siguiente paso.

**Figura 3.5** Minucia de la huella digital solicitada

Posteriormente se asocia la huella digital con un dispositivo móvil (figura 3.6), para esto el sistema se vale del módulo Bluetooth presente en la gran mayoría de los teléfonos de hoy en día, el sistema le pide al usuario que active dicho módulo para posteriormente hacer un escaneo, una vez terminado, el usuario tendrá que seleccionar de una lista el dispositivo que desea asociar.

**Figura 3.6** Dispositivo móvil asociado

Por último se le pedirá al usuario que ingrese su nombre y apellido (figura 3.7) para su registro.

**Figura 3.7** Datos de usuario

Una vez finalizados todos los pasos el sistema procederá a registrar en una base de datos toda la información ingresada por el usuario.

### **Módulo de Validación**

Al iniciar el módulo de validación (figura 3.8) el sistema le pedirá al usuario que conecte el dispositivo móvil que asocio durante el registro, una vez hecho esto la aplicación buscará en una base de datos si el dispositivo conectado se encuentra registrado y de ser así lanzara un mensaje confirmándolo.

**Figura 3.8** Conectar dispositivo

Después de validar el dispositivo el sistema esperara a que el usuario coloque su huella digital para proceder a escanearla. Si el escaneo coincide con la información capturada en la base de datos el sistema lanzara un mensaje de bienvenida (figura 3.9) y enviara una señal a un microcontrolador para ejecutar un actuador, en nuestro caso un servomotor, que permitirá el acceso.

**Figura 3.9** Bienvenida al sistema

## Metodología

Se construyó una caja fuerte prototipo, en la que se hicieron pruebas de desempeño, los usuarios que utilizaron el dispositivo, un total de 20, observaron cómo se abría la caja fuerte cuando proporcionaban los datos de manera correcta y cómo se negaba el acceso al contenido de la misma cuando los datos eran incorrectos.

Se utilizó para su construcción un dispositivo Arduino UNO, que es el que se tenía a disposición, además de ser suficiente para realizar las tareas de enviar la señal al siguiente dispositivo, el Servomotor para que se moviera y abriera la caja fuerte, el cual tiene la rotación adecuada para abrir en un ángulo de 90°. Para proporcionar la huella digital se utilizó un lector UareU modelo 4500, que tiene una precisión de 99% para capturar las muestras de las minucias de las huellas digitales.

Para la programación del módulo se realizó una aplicación Web en C# con base de datos MySQL, en el módulo del dispositivo móvil, se utilizó Android Studio, sin embargo es posible en una implementación realizar la programación para dispositivos móviles al pasar el prototipo a la realidad.

Toda vez construido el prototipo se procedió a realizar las pruebas de desempeño, que permitieron llegar a los resultados descritos en este trabajo.

## **Resultados**

Se hicieron muchas pruebas de acceso a la caja fuerte prototipo y en todas, excepto una, el prototipo funcionó apropiadamente, dando un 99.5% de confiabilidad, a los diferentes tipos de usuarios, de diferentes usuarios les tomó 1 minuto en promedio abrir la caja fuerte, quienes opinaron que les parece muy bueno el sistema, lo que hace pensar que el prototipo es factible.

El Hardware utilizado resultó ser apropiado para el prototipo construido, ya que el Arduino UNO contiene las características apropiadas para realizar las tareas que se requieren para controlar la apertura de la caja fuerte, el servomotor contiene los movimientos que asemejan los realizados al realizar la apertura un dispositivo de seguridad como el mencionado, y el Lector de Huella permitió autenticar con confiabilidad suficiente a los usuarios registrados. Los módulos del programa realizaron el Registro apropiado de los usuarios con permiso de abrir la cerradura y la Validación de los datos se realizó con éxito.

Con lo cual se ha podido construir el sistema utilizando un Arduino y se ha tenido éxito al implementar el sistema en una caja fuerte prototipo.

## **Agradecimiento**

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México, en especial al plantel: Instituto Tecnológico de Nogales, por las facilidades brindadas, tanto para la construcción del prototipo, como para el financiamiento para la presentación del artículo.

## **Conclusiones**

Tras haber realizado múltiples pruebas se obtuvo como resultado que el sistema valida de forma correcta la huella digital de un usuario y el dispositivo móvil asociado al mismo, impidiendo de esta manera el ingreso a quienes no cumplan con las características registradas.

En conclusión, al combinar con éxito en el sistema que lee algo que el usuario es, es decir la minucia de su huella digital y controla algo que el usuario tiene, es decir los dispositivos que conforman el prototipo, se ha logrado mejorar de una manera eficiente y económica la seguridad en un circuito digital de acceso.

Todavía quedan muchos detalles que mejorar, como el implementar el dispositivo en una caja fuerte real, y quizá embeber el sistema completamente en el dispositivo portátil, sin embargo se piensa que se sientan las bases para lograr construir mejores herramientas para una nueva capa de seguridad en dispositivos para resguardar pertenencias.

## **Referencias**

Aguirre, O., & Luzuriaga Hidalgo, G. E. (2015). *Caja de seguridad electrónica biométrica*. Quito: Repositorio Quito.

Arduino. (01 de Enero de 2014). *Especificaciones técnicas Arduino UNO*. Obtenido de <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>

Hae-Duck J.Jeong, W. L. (2015). Utilizing a Bluetooth remote lock system for a smartphone. *Pervasive and Mobile Computing Elsevier* , 150-165.

Marquez Moreno, I. J., Niño Garzón, M. J., & Luengas Contreras, L. A. (2017). Sistema de Control de Acceso por Biometría. *Visión Electrónica* , 1-25.

Pérez García, D. (2014). *Diseño y construcción de un cierre electrónico inteligente para armarios*. Oviedo: Repositorio Institucional.

Seat, S. (01 de Noviembre de 2017). *SEAT Seguridad y Equipos de Alta Tecnología*. Obtenido de [http://seguridadseat.com/pdf/files-pdf/LectorHuella-UareU\\_4500.pdf](http://seguridadseat.com/pdf/files-pdf/LectorHuella-UareU_4500.pdf)

SESNSP. (1 de Mayo de 2018). *Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública*. Recuperado el 6 de Junio de 2018, de <http://secretariadoejecutivo.gob.mx/incidencia-delictiva/incidencia-delictiva-fuero-comun.php>

SignTech. (1 de Enero de 2016). *Sign Tech Biometric*. Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <http://signtechbiometric.com/cerraduras-biometricas/>

Tecnología, Á. (09 de Noviembre de 2017). *Área Tecnología*. Obtenido de <http://www.areatecnologia.com/electricidad/servomotor.html>

## Capítulo 4 Diseño e Implementación de ERP académico con llave USB

### Chapter 4 Design and Implementation of academic ERP with USB Key

MIRÓN-CHACÓN, María José†, AVENDAÑO-CORTES, Isaías, ANGHEVEN-NEGRETE, Jesús Santiago y JUAREZ-IBÁÑEZ, Julia Aideé

*Instituto Tecnológico Superior de Huatusco*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *María José, Mirón-Chacón* / **ORC ID:** 0000-0002-5151-3231, **Researcher ID Thomson:** I-6194-2018, **CVU CONACYT-ID:** 904988

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Isaías, Avendaño-Cortes* / **ORC ID:** 0000-0002-8873-0600, **Researcher ID Thomson:** I-6223-2018, **CVU CONACYT-ID:** 669216

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Jesús Santiago, Angheven-Negrete* / **ORC ID:** 0000-0002-9376-6579, **Researcher ID Thomson:** I-6197-2018, **CVU CONACYT-ID:** 904991

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Julia Aideé, Juarez-Ibañez* / **ORC ID:** 0000-0002-0509-0688, **Researcher ID Thomson:** I-6210-2018, **CVU CONACYT-ID:** 905002

M. Mirón, I. Avendaño, J. Angheven y J. Juárez

mariajose@itshuatusco.edu.mx

A. Marroquín, H. Corres y L. Carpio. (Dir.) Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2018.

## Abstract

It is proposed the development of a web application focused on the generation of indicators to support the decision making of a career division at the level of higher education, with encrypted access credentials. The objective is to design and develop a system that mainly analyzes qualifications by subject and teacher to make reports on the approval and non-approval indexes to provide the administrative staff with indicators and contribute to the decision-making process. For its development, languages and managers such as HTML, CSS, PHP and MySQL were used. As a result, the implementation of the system was achieved, which integrates as mandatory access keys the user, password and an encrypted file in a USB drive, which when removed from the equipment produces automatic session closure in the system. The application provides high, low, modification and search operations for recording grades, schedules, personnel, subjects, groups and department receipts, producing as output tables and graphs that indicate performance by group, subject or teacher.

## ERP, WEB, USB

### 1. Introducción

El objetivo principal de los Sistemas ERP (Enterprise Resource Planning), es facilitar la gestión de todos los recursos de la empresa, por medio de la unificación de la información de los distintos departamentos y áreas funcionales, estos permiten integrar los flujos de información y facilitan el seguimiento de las actividades. (Gómez Vieites & Suárez Rey, 2005).

Algunos paquetes ERP están diseñados para ser utilizados a través de un sitio o aplicación Web, los cuales generalmente administran un almacén de datos donde se encuentra toda la información necesaria para la gestión y control de los departamentos, por ello la seguridad es una necesidad no sólo para dichos repositorios de información, sino para toda empresa.

Los institutos de educación superior como empresa buscan adaptarse a los requerimientos de sus clientes(estudiantes) y en muchos casos han desarrollado e implementado sus propios sistemas ERP para la gestión de áreas como: financieros, recursos humanos, materiales, entre otras; las cuales se encontrarían en cualquier empresa además de áreas propias de un centro educativo (servicios escolares, jefaturas de carrera, estudios profesionales), considerando que estas requieren una atención especializada debido al tipo de información que manejan. Los sistemas tradicionales de autenticación de los ERP utilizan generalmente una cuenta de usuario y contraseña, esto proporciona una seguridad mínima y como consecuencia, las contraseñas son fáciles de adivinar (Salinas Hinojosa, 2013).

Por lo que estas medidas de seguridad ya no son suficientes, se requiere de algoritmos de encriptación, firmas electrónicas o tokens de seguridad (llaves de seguridad), lo que se conoce como verificación de dos pasos. Las llaves de seguridad son dispositivos como memorias USB que generalmente contienen un archivo encriptado y que funciona como medio de autenticación. Este documento tiene como objetivo describir el diseño de un sistema Web de ERP educativo con verificación a través de llave de seguridad USB y la selección de la metodología de desarrollo, para ser utilizado por las divisiones de carrera del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco.

### 2. Planteamiento del Problema

Las Instituciones de Educación Superior son organismos diversos y complejos que exigen respuestas ágiles, eficientes y oportunas que permitan ajustar o adaptar las tecnologías de la Información (Tics) a los diversos procesos que realizan (Hernández Cosío, Carreño León, Sandoval Bringas, Estrada Cota, & Ignacio Sánchez, 2016). Dentro de estos organismos se encuentran los Institutos Tecnológicos Descentralizados(ITS y TES), los cuales han implementado sistemas para control escolar para el alumnado como por ejemplo: el Sistema Integral Escolar(SIE), el cual ha resultado efectivo en el manejo de documentos para el área de Servicios Escolares, sin embargo existen documentos que necesitan ser generados para el uso de otros departamentos administrativos y/o las divisiones de carrera, los cuales los emplean; sin embargo estos datos no se contemplan o generan dentro del SIE, entre ellos se encuentran: los documentos de gestión de la calidad (SGC), indicadores académicos e institucionales, justificantes de inasistencias para estudiantes, reportes trimestrales, entre otros.

Es por ello que en algunos casos los ITS se han visto en la necesidad de implementar sistemas Web ERP, los cuales abarcan las consultas de información básica y específica que se manejan en las áreas administrativas y docentes, necesarios para la programación o seguimiento de acciones en los planes operacionales.

En divisiones de carrera en el Instituto Tecnológico Superior de Huatusco (ITSH), se maneja información tanto de docentes como de estudiantes, la cual se encuentra a resguardo del Jefe de división correspondiente, esta se ocupa para generar indicadores institucionales con estadísticas de acreditación, producto no conforme, índices de deserción, reportes completos de horarios de clases por grupos, reportes de actividades mensuales y trimestrales, entre otros. Además se expiden documentos como justificantes de inasistencia a clases para estudiantes, adscripciones y liberaciones a docentes o cualquier otra información requerida por otros departamentos o la dirección. En numerosas ocasiones se dificulta el encontrar datos específicos de algún documento puesto que se encuentran archivados en diferentes carpetas de manera física o bien estos fueron enviados a archivo muerto.

Al mismo tiempo cierta información solo puede ser manejada por personal autorizado, por ello se hace necesario incrementar el nivel de seguridad, de ahí que un ERP educativo debe diseñarse para que resguarde los datos con un mayor índice de seguridad, debido a la importancia y confidencialidad de los mismos, es decir evitar la inspección de los datos almacenados por personas sin autorización.

### **3. Justificación**

El proyecto busca que en un principio las divisiones de carrera tenga una respuesta rápida a las demandas de su plantilla estudiantil, docente y administrativa las cuales en los últimos años han incrementado considerablemente, debido al aumento de la matrícula; pero sin dejar de lado que el sistema sea seguro. El uso de este tipo de tecnologías en el sector educativo representa un impacto en la forma de gestionar, ya que reducirá el tiempo de respuesta para todos los usuarios.

El alumnado se beneficia al solicitar documentos puesto que serán generados de forma inmediata; de igual modo los docentes generarán documentación de las materias que imparten, y a su vez los asistentes de la división ubicarán rápidamente la información que se les soliciten, y en conjunto con el Jefe de Carrera de ISC presentará los indicadores institucionales a sus superiores generándolos en tiempo y forma, pudiendo entregarse estos en menor tiempo que con la manera convencional, misma que en varias ocasiones tardaba incluso días. Por tanto los indicadores de desempeño se incrementaran considerablemente.

Es importante mencionar que siempre que se requiera, el sistema será susceptible de cambios o incrementos para mejorar las funciones del programa según las necesidades extendiendo las posibilidades de consulta de información según lo requiera y demande el Instituto.

### **4. Metodología**

En la actualidad el manejo de información se ha digitalizado: facilitando a comercios, órganos de gobierno e instituciones educativas brindar respuesta rápida a las consultas de información que necesitan sus empleados y clientes. En éste ámbito los desarrolladores de software han creado diversos programas para administrar los datos de manera sencilla y eficaz. Sin embargo, muchas veces dicho software se enfoca en atender las consultas de información básica y estandarizada con el fin de que el mismo programa pueda tener en cuenta las necesidades de distintas empresas o instituciones, desatendiendo los aspectos específicos que se necesitan consultar en las distintas áreas que hacen uso de él.

Para este Proyecto se determinó que la implementación de la Ingeniería Web apoyaría el adecuado desarrollo del mismo. Utilizando la metodología OOWS (Object-Oriented Approach for Web Solutions Modeling), es un método de desarrollo para sistemas en ambientes web, que consta de las siguientes fases (Valverde Giromé, 2010):

- OO-Method Modelling (Modelo de Objetos): se construyen los modelos de objetos (casos de uso y escenarios), el modelo funcional y el modelo dinámico. Se representa la funcionalidad de la aplicación.

- User Modelling (Modelo de Usuario): Se realiza la construcción de los diagramas de los usuarios que tendrán acceso a la aplicación.
- Navigation Modelling (Modelo Navegacional): Se crea el modelado de la navegación, la cual describe como los distintos usuarios acceden al Sistema.
- Presentación Modelling (Modelo de Presentación): Se define el modelo para determinar la presentación de la información.
- Interacción Modelling (Modelo de Interacción): Se construye un modelo que representa la interacción entre el usuario y el Sistema.

Esta metodología proporciona soporte para el desarrollo de Sistema, para así contar con los criterios de calidad y adaptabilidad necesarios para el proyecto e integrar todos los requerimientos necesarios.

## 5. Desarrollo

En una primera fase el sistema se probará en la División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, y posteriormente extenderá a las demás Divisiones de Carrera y departamentos que existen en el ITSH.

Con la implementación de este Sistema Web se espera mejorar los servicios que ofrecen las instituciones de educación superior tanto a la comunidad estudiantil como al personal administrativo y docente. Agilizar los trámites en donde el promedio de espera de estos y documentos es de una hora y media a dos horas o en ocasiones días. Mejorar los tiempos de respuesta presume mejorar la calidad en el servicio. Por lo cual sólo el personal acreditado debe ser capaz de acceder al sistema, para ello se entregara una sesión de usuario y se incorpora una llave token USB.

Las llamadas token USB se distribuyen en el mercado actual como pendrives especializados en la encriptación de datos, sin embargo son dispositivos especiales que en ocasiones cuentan con mini pantallas LCD y botones de selección para poderlas desbloquear y utilizar. Por ello dependiendo de la marca y nivel de seguridad su precio se incrementa lo cual resulta poco conveniente dentro de una empresa que busca reducir costos, debido a que cada usuario del sistema se necesitaría una token USB especial, por ello se contempla el uso de memorias USB o llaves de almacenamiento USB comunes adaptadas para administrar el archive de cifrado.

El Sistema contará con distintos tipos de usuarios para incrementar el nivel de seguridad entre los cuales se encontrará un administrador, el cual podrá generar el cifrado del archive de datos utilizando para ello el algoritmo AES (algoritmo Avanzado de Encriptación Estándar), el cual a través de la interfaz del sistema permite la verificación de dos pasos. El algoritmo AES también conocido como Rijndael, es un algoritmo de cifrado simétrico o en bloques, que cifra por medio de una matriz de estado en tamaños 128, 192 y 256 bits de largo.(Daemen & Rijmen, 2013).

**Figura 4.1** Pantalla del Administrador



Fuente. Elaboración Propia

Al iniciar, se solicita la ruta específica del dispositivo.

**Figura 4.2** Selección de ruta del dispositivo

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4.3** Selección del archivo key



Fuente: Elaboración Propia

Una vez que el administrador genero la clave y el archive encriptado el usuario podrá acceder y hacer uso del sistema WEB.

**Figura 4.4** Pantalla de Interfaz para Usuario



Fuente: Elaboración Propia

El usuario deberá introducir el dispositivo USB para realizará una petición de acceso, el lado del servidor verificará los controles y procederá a verificar la autenticidad del usuario.

**Figura 4.5** Interfaz de Usuario



Fuente: Elaboración Propia

## 6. Resultados

El sujeto de estudio es la División de ISC se encarga de orientar y brindar atención a los estudiantes, expedir justificantes, dar seguimiento a los planes y programas de estudios y seguimiento académico al alumnado. Analizando la documentación manejada en la división, tenemos lo siguiente:

- Justificantes
- Oficios
- Porcentajes de Acreditación y producto no conforme por materia y por docente.
- Reportes de índices de deserción.
- Reportes de índices de egresados

Así analizando la documentación manejada por la división, se tiene lo siguiente:

**Gráfico 4.1** Porcentaje de Documentos generados por la división de carrera



Fuente: Elaboración Propia

Estos reportes y documentos se generaran automáticamente, y serán almacenados en el servidor en formatos digitales reduciendo espacios en los archiveros de los departamentos, cumpliendo con el Sistema de gestión Ambiental, y facilitando la consulta de la información en línea cuando se requiera. Lo anterior significa que es posible los tiempos de respuesta para generar reportes para los asistentes y Jefe de división, evitar el acceso a personal no deseado o personas ajenas al área restringiéndolo en un almacén digital y accediendo a éste con mecanismos más seguros.

## 7. Agradecimiento

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de Huatusco y en especial a la Jefatura de la División de Ingeniería en Sistemas Computacionales por todo el apoyo brindado durante la realización de éste proyecto.

## 8. Conclusiones

La incorporación de sistemas de ERP educativos proporciona una herramienta que se adapta adecuadamente al ritmo de crecimiento de la empresa teniendo con ello software a la medida.

A través de este tipo de sistemas en combinación con herramientas que eviten las inspección y detecten el acceso a datos por personal no autorizado, garantizando con ello la seguridad y la integridad de los datos almacenados. Se acortan los tiempos de respuesta para los usuarios y por tanto crece el índice de satisfacción mejorando de esta manera los índices de desempeño de los diversos departamentos de las Instituciones de Educación Superior.

Por otra parte la aplicación de las metodologías de desarrollo de software adecuadas garantiza la eficiencia y calidad del software generado, reduciendo de manera significativa los riesgos que podrían hacer que el proyecto no se concrete.

## 9. Referencias

Aguirre, J. R. (2003). *Seguridad informática y criptografía*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid

Álvarez, B. R. (2004). *Avances en criptografía y seguridad de la información*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Campos Andia, O. K., Correa Lerzundi, J. M., & Zevallos Duran, G. (s.f.). Implementar un sistema de infraestructura como servicio (iaas) en cloud computing que sirva de alojamiento al ERP en una empresa comercial. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPCI). Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/592716/Implementacion%20ERP%20en%20Cloud%20Computing.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Corcoran, D. T., & Osgood, C. (29 de Junio de 2013). *United States Patente n° US 8,364,968 B2*. Obtenido de <https://patentimages.storage.googleapis.com/9b/96/db/0fab05a5d32c39/US8364968.pdf>

Daemen, J., & Rijmen, V. (2013). *The Design of Rijndael: AES - The Advanced Encryption Standard*. Springer Science & Business Media.

Gómez Vieites, Á., & Suárez Rey, C. (2005). *Sistemas de Información: herramientas prácticas para la gestión empresarial*. Madrid: Ra-Ma Editorial .

Hernández Cosío, J., Carreño León, M. A., Sandoval Bringas, J. A., Estrada Cota, I., & Ignacio Sánchez, R. L. (Diciembre de 2016). PROPUESTA DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ERP'S EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR. (I. T. Tecnológico Nacional de Mexico, Ed.) *Pistas Educativas*, Vol. 38(Núm. 122), 232-243. Obtenido de <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/679/627>

Macias Rodriguez, R. D. (Junio de 2016). Aplicación ERP orientada a la web para mejorar el control de planificación y gestión educativa de los procesos administrativos circuitales del distrito de educación 23D02 zonal 4 en la ciudad de Santo Domingo. Universidad Regional Autónoma de los Andes, Facultad de Sistemas Mercantiles. Obtenido de <http://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/3926>

Mangard, S. (2002). A Simple Power-Analysis (SPA) Attack on Implementations of the AES Key Expansion. *Information Security and Cryptology - ICISC 2002. Lecture Notes in Computer Science* , 2587. Obtenido de [https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-36552-4\\_24](https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-36552-4_24)

- Mueller, J. P. (2015). *Security for Web Developers: Usig JavaScript, HTML and CSS*. O'Reilly Median, Inc.
- Ramírez Jaramillo, A., & Medina Álvarez, L. (Junio de 2007). Cerradura Inteligente de Alta Seguridad. Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas - IPN. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12351/Cerradura%20inteligente%20de%20alta%20seguridad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos, M. d., & Hurtado, A. G.-C. (2011). *Seguridad Informática*. Editorial Paraninfo.
- Roberts, R. B., & Gardner, R. B. (17 de Mayo de 2011). *United States Patente n° US 7,945,788 B2*. Obtenido de <https://patentimages.storage.googleapis.com/f0/43/f9/d83045186ab197/US7945788.pdf>
- Salinas Hinojosa, K. D. (Junio de 2013). TOKENS DE SEGURIDAD. *Revista de Información, Tecnología y Sociedad*(No. 8), 59 - 61. Obtenido de <http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rits/n8/n8a25.pdf>
- Selent, D. (2010). ADVANCED ENCRYPTION STANDARD. *Rivier Academic Journal, Volumen 6*(Número 2). Obtenido de <https://www2.rivier.edu/journal/roaj-fall-2010/j455-selent-aes.pdf>
- Triguero, J. J., Guerrero, M. Á., & Crespo, E. C. (2005). *Introducción a la Criptografía*. Universidad de Castilla La Mancha.
- Valverde Giromé, F. (Septiembre de 2010). OOWS 2.0: Un Método de Ingeniería Web dirigido por modelos para la producción de Aplicaciones Web 2.0. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <http://www.dsic.upv.es/docs/bib-dig/tesis/etd-09212010-091229/BorradorFValverde.pdf>
- Wright, A. (01 de Julio de 2007). Encryption Characteristics of Two USB-based Personal Health Record Devices. *Journal of the American Medical Informatics Association, 14*, 397 - 399. Obtenido de <https://doi.org/10.1197/jamia.M2352>
- Yu, I.-K., & Chow, D. Q. (14 de Agosto de 2008). *United States Patente n° US 2008/0192928 A1*. Obtenido de <https://patentimages.storage.googleapis.com/91/e8/4b/727ab6ceb2ac48/US20080192928A1.pdf>

## Capítulo 5 Diseño de un Amplificador de Tulio a 2 $\mu\text{m}$ Mediante el Método ASE

### Chapter 5 2 $\mu\text{m}$ Thulium Amplifier Design with ASE Method

PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina†, BERTOLDI-MARTINS, Indayara y MIRANDA-TELLO, José Raúl

*Universidad Autónoma Metropolitana, Depto. Electrónica-Unidad Azcapotzalco*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Grethell Georgina, Pérez-Sánchez* / **ORC ID:** 0000-0002-5505-6226, **Researcher ID Thomson:** C-8641-2018, **Open ID:** 55850680000, **CVU CONACYT-ID:** 230934

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Indayara, Bertoldi-Martins* / **ORC ID:** 0000-0002-9158-3680, **arXiv Author ID:** 2417356, **CVU CONACYT-ID:** 597864

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *José Raúl, Miranda-Tello* / **ORC ID:** 0000-0002-5888-5732, **Researcher ID Thomson:** S-5878-2018, **CVU CONACYT-ID:** 101411

G. Pérez, I. Bertoldi y J. Miranda

ggps@correo.azc.uam.mx

A. Marroquín, H. Corres y L. Carpio. (Dir.) Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2018.

## Abstract

Current fiber optic communication systems demand greater bandwidth, which is possible using longer wavelength bands. This article shows the results of the design of a Thulium doped fiber amplifier (TDFA) with operation at 2  $\mu\text{m}$ . For the proposed design, the analytical solution of the amplified spontaneous emission (ASE) model was implemented. In the optimization of the amplifier, the intrinsic physicochemical values of the doped fiber were fixed, and both, the length of the optical fiber and the pumping power were varied. The results show the output power of the signal and the gain response of the amplifier with respect to the length of the fiber for different pump powers, as well as the power response of the amplifier with respect to the wavelength. It is observed that for greater fiber length, a greater signal power is obtained; however, a higher pumping power is required. The amplifier has a spectral range from 1900 to 2100 nm showing its maximum gain at 2010 nm.

## TDFA, 2 $\mu\text{m}$ , ASE

### 1. Introducción

En 2012 A.D. Ellis publicó un trabajo en donde muestra la necesidad de utilizar nuevas fibras ópticas basándose en el límite de capacidad que se tiene en los sistemas de comunicaciones actuales con las fibras ópticas utilizadas, proponiendo diferentes opciones de fibra para los sistemas de comunicaciones como son: múltiples fibras monomodo estándar, fibras multinúcleo, fibras de pocos modos con múltiples entradas y múltiples salidas y fibras fotónicas con núcleo hueco [1]. En 2012 se hizo la primera demostración de transmisión de datos utilizando una nueva banda de longitudes de onda centrada en 2  $\mu\text{m}$ , banda en la cual se incrementaría la capacidad en los sistemas de comunicaciones ópticas [2, 3], también se han demostrado transmisiones de datos de 100 Gbps con fibras de núcleo sólido y núcleo hueco operando a 2  $\mu\text{m}$  [4]. Sin embargo, cuando se propone una nueva banda de longitudes de onda en los sistemas de comunicaciones, es necesario diseñar dispositivos que operen en esta banda de manera eficiente. Uno de los dispositivos más recurrentes en los sistemas de comunicaciones de mediano y largo alcance son los amplificadores, ya que estos permiten enlaces de cientos de kilómetros sin necesidad de regeneración de la señal.

### Amplificadores de Fibra dopada con Tulio (TDFA)

El Tulio (Tm) es un elemento activo clasificado dentro de los lantánidos (tierras raras), el cual cuenta con varias transiciones energéticas, lo cual reduce su eficiencia energética de conversión.

Existen metodologías de diseño de amplificadores que utilizan como principio de funcionamiento la Emisión Espontánea Amplificada (ASE). Las fibras ópticas dopadas con Tulio se emplearon en un inicio para diseñar TDFA en las bandas alrededor de 1470 nm y 1650 nm [5, 6] utilizadas en los sistemas de comunicaciones ópticas actuales. Sin embargo, una fibra dopada con Tulio con la excitación correcta puede operar a longitudes de onda mayores, alrededor de 2  $\mu\text{m}$ , que es una banda de longitudes de onda que se ha vislumbrado como la posible siguiente ventana de comunicaciones ópticas. Se han encontrado en la literatura los resultados experimentales de Amplificadores de Tulio para operar en la banda centrada en 2  $\mu\text{m}$  [7].

En este capítulo se muestra una metodología de diseño de un TDFA para que opere de manera óptima en la banda de 2  $\mu\text{m}$  usando una fibra comercial y tomando como parámetros variables de diseño únicamente, la potencia de entrada y la longitud de la fibra, con la finalidad de obtener una máxima ganancia del amplificador, para el diseño se utiliza la solución analítica de las ecuaciones de razón de Einstein mostrada en [8 y 9]. En la primera sección de este capítulo se presentan las características espectrales de absorción y emisión de una fibra óptica dopada con Tulio, así como las ecuaciones en las cuales basaremos nuestro diseño, y la descripción de cada una de las variables de éstas.

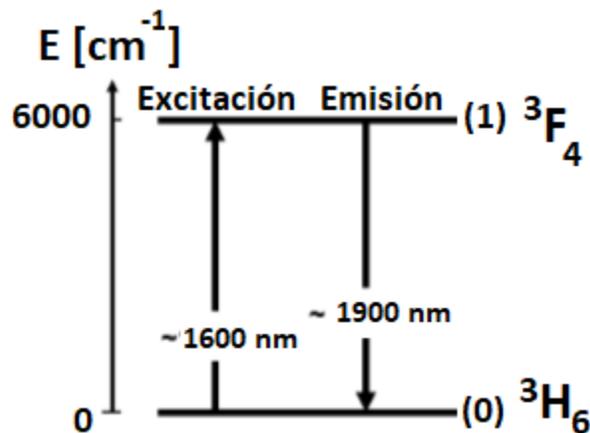
En la siguiente sección se muestran los resultados del diseño de un amplificador de fibra, variando la potencia de entrada, así como la longitud de la fibra para el diseño óptimo de un amplificador TDFA a 2  $\mu\text{m}$ .

## 2. Diseño del Amplificador

Las fibras dopadas son elementos activos, que al ser excitados con una cierta longitud de onda producen diferentes transiciones energéticas, una de ellas se presenta cuando los electrones que se encuentran en estado basal en el nivel energético ( $E_0$ ) pasan a un nivel energético superior ( $E_i$ ), y después de permanecer un cierto tiempo de vida ( $\tau$ ) en el estado excitado, los iones excitados decaen espontáneamente emitiendo fotones a una longitud de onda mayor que con la que se excitó al dopante, a esta interacción se le denomina ASE.

Al ocurrir esta emisión de forma espontánea, los fotones generados no tienen coherencia entre sí y la longitud de onda de emisión puede variar alrededor de una longitud de onda central. En la figura 5.1 se observan las transiciones de los iones de Tulio para el diseño del TDFA a  $2 \mu\text{m}$ .

**Figura 5.1** Transiciones de los niveles energéticos de los iones de  $\text{Tm}^{3+}$

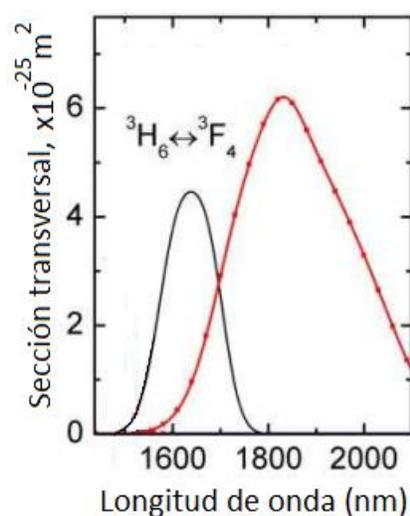


Fuente: Elaboración Propia

Tanto las longitudes de onda de absorción y de emisión, como la eficiencia de conversión energética en la transición dependerán de las características intrínsecas de cada dopante. Para el diseño del TDFA es necesario conocer las características espectrales de la fibra dopada con Tulio con la cual se diseñará el amplificador, así como la geometría de esta.

En la figura 5.2 se muestran las secciones transversales de absorción y emisión de la fibra óptica dopada con Tulio obtenidas de [10]. Se puede observar que, entre  $1500 \text{ nm}$  y  $1750 \text{ nm}$  se encuentra la sección transversal de absorción de la fibra, la cual indica las longitudes de onda de excitación de la fibra para obtener una emisión entre  $1600$  y  $2100 \text{ nm}$ , por lo que es necesario emplear una fuente de bombeo (láser) que opere a la longitud de onda adecuada para obtener la emisión deseada.

**Figura 5.2** Secciones transversales de absorción (negro) y emisión (rojo) de la fibra dopada con Tulio [8]



Fuente: Elaboración Propia

Se utilizará el método propuesto en [11] para el diseño de amplificadores utilizando ASE, con base en las ecuaciones de razón de Einstein, el cual se describe a continuación:

$$\frac{dP_b(z)}{dz} = -\gamma_a(z)P_b(z) \quad (1)$$

$$\frac{dP_{s_{\pm}}^+(z, \lambda_i)}{dz} = \pm \{Emi(z, \lambda_i)[P_{s_{\pm}}^+(z, \lambda_i) + P_0] - Abs(z, \lambda_i)P_{s_{\pm}}^+(z, \lambda_i)\} \quad (2)$$

Donde:

$P_b(z)$ : Es la potencia de la excitación o bombeo que se propaga en dirección longitudinal de la fibra (z).

$\gamma_a(z)$ : Indica el coeficiente de absorción.

$Emi(z, \lambda_i)$ : Es la amplificación de emisión espontánea.

$Abs(z, \lambda_i)$ : Es el coeficiente de la absorción de emisión espontánea.

$P_{s_{\pm}}^+(z, \lambda_i)$ : Es la potencia de la señal de salida de la fibra, en dirección de copropagación ( $P_+$ ) y contrapropagación ( $P_-$ ).

$P_0$ : Indica la cantidad de potencia equivalente de ruido a la entrada.

Para poder realizar el cálculo analítico de las ecuaciones 1 y 2 se toman en cuenta las consideraciones de [9]. La potencia equivalente de ruido a la entrada se expresa como:

$$P_0 = 2hf_e\Delta_s \quad (3)$$

$$\Delta_s = \frac{c}{\lambda_s^2} \Delta\lambda_s \quad (4)$$

Donde:

$f_e$ : Frecuencia de emisión.

$h$ : Es la constante de Planck.

$\lambda_s$ : Representa la longitud de onda de emisión.

$\Delta_s$ : Representa el incremento del barrido, calculada con la ecuación 4.

$c$ : Es la constante de la velocidad de la luz en el vacío.

$\Delta\lambda_s$ : Indica el incremento de barrido a lo largo de la longitud onda.

Conociendo estos parámetros podemos entonces calcular  $\gamma_a(z)$  que es el coeficiente de absorción.

$$\gamma_a(z) = \frac{N_T\sigma_b}{\frac{P_b(z)}{P_{u+1}}} \quad (5)$$

Donde:

$N_T$  Es la concentración total de iones del dopante por  $\text{cm}^3$ .

$\sigma_b$  Es la sección transversal de potencia de bombeo.

$P_u$  Representa la potencia de umbral.

En el caso particular que la potencia de bombeo sea menor que la potencia de umbral:  $P_b(z) < P_u$ , será tomado como la potencia de umbral. Para el cálculo de la potencia de umbral se considera la ecuación 6:

$$P_u = \pi r^2 \frac{hf_b}{\sigma_b\tau} \quad (6)$$

Donde:

$f_b$  Indica la frecuencia de bombeo.

$r^2$  Representa el radio del núcleo de la fibra

$\tau$  Representan el tiempo de vida del dopante.

En el caso que  $P_b(z) > P_u$ , se considerará el cálculo de la ecuación 1 como:

$$\frac{dP_b(z)}{dz} = -N_T \pi r^2 \frac{hf_b}{\tau} \quad (7)$$

Para resolver la ecuación 7 se establece la condición inicial  $P_b(0) = P_{in}$  donde  $P_{in}$  es la potencia inicial de bombeo acoplada a la fibra.

$$P_b(z) = P_{in} - \left( N_T \pi r^2 \frac{hf_b}{\tau} \right) z \quad (8)$$

Ahora para la solución de la ecuación 2 se considera:

$$Emi(z, \lambda_i) = \frac{N_T \sigma_e(\lambda_i)(1-\Gamma) \left( \frac{P_u(z)}{P_b} \right)}{\frac{P_u(z)}{P_b} + 1} \quad (9)$$

$$Abs(z, \lambda_i) = \frac{N_T \sigma_a(\lambda_i)(1-\Gamma)}{\frac{P_u(z)}{P_b} + 1} \quad (10)$$

$$EmiAbs(z, \lambda_i) = Emi(z, \lambda_i) - Abs(z, \lambda_i) \quad (11)$$

Donde el factor de superposición  $\Gamma$  para la propagación de emisión espontánea amplificada descrito en la ecuación 12.

$$\Gamma = \exp\left(\frac{-r^2}{\omega_s^2}\right) \quad (12)$$

$\sigma_e$  Representa la sección transversal de emisión

$\sigma_a$  Representa la sección transversal de absorción

$\omega_s^2$  Indica el tamaño de apertura de la fibra (spot size)

$$P_{s+}(z, \lambda_i) = \left( \frac{Emi(z, \lambda_i)}{EmiAbs(z, \lambda_i)} P_0 e^{zEmiAbs(z, \lambda_i)} - \frac{Emi(z, \lambda_i)}{EmiAbs(z, \lambda_i)} P_0 \right) \quad (13)$$

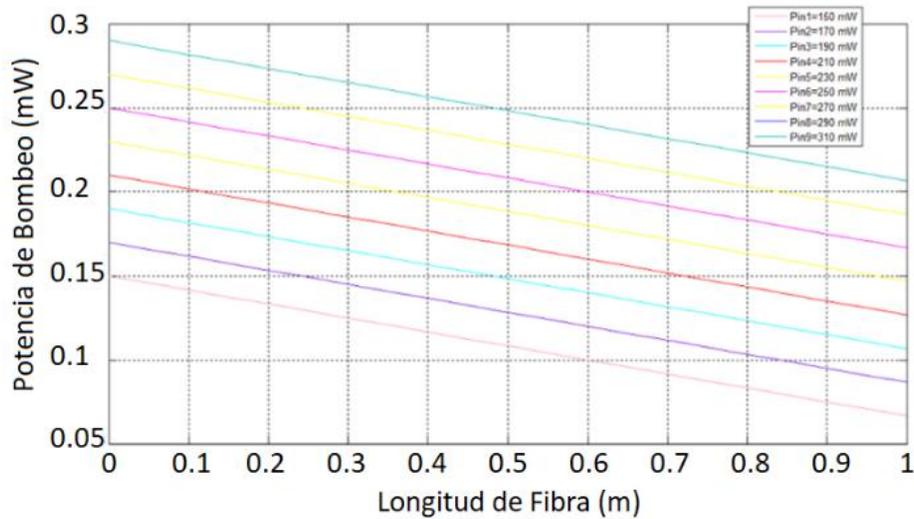
$$P_{s-}(z, \lambda_i) = \left( \frac{Emi(z, \lambda_i)}{EmiAbs(z, \lambda_i)} P_0 e^{(L-z)EmiAbs(z, \lambda_i)} - \frac{Emi(z, \lambda_i)}{EmiAbs(z, \lambda_i)} P_0 \right) \quad (14)$$

De las expresiones anteriores del método de diseño de un amplificador basado en ASE, los únicos parámetros que se pueden modificar para obtener el amplificador deseado en una fibra dopada una vez fabricada, son: la frecuencia de la fuente de bombeo ( $f_b$ ), la potencia de bombeo inicial acoplada a la fibra ( $P_{in}$ ) y la longitud total de la fibra (L), esto debido a que los demás son valores intrínsecos de la fibra.

### 3. Método de Optimización de Diseño para TDFA a 2 $\mu$ m

En esta sección se realiza una comparativa de la respuesta en potencia de salida del TDFA con la modificación de las variables de diseño (potencia de entrada y longitud la fibra).

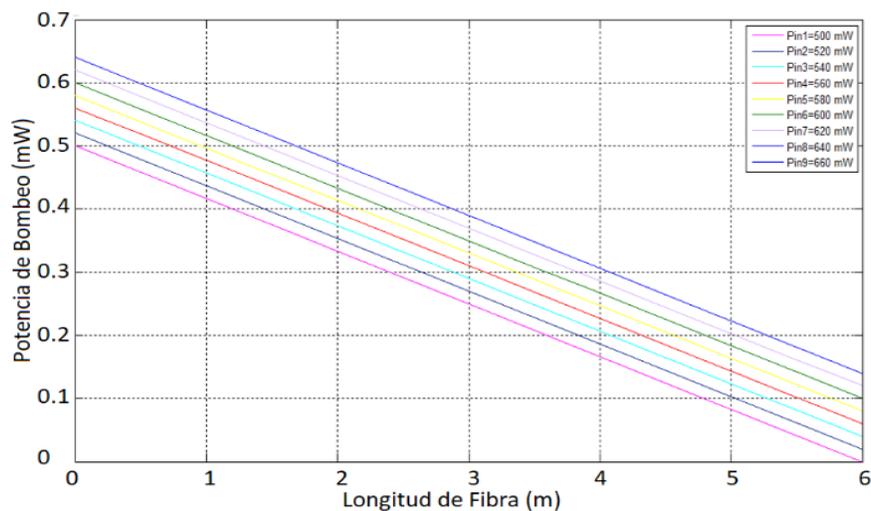
Los parámetros fijos que se establecieron para el diseño son:  $\sigma_e$  y  $\sigma_a$  conforme figura 5.2  $N_T=1.9 \times 10^{25}$  ion/cm<sup>3</sup>;  $r=2 \mu$ m;  $\tau=3.35 \times 10^{-3}$ s y  $f_b=1.764647 \times 10^{15}$  Hz. De la ecuación (8) podemos observar que, la respuesta lineal de la potencia de bombeo a lo largo del amplificador está determinada por la potencia de entrada, la concentración del dopante en la fibra, el radio del núcleo de la fibra, la frecuencia a la cual estamos excitando al dopante y el tiempo de vida que permanece el ion  $Tm^{3+}$  en su estado excitado  $^3F_4$ . De todos estos parámetros, los que podemos variar si usamos fibras comerciales son, la potencia de entrada y la longitud de la fibra. En el gráfico 5.1 se muestra la respuesta de la potencia de bombeo a lo largo de la fibra, se propusieron potencias de bombeo desde (150 mW hasta 310 mW) con una longitud de fibra de 1 m. Se logra observar que la potencia de bombeo se absorbe de manera lineal a lo largo de la fibra, lo que significa que, en la longitud inicial de la fibra existe mayor potencia para la conversión de señal que al final de la fibra, esto provocará que la respuesta en potencia de nuestro amplificador no sea constante longitudinalmente en la fibra, por lo que es importante encontrar la relación óptima entre potencia de entrada y longitud de la fibra, con el fin de que sea posible excitar la mayor cantidad de iones a lo largo de la fibra y exista la suficiente potencia de bombeo al final de esta.

**Gráfico 5.1** Respuesta de la potencia de bombeo del Tulio vs longitud de la fibra (1 m)

Fuente: Elaboración Propia

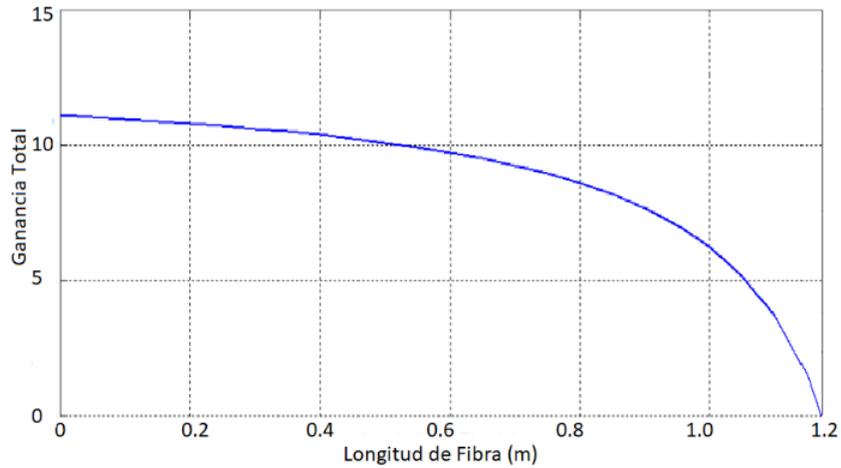
En el gráfico 5.2 se eligió arbitrariamente una longitud de fibra mayor (6 m), con la finalidad de comparar la respuesta del TDFA entre dos longitudes de fibra, y se observa el comportamiento de la potencia de bombeo, en este caso es necesario incrementar la potencia de entrada, de lo contrario no sería posible excitar los iones al final de la fibra, lo cual reduce la eficiencia del amplificador.

Comparando los gráficos 5.1 y 5.2 se ve claramente el compromiso que existe entre potencia de entrada y longitud de la fibra, ya que, de no existir potencia a final de la fibra, en esta sección del TDFA no se aportaría excitación al amplificador.

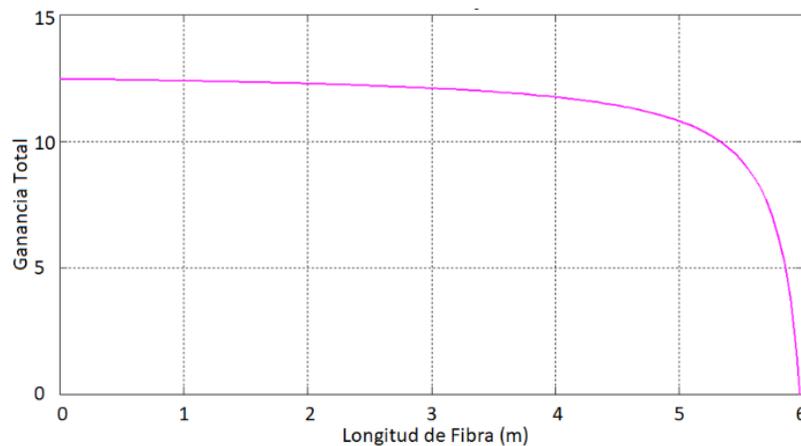
**Gráfico 5.2** Respuesta de la potencia de bombeo del Tulio vs longitud de la fibra (6 m)

Fuente: Elaboración Propia

En los gráficos 5.3 y 5.4 se observa la ganancia del amplificador determinada de la ecuación (11) manteniendo constante la longitud de onda de emisión a  $\lambda_i=2 \mu\text{m}$  y con barrido a lo largo de la longitud de la fibra ( $z$ ) para 1 m y 6 m respectivamente, se puede apreciar que cuando se tiene un TDFA con mayor longitud de fibra la ganancia tiene una respuesta constante a lo largo de esta.

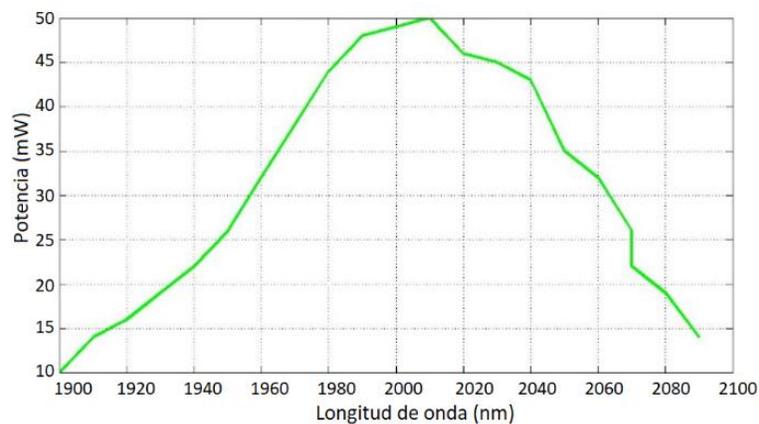
**Gráfico 5.3** Ganancia total del TDFa para 1 m de longitud de la fibra

Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico 5.4** Ganancia total del TDFa para 6 m de longitud de la fibra

Fuente: Elaboración Propia

Para obtener el ancho de banda de operación del amplificador en sentido de co-propagación, se calcula la potencia de salida del amplificador de la ecuación (13) para diferentes longitudes de onda ( $\lambda_i$ ), manteniendo constante la longitud de la fibra ( $z$ ). En el gráfico 5.5 se muestra la respuesta en longitud de onda optimizada del amplificador en un ancho de banda de 1900 nm a 2100 nm para la longitud de fibra de 6 m en el cual se presenta mayor ganancia, se puede observar que la máxima potencia de emisión del amplificador se encuentra en 2010 nm, con un ancho de banda efectivo del amplificador de 120 nm.

**Gráfico 5.5** Respuesta de potencia con respecto a la longitud de onda

Fuente: Elaboración Propia

Una de las características de los amplificadores de fibra dopada con tierras raras, como el TDFA diseñado mostrado en el gráfico 5.5, es que su respuesta en potencia para el ancho de banda de operación no es plana, esto se debe a que las secciones transversales de absorción y emisión del dopante no lo son tampoco, sin embargo, el ancho de banda puede llegar a ser de cientos de nanómetros, pudiendo amplificar varias señales a la vez.

### Agradecimiento

Los autores le agradecen a la UAM-Azcapotzalco y al CONACyT por el apoyo para poder llevar a cabo esta investigación.

### Conclusiones

En este trabajo se muestra la metodología de diseño de un amplificador de fibra dopada con Tulio basándose en la optimización de los parámetros de diseño variables que son: la potencia de entrada y la longitud de la fibra, con la finalidad de operar en la ventana de comunicaciones ópticas centrada en 2  $\mu\text{m}$ . Se observa que, las condiciones de diseño dependerán de las características que se requieran de amplificación. El ancho de banda efectivo del amplificador propuesto es de 120 nm, teniendo una máxima potencia en la longitud de onda de 2010 nm. Esta misma metodología puede utilizarse para amplificadores ASE de fibra con diferentes dopantes.

### Referencias

- [1] A. D. Ellis. (2012). The nonlinear Shannon limit and the need for new fibres. *Proc. SPIE Nonlinear Optics and Applications VI*, 8434, 84340H. <https://doi.org/10.1117/12.928093>
- [2] M. N. Petrovich, F. Poletti, J. Wooller, A. Heidt, N. K. Baddela, Z. Li, D. R. Gray, R. Slavík, F. Parmigiani, N. Wheeler, J. Hayes, E. Numkam Fokoua, L. Grüner-Nielsen, B. Pálsdóttir, R. Phelan, B. Kelly, M. Becker, N. MacSuibhne, J. Zhao, F. C. Garcia Gunning, A. Ellis, P. Petropoulos, S. Alam, and D. Richardson. (2012). First Demonstration of 2 $\mu\text{m}$  Data Transmission in a Low-Loss Hollow Core Photonic Bandgap Fiber. *European Conference and Exhibition on Optical Communication OSA*, Th.3.A.5. <https://doi.org/10.1364/ECEOC.2012.Th.3.A.5>
- [3] M. Petrovich et al. (2013). Demonstration of amplified data transmission at 2  $\mu\text{m}$  in a low-loss wide bandwidth hollow core photonic bandgap fiber. *Optics express*, 21, 28559-28569. <https://doi.org/10.1364/OE.21.028559>
- [4] H. Zhang, N. Kavanagh, Z. Li, J. Zhao, N. Ye, Y. Chen, N. V. Wheeler, J. P. Wooller, J. R. Hayes, S. R. Sandoghchi, F. Poletti, M. N. Petrovich, S. U. Alam, R. Phelan, J. O'Carroll, B. Kelly, L. Grüner-Nielsen, D. J. Richardson, B. Corbett, and F. C. Garcia Gunning. (2015). 100 Gbit/s WDM transmission at 2  $\mu\text{m}$ : transmission studies in both low-loss hollow core photonic bandgap fiber and solid core fiber. *Opt. Express*, 23, 4946-4951. doi: 10.1364/OE.23.004946.
- [5] S. Aozasa, T. Sakamoto, T. Kanamori, K. Hoshino, K. Kobayashi and M. Shimizu. (2000). Tm-doped fiber amplifiers for 1470-nm-band WDM signals. *IEEE Photonics Technology Letters*, 12 (10), 1331-1333. doi: 10.1109/68.883820
- [6] Z. Li, Y. Jung, J. M. O. Daniel, N. Simakov, P. C. Shardlow, A. M. Heidt, W. A. Clarkson, S. U. Alam, and D. J. Richardson. (2015). Extreme Short Wavelength Operation (1.65 – 1.7  $\mu\text{m}$ ) of Silica-Based Thulium-Doped Fiber Amplifier. *Optical Fiber Communication Conference*, OSA, Tu2C.1. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7121797>
- [7] Z. Li, A. M. Heidt, J. M. O. Daniel, Y. Jung, S. U. Alam, and D. J. Richardson. (2013). Thulium-doped fiber amplifier for optical communications at 2  $\mu\text{m}$ . *Opt. Express* 21, 9289-9297. <https://doi.org/10.1364/OE.21.009289>
- [8] G. E. Sandoval-Romero, V. Argueta-Díaz, and O. Pottiez. (2009). Theoretical results of the analytical and numerical solutions of superluminescent fiber sources. *Phys. Status Solidi, C* 6(S1), S227–S230. <https://doi.org/10.1002/pssc.200881339>

- [9] G.G. Pérez-Sánchez, I Bertoldi, Martins, Gallion, Philippe, Alvarez-Chavez, Jose. (2013). Rare Earth-doped Fiber Designs for Superluminescent Sources. *Optical Engineering*, 52. <https://doi.org/10.1117/1.OE.52.8.086110>
- [10] Thulium-Doped PM Optical Fiber, Recuperado de [http://www.aic-group.com/alahram2/index.php/products/fiber/fiber2013-10-23-18-40-19\\_/single-mode-fiber/active-rare-earth-doped-fiber/thulium-doped-pm-optical-fiber-detail](http://www.aic-group.com/alahram2/index.php/products/fiber/fiber2013-10-23-18-40-19_/single-mode-fiber/active-rare-earth-doped-fiber/thulium-doped-pm-optical-fiber-detail)
- [11] E. Desurvire and J. R. Simpson. (1989). Amplification of spontaneous emission in erbium-doped single mode fiber. *J. Lightwave Technol.*, 7(5), 835–845. doi: 10.1109/50.19124

## **Capítulo 6 Modelo, simulación y control del sistema eléctrico y electrónico de un sistema eólico de baja potencia**

### **Chapter 6 Model, simulation and control of the electrical and electronic system of a low power eolic system**

LINARES-ENRÍQUEZ, Alejandro† & REA-CABRERA, Edgar

*Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Alejandro, Linares-Enríquez* / **ORC ID:** 0000-0002-2250-0730, **Researcher ID Thomson:** F-8123-21018, CVU CONACYT-ID: 607628

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Edgar, Rea-Cabrera* / **ORC ID:** 0000-0001-7529-9850, **Researcher Thomson ID:** G-1908-2018

A. Linares & E. Rea

alejandro.linares@test.edu.mx

A. Marroquín, H. Corres y L. Carpio. (Dir.) Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2018.

## 1. Introducción

La energía eólica es hoy en día una de las tecnologías renovables más competitivas que nos brinda los mayores beneficios y posibilidades. Su empleo produce impactos en el medio ambiente y a su vez tiene poca afectación por los cambios que el hombre provoca a su entorno. Un aerogenerador convierte la energía mecánica en energía eléctrica través de la energía cinética del sistema y el viento aprovechable, se determina la potencia y el torque que se transmite al eje del aerogenerador.

La producción de energía eléctrica generada por el viento en un determinado sitio depende de diferentes variables como la velocidad del viento, por lo que la propuesta del sistema eólico es para bajas velocidades de viento con un valor máximo de 12 m/s, que es un viento moderado, además de las características de las aspas y el sistema mecánico para transformar a energía eléctrica, se cuenta dentro del diseño el análisis en el tren de engranajes para la relación de velocidades y las características de funcionamiento entre potencia, velocidad angular y torque. Los parámetros a seleccionar dependerán de la potencia eléctrica que es necesaria en el lugar de la instalación y el consumo de energía kWh que se establezca, por lo que es importante obtener el máximo rendimiento de la potencia en los sistemas eléctricos.

En el desarrollo del proyecto se realiza el análisis de los componentes del aerogenerador dentro del diseño, su simulación y la conversión de energía, se definen los parámetros de entrada del sistema, para obtener la potencia mecánica que se transforma en energía eléctrica, se realiza la simulación del comportamiento mecánico, para pasar al modelo eléctrico, con el desarrollo se obtiene el modelo del sistema que se implementara a través de la simulación Lab-Volt y el equipo para la realización de pruebas del generador de imanes permanentes, donde se establecen las variables que intervienen en la transformación de parámetros, para establecer las características del sistema eólico.

Al conocerse los recursos eólicos del lugar de instalación, el principal problema que se visualiza es el abastecimiento de energía eléctrica para establecer la capacidad que tendrá el equipo y gracias a las energías renovables, estableciendo el sistema eléctrico, proponiendo los componentes de transformación, conversión y almacenamiento eléctrico, se satisfacen las necesidades en términos de independencia, seguridad energética y también se apoyan los objetivos medioambientales siendo un factor al que se le debe prestar la atención debida, con las características demandadas, donde este sistema desarrolla una potencia de hasta 25kW donde su aplicación es en inmuebles de baja capacidad o carga.

## 2. Desarrollo

Estos sistemas por lo general están compuestos por el rotor, multiplicador, freno, generador, cola, torre, cableado, controladores y las baterías, como se muestra en la simulación que permite predecir el comportamiento del sistema de acuerdo a la Figura 6.1. Donde a través del giro de los alabes la turbina convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio que acciona el generador eléctrico. La energía cinética del aire moviéndose a una velocidad  $v$  está dada por:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Considerando un rotor con un área seccional expuesta a una ráfaga de aire, la energía cinética de la ráfaga de aire disponible para una turbina será:

$$E_c = \frac{1}{2}\rho_a v^2 \quad (2)$$

Una turbina eólica no es capaz de extraer la potencia total que se encuentra en una masa de aire, sino que solo es capaz de extraer una fracción de está. Mediante la ley de la conservación de la masa, el flujo de la masa de aire debe ser igual en todo el tubo de flujo y el gasto másico constante, por lo cual:

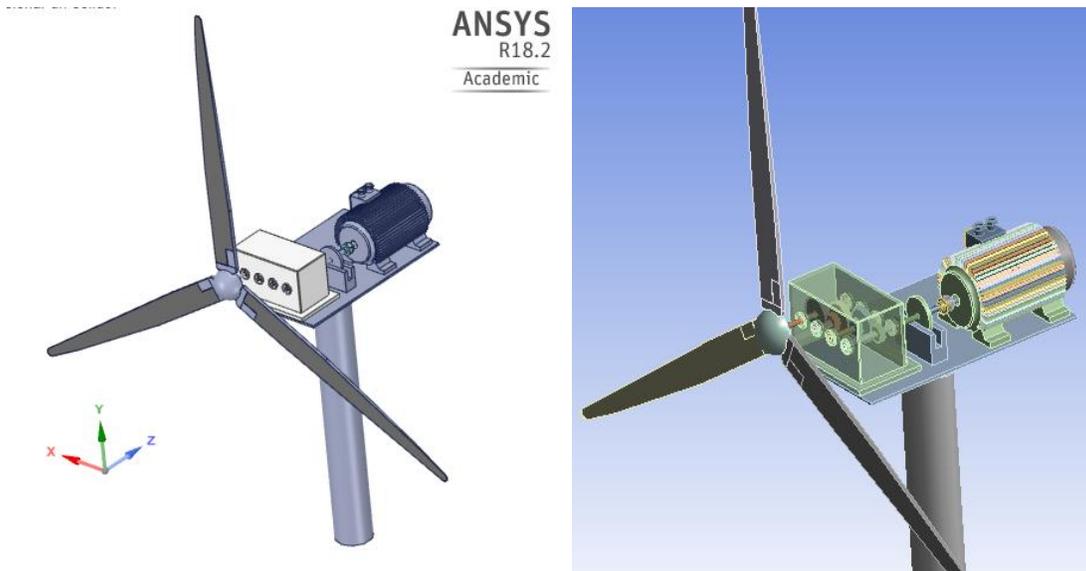
$$\dot{m} = \rho_a A_1 V_1 = \rho_a A V_w = \rho_a A_2 V_2 \quad (3)$$

Donde la variación de la energía cinética del viento por unidad de tiempo es:

$$P_{util} = \frac{d(E_c)}{dt} = \frac{1}{2} \rho_a A V_w (V_1^2 - V_2^2) = \rho_a A V_w^2 (V_1 - V_2) \quad (4)$$

Estableciendo que la potencia útil máxima que proporciona el rotor considera el coeficiente de potencia que se conoce como el límite teórico de Betz, no es mayor al 59.5%. [1].

**Figura 6.1** Componentes del Aerogenerador



Fuente: Elaboración Propia

Dentro del diseño el movimiento de rotación es importante para el análisis del sistema eólico, la ley de Newton de rotación considera la relación entre el par aplicado y su aceleración angular resultante y establece que la suma algebraica de los momentos o pares alrededor de un eje fijo es igual al producto de la inercia por la aceleración angular alrededor del eje, la ecuación es:

$$\sum T = J \alpha = J \frac{dw}{dt} = J \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (5)$$

Donde J es la inercia,  $\alpha$  es la aceleración angular, T es el par, w es la velocidad angular,  $\theta$  es el desplazamiento angular, en el que el par T es la fuerza de torsión que se transmite y se ejerce sobre los ejes y engranes, el par de torsión depende de la magnitud de la fuerza aplicada y de la distancia entre el eje de rotación y la línea de acción de la fuerza. Además dentro de la torsión el análisis del ángulo de giro en radianes de los ejes se calcula mediante el análisis torsional de la ley de Hooke  $\tau = G\gamma$  y  $\gamma = \rho\theta/L$  estableciendo el torque como una fuerza por una distancia:  $T = \int \rho (\tau dA)$  y estableciendo a  $\int \rho^2 dA = J$  que es el momento polar de inercia, obteniendo el ángulo de torsión en radianes, donde estos elementos son importantes para el desarrollo del sistema [2, 3, 4, 5].

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (6)$$

Donde:

T= Torsión.

L= Longitud.

G= Modulo de Rigidez.

J= Segundo Momento Polar de Inercia.

Para el análisis se considera que sobre los ejes actúan pares de torsión y cargas, el material obedece la ley de Hooke, además de considerar el análisis del sistema sometido a torsión, como sistema estáticamente determinado o estáticamente indeterminado y, considerar el análisis a través de sistemas hiperestáticos por el método de flexibilidades y método de rigideces para elementos sujetos a torsión.

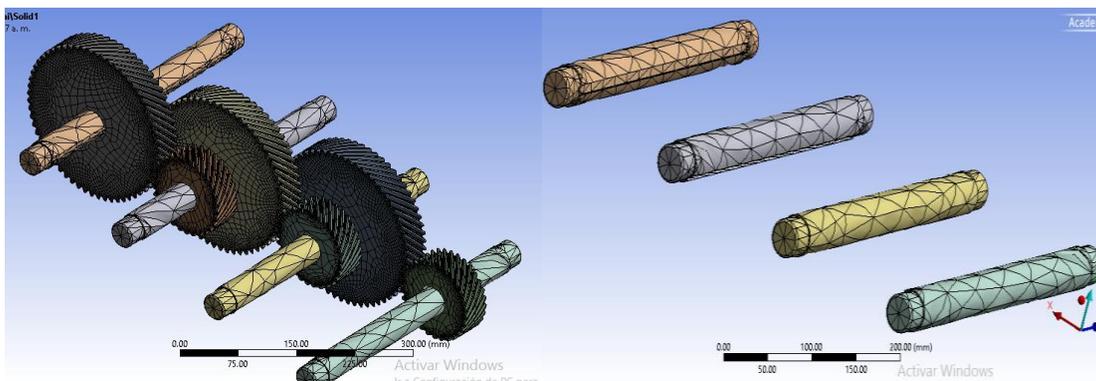
Con la determinación de la torsión se tiene un par constante en el movimiento rotacional, estableciendo la potencia por:

$$P = Tw \quad (7)$$

Esta representa la potencia transmitida por una flecha rotatoria que es el parámetro mecánico de transformación a energía eléctrica en watts, además se considera el torque T en Newton-metro y la velocidad angular en número de revoluciones por unidad de tiempo. Para el diseño de la transmisión de potencia, esta debe considerar los requisitos de potencia, las especificaciones de engranes, el diseño del eje y el análisis de fuerzas dentro del diseño para obtener el sistema real [2,5].

Se desarrolla el sistema mecánico con el análisis del elemento finito con el mallado de ejes y engranes, como se muestra en la figura 6.2, este análisis establece de acuerdo a la geometría y características del material el comportamiento mecánico, en el cual al desarrollar el mallado y simular cargas aplicadas, el obtiene que cada soporta las condiciones de esfuerzo y deformación, que transformará las condiciones de operación para correcto funcionamiento del sistema eólico [8-9].

**Figura 6.2** Análisis Sistema Mecánico



Fuente: Elaboración Propia

Con el análisis mecánico establecemos para el sistema eléctrico la ley de voltajes de Kirchhoff, que es una herramienta útil para el modelo matemático de circuitos eléctricos y redes eléctricas. La primera ley de Kirchhoff establece que la suma algebraica de las intensidades entrantes en un nodo es nula en todo instante. La segunda ley de Kirchhoff establece que la suma algebraica de las tensiones a lo largo de cualquier línea cerrada en un circuito es cero en todo instante [6-7].

Un generador eléctrico es una máquina que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, estos generadores son el generador síncrono, el generador de corriente directa, el generador de imanes permanentes, el generador de reluctancia y el generador de inducción.

Un generador síncrono normalmente está constituido de un estator fijo que esta embobinado de manera trifásica y de un rotor que contiene un campo magnético. Al girar el campo magnético se genera una fuerza electromotriz (fem) en el estator, la forma de onda de la fem inducida es idéntica a la forma de onda del campo magnético en el espacio. La frecuencia de la fem está relacionada directamente con la velocidad de giro del rotor, razón por la cual se le conoce como generadores síncronos.

El campo magnético en el rotor se genera a través de una fuente de corriente continua, que es externa al generador y que permita graduar el campo magnético que se requiere, dadas estas características los SGE que emplean un SG emplean una topología back-to-back para conectar el estator con la alimentación o equipo de suministro, del lado del estator el convertidor regula el torque electromecánico mientras que del lado del equipo el convertidor regula la potencia activa y reactiva que se inyecta a las líneas para poder abastecer de energía en una red aislada que cuente con un motor o sistemas de iluminación. En el lado del rotor se coloca un convertidor AC/DC que proporcione la corriente para que se genere un campo magnético en el rotor, la única diferencia es que el rotor donde están adheridos los imanes se encuentra ubicado en la parte interna y el estator en la parte externa [10, 11].

Los generadores síncronos de imanes permanentes tienen el mismo principio de funcionamiento que los generadores síncronos, con la diferencia que el campo magnético en el rotor es generado por imanes permanentes. El flujo es constante y, se reduce el mantenimiento comparado con el SG, ya que no se tiene que alimentar el rotor para generar el campo magnético. Los GSIP son empleados principalmente en SGE de baja potencia de kW, al tener un campo magnético constante en el rotor aumenta la eficiencia, ya que no se necesita potencia externa para generar el campo magnético. Los SGE con GSIP operan a velocidad variable y pueden trabajar en redes eléctricas aisladas.

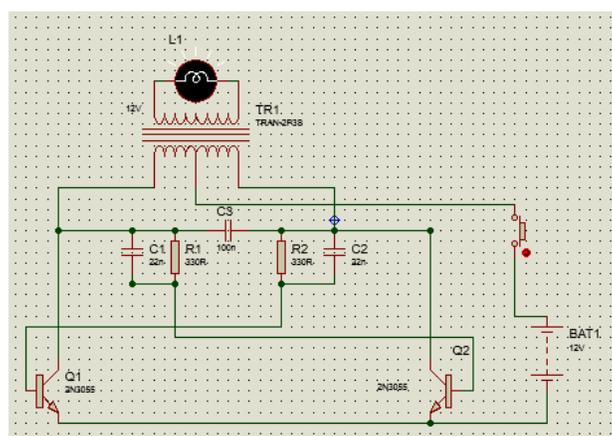
Un generador síncrono de imanes permanentes de flujo axial consiste en que el estator posee las bobinas y el rotor consiste en dos platos separados los cuales poseen los imanes. La forma de operación de un generador síncrono está basada en la ley de Faraday, ya que al girar unos imanes permanentes frente a unas bobinas que se encuentran estacionarias, por el interior de estas pasa el flujo magnético que es variable en el tiempo, generando un voltaje inducido alterno en las bobinas.

El generador síncrono de flujo axial no necesita corriente de excitación por lo que le da una eficiencia superior a este, además que tiene la capacidad de que las bobinas en el estator son en parte refrigeradas debido a la rotación de los imanes permanentes sobre estas. Se decide realizar el cálculo del generador eléctrico y no contar con uno comercial debido a que los torques de arranque de los comerciales, en general son difíciles de superar por el rotor diseñado, mientras que con un generador síncrono de imanes permanentes de flujo axial lo único que se debe vencer para iniciar el arranque es la inercia sobre los rodamientos.

La topología trabajada es una topología Back-to-Back, en esta el convertidor del lado del generador regula el torque electromagnético del generador y reduce la distorsión armónica en corriente y aumenta el factor de potencia empleando técnicas de control vectorial [11]. La potencia producida por el generador es inicialmente variable por el voltaje y la frecuencia en corriente alterna, esta corriente alterna es rectificadora a corriente continua, la potencia de la corriente continua es dirigida a cargas o almacenada en baterías y la otra parte es invertida a corriente alterna con voltaje y frecuencia fija, por ejemplo, los imanes están integrados directamente en un rotor cilíndrico de aluminio, la potencia es tomada de la armadura inmóvil, así no hay ninguna necesidad del conmutador, anillos deslizantes o escobillas.

Con el análisis del sistema eléctrico se determina que a la salida del generador y banco de baterías se coloca un convertidor DC/AC que proporcione la corriente de 127/220 volts, alimentando con 12 o 24 volts que se genere por el campo magnético en el rotor, en la figura 6.3, se establece la simulación del inversor de corriente que se establece después del banco de baterías para la distribución de energía, entre el generador y el inversor tenemos un regulador de voltaje, obteniendo una potencia eléctrica de hasta 25 kW para poder alimentar diferentes equipos eléctricos e iluminación [12].

**Figura 6.3** Inversor del Aerogenerador



Fuente: Elaboración Propia

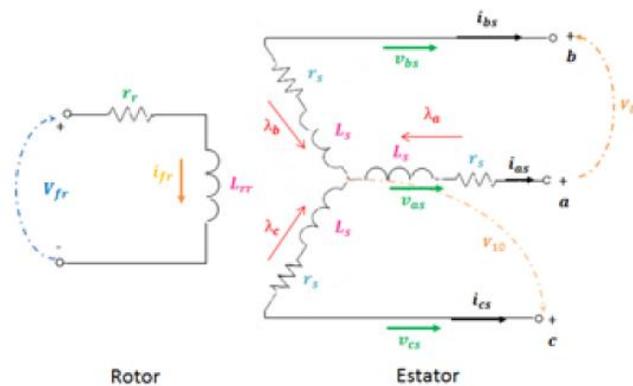
El aerogenerador incorpora un sistema eléctrico con dos funciones diferenciadas:

- La primera función de generación eléctrica propiamente dicha, se lleva a cabo mediante el generador, los contactores e interruptores y, a veces con la posible inclusión de una batería de condensadores para la compensación de energía reactiva.
- La segunda función tiene como objeto el funcionamiento de los equipos auxiliares, como son los motores de orientación, el grupo hidráulico, tomas de corriente, resistencias calefactoras, iluminación general y alimentación del sistema electrónico de control.

### 3. Modelo del Sistema Eólico

Se analiza los circuitos del rotor y estator del GSIP, en coordenadas de fase abc, recordando que dichos ejes se encuentran espaciados 120 grados eléctricos, las transformaciones matemáticas son usadas para desacoplar variables y, por tanto, facilitar la solución de ecuaciones complejas con coeficientes variables en el tiempo, en el modelo eléctrico se analiza el cambio de energía mecánica a eléctrica para el generador del sistema eólico y, de la energía eléctrica a mecánica para el motor de la torre [12].

**Figura 6.4** Generador Síncrono de Imanes Permanentes



Fuente: [11]

Donde:

a, b, c. representan los devanados de fase del estator.  
i, v, r,  $\lambda$ , Corriente, Voltaje, Resistencia y enlace de flujo.

En los GSIP los voltajes de fase del estator se obtienen aplicando la ley de los voltajes de Kirchhoff al circuito, como se muestra en la figura 6.4., en el generador síncrono de imanes permanentes.

$$V = -R_e I + \frac{d\Lambda}{dt} \quad (8)$$

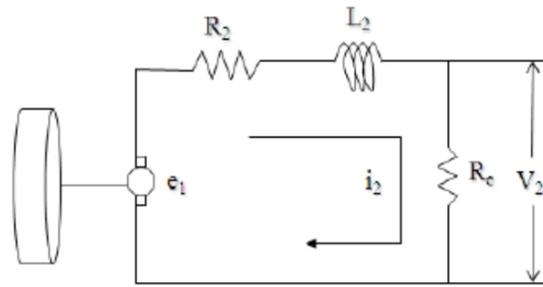
Donde la expresión matricial es:

$$\begin{aligned} V &= [v_{as} \ v_{bs} \ v_{cs}]^T \\ R_e &= \text{diag} [r_s, r_s, r_s] \\ I &= [i_{as} \ i_{bs} \ i_{cs}]^T \\ \Lambda &= [\lambda_a \ \lambda_b \ \lambda_c]^T \end{aligned} \quad (9)$$

Los enlaces de flujo en cada fase a b c se determinan por la influencia de la corriente que circula en su respectiva fase y por los enlaces de flujo producidos por los imanes permanentes. Así se tiene que la matriz de enlaces de flujo adquiere la siguiente forma:

$$\Lambda = L_s I + \lambda_m \quad (10)$$

Con el desarrollo del generador de imanes permanentes en la figura 6.5 se muestra el modelo eléctrico del sistema eólico, estableciendo los componentes de análisis.

**Figura 6.5** Modelo Eléctrico del Aerogenerador

Fuente: [12]

El modelo eléctrico está compuesto por dos ecuaciones diferenciales básicas. La primera de ellas es la relación entre la tensión en las terminales de la bobina y la corriente en ella:

$$V = (-R * I) - \left( \frac{dL(\theta)}{dt} * I \right) - \left( L(\theta) * \frac{dI}{dt} \right) \quad (11)$$

La segunda es la relación del par en el eje y la variación magnética:

$$T_g = \frac{1}{2} * I^T * \frac{dL(\theta)}{dt} * I \quad (12)$$

En ambas ecuaciones se ve reflejada la dinámica de cualquier máquina eléctrica. Pero las inductancias mutuas y propias, dependen del ángulo girando el eje ( $\theta$ ), y este sufre una variación constante. La potencia eléctrica es:

$$P_E = N_e N_p P_{util} \quad (13)$$

Donde:

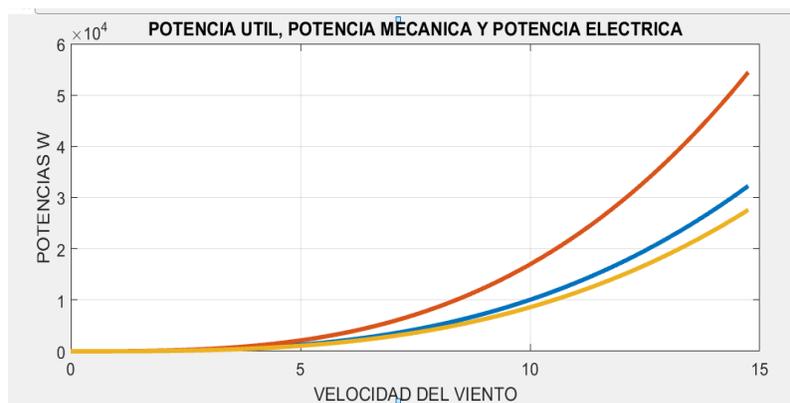
$N_e$  = Eficiencia eléctrica.

$N_p$  = Eficiencia mecánica.

$P_{util}$  = Potencia útil.

La potencia eléctrica se obtiene de la potencia útil del sistema eólico como se muestra en la figura 6.6 [13-14], teniendo la potencia eléctrica como:

$$P_E = \frac{1}{2} C_p \rho_a A V_w^3 N_e N_p \quad (14)$$

**Figura 6.6** Potencias del Aerogenerador

Fuente: Elaboración Propia

Se analiza la transformación de Park, la cual convierte las variables del estator trifásico en un nuevo marco de referencia que se mueve con el rotor, cuando la velocidad angular  $w$  es constante, podemos analizar estas ecuaciones al definir la matriz de transformación de Park considerando un estator no rotacional y un rotor rotacional T como:

$$T = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\text{sen } \theta & -\text{sen}(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\text{sen}(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Debido a que en coordenadas de fase presenta las inductancias que varían con respecto al ángulo  $\theta$ , que es el ángulo de referencia rotacional y este varía con respecto del tiempo, se utiliza la transformada de Park. En la transformación las inductancias se consideran constantes respecto al marco de referencia giratorio, donde la transformada está basada en la proyección de los valores de tensión y corriente de referencia en los ejes y transformándolos en un eje dinámico cuyo ángulo de referencia corresponde al ángulo de fase de las tensiones y corrientes [15].

De acuerdo a las características del sistema trifásico se tiene que el sistema esta equilibrado, que la suma de tensiones es cero, si el neutro está aislado, la suma de las corrientes es nula. Aplicando la transformación de Park a las matrices de voltajes, corrientes y flujos se tiene:

$$\begin{aligned} V_{qds}^r &= T V \\ i_{qds}^r &= T I \\ \Lambda_{qds}^r &= T \Lambda \end{aligned} \quad (16)$$

Con estas ecuaciones se determinan las ecuaciones diferenciales para  $i_{qds}^r$

$$\frac{di_{qs}^r}{dt} = -\frac{r_s}{L_{ls} + \frac{3}{2}L_m} i_{qs}^r + \frac{\lambda_m}{L_{ls} + \frac{3}{2}L_m} \omega - i_{ds}^r \omega_r \quad (17)$$

$$\frac{di_{ds}^r}{dt} = -\frac{r_s}{L_{ls} + \frac{3}{2}L_m} i_{ds}^r + i_{qs}^r \omega \quad (18)$$

Donde el marco de referencia debe sustituir la velocidad angular eléctrica  $w$ , por la velocidad angular del rotor  $w_{rm} = \frac{2}{p} w$ . La dinámica de esta ecuación considera la segunda ley de Newton a través de la ecuación diferencial:

$$\frac{dw_{rm}}{dt} = -\frac{3p\lambda_m}{4J} i_{qs}^r - \frac{B}{J} w_{rm} + \frac{T_{pm}}{J} \quad (19)$$

$$\frac{d\theta_{rm}}{dt} = w_{rm} \quad (20)$$

Donde:

$p$  Número de polos.

$B$  Coeficiente de fricción viscosa.

$w_{rm}$  Velocidad mecánica.

$\theta_{rm}$  Desplazamiento mecánico.

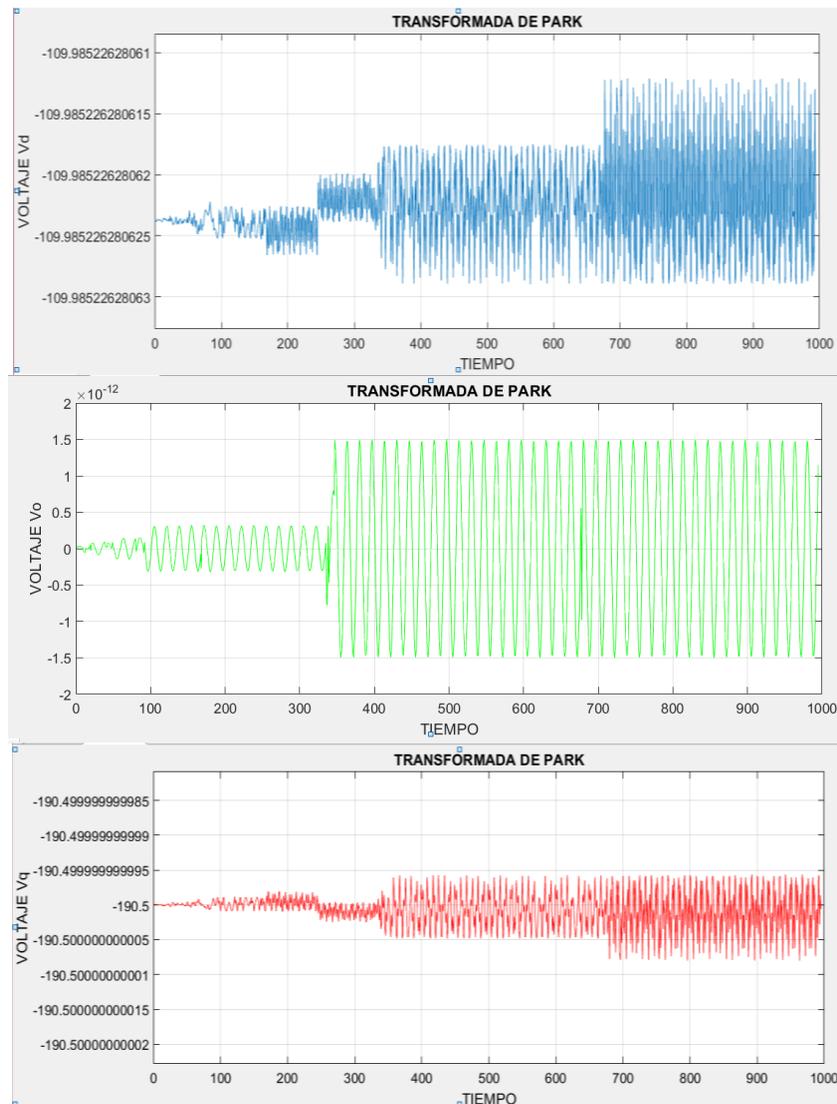
$T_{pm}$  Par generado en el motor.

El par producido por el Generador:

$$T_e = \frac{3p\lambda_m}{4J} i_{qs}^r \quad (21)$$

Por lo que las ecuaciones 17 a 20 conformaran el modelo dinámico del generador del aerogenerador y en la figura 6.7 muestra la transformada de Park para voltajes [13-14].

**Figura 6.7 Modelo Eléctrico del Aerogenerador**



Fuente: Elaboración Propia

Los sistemas aislados de generación de energía eléctrica a través de la eólica se utilizan para alimentar cargas específicas como puede ser una carga para el sector residencial o comercial, las cuales típicamente son de valores fijos considerando una carga principal de 25 kW. Dependiendo de la potencia que se genere y que se pueda transmitir en el sistema de engranajes, donde se presenta el valor máximo de potencia, de acuerdo a la velocidad y al torque donde a la salida es convertida a energía eléctrica, después de ser transformada en el medio de transmisión de potencia.

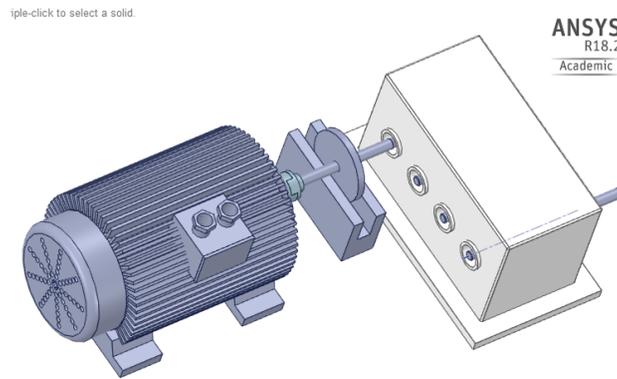
Las maquinas síncronas de imanes permanentes son empleadas en aplicaciones de baja potencia. Son ideales para aplicaciones donde se requiera alta relación de par e inercia, para conseguir equilibrio de aceleraciones, alta relación de potencia, peso y alto rendimiento.

## Resultados

La simulación permite predecir el comportamiento de sistemas, diseñar y operar los sistemas de ingeniería, donde se analiza el sistema eólico en sus condiciones de funcionamiento y se divide en varias etapas. Formulación de la simulación, Definición del sistema eólico, Modelado del Sistema, Desarrollo de la simulación, Verificación y Validación, Diseño de Prototipo y Ensayos.

Las ecuaciones del modelo del generador eléctrico pueden ser implementadas en una simulación que usa voltajes como entrada y corrientes como salida donde la simulación del sistema eléctrico se analice desde la parte mecánica, en la figura 6.8, se muestra la simulación del generador, donde se establecerán las variables dentro del programa, las entradas más importantes dentro del generador son los voltajes de fase abc del estator, y los parámetros a introducir, la excitación que proveen los imanes permanentes y el par mecánico aplicado al rotor.

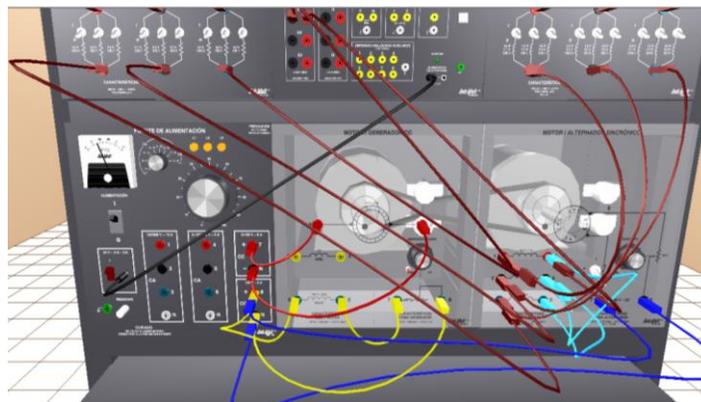
**Figura 6.8** Modelo Eléctrico del Aerogenerador



Fuente: Elaboración Propia

Para la realización de pruebas se desarrollaron análisis a través del simulador virtual Lab-Volt que es un laboratorio tridimensional, las características del generador alternador, jaula de ardilla o generador de imanes permanentes a considerar para el sistema eólico, el cual es alimentado en esta prueba por un dínamo de cuatro cuadrantes o fuente de alimentación, considerado como el simulador de la velocidad del viento en sus diferentes valores y estableciendo el comportamiento del sistema eléctrico dentro del sistema eólico, en la figura 6.9, se establece los elementos de prueba para conocer los parámetros eléctricos de voltaje, corriente y potencia para establecer en el sistema eólico, con estas simulaciones se pasó a las pruebas de funcionamiento, con equipo de laboratorio de potencia con el que se cuenta, para conocer el comportamiento eléctrico del sistema eólico.

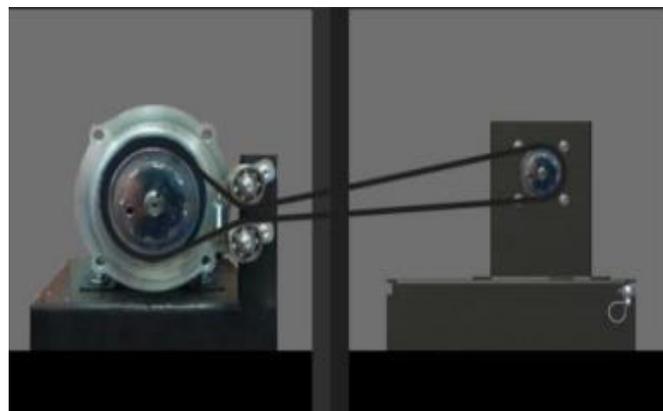
**Figura 6.9** Simulación LAB-VOLT del Generador Eléctrico para el Aerogenerador



Fuente: Elaboración Propia

Se establecen las pruebas de funcionamiento para un generador de imanes permanentes y observar el comportamiento del sistema, para lo cual se acopla el dínamo que establecerá el comportamiento simulado del viento y conectado el generador de imanes permanentes, como se muestra en la figura 6.10.

**Figura 6.10** Prueba de Funcionamiento del Generador Eléctrico para Aerogenerador



Fuente: Elaboración Propia

Con el equipo se establece la conexión y el funcionamiento de los componentes del sistema eólico para el generador eléctrico, en estas pruebas se determina el comportamiento de la corriente, el voltaje, la potencia y el torque eléctrico, estableciendo que se obtiene en la pantalla valores de velocidad y potencia eléctrica, que pueden ser variadas para el análisis desarrollado, como se muestra en la figura 6.11.

**Figura 6.11** Pruebas del Sistema Eléctrico del Aerogenerador



Fuente: Elaboración Propia

Además, con la simulación del convertidor de corriente se desarrolló la construcción del inversor de voltaje que utiliza circuitos electrónicos para hacer que el flujo de la corriente continua cambie de dirección de forma periódica haciéndola similar a la corriente alterna. El inversor además emplea una serie de filtros para hacer que estos cambios de dirección sean suaves y regulares de forma que la energía eléctrica resultante puede ser usada en la mayoría de dispositivos eléctricos, los componente para la obtención de valores de entrada de 12 volts, este valor será el que nos entregue el generador y salida del convertidor de 220 volts entre fases, los cuales alimentaran equipos para esta capacidad, en la figura 6.12 se muestra el sistema del convertidor con una salida de 220 volts entre fases y 127 volts para fase neutro.

**Figura 6.12** Modelo del Convertidor Eléctrico del Aerogenerador



Fuente: Elaboración Propia

## Conclusiones

La simulación del sistema eólico permite establecer los elementos de análisis en su parte mecánica para conocer las variables que serán importantes en la transformación de energía mecánica a energía eléctrica y las variables a considerar como son el voltaje, la corriente, la potencia y el flujo de energía.

El desarrollo del análisis eléctrico permite establecer los parámetros y las variables del sistema que se controlaran a través de un análisis de Park y el desarrollo del modelo eléctrico, siendo de suma importancia los elementos de diseño y la ingeniería para conocer todas las características que hacen funcionar, mover y estructurar al aerogenerador para la generación de energía eléctrica y su simulación. Los elementos eléctricos y el generador tendrán las simulaciones realizadas en Proteus y Lab-Volt para establecer las características del comportamiento del sistema y pasar a una etapa de prototipo.

Se analiza el comportamiento del equipo para que no ocurran fallas eléctricas que se contemplan en el proyecto y las alternativas de solución. Se establece el control comparando las respuestas en los diferentes casos y estableciendo que no existan cambios en la velocidad angular, dando como resultado el controlar la potencia eléctrica.

Con la realización de programas y de la simulación obtenemos el comportamiento del sistema eólico, logrando los argumentos para el correcto funcionamiento del aerogenerador mostrado. El proyecto establece, desarrolla y muestra la importancia del diseño, la simulación y el control dentro de la ingeniería para los sistemas eólicos, por lo que los resultados obtenidos demuestran el funcionamiento y la operación del aerogenerador.

## Referencias

- [1]. Raúl Garduño Ramírez, Marino Sánchez Parra, Roberto Hernández González, Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica de Sistema del Control de Aerogeneradores, Boletín IIE, Abril – Junio -2012.
- [2]. Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett. Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley, Ed. Mc Graw Hill, Novena Edición.
- [3] Ferdinand P. Beer, E Russell Johnston, Jr. Mecánica de Materiales, Tercera edición, Mc Grall Hill, 2004.
- [4] Ferdinand P. Beer, E Russell Johnston, Jr. Mecánica Vectorial para Ingenieros, Octava edición, Mc Grall Hill, 2007.
- [5] Hamilton H. Mabie, Charles F. Reinholtz, Mecanismos y Dinámica de Maquinaria, editorial Limusa Wiley, segunda edición.
- [6]. William H. Hayt, Jr., Jack E. Kemmerly, Análisis de Circuitos en Ingeniería, cuarta edición, Mc Gral Hill.
- [7]. Julio Usaola García, Ma. Ángeles Moreno López de Saá, Circuitos Eléctricos, Ed. Prentice Hall, 2003.
- [8]. Ansys, Inc. Manual ANSYS 18.2, 2017.
- [9]. Ansys, Inc. ANSYS FLUENT USER’S GUIDE, Release 13.0, November 2010.
- [10]. Ing. Gilberto Enríquez Harper, Generadores, Transformadores y Motores Eléctricos, Ed. Limusa 2004.
- [11]. Villanueva López, Miguel, Ingeniería de la Energía Eólica, Alfa Omega 2012.
- [12]. German Tojeiro Calaza, Proteus, Simulación de Circuitos Electrónicos y Microcontroladores. Ed. Marcobo, 2008.
- [13]. William Bolton, Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico en la ingeniería Mecánica y Eléctrica, editorial Alfaomega, quinta edición, 2013
- [14]. Amos Gilat, MATLAB. Ed. Reverte, 2005.
- [15]. Enrique Pino Bermudes, Fernando Matía Espada, Fundamentos de Control con MATLAB. Ed. Pearson, 2012.
- [16]. José Manuel Aller, Maquinas Síncronas, Universidad Politécnica Saleciana, 2014.

## Capítulo 7 Estudio del potencial de generación de metano empleando diferentes materias orgánicas de desecho

### Chapter 7 Study of the potential for methane generation employing different organic waste materials

HERNÁNDEZ-GÓMEZ, Víctor†, OLVERA-GARCÍA, Omar, GONZALEZ-AGUIRRE, Jesus y GONZALEZ-MAYA, Luis

*Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Estado de México, México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Víctor, Hernández-Gómez* / **ORC ID:** 0000-0001-9315-5869, **Researcher ID Thomson:** S-6575-2018, **CVU CONACYT-ID:** 122247

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Omar, Olvera-García* / **ORC ID:** 0000-0001-6386-9772, **Researcher ID Thomson:** S-6644-2018, **CVU CONACYT-ID:** 706478

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Jesus, Gonzalez-Aguirre* / **ORC ID:** 0000-0003-3325-6005, **Researcher ID Thomson:** S-6756-2018, **CVU CONACYT-ID:** 947506

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Luis, Gonzalez-Maya* / **ORC ID:** 0000-0002-0005-2017, **Researcher ID Thomson:** S-6755-2018, **CVU CONACYT-ID:** 947203

V. Hernandez, O. Olvera, J. Gonzalez y L. Gonzalez

vichugo@unam.mx

A. Marroquín, H. Corres y L. Carpio. (Dir.) Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2018.

## Abstract

This paper contributes to the study of biogas production using different types of organic matter have in the Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. They were manufactured and orchestrated 12 biodigesters the Batch type with capacity of 33 lt each, for a comparison of biogas generation with different types of organic matter at different dilutions and know which features the production of higher biogas, with the highest concentration methane. Two tests were conducted, the first to select the type of organic matter and the second to quantify the production of biogas. The second test lasted 96 days using 12 biodigesters simultaneously with 5 different types of organic matter. pressure, temperature, and pH tests were taken with a gas analyzer to determine the concentration of methane. It was found that the cow dung produces the most biogas, but rabbit droppings produced the highest percentage of methane (above 70%). Some organic materials like pruning grass and food waste were influenced by a very acidic pH that completely inhibited the process of anaerobic fermentation, and some other temperature decreased drastically causing biogas production decrease.

## Biogás, Metano, Biodigestor, Composta, Excremento

### 1 Introducción

La producción de desechos domésticos es una variable que depende básicamente del tamaño de la población y de sus características socioeconómicas y varía de una población a otra, de acuerdo principalmente a su grado de urbanización, su densidad poblacional y su nivel de consumo o nivel socioeconómico. Según el análisis sectorial de desechos sólidos en la Zona Metropolitana del Valle de México [1], aproximadamente el 53% de los desechos generados pueden emplearse para la producción de biogás en México y la SEDESOL reporta 25,000 ton/día que se depositan en tiraderos a cielo abierto, barrancas o bien, en cualquier otro sitio sin control (incluye sitios clandestinos). Los desechos que generan mayor cantidad de metano son los de alcantarilla seguido de los desechos de animales y por último el de poda de pasto y residuos de alimentos. La selección del tipo de desecho depende de la disponibilidad del mismo, por ejemplo, de los residuos domésticos, de la granja o cultivo.

De acuerdo con el Balance Nacional de Energía 2016 [2], en México el 8.4% de la generación de energía es por fuentes renovables, de los cuales el 4.7% es generada por biomasa y biogás. Se estima que para el año 2030 se puede tener un potencial de generación de energía de hasta 277 mil MW de los cuales se espera que el 43.13% corresponda a la utilización de biogás. En la tabla 7.1 se presenta la capacidad y potencial generación de energía a través de fuentes renovables en México. En 2012 el país contaba con 253 centrales en operación y construcción para la generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables; Oaxaca y Veracruz son los estados con mayor número de proyectos eólicos y de biomasa, respectivamente. Se han aprobado permisos para la generación de 5,011.70 MW de energía eléctrica a través de fuentes renovables, de los cuales el 15% corresponde a la generación de biogás.

En el caso particular de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, dentro de las 15 carreras que se imparten, están la de Médico Veterinario Zootecnista y la de Ingeniero Agrícola. Para cubrir las actividades académicas de estos alumnos, la FESC cuenta con grandes áreas compuestas por establos, corrales, invernaderos, tierras para cultivo (maíz, alfalfa, sorgo, cebolla, vides y nopal), etc.

**Tabla 7.1** Producción de energía primaria por fuentes renovables

Energía	Producción de energía (PetaJoules)
Hidráulica	110.51
Eólica	37.36
Geotérmico	132.59
Biomasa	361.70
Biogás	1.91
Solar	11.19

Fuente: Balance Nacional de energía 2016. Secretaría de energía

Los desechos orgánicos producto de los animales, así como de las actividades de cultivo, son depositados a cielo abierto, como se observa en la figura 7.1, provocando que, al descomponerse, liberen el biogás a la atmosfera. Se pueden aprovechar estos desechos orgánicos para obtener biogás (metano) que puede ser suministrado a los laboratorios o que permita calentar agua para diferentes usos por ejemplo regaderas del gimnasio y para limpieza en los comedores. En general se pueden aprovechar los desechos presentados en la tabla 7.2.

**Figura 7.1** Clasificación de los desechos orgánicos encontrados en la FESC



Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 7.2** Clasificación de los desechos orgánicos encontrados en la FESC

Origen del desecho	Tipo de desecho
Animal	Estiércol de ganado vacuno (vaca y toro)
	Estiércol de ganado ovino y caprino (borrego, cabras y chivos)
	Estiércol de ganado equino (caballo, mula, burro y poni)
Agrícolas	Poda de pasto y arboles
	Residuos de cosechas
Cocina	Residuos de comedores
	Residuos de la fabricación de alimentos

Fuente: Elaboración Propia

## 2 Antecedentes

El primer uso de biogás fue para el calentamiento del agua de los baños públicos en Asiria, en el siglo X a.C. La primera anotación científica sobre el biogás se atribuye a Jan Baptista Van Helmont, en la primera mitad del siglo XVII (1630), quién determinó que de la descomposición de la materia orgánica se obtenían unos gases que eran inflamables. En la actualidad, se han realizado estudios para observar el comportamiento de la generación de biogás bajo distintas características como:

Amarely Santana y B. Pound [3] observaron que la variación en la alimentación de dos novillos (hierba/melaza o caña de azúcar picada) puede influenciar en la generación de metano. Encontraron que la dieta a base de melaza/hierba produce mayor cantidad de metano y sugieren que esto es debido a que se tiene una mayor relación carbono - nitrógeno que la dieta a base de caña de azúcar.

San Thy y et al [4] observaron la producción de biogás, mediante la descomposición de materia fecal de cerdo, con tiempos de retención de 10, 20 o 30 días en biodigestores continuos de 510 litros. En el primer experimento, la cantidad de materia fecal fue de 5.1 kg/día, mezclado con 46, 20 o 12 litros de agua con tiempos de retención de 10, 20 o 30 días respectivamente. En un segundo experimento las proporciones de materia fecal y agua se mantuvieron constantes para dar un contenido de sólidos totales de 60 g/litro. Obtuvieron una producción de 1.04, 1.20 y 1.12 m<sup>3</sup> de biogás por un m<sup>3</sup> de efluente y que el tiempo de retención óptimo está entre 10 y 20 días.

Chae y et al [5] observaron el comportamiento de la generación de biogás al variar la temperatura del estiércol de cerdo en el proceso de degradación. Tomaron valores de 25 °C, 30 °C y 35 °C con cuatro cargas de alimentación al 5 %, 10 %, 20 % y 40 %. Observaron una reducción en la concentración de metano del 3% entre el de la temperatura de 35°C y la de 30°C y una diferencia del 17.4% entre la de 35°C y el de 25°C. Obtuvieron valores de 327, 389 y 403 ml de CH<sub>4</sub>/g de sustrato respectivamente.

Stephanie y et al [6] al estudiar siete biodigestores de bajo costo en Costa Rica empleando como sustrato al agua residual de los animales, encontraron que se podía obtener biogás con una concentración del 66% de metano mejorando la calidad de las aguas residuales para ganado.

Atem y et al [7] llenaron 20 biodigestores discontinuos de PET con capacidad de 4 litros con residuos de tomate de la industria local y fluido ruminal como inóculo. Después de mantener la temperatura constante durante 118 días inició la medición del biogás generado durante otros 34 días obteniendo  $0.10 \text{ m}^3$  de biogás por kg con un 50% de metano.

Ivet Ferrer y et al [8] estudiaron la producción de biogás en digestores domésticos ubicados a gran altura, operando bajo condiciones psicrófilas. Utilizaron un volumen útil de estiércol de vaca entre  $2.4 \text{ m}^3$  y  $7.5 \text{ m}^3$  en pruebas de 60 y 90 días. Obtuvieron temperaturas entre  $20^\circ\text{C}$  y  $25^\circ\text{C}$  y una producción de  $0.35 \text{ m}^3$  por kg, con una concentración del 65% de  $\text{CH}_4$ .

Sung-Mok y et al [9] encontraron que se incrementaba la generación de biogás, a partir de la fermentación de Laminaria japónica, al emplear un cultivo mixto de *Clostridium butyricum* y *Erwinia tasmaniensis*, llegando a tener niveles de hidrógeno y metano de 327,47% y 354,99% respectivamente.

M.S. Ak y et al [10] realizaron un estudio en el cual duplicaron la producción de biogás que se genera por la degradación del lodo activado producido durante el tratamiento biológico de residuos líquidos y sólidos, empleando al ozono ( $1.33 \text{ mg O}_3/\text{g}$ ).

González y et al [11] realizaron un estudio para determinar la capacidad de una planta de generación de energía eléctrica empleando metano generado por la degradación de residuos de cerdo y una planta fotovoltaica. Realizaron experimentos con tres biodigestores continuos alimentándolos con 150, 200 y 250 ml de sustrato al día, durante 40, 30 y 24 días respectivamente. Encontraron una producción máxima de  $22.53 \text{ m}^3$  de biogás por un  $\text{m}^3$  de sustrato, con un contenido de metano del 75%.

Hernández y et al [12] determinaron el potencial de generación de biogás de un rancho ganadero en la comunidad de San Bartolo Cuautlalpan y se da una propuesta para la generación de energía eléctrica.

Hernández y et al [13] presentan el diseño de dos biodigestores para la FES Cuautitlán, empleando los resultados obtenidos al realizar pruebas experimentales con estiércol de vaca y conejo.

### 3 Estudio Experimental

El proyecto consiste en comparar los diferentes tipos de materia orgánica que se encuentran en la FESC a diferentes grados de dilución, para conocer cual presenta la mayor producción de biogás, con la concentración más alta de metano. Para realizar el proyecto se emplearon 12 biodigestores del tipo Batch con capacidad de 33 litros cada uno. Se realizaron dos pruebas, la primera fue de 84 días y la segunda de 96 días, que fue el tiempo en el que el sustrato redujo considerablemente la producción de biogás. En ambas pruebas se trabajó con cinco diferentes tipos de materia orgánica, durante ellas se tomaron lecturas de presión, temperatura, pH y porcentaje de metano. Cada biodigestor se llenó en una sola ocasión y no se contó con agitador, por lo cual el sustrato quedó estático.

Para la lectura de las variables del proceso se emplearon los siguientes equipos: para la presión se emplearon dos manómetros, uno de baja presión (menor a 2 psi) y otro hasta 14 psi; La temperatura fue recabada mediante termopares conectados a termómetros digitales, ambas lecturas se realizaban simultáneamente y en promedio cuatro lecturas diarias, de lunes a viernes, durante el tiempo que duraron las pruebas experimentales. El biodigestor cuenta con una válvula de drenado que permite la extracción de una muestra del sustrato con el cual se midió el pH mediante tiras reactivas de tornasol, una toma al inicio de cada prueba y el resto una vez por semana. Mediante el analizador de gases marca MADUR, con sensores NDIR y electrolíticos, se realizaron mediciones de metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y oxígeno ( $\text{O}_2$ ) del biogás generado dentro de los biodigestores, posteriormente se calculó los litros de metano generados. Las pruebas se realizaron cuando alcanzaban una presión mayor a 6 psi. En la figura 7.2 se muestra el proceso de medición de metano a uno de los biodigestores.

La primera prueba experimental se realizó en el periodo comprendido entre el 14 de agosto hasta el 6 de noviembre de 2013, dando un total de 84 días. Debido a que en esta prueba las muestras de poda de pastos y los desechos de comida no generaron metano suficiente, se decidió que, en la segunda prueba experimental, se cambiaran por excremento de caballo y cabra. Por otro lado, se modificaron las proporciones del sustrato con la finalidad de que se tuvieran mezclas más líquidas. Las proporciones utilizadas para cada una de las muestras, así como el número de biodigestor empleado, se presentan en la tabla 7.3.

**Figura 7.2** Pruebas realizadas con el analizador de gases



Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 7.3** Proporciones de materia orgánica y agua (sustrato) para la primera prueba

Materia Orgánica	Proporción 1 (Materia Orgánica y Agua)	Proporción 2 (Materia Orgánica y Agua)	Proporción 3 (Materia Orgánica y Agua)
Poda de pastos	1:1 Biodigestor 2	2:1 Biodigestor 3	-
Excremento de Conejo	1:1 Biodigestor 10	2:1 Biodigestor 11	-
Excremento de Borrego	1:1 Biodigestor 12	2:1 Biodigestor 1	-
Excremento de Vaca	1:1 Biodigestor 7	2:1 Biodigestor 8	3:1 Biodigestor 9
Desechos de Comida	1:1 Biodigestor 4	2:1 Biodigestor 5	3:1 Biodigestor 6

Fuente: Elaboración Propia

La segunda prueba fue realizada entre el 21 de noviembre de 2013 hasta el 25 de febrero de 2014, contabilizando un total de 96 días. La toma de lecturas para el pH se mantuvo igual a la prueba anterior, pero las lecturas de presión y temperatura fueron de dos por día, por cinco días a la semana. Las pruebas con el analizador de gases fueron una vez a la semana para permitir tener una visualización más detallada del cambio en el porcentaje de metano conforme avanza el tiempo. Los sustratos empleados para la segunda prueba se presentan en la tabla 7.4. Debido a que el proyecto consideraba sólo la producción de metano, no se realizaron pruebas a los residuos de los biodigestores.

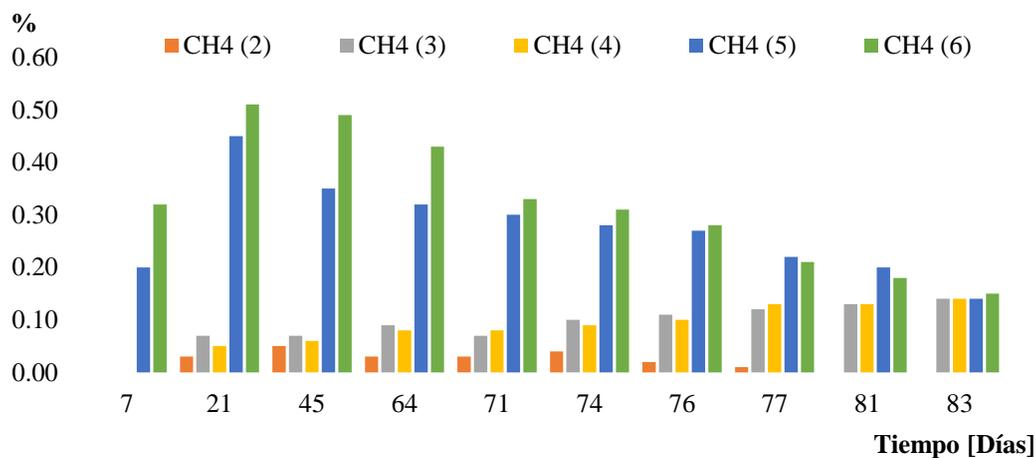
#### 4 Resultados y discusión

En el gráfico 7.1 se muestra el porcentaje de metano del biogás generado durante los 84 días para los biodigestores 2, 3, 4, 5 y 6 de la primera prueba. El porcentaje de metano (CH<sub>4</sub>) máximo fue el del biodigestor 6 que contenía desechos de comida a proporción de 3:1, que fue de apenas 0.5%, pero el porcentaje de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente en los biodigestores 2 a 6, fue mayor al 50%, el resto fue de oxígeno y otros gases que no pueden ser detectados por el analizador, el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) para estos 5 biodigestores estuvo entre 5 y 400 ppm, denotando que en todos los biodigestores el ácido sulfhídrico es alto durante los primeros días de fermentación anaeróbica y va descendiendo conforme avanza el proceso.

**Tabla 7.4** Proporciones de materia orgánica y agua para la segunda prueba

Materia Orgánica	Proporción 1 (Materia Orgánica y Agua)	Proporción 2 (Materia Orgánica y Agua)	Proporción 3 (Materia Orgánica y Agua)
Excremento de caballo	1:1 Biodigestor 1	1:2 Biodigestor 2	-
Excremento de cabra	1:1 Biodigestor 3	1:2 Biodigestor 4	-
Excremento de conejo	1:1 Biodigestor 10	1:2 Biodigestor 11	1:3 Biodigestor 12
Excremento de borrego	1:1 Biodigestor 5	1:2 Biodigestor 6	-
Excremento de vaca	1:1 Biodigestor 7	1:2 Biodigestor 8	1:3 Biodigestor 9

Fuente: Elaboración Propia

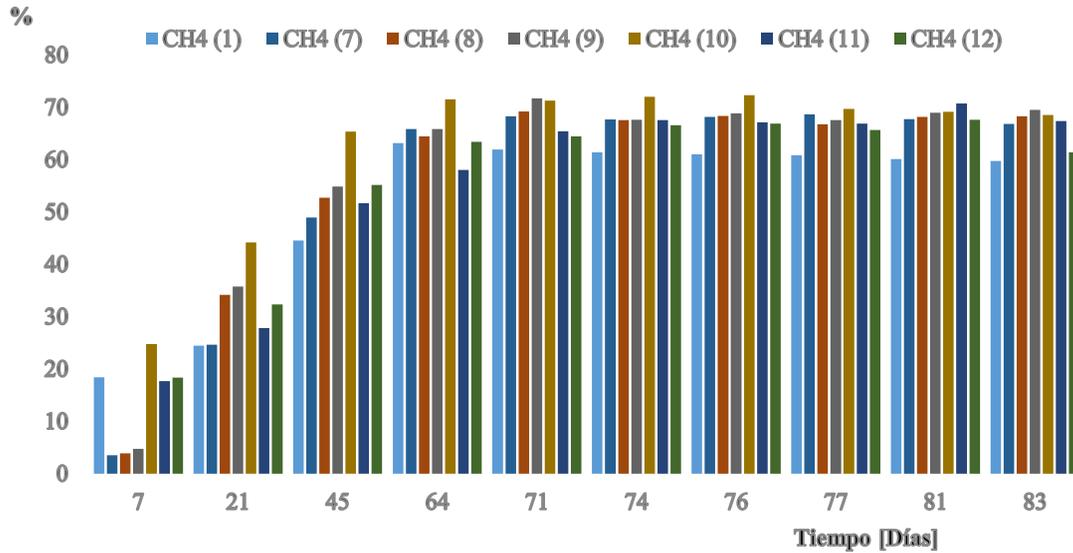
**Gráfico 7.1** Porcentaje de metano para la poda de pastos y los desechos de comida

Fuente: Elaboración Propia

El gráfico 7.2 muestra la variación del porcentaje de metano para los biodigestores que durante la primera prueba emplearon excrementos (biodigestores 1, 7-12) de animales, estos muestran un porcentaje de metano excelente pasados los 60 días, teniendo valores entre el 60% y 72%, el biodigestor que alcanzó el porcentaje más alto de metano fue el número 10 con excremento de conejo a proporción de 1:1, con un 72% de metano, y a partir del día 60 su porcentaje mínimo fue de 68%, el biodigestor 11 que al igual que el biodigestor 10, contenía excremento de conejo y el biodigestor 9 que contenía excremento de vaca en proporción de 3:1, también presentaron un porcentaje de metano entre 65% y 71%, los biodigestores 7 y 8 con excremento de vaca a proporciones de 1:1 y 2:1 respectivamente presentaron un menor porcentaje de metano, denotando que para este tipo de materia orgánica, entre más excremento se agregue a la mezcla el porcentaje es ligeramente mayor comparada con uno que contenga menos excremento de vaca.

De entre todos los excrementos el que más bajo porcentaje de metano generó fueron los biodigestores 12 y 1 con excremento de borrego, de estos el que tuvo el porcentaje más alto fue el biodigestor 12 con 67% y después del día 60 no descendió del 61% y el biodigestor 1 osciló entre el 60% y 63%.

En cuanto a la segunda prueba, las temperaturas tuvieron un comportamiento muy similar a lo observado en la primera prueba, es decir, la temperatura ambiente fue superior a los demás biodigestores entre 1.5 y 2°C, aunque algunos biodigestores en algún momento tuvieron una temperatura superior a la de ambiente, se considera que pudo ser a que las pruebas de pH se realizaron al aire libre y se encontraban expuestos a la radiación solar, teniendo una temperatura ambiente máxima de 25°C y la mínima de 15.4°C, a comparación con la primera prueba que tuvo una mínima de 18°C, la temperatura se mantuvo estable en los primeros 20 días, pero decayó y se mantuvo baja hasta los 60 días, a partir de aquí y hasta el final de la segunda prueba la temperatura ascendió.

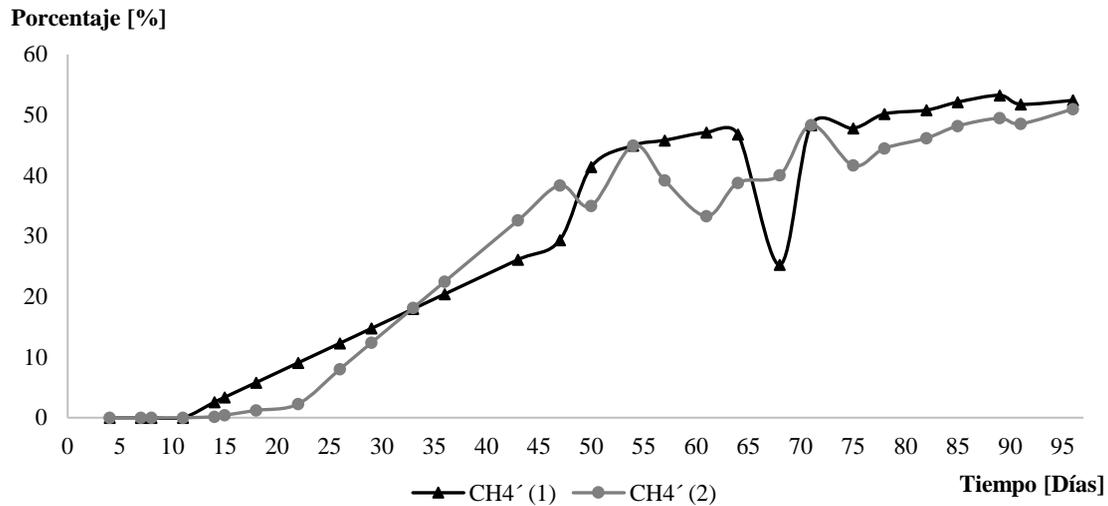
**Gráfico 7.2** Porcentaje de metano producido por los excrementos de animales

Fuente: Elaboración Propia

Las temperaturas para el biodigestor 1 fueron de 26.5 y 14.9°C, en el biodigestor 2 fueron de 24.7 y 14.7°C, para el biodigestor 3 de 24.5 y 24.9°C, en el biodigestor 4 fueron de 24.2 y 14.9°C, en el biodigestor 5 de 23.6 y 13.9°C y para el biodigestor 6 fueron 24 y 13.8°C, máxima y mínima respectivamente. Las más bajas temperaturas se presentaron un poco antes de la mitad de la prueba, percibiendo que en la mayoría de biodigestores se presentara una disminución en la producción de biogás. Las temperaturas máximas para los biodigestores 7 al 12 fueron 23.6°C, 25.1°C, 23.6°C, 25.8°C, 24.5°C y 24.9°C respectivamente, las temperaturas mínimas para estos 6 biodigestores comenzado con el numero 7 hasta el 12 son de: 13.6°C, 14.9°C, 14.7°C, 15°C, 14.8°C y 14.2°C respectivamente. Se observó que los doce biodigestores tuvieron temperaturas relativamente similares, donde en base a la primera y segunda prueba se puede considerar que la relación entre materia orgánica:agua no tiene una relación directa con la temperatura, notando que la única que influye sobre la temperatura de la mezcla, es la temperatura ambiente en todo momento, dado que si la temperatura ambiente sube la temperatura interior también ascenderá y viceversa si la temperatura ambiente cae.

En cuanto al pH se observó, que al igual que en la primera prueba existe una ligera acidificación de las mezclas con forme avanza el proceso, aunque en la segunda prueba para la mayoría no fue tan significativo como en la prueba anterior. El pH máximo fue de 8.0 y lo tuvieron los biodigestores 4 y 6 con excremento de cabra y borrego, respectivamente, para ambos fue con su pH inicial; el pH mínimo fue de 5.5 atribuido a los biodigestores 2, 4 y 7, con excrementos de caballo, cabra y vaca, respectivamente, este valor lo alcanzaron a los 55 días de transcurrida la prueba, después de esto el pH ascendió ligeramente para mantenerse entre 6 y 6.5, este es el valor de pH promedio para la mayoría de los biodigestores.

En el gráfico 7.3 se muestra la variación de metano (CH<sub>4</sub>) para los biodigestores 1 y 2 con excremento de caballo, en donde se observa que el biogás generado en ambos biodigestores fue lineal en los primeros 45 días, para el biodigestor 2, en los días 50, 61 y 75 se presentan bajas en la concentración de metano, debido a la entrada de oxígeno al biodigestor por las pruebas realizadas con el analizador.

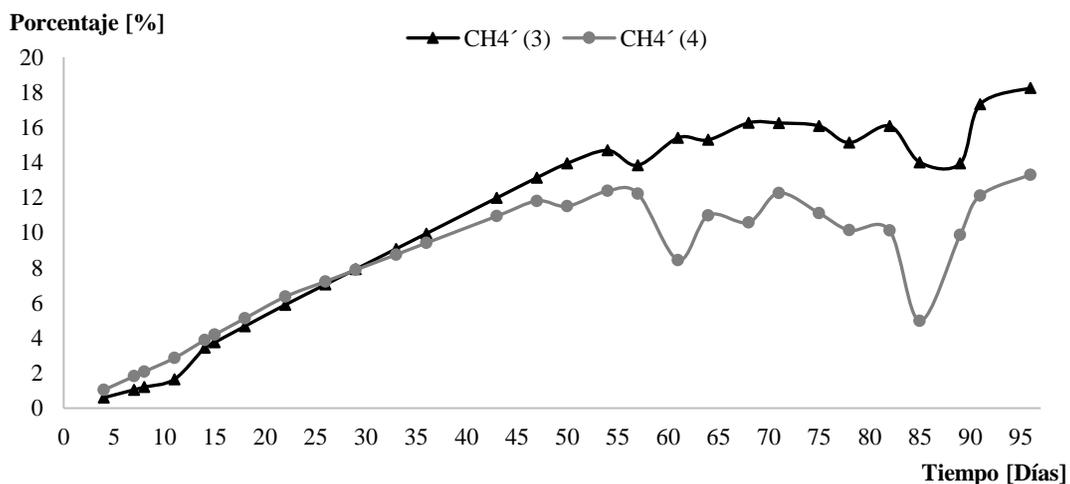
**Gráfico 7.3** Porcentaje de metano para los excrementos de caballo

Fuente: Elaboración Propia

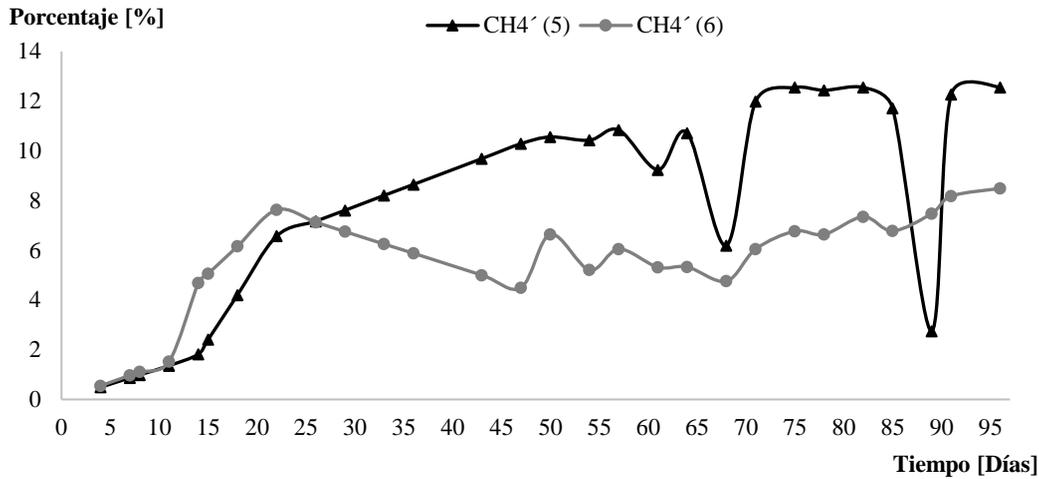
El biodigestor 1 también presenta una disminución considerable en la concentración de metano en el día 68, también causada por la presencia de oxígeno dentro del biodigestor. Los valores máximos de metano son 53.25% para el biodigestor 1 y 50.99% para el biodigestor 2, a pesar de su bajo incremento de presión, su porcentaje de metano en el biogás generado es alto, aunque aún debajo del promedio de contenido de metano presente en el biogás que es entre 60 y 70%.

En el gráfico 7.4, se presenta el porcentaje de metano para los biodigestores con excretas de cabra, en donde se aprecia que el porcentaje de metano del biogás generado es muy bajo teniendo como máximo 18.25% para el biodigestor 3 y 13.30% en el biodigestor 4. Al igual que en los biodigestores 1 y 2 con excretas de caballo, se presentan caídas en el porcentaje de metano debido al ingreso de oxígeno en el recipiente durante las pruebas con el analizador de gases. La baja producción de metano indica una inhibición del proceso durante la etapa metanogénica, dada las bajas condiciones de temperatura. Para estas dos mezclas la proporción 1:1 presentó un mejor porcentaje de metano que la mezcla 1:2, aunque muy por debajo de lo que se esperaría.

En el gráfico 7.5 se muestra el porcentaje de metano para los excrementos de borrego, se obtuvo una muy baja concentración de metano en ambos biodigestores alcanzando apenas máximos de 12.56% y 8.49% para los biodigestores 5 y 6 respectivamente, como se aprecia también existen caídas en el porcentaje de metano en ambos biodigestores por la presencia de oxígeno dentro de estos.

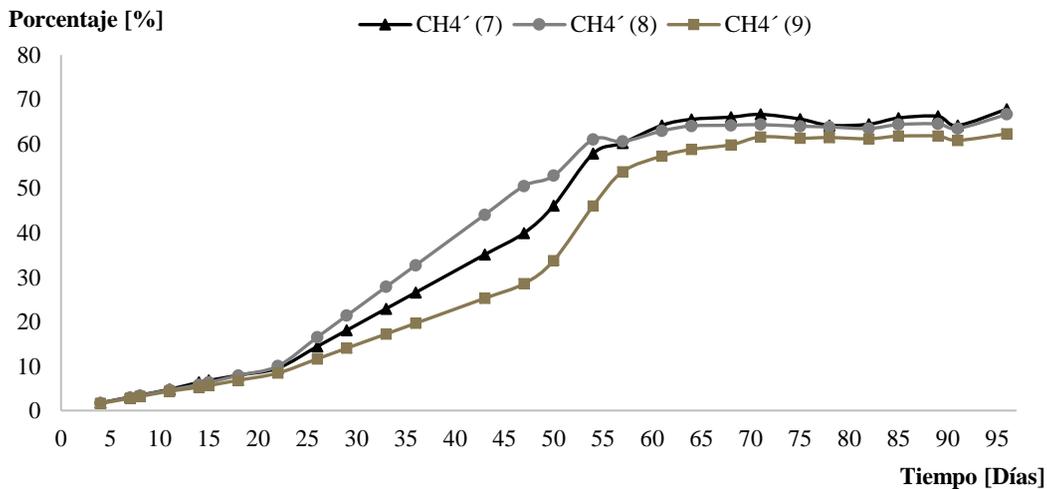
**Gráfico 7.4** Porcentaje de metano para los excrementos de cabra

Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico 7.5** Porcentaje de metano para los excrementos de borrego

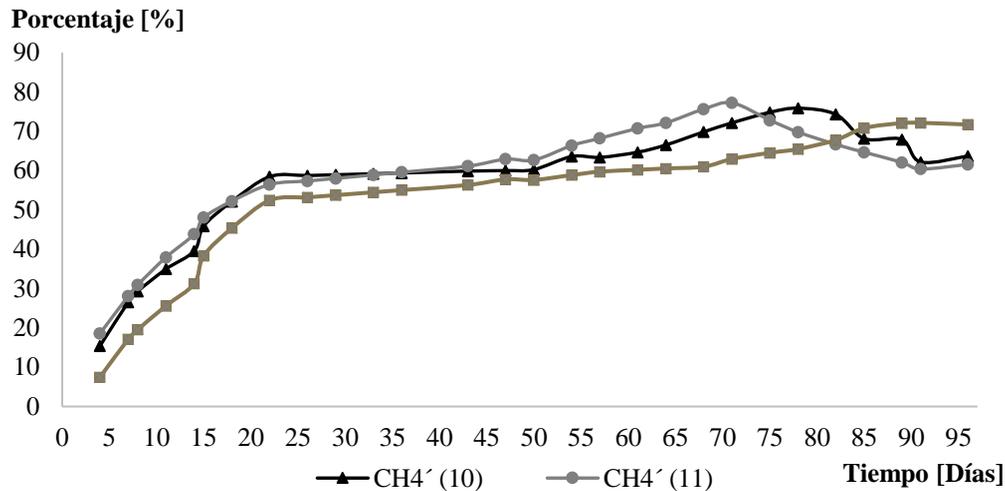
Fuente: Elaboración Propia

Los biodigestores 7, 8 y 9 con mezclas 1:1, 1:2 y 1:3 respectivamente, todos con excremento de ganado vacuno, presentan un excelente porcentaje de metano que se estabiliza a partir de los 60 días y hasta el final de la prueba, como se observa en el gráfico 7.6, los tres presentan un porcentaje máximo mayor al 60%, el biodigestor 7 presentó un porcentaje máximo de metano de 67.85%, en el biodigestor 8 fue de 66.66% y para el biodigestor 9 fue de 62.29%. El biodigestor 7 es el que presenta el porcentaje más alto de las tres mezclas, si comparamos el porcentaje de metano del biodigestor 7 en la primera prueba con el de la segunda prueba, ambos con excremento de vaca en proporción 1:1, observamos que el porcentaje en la segunda prueba es mayor, lo que indica que a menor temperatura se tiene un ligero aumento en el porcentaje de metano generado dentro del biogás.

**Gráfico 7.6** Porcentaje de metano para los excrementos de vaca

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 7.7, se observa la variación del porcentaje de metano para los tres biodigestores con excremento de conejo. Los tres alcanzaron más del 50% pasados los 20 días y los biodigestores 10 y 11 superaron el 60% a partir de los 40 días, el biodigestor 12 superó el 60% pasados los 60 días, los valores máximos alcanzados durante esta segunda prueba fueron de 75.87% en el biodigestor 10, 77.22% para el biodigestor 11 y 72.15% para el biodigestor 12. El biodigestor 10 alcanzó su máximo a los 70 días, y el biodigestor 11 lo alcanzó a los 78 días, para posteriormente comenzar a decaer hasta el final de la prueba. El biodigestor 11 con mezcla 1:2 tuvo el porcentaje más alto de entre todos los biodigestores, incluyendo los de la primera prueba.

**Gráfico 7.7** Porcentaje de metano para los excrementos de conejo

Fuente: Elaboración Propia

Comparando el porcentaje de metano presente en el biogás generado en el biodigestor 10 de la primera (72%) y segunda prueba (75.87%), ambos con excremento de conejo a proporción 1:1, se observa que el porcentaje de metano fue mayor en la segunda prueba, probablemente esto se deba a una menor temperatura en la primera prueba. De las dos pruebas experimentales realizadas durante la elaboración de este proyecto, se puede destacar que los excrementos de conejo otorgan una excelente producción de biogás con excelente porcentaje de metano, superando el 70%.

Los excrementos de vaca también tienen una buena producción de biogás en todas las mezclas. La producción de biogás está en función de la cantidad de materia orgánica introducida en el reactor, es decir, un biodigestor que contenga mayor cantidad de materia orgánica que otro, obtendrá una mayor cantidad de biogás que otro con menor contenido de materia orgánica, a pesar de esto las mezclas con mayor dilución deben presentar una mayor productividad al obtenerse de ellas una mayor cantidad de biogás por kg de estiércol.

Las temperaturas en ambas pruebas presentan un comportamiento en función a la temperatura ambiente y no existen diferencias considerables entre mezcla y tipos de materia orgánica, denotando que a mayor temperatura el proceso es más rápido en comparación con menores temperaturas, también analizando los biodigestores 7 y 10 en ambas pruebas, se observó que a menor temperatura el porcentaje de metano tiende a ser ligeramente mayor, a pesar de esto, el tiempo de degradación se alarga y la producción de biogás es menor a bajas temperaturas. Con los resultados obtenidos en la segunda prueba de masa del sustrato, masa volátil, masa seca y volumen de biogás generado, se estimó la producción de litros de biogás por kilogramo de estiércol empleado, así como el porcentaje máximo de metano obtenido. Estos resultados se presentan en la tabla 7.5.

**Tabla 7.5** Producción de litros de biogás por kilogramo de masa volátil y por kilogramo de estiércol al día de los doce biodigestores

No. De Biodigestor	Tipo de estiércol y proporción materia orgánica agua	Kg de estiércol dentro de cada biodigestor	Kg de MV dentro de cada biodigestor	Litros de biogás al día por Kg de MV	Litros de biogás al día por Kg de estiércol	Porcentaje Máximo de CH <sub>4</sub> alcanzado durante los 96 días
1	Caballo a 1:1	4.000	0.688	0.327	0.056	53.250
2	Caballo 1:2	2.667	0.459	0.774	0.133	50.990
3	Cabra a 1:1	4.000	0.619	0.290	0.045	18.250
4	Cabra a 1:2	2.667	0.413	0.724	0.112	13.300
5	Borrego a 1:1	4.000	0.550	0.371	0.051	12.560
6	Borrego a 1:2	2.667	0.367	0.263	0.036	8.490
7	Vaca a 1:1	4.970	1.031	1.078	0.224	67.850
8	Vaca a 1:2	3.313	0.688	0.809	0.168	66.660
9	Vaca a 1:3	2.485	0.516	1.254	0.260	62.290
10	Conejo a 1:1	3.750	1.126	1.576	0.473	75.870
11	Conejo a 1:2	2.500	0.750	2.044	0.614	77.220
12	Conejo a 1:3	1.875	0.563	2.358	0.708	72.150

Fuente: Elaboración Propia

En base a la información obtenida durante este proyecto, se puede indicar el posible ahorro energético que se puede obtener, el cual es de aproximadamente 0.125 kWhr/kg de excremento de vaca y de 0.351 kWhr/kg de excremento de conejo, lo que representaría que se dejan de emitir 0.084 kg de CO<sub>2</sub>/kg de excremento de vaca y 0.234 kg de CO<sub>2</sub>/kg de excremento de conejo.

## 5 Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Nacional Autónoma de México, por el apoyo recibido para la realización del proyecto de investigación, a través de los programas: UNAM-DGAPA-PAPIIT-IT104212-2, UNAM-DGAPA-PAPIME-PE101912 y UNAM-DGAPA-PAPIME-PE101218

## 6 Conclusiones

Antes del inicio de las pruebas se esperaba que el excremento de vaca fuera el que produjera una mayor cantidad de biogás, debido a que tiene una relación C/N cercana al valor ideal y que el excremento de ganado vacuno es rico en elementos como calcio, magnesio y fósforo, en cambio se comprobó que las excretas de conejo pese a su baja relación C/N presentan un mejor rendimiento que el excremento de vaca. También se observó mediante la experimentación que tanto la temperatura como el pH tienen una gran relevancia durante la descomposición de los residuos pudiendo incluso afectar a tal grado que detienen por completo la producción de biogás. Con el desarrollo del proyecto se pudo cuantificar la producción de biogás que se puede generar en la FES Cuautitlán, así como el posible ahorro de energía que se puede tener al emplear el biogás como combustible para otras aplicaciones como en los laboratorios de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria, donde emplean gas para sus procesos o en el gimnasio de la escuela para el calentamiento del agua de las regaderas.

## 7 Referencias

- Buxadé, Carlos. *Zootecnia Tomo IV, Bases de producción animal*. 1ª edición. Mundi – Prensa, España, 1995.
- Campos, Elena; Illa, Joseph; et al. *Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas*. 1ª edición. Agencia de residuos de Cataluña, 2004.
- Chang, Raymond. *Química General*. 7ª edición, McGRAW Hill, 2002.
- Deublein, Dieter; Steinhauser, Angelika. *Biogas from waste and renewable resources*. 1ª edición, Alemania, WILEY – VCH, 2008.
- Guevara Vera, Antonio. *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales*. 2ª edición, Perú, 1996.
- Guillen, Omar. *Energías Renovables una perspectiva ingenieril*. 1ª edición, México, Trillas, 2004.
- Moncayo Romero, Gabriel. *Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás*. 1ª edición, España, Aqualimpia Beratende Ingenieure. 2008.
- Moncayo Romero, Gabriel. *Manual de mantenimiento de biodigestores*. 1ª edición, España, Aqualimpia Beratende Ingenieure, 2013.
- [1] Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en la Zona Metropolitana del Valle de México. Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud. Organización Panamericana de la Salud /Organización Mundial de la Salud. Departamento del Distrito Federal/Secretaría de Obras y Servicios. Dirección General del Estado de México/Secretaría de Ecología.
- [2] Balance Nacional de Energía 2016. Secretaría de energía.
- [3] Amarely Santana and B Pound. The production of biogas from cattle slurry, the effects of concentration of total solids and animal diet. *Trop Anim Prod*. 5 (2): 130 – 135, 1980.

- [4] San Thy, T R Preston and J Ly. Effect of retention time on gas production and fertilizer value of biodigester effluent. *Livestock Research for Rural Development* 15 (7): 1 – 24, 2003.
- [5] K.J. Chae, Am Jang, S.K. Yim, In S. Kim. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. *Bioresource Technology* 99: 1 – 6, 2008.
- [6] Stephanie Lansing, Raul Botero Botero, Jay F. Martin. Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technology* 99: 5881–5890, 2008.
- [7] A.D. Atem, M.E. Indiveri, S. Llamas. Biomass storage for further energy use through biogas production. *international Journal of hydrogen energy* 35: 6048 – 6051, 2010.
- [8] Ivet Ferrer, Marianna Garfi, Enrica Uggetti, Laia Ferrer-Martí, Arcadio Calderon, Enric Velo. Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes. *Biomass and bioenergy* 35: 1668 – 1674, 2011.
- [9] Sung-Mok Lee, Geun Hyub Kim, Jae-Hwa Lee. Bio-gas production by co-fermentation from the brown algae, *Laminaria japonica*. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 18: 1512–1514, 2012.
- [10] M.S. Ak, M. Muz, O.T. Komesli, C.F. Gökçay. Enhancement of bio-gas production and xenobiotics degradation during anaerobic sludge digestion by ozone treated feed sludge. *Chemical Engineering Journal* 230: 499–505, 2013.
- [11] González-González, A., et al., Energy self-sufficiency through hybridization of biogas and photovoltaic solar energy: an application for an Iberian pig slaughterhouse, *Journal of Cleaner Production*. 65: 318–323, 2013.
- [12] Hernández Gómez Víctor Hugo, Olvera García Omar, Espinal Arellano Juan Carlos y Morillón Gálvez David. Potencial de generación de biogás de un rancho ganadero en la comunidad de San Bartolo Cuautlalpan. *Revista de Sistemas Experimentales* 2016, 3-8: 36-52. ISSN: 2410-3950. Bolivia.
- [13] Hernández Gómez Víctor, Olvera García Omar, Guzmán Tinajero Pedro y Morillón Gálvez David. Dimensionamiento de dos biodigestores para la producción de metano en la FES Cuautitlán, empleando la materia fecal de conejos y vacas. *Revista del Desarrollo Tecnológico* 2017, 1-3: 44-53. España.

## Capítulo 8 Caracterización Química de las emisiones producidas por la combustión de las mezclas de Nitrometanol-Biodiesel en un motor de compresión asistida por bujía incandescente de 2t

### Chapter 8 Chemical Characterization of the emissions produced by the combustion of Nitromethanol-Biodiesel mixtures in a 2t incanding plug-in compression engine

FLORES-MARQUEZ, Juan†\*, PACHECO-AGUIRRE, Francisco, CORRO, Griselda y RUIZ-REYES, Mayra

*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Instituto de Ciencias*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Juan, Flores-Marquez* / **ORC ID:** 0000-0001-9975-7748, **Researcher ID Thomson:** S-4659-2018, **CVU CONACYT-ID:** 477813

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Francisco, Pacheco-Aguirre* / **ORC ID:** 0000-0001-9266-8216, **Researcher ID Thomson:** S-4787-2018, **CVU CONACYT-ID:** 363598

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Griselda, Corro* / **ORC ID:** 0000-0001-8568-6133, **Researcher ID Thomson:** S-4682-2018, **CVU CONACYT-ID:** mcorro20230

ID 4<sup>to</sup> Coautor: *Mayra, Ruiz-Reyes* / **ORC ID:** 0000 0002-4575-1567, **Researcher ID Thomson:** S-4799-2018, **CVU CONACYT-ID:** 166950

J. Flores, F. Pacheco, G. Corro y M. Ruiz

Juan.floresmarq@alumno.buap.mx

A. Marroquín, H. Corres y L. Carpio. (Dir.) Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2018.

## Abstract

In the present work, the chemical characterization of the emissions produced by the combustion of nitrometanol (nitromethane-nethanol-beaver oil at 20, 71 and 9%, respectively) and biodiesel blends at 15, 30 and 50% in volume was carried out. The experiments were performed using a 2T incandescent spark plug assisted compression engine and the combustion gases were analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The analysis suggest that the nitrometanol mixture generates the heat combustion necessary for the ignition of biodiesel, improving the combustion of the mixtures. This was corroborated by the reduction of CO in the afterburner emissions of the engine, since the decrease of this parameter is usually associated with a better (complete) combustion of the combustible blends. It was also found that the compounds concentrations of the combustion gases and their temperatures in the engine head are related to the nitrometanol-biodiesel blend concentration.

## Biodiesel, Análisis FTIR, Emisiones Postcombustión, Motor

### 1 Introducción

La sobreexplotación de recursos no renovables está generado un creciente agotamiento en las reservas mundiales de energía, y al mismo tiempo un aumento en el precio de los combustibles derivados del petróleo. Por ende, existe la necesidad de encontrar sustitutos energéticos adecuados para reemplazar los combustibles fósiles, cubrir las demandas energéticas actuales y ser sostenibles con respecto a las materias primas de las cuales se han obtenido [1-4]. Algunas de las características requeridas para considerar un combustible como una alternativa viable son la renovabilidad o menor dependencia de los recursos limitados, bajos costos de producción, y una baja o nula contaminación. Uno de los energéticos que actualmente ha estado atrayendo un creciente interés en la investigación es el biodiésel, debido a su naturaleza ecológica y no tóxica [5]. Algunos estudios han propuesto técnicas para su elaboración a bajo costo, así como el empleo de materias primas provenientes de fuentes de desecho para su producción [6-9], lo que ha dado como resultado el impulso exponencial de este bioenergético en la última década [10].

El uso del biodiésel se extiende en diferentes sectores, tales como la producción intermediara en productos de limpieza, plastificantes y lubricantes [11], de entre los que destaca el uso del biodiésel en motores de combustión interna [12-14], siendo este uno de los sectores de mayor demanda energética. En este sentido existen numerosos estudios con respecto a este bioenergético [15-18], desde la combustión del biodiésel con mezclas de diésel, la potencia producida en los motores que emplean estas mezclas [19-23], las emisiones que genera este bioenergético [24-27] (las cuales retomaremos en la sección de resultados), hasta las posibles deficiencias que pueden ocasionar este combustible al ser empleado en motores de combustión interna diésel [28]. Sin embargo, a pesar de los numerosos estudios que se han llevado a cabo, el biodiésel no ha sido empleado del todo en mezcla con otros combustibles, tal es el caso de nitrometano, el cual es un compuesto con una amplia variedad de aplicaciones, las cuales incluyen su uso como: monopropelente [29], disolvente para el procesamiento y análisis químico, combustible de alto rendimiento, y en mezcla con metanol-aceite de castor (a la cual nos referiremos como nitrometanol) como combustible en motores de combustión interna [30, 31] así como en vehículos aéreos no tripulados [32].

La adición de metanol reduce la tendencia del vapor de nitrometano a detonar bajo compresión repentina durante el funcionamiento o la manipulación [33] y el aceite de castor actúa como lubricante. Hasta ahora, muchos trabajos han contribuido al estudio del nitrometanol como uno de los principales componentes de los explosivos líquidos [34] así como de los propulsores [35], incrementando el conocimiento de las características de su combustión y explosión [36-38]. Sin embargo, a pesar de ser un compuesto ampliamente investigado, los estudios fundamentales para caracterizar las emisiones generadas en el proceso de combustión de mezclas de nitrometanol-biodiésel aún son inexistentes. Por lo tanto, aquí se presenta una investigación concentrada en elucidar las características químicas de los gases de combustión de nitrometanol mezclado con biodiésel. El estudio se realizó empleado un motor de combustión interna asistido por bujía incandescente, lo que permite obtener las emisiones para analizar el impacto de la combustión de las mezclas de nitrometanol-biodiésel y con ello determinar el posible uso de estos energéticos.

Para detectar los gases de postcombustión y su concentración se empleó espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) por la alta sensibilidad y selectividad que esta técnica presenta en las estructuras químicas, así como al amplio espectro de detección de compuestos en gases [39, 40]. En el presente trabajo se abordarán las secciones de materiales y métodos en la cual se explican los pasos empleados para llevar a cabo los experimentos, la sección de resultados en la cual se aborda el efecto derivado de las variaciones en la parte experimental, así como su posible explicación, y finalmente se aborda la parte de conclusiones del trabajo.

## 2 Metodología a desarrollar

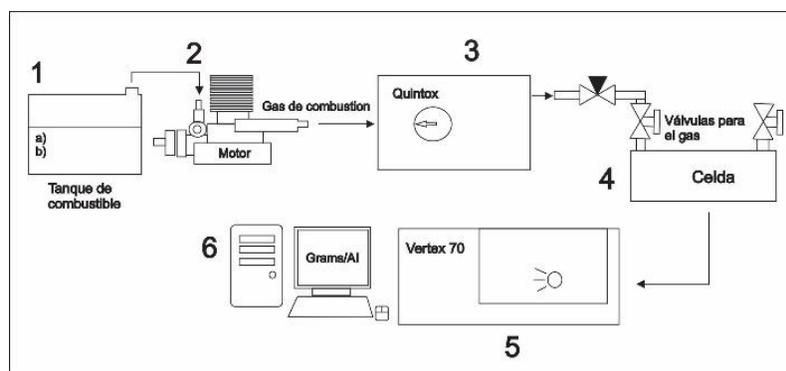
### 2.1 Sistema de muestreo y análisis de gases

Todas las pruebas experimentales se llevaron a cabo en un motor de pruebas marca HSP Modelo Vx18, Estados Unidos de Norteamérica (USA), de 2 tiempos, monocilíndrico, enfriado por convección, de aspiración natural, con arranque mediante marcha mecánica, sin carga en el eje del motor, con un volumen de desplazamiento  $2.74 \text{ cm}^3$ , y con un radio de compresión 7.5:1. Para la combustión se empleó nitrometanol comercial, marca Power Master, USA, el cual contiene 20, 71 y 9 % de nitrometano, metanol y aceite de castor respectivamente, así como biodiésel procedente de aceite residual de cocina según la preparación y características de [41]. El sistema de recolección de gases está equipado con una bomba que regula el flujo del gas de salida, la cual es un sistema de recolección Quintox Modelo Kane 9106, Reino Unido (UK), y una celda de gases para análisis espectroscópico FTIR marca Sev Modelo 172, México (MX), con un paso óptico de 0.1m. Los gases de combustión se analizaron en un espectrofotómetro FTIR marca Bruker Modelo Vertex 70, USA.

Todo el sistema antes descrito se representa en la Figura 8.1, en donde una vez concluida la instalación del sistema experimental, se prepararon las mezclas combustibles (50 ml) en un matraz Erlenmeyer de 100 ml y se mezclaron hasta tener una composición homogénea mediante un agitador magnético, en una parrilla de agitación marca Thermo Scientific, USA. Una vez preparadas las mezclas se llenó el tanque de combustible (1) mediante decantación simple con la mezcla de combustible (a.- nitrometanol, b.- biodiésel) a analizar. Las mezclas de nitrometanol-biodiésel preparadas para la parte experimental son reportadas en la Tabla 8.1, las cantidades propuestas para las diferentes formulaciones se obtuvieron según [42, 43], esto debido a que estudios sugieren que estas relaciones son óptimas para el desempeño del motor, siendo B50 el máximo porcentaje de biodiésel operable, ya que arriba de esta concentración no detona la mezcla, dado que no se cuenta con la energía necesaria para la detonación del energético mayoritario.

Una vez que se cargó el tanque de combustible con la mezcla deseada, se purgan las líneas de combustible para posteriormente proceder con la puesta en marcha del motor (2). Una vez alcanzado el tiempo de estabilización del motor (3 minutos) los gases de combustión fueron conducidos al Quintox para finalmente tener un flujo de salida a  $100 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  (3), y ser cargados en una celda para gases durante 1 minuto (4). Concluido este tiempo la celda se colocó en el espectrofotómetro para la caracterización de los gases mediante FTIR (5). Los espectros generados se procesaron empleando el software Grams/AI Versión 7.02 (6) para finalmente ser graficados y reportados en el presente trabajo.

**Figura 8.1** Sistema de combustión, recolección de gases y análisis de los mismos, a) nitrometanol, b) biodiésel



Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

La parte experimental antes descrita ha sido probada por otros autores dando resultados satisfactorios [44].

**Tabla 8.1** Composición de las mezclas empleadas para el análisis de postcombustión de nitrometanol-biodiésel

Denominación	Composición
B0=N100	100% nitrometanol
B15=N85	15% biodiésel y 85% nitrometanol
B30=N70	30% biodiésel y 70% nitrometanol
B50=N50	50% biodiésel y 50% nitrometanol

Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

## 2.2 Determinación de temperaturas de operación

De manera paralela al análisis de los gases de combustión se recolectaron datos de temperatura de la cabeza y el escape del motor, con la finalidad de medir la variación de temperatura a medida que el biodiésel aumentaba en la mezcla. Esto se llevó a cabo mediante un pirómetro infrarrojo, marca SureBilt Modelo 49510 con las siguientes características:

- Radio de punto 12:1
- Intervalo de temperatura (-32 a 380) ° C
- Distancia máxima de operación de 1.5m

## 2.3 Análisis estadístico

Todos resultados obtenidos de la concentración de compuestos detectados y temperaturas registradas durante el empleo de las mezclas combustibles B0, B15, B30 y B50 fueron analizados estadísticamente mediante la correlación Tau de Kendall ya que se ha demostrado que permite identificar no solo las dependencias lineales entre las secuencias, sino también cualquier tipo de relación monótona [45].

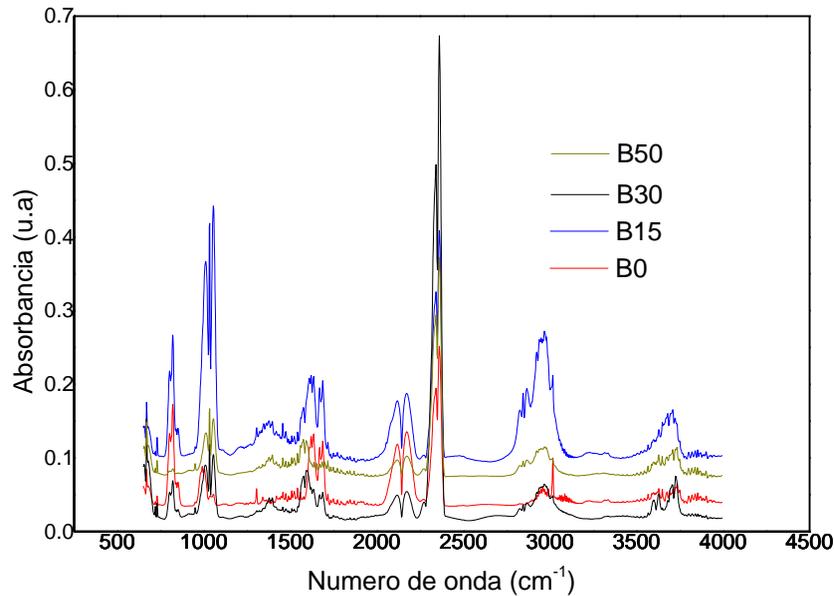
## 3 Resultados

### 3.1 Caracterización química de los gases de combustión

De las pruebas de combustión de las mezclas de nitrometanol-biodiésel, se analizaron mediante FTIR 110 compuestos divididos en 6 familias o grupos, los cuales son: hidrocarburos del carbono (C) 1 al 4, C5, C6, óxidos y peróxidos, alcoholes, y compuestos que contienen azufre. Los resultados se representaron en forma gráfica tal como se ve de la Figura 8.3 a la 8.12, comenzando por el grupo de los hidrocarburos del carbono 1 al 4, dividiendo en dos gráficas los compuestos que tiene mayor y menor concentración (cada gráfico se encuentra codificado para efectos de espacio y el nombre completo del compuesto se muestra en la Tabla 8.3).

Los espectros correspondientes a cada una de las mezclas (B0, B15, B30 y B50) se muestran en la Figura 8.2, el procedimiento de identificación de los compuestos descritos anteriormente mediante el software Grams/AI se puede encontrar en la sección de Anexos (Figuras 8.13-8.15). Cabe mencionar que en no se registraron compuestos bencénicos durante la combustión de ninguna mezcla (B0, B15 B30 o B50), mismos que se encuentran normalmente en la combustión del diésel y que su presencia se asocia con riesgos a la salud como el cáncer [46].

**Figura 8.2** Espectros FTIR correspondiente a las emisiones producidas por la combustión de las mezclas B0, B15, B30 y B50

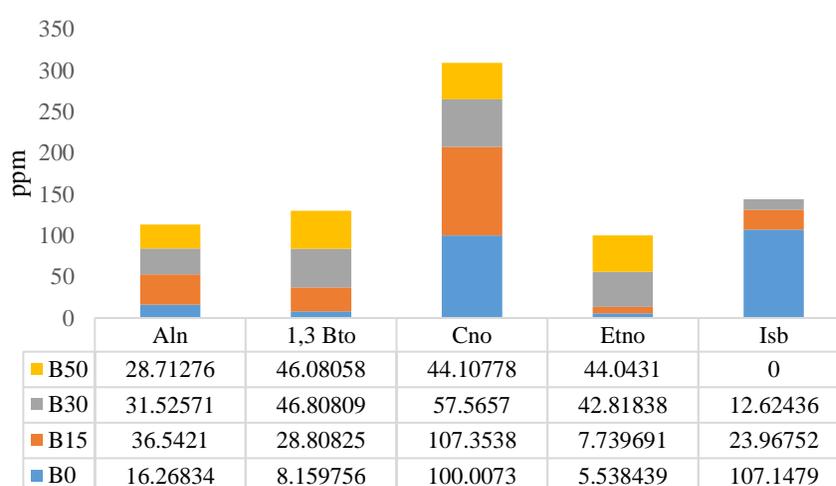


Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

En la Figura 8.2 se pueden apreciar los espectros FTIR correspondientes a los gases generados por la combustión de las mezclas B0, B15, 30 y B50, a partir del análisis FTIR se pudieron identificar los compuestos presentes en la poscombustión de las mezclas nitrometanol-biodiésel, así mismo así mismo se reportan los resultados del análisis de correlación de Kendall, los compuestos que registraron valores  $p < 0.05$  se consideran significativamente correlacionados ya sea de manera directa (+1, -1). Es importante notar que las intensidades de las señales obtenidas por FTIR (Figura 8.2) para las emisiones de la combustión de la mezcla B15 son más fuertes que para los demás combustibles estudiados.

A continuación se muestran los compuestos encontrados en las mezclas de combustibles (B0, B15, B30 y B50) pertenecientes al grupo hidrocarburos de C1 al C4 de baja concentración (Figura 8.3), en la Figura 8.3 se puede apreciar que el compuesto que se encuentra en mayor cantidad de manera general es el ciclopropano (Cno).

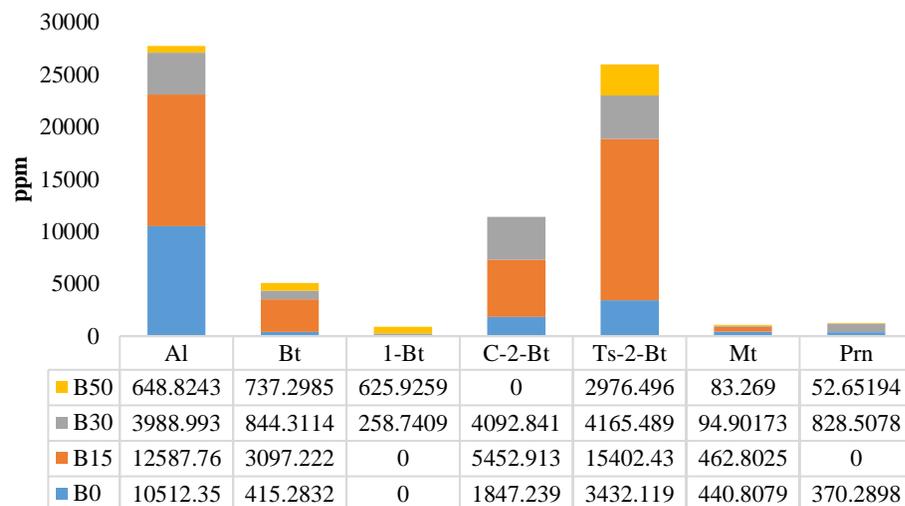
**Figura 8.3** Evolución de los compuestos de C1 al C4 de baja concentración a diferentes mezclas combustibles



Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

En el caso de los compuestos pertenecientes al grupo de hidrocarburos de C1 al C4 de alta concentración, estos se muestran en la Figura 4, teniendo como compuestos predominantes al aleno (Al) y al trans-2-buteno (Ts-2-Bt).

**Figura 8.4** Evolución de los compuestos de C1 al C4 de alta concentración a diferentes mezclas combustibles

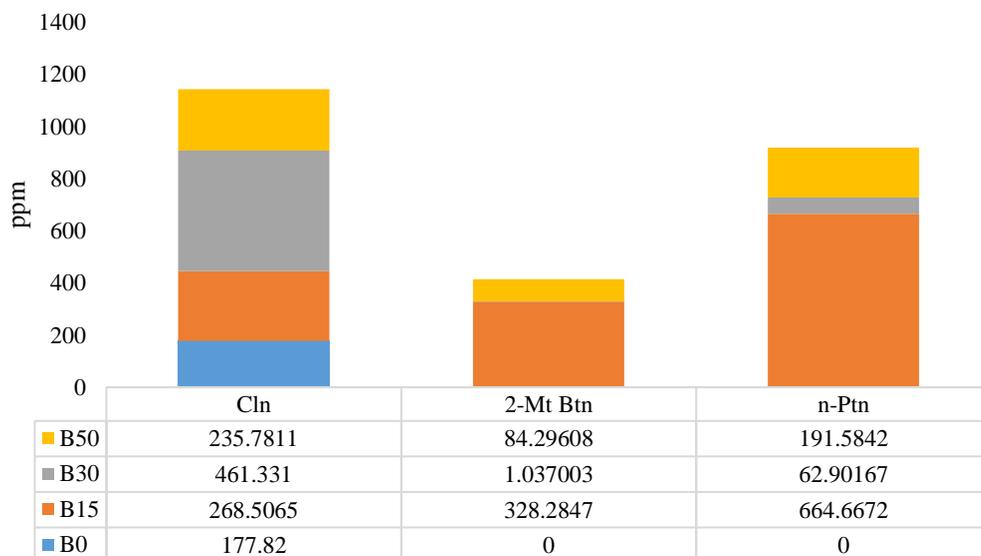


Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

Algunos de los compuestos enlistados en las Figuras 8.3 y 8.4 han sido reportados en la literatura para mezclas de biodiésel con otros compuestos, tal es el caso de Agarwal *et al.* [24], que reportan la presencia de metano (Mt), butano (Bt), acetileno (Aln), etileno (Etno) y 1,3 butadieno (1,3 Bto). En el análisis estadístico mediante Tau de Kendall ( $p < 0.05$ , +1) se encontró que existe una correlación directa entre el aumento de etano y aleno así como de trans-2-buteno y cis-2-buteno

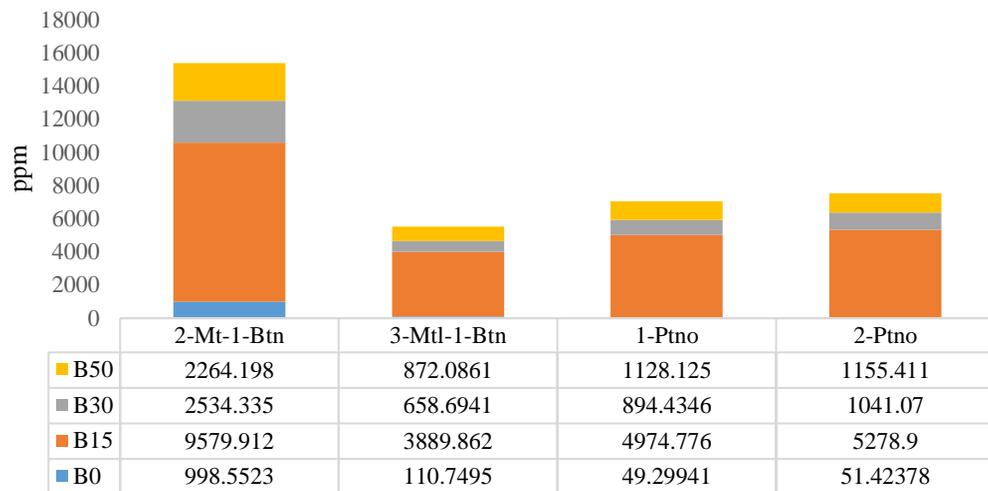
En la Figura 8.5 se muestran los compuestos pertenecientes al grupo de hidrocarburos de C5 de baja concentración, los compuestos encontrados fueron ciclopenteno (Cln), 2-metil butano (2-Mt btn) y n-pentano (n-Ptn).

**Figura 8.5** Evolución de los compuestos de C5 a baja concentración a diferentes mezclas combustibles



Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

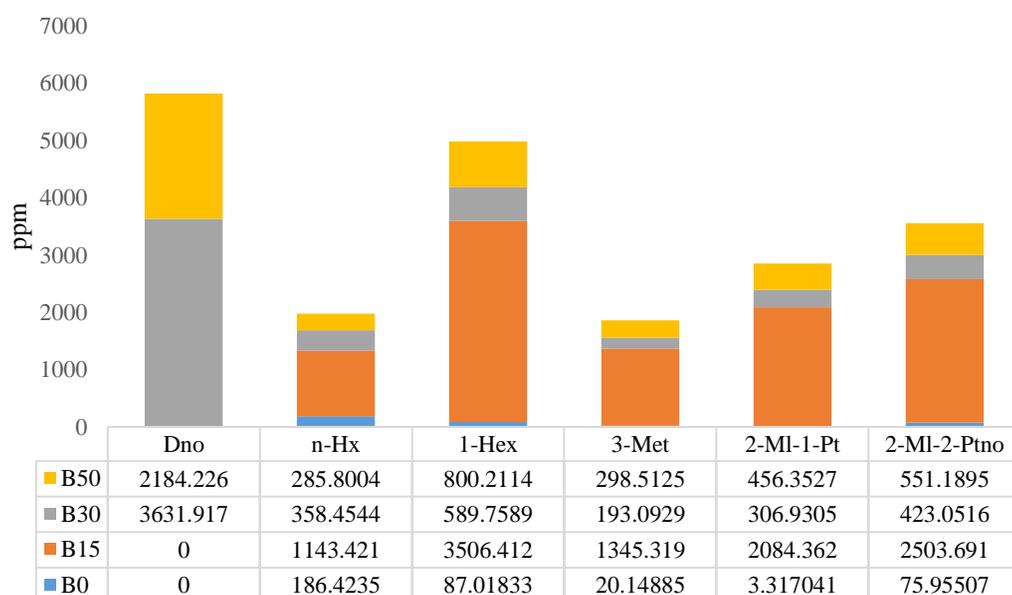
Así mismo en la Figura 8.6 se grafican los compuestos pertenecientes al grupo hidrocarburos de C5 de alta concentración, siendo el 2-metil-1-buteno (2-Mt-1-Btn) el compuesto predominante, y en concentraciones similares el 3-metil-1-buteno (3-Mtl-1-Btn), 1-penteno (1-Ptno) y el 2-penteno (2-Ptno).

**Figura 8.6** Evolución de los compuestos C5 de alta concentración a diferentes mezclas combustibles

Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

La presencia de n-pentano ha sido reportada en la combustión de biodiésel por autores como Agarwal *et al.*, [24]. y Jedynska *et al.*, [25]. El análisis estadístico muestra que existe correlación significativa entre el aumento de 2-metil Butano y n-pentano así como de metil-1-buteno, 1-penteno y 2-penteno, de igual manera existe una correlación significativa entre n-pentano y 3-metil-1-Buteno, 1-penteno y 2-penteno, y de igual manera 3-metil-1-buteno aumenta con el aumento de 1-penteno y 2-penteno y finalmente 1-penteno aumenta conforme 2-penteno aumenta.

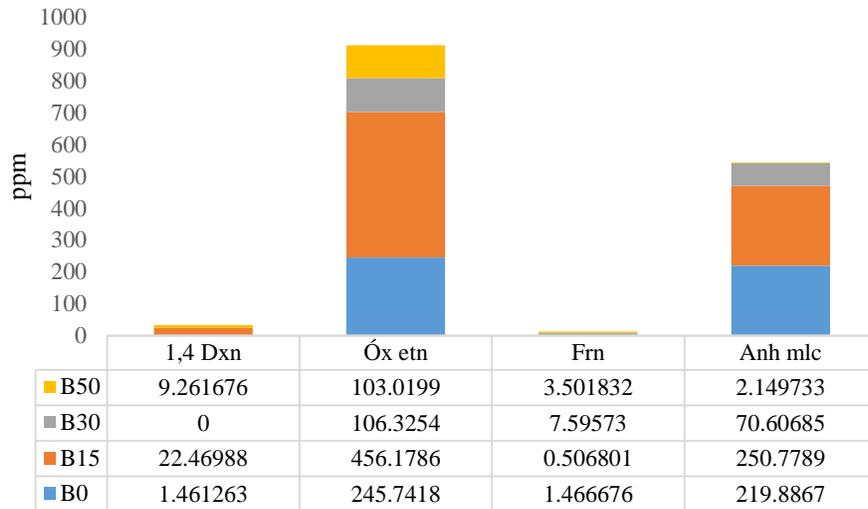
En la Figura 8.7 se muestran los compuestos pertenecientes al grupo de hidrocarburos de C6 y mayores, pudiéndose identificar dicitropentadieno (Dno), n-hexano (n-Hx), 1-hexeno (1-Hex), 3-metilpentano (3-Met), 2-metil-1-penteno (2-MI-1-Pt) y 2-metil-2-penteno (2-MI-2-Ptno). La presencia del 3-metilpentano y n-hexano ha sido reportada en la combustión del biodiésel (Jedynska *et al.*, [25]). El análisis estadístico muestra una correlación en el aumento de todos los compuestos entre si exceptuando dicitropentadieno y n-hexano.

**Figura 8.7** Evolución de los compuestos de C6 y mayores a diferentes mezclas combustibles.

Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

En la Figura 8.8 se muestran los compuestos pertenecientes al grupo óxidos y peróxidos en menor concentración. Siendo los compuestos predominantes el óxido de etileno (Óx etn) y el anhídrido maleico (Anh mlc), y en menor cantidad 1,4 dioxano (1,4 Dxn) y furano (Frn).

**Figura 8.8** Evolución de los compuestos de óxidos y peróxidos de baja concentración a diferentes mezclas combustibles

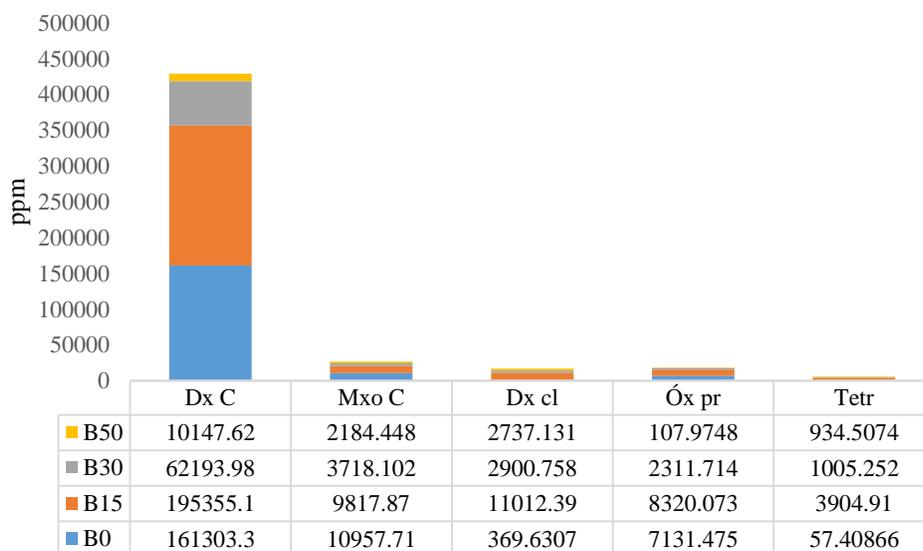


Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

En la Figura 8.9 se muestran los compuestos pertenecientes al grupo de óxidos y peróxidos, de alta concentración, el compuesto que se encuentra en mayor medida para cada mezcla es dióxido de carbono (Dx C), los compuestos restantes son monóxido de carbono (Mxo C), dióxido de cloro (Dx cl), óxido de propileno (Óx pr) y tetrahydrofurano (Tetr). Siendo el dióxido de carbono y el monóxido de carbono lo más comúnmente reportado en la literatura [26,27].

El óxido de etileno aumenta conforme aumenta el anhídrido maleico, el dióxido de carbono y el óxido de propileno, el anhídrido maleico aumento con dióxido de carbono y óxido de propileno, el dióxido de carbono con el óxido de propileno y finalmente el dióxido de cloro que aumenta con el aumento de tetrahydrofurano.

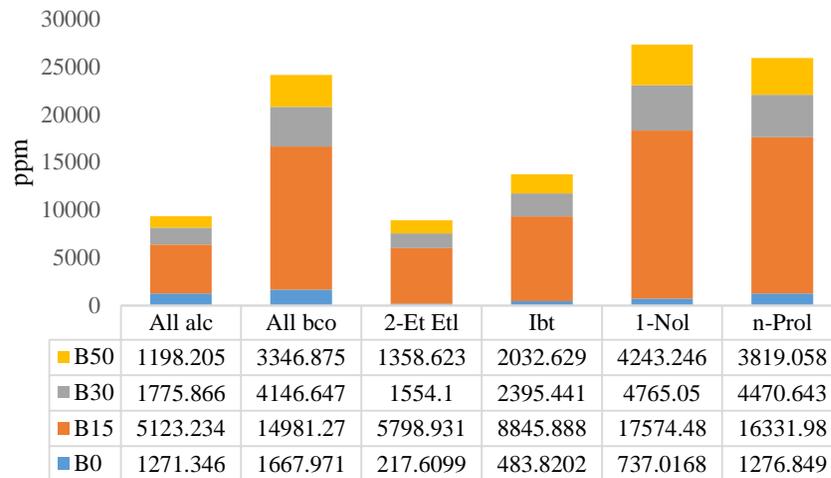
**Figura 8.9** Evolución de los compuestos de óxidos y peróxidos de alta concentración a diferentes mezclas combustibles.



Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

En la Figura 8.10 se muestran los compuestos pertenecientes al grupo alcoholes. En ella se aprecia que los tres compuestos de mayor concentración son el alcohol bencílico (All bco), 1-nonanol (1-Nol) y n-propanol (n-Prol), los compuestos restantes son alcohol alílico (All alc), 2-etoxi etanol (2-Et Etl) e isobutanol (Ibt).

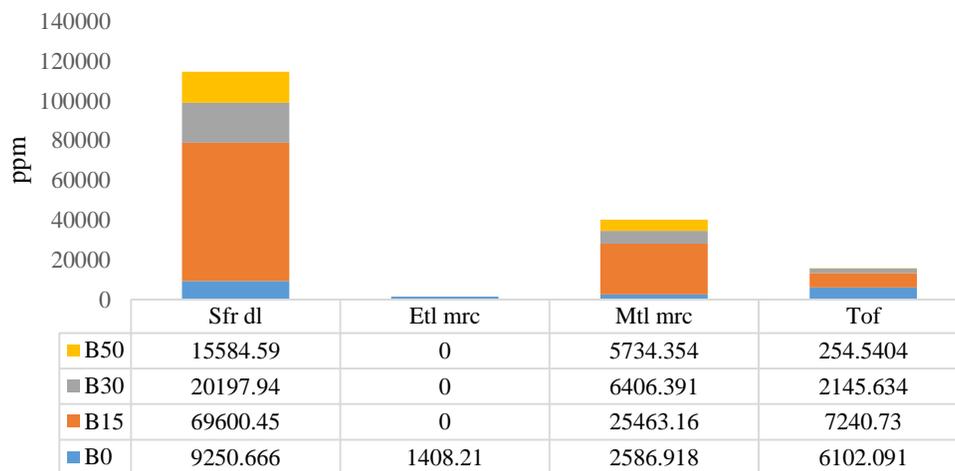
Para el caso de los alcoholes todos tienen correlación significativa a excepción del alcohol alílico el cual no se relaciona su incremento o decremento con ningún compuesto de este grupo.

**Figura 8.10** Evolución de los alcoholes a diferentes mezclas combustibles

Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

Finalmente en la Figura 8.11 se muestran los compuestos que contienen azufre, lográndose identificar 4 compuestos, que se enunciarán de mayor a menor según su concentración general en las mezclas respectivamente: Sulfuro de dimetilo (Sfr dl), metil mercaptano (Mtl mrc), tiofeno (Tof) y etil mercaptano (Etl mrc). En el caso de los compuestos que contienen azufre solo tiene correlación significativa el aumento de sulfuro de dimetilo con el metil mercaptano.

Las tendencias generales de cada grupo (Figuras 8.3-8.11) se presentan en la se presentan en las Figuras 8.16-8.21 en la sección de Anexos pudiéndose notar el efecto de la mezcla combustible.

**Figura 8.11** Evolución de los compuestos que contienen azufre a diferentes mezclas combustibles

Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

De las pruebas de temperatura durante la operación del motor en la combustión de nitrometanol-biodiésel se sugieren las siguientes reacciones (específicamente en el caso de que la combustión sea completa):

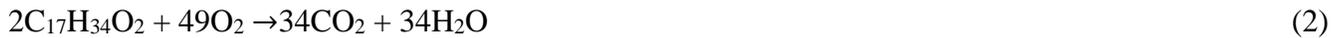
1. Oxidación de nitrometanol



En donde, el nitrometanol es la primera mezcla en quemarse dado que posee un menor punto de ignición (1). Esta primera ignición genera el calor de combustión necesario para que se acelere la combustión del biodiésel (2-4), logrando así una mejor combustión de las mezclas en simultáneo.

## 2. Oxidación del biodiésel

El biodiésel obtenido es una mezcla de metil-ésteres (metil-palmitato, metil-meristato y metil-linolelaidato), su oxidación quedará representada por tres reacciones que se describen a continuación:



### 3.2 Efecto de la mezcla del combustible en la temperatura del motor y su relación con la combustión

Las temperaturas registradas en el cabezal y escape del motor durante la combustión de las diferentes mezclas se presentan en a Tabla 8.2.

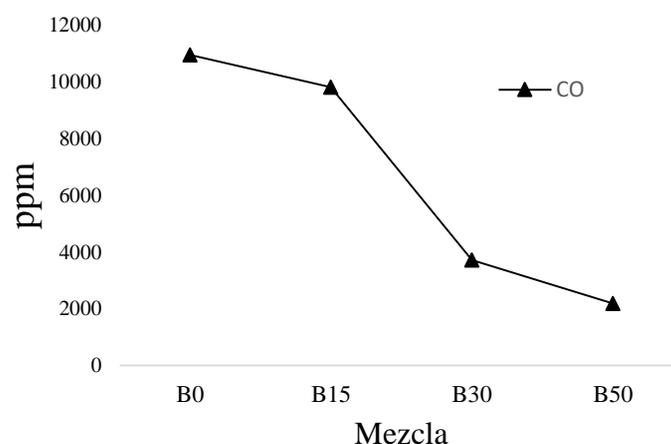
**Tabla 8.2** Temperaturas registradas en el cabezal y escape del motor durante su operación con diferentes mezclas combustibles

Temperatura del motor en ° C				
Motor	B0	B15	B30	B50
Cabezal	73.1	108	119.6	128.6
Escape	44	82	100.3	109.5

Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

Como se aprecia en la Tabla 8.2, a medida que se incrementa la cantidad de biodiésel en la mezcla, aumenta la temperatura del motor, esto puede deberse al mayor poder calorífico del biodiésel. La combustión de las mezclas (B15, B30 y B50) será mayor, en función del incremento en la proporción de biodiésel. Esto significa que en la mezcla B15, debido a la poca cantidad de biodiésel en proporción al nitrometanol, el calor generado no será suficiente para llevar a cabo la combustión completa de este biodiésel y consecuentemente se generarán mayores cantidades de compuestos mal quemados (compuestos derivados de la combustión parcial) provenientes de los componentes que necesitan fuertes cantidades de energía para ser oxidados (Figuras 8.3-8.11 y 8.16-8.21). Ahora bien, en las mezclas B30 y B50, la mayor cantidad de biodiésel generará una mayor cantidad de calor y por consecuencia, una mayor oxidación de los hidrocarburos de los dos componentes de las mezclas.

**Figura 8.12** Evolución de las partes por millón de las emisiones de CO en las mezclas empleadas



Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

En la figura anterior (Figura 8.12) se observa que a medida que aumenta la concentración de biodiésel en la mezcla combustibles, las emisiones de CO disminuyen. Este resultado puede deberse al mayor poder calorífico del biodiésel lo cual genera la combustión de la mezcla. Esta relación temperatura versus concentración de CO versus mezcla, fue corroborada mediante un análisis de correlación Tau de Kendall obteniéndose un valor de -1 con una  $p < 0.05$  lo cual indica una relación inversa en los valores de temperatura y formación de CO con respecto a la concentración de biodiésel en las mezclas.

Los porcentajes de emisión de CO con respecto al total de los compuestos fueron para B15, B30 y B50, 3, 3 y 4% respectivamente, ligeramente más bajos que el combustible nitrometanol puro que tuvo un valor de 5% respectivamente.

#### 4 Anexos

**Tabla 8.3** Lista de compuestos obtenidos en el análisis FTIR de los gases de combustión, con su código implementado en las gráficas.

Símbolo	Nombre completo
Al	aleno
Bt	butano
1-Bt	1-buteno
C-2-Bt	cis-2-buteno
Ts-2-Bt	trans-2-buteno
Mt	metano
Prn	propino
Aln	acetileno
1,3 Bto	1,3 butadieno
Cno	ciclopropano
Etno	etileno
Isb	isobutano
Cln	ciclopenteno
2-Mt Btn	2-metil butano
n-Ptn	n-pentano
2-Mt-1-Btn	2-metil-1-buteno
3-Mtl-1-Btn	3-metill-1-buteno
1-Ptno	1-penteno
2-Ptno	2-Penteno
Dno	diciclopentadieno
n-Hx	n-hexano
1-Hex	1-hexeno
3-Met	3-metilpentano
2-Ml-1-Pt	2-metil-1-penteno
2-Ml-2-Ptno	2-metil-2-penteno
Dx C	dióxido de carbono
Mxo C	monóxido de carbono
Dx cl	dióxido de cloro
Óx pr	óxido de propileno
Tetr	tetrahidrofurano
1,4 Dxn	1,4 dioxano
Óx etn	óxido de etileno
Frn	furano
Anh mlc	anhídrido maleico
All alc	alcohol alílico
All bco	alcohol bencílico

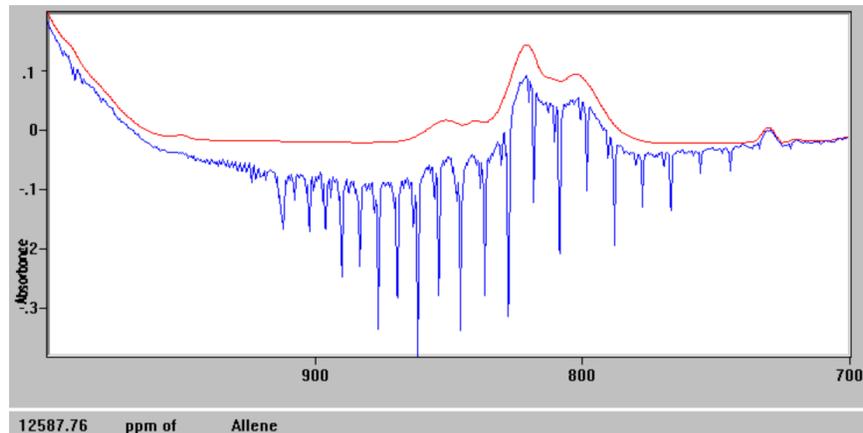
**Tabla 8.4** Lista de compuestos obtenidos en el análisis FTIR de los gases de combustión, con su código implementado en las gráficas (continuación)

Símbolo	Nombre completo
2-Et Etl	2-etoxi etanol
Ibt	isobutanol
1-Nol	1-nonanol
n-Prol	n-propanol
Sfr dl	sulfuro de dimetilo
Etl mrc	etil mercaptano
Mtl mrc	metil mercaptano
Tof	Tiofeno

Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

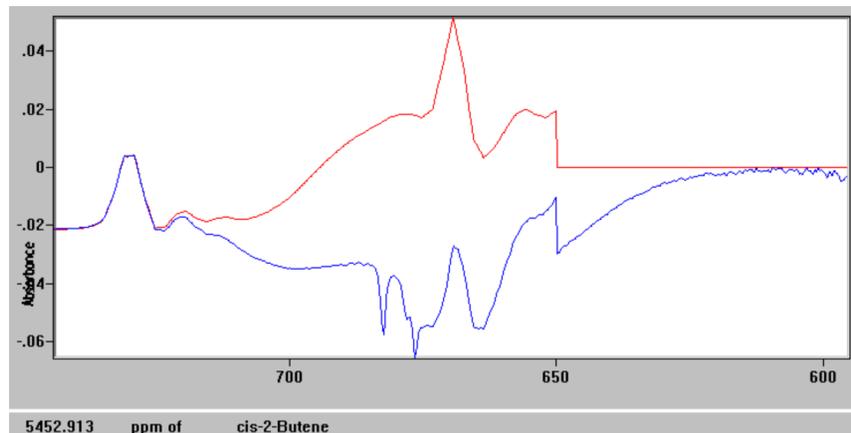
La cuantificación e identificación de los compuestos descritos en la sección 2 de la sección Metodología fue realizada mediante el software Grams/AI Versión 7.02, en el cual se compararon las muestras analizadas versus la base de datos del programa, el mismo tiene la capacidad de identificar el compuesto y proporcionar su concentración. Ejemplo de ello se muestra las Figuras 13-15 en las cuales se ejemplifica la detección y cuantificación del aleno, 2 cis Buteno y 2 trans buteno respectivamente en el software.

**Figura 8.13** Espectro correspondiente al aleno, comparado mediante FTIR en el software Grams/AI y determinando la concentración registrada



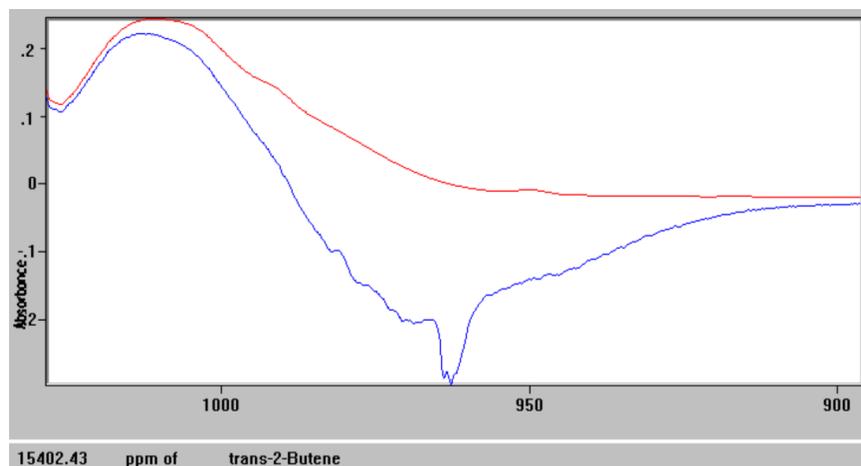
Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

**Figura 8.14** Espectro correspondiente al cis-2-buteno, comparado mediante FTIR en el software Grams/AI y determinando la concentración registrada



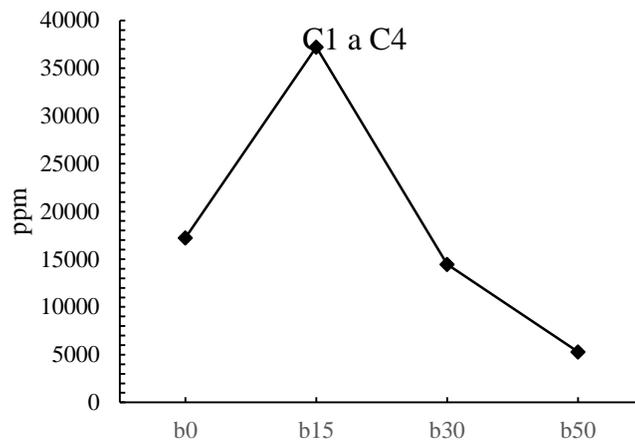
Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

**Figura 8.15** Espectro correspondiente al trans-2-buteno, comparado mediante FTIR en el software Grams/AI y determinando la concentración registrada



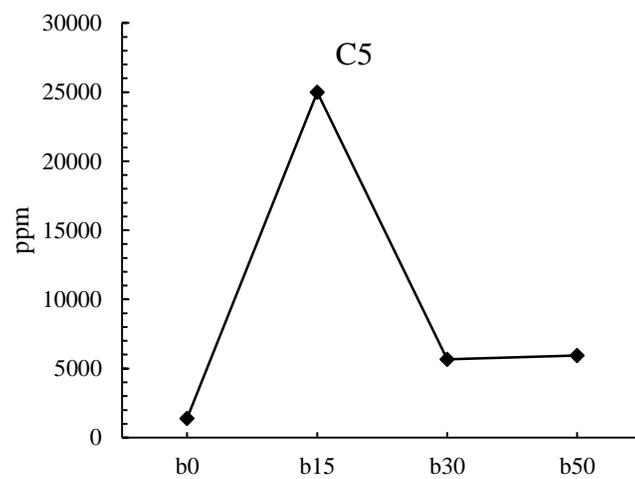
Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

**Figura 8.16** Tendencia general del grupo perteneciente a hidrocarburos C1- C4 a diferentes mezclas.



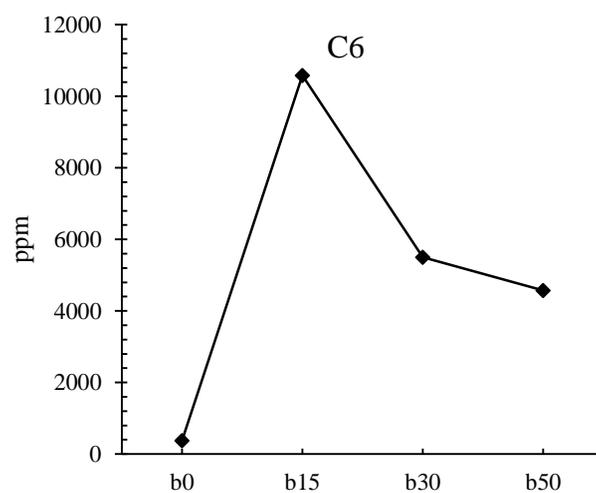
Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

**Figura 8.17** Tendencia general del grupo perteneciente a hidrocarburos C5 a diferentes mezclas.



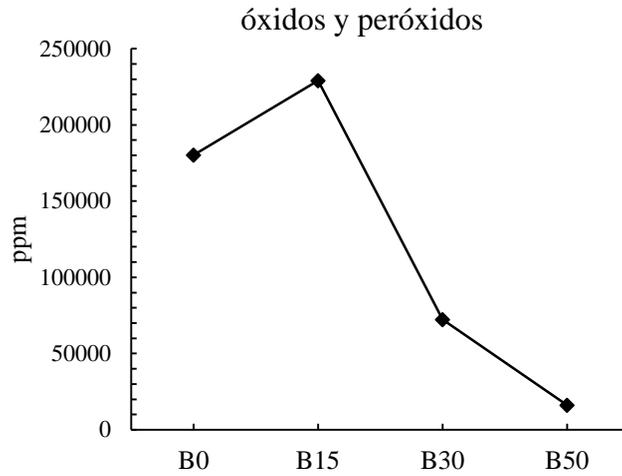
Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

**Figura 8.18** Tendencia general del grupo perteneciente a hidrocarburos C6 a diferentes mezclas.



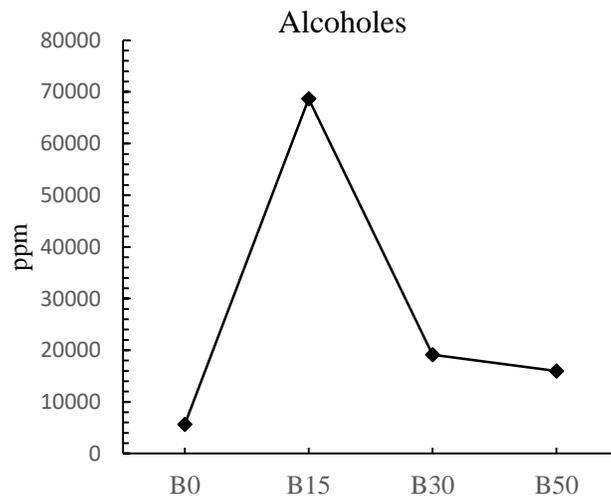
Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

**Figura 8.19** Tendencia general del grupo perteneciente a los óxidos y peróxidos a diferentes mezclas.



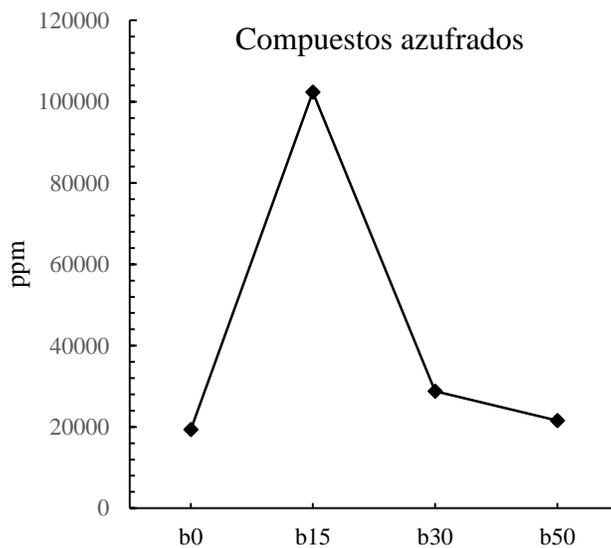
Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

**Figura 8.20** Tendencia general del grupo perteneciente a los alcoholes a diferentes mezclas.



Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

**Figura 8.21** Tendencia general del grupo perteneciente a compuestos que contienen azufre a diferentes mezclas



Fuente: (Flores-Márquez *et al.*, 2018)

## Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada a Flores-Márquez, J.A., y a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) sin la cual esta investigación no hubiera sido posible.

## 5 Conclusiones

Los resultados de la cuantificación de CO en los gases de combustión y las temperaturas del cabezal y escape del motor de compresión asistida por bujía incandescente de 2t en función de las diferentes mezclas de nitrometanol-biodiésel, sugieren que es posible que se lleve a cabo una ignición primaria de la mezcla de nitrometanol, la cual generará un calor de combustión que es probablemente utilizado para alcanzar la energía de activación de combustión de biodiésel. Ahora bien, la combustión de biodiésel (activada por la combustión de nitrometanol), generará un calor de combustión que se transmitirá al contenido total de este combustible en la mezcla. Debido a la débil proporción de biodiésel en la mezcla B15, el calor generado por nitrometanol y por el 15% de biodiésel, no será suficiente para llevar a cabo la combustión de biodiésel más que a una proporción moderada en sus primeras etapas de oxidación.

Esto resultará en fuertes cantidades de compuestos (hidrocarburos, compuestos oxigenados y azufrados) mal quemados, y por lo tanto las concentraciones de los compuestos de las emisiones reportados en esta investigación, son mayores que las emisiones de la combustión de nitrometanol puro (B0). Sin embargo en las mezclas B30 y B50, la mayor proporción de biodiésel generará mayores cantidades de calor que compensarán los requerimientos energéticos de mayores cantidades de compuestos (en particular de intermediarios de la oxidación total), resultando en una disminución de contaminantes en comparación con la combustión de la mezcla B15.

Los resultados presentados en este estudio demuestran el beneficio de la utilización de mezclas B30 y B50 en el motor debido a:

- Las emisiones de CO se ven disminuidas en relación a las emisiones de las combustiones de B0.
- Se obtendrá mayor energía (calor) que durante la combustión de B0.
- Se generarán menos gases de combustión contaminantes que durante la combustión de B15.
- La combustión de estas mezclas (aun la B15), genera menos contaminantes que la combustión de diésel, en particular, no se detectaron a ninguna composición compuestos bencénicos (carcinogénicos) como se han detectado en las emisiones de la combustión de diésel [46,47]

Finalmente el presente estudio destaca que se lograron identificar compuestos pertenecientes a los gases de postcombustión de un motor de compresión asistida por bujía incandescente de 2t, el cual empleó mezclas combustibles de nitrometanol-biodiésel (B0, B15, B30, B50) y que durante el empleo de mezclas de nitrometanol-biodiésel en el motor, resulta favorable el uso de la mezcla B30 y B50.

## Referencias

- [1] Beér, J. M., Jacques, M. T., Farmayan, W., & Taylor, B. R. (1981). Fuel-nitrogen conversion in staged combustion of a high nitrogen petroleum fuel. *Symposium (International) on Combustion*, 18(1), 101-110. doi: [https://doi.org/10.1016/S0082-0784\(81\)80015-X](https://doi.org/10.1016/S0082-0784(81)80015-X)
- [2] Shirneshan, A., Almassi, M., Ghobadian, B., Borghei, A. M., & Najafi, G. (2016). Response surface methodology (RSM) based optimization of biodiesel-diesel blends and investigation of their effects on diesel engine operating conditions and emission characteristics (Vol. 15).
- [3] Motamedifar, N., & Shirneshan, A. (2018). An experimental study of emission characteristics from cylindrical furnace: Effects of using diesel-ethanol-biodiesel blends and air swirl. *Fuel*, 221, 233-239. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.018>
- [4] Enagi, I. I., Al-attab, K. A., & Zainal, Z. A. (2018). Liquid biofuels utilization for gas turbines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 43-55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.006>

- [5] Wei, L., Cheung, C. S., & Ning, Z. (2018). Effects of biodiesel-ethanol and biodiesel-butanol blends on the combustion, performance and emissions of a diesel engine. *Energy*, 155, 957-970. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.049>
- [6] Corro, G., Sánchez, N., Pal, U., & Bañuelos, F. (2016). Biodiesel production from waste frying oil using waste animal bone and solar heat. *Waste Management*, 47, 105-113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.001>
- [7] Iastiaque Martins, G., Secco, D., Kazue Tokura, L., Aparecido Bariccatti, R., Dresch Dolci, B., & Ferreira Santos, R. (2015). Potential of tilapia oil and waste in biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 234-239. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.020>
- [8] Mahesh, S. E., Ramanathan, A., Begum, K. M. M. S., & Narayanan, A. (2015). Biodiesel production from waste cooking oil using KBr impregnated CaO as catalyst. *Energy Conversion and Management*, 91, 442-450. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.031>
- [9] Sahar, Sadaf, S., Iqbal, J., Ullah, I., Bhatti, H. N., Nouren, S., . . . Iqbal, M. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. *Sustainable Cities and Society*, 41, 220-226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.037>
- [10] Xu, Y.-J., Li, G.-X., & Sun, Z.-Y. (2016). Development of biodiesel industry in China: Upon the terms of production and consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 318-330. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.035>
- [11] Knothe, G. (2010). 9 - Other Uses of Biodiesel. In G. Knothe, J. Krahl & J. Van Gerpen (Eds.), *The Biodiesel Handbook (Second Edition)* (pp. 401-403): AOCS Press.
- [12] Kim, H., & Choi, B. (2010). The effect of biodiesel and bioethanol blended diesel fuel on nanoparticles and exhaust emissions from CRDI diesel engine. *Renewable Energy*, 35(1), 157-163. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.04.008>
- [13] Zhang, Z.-H., & Balasubramanian, R. (2016). Investigation of particulate emission characteristics of a diesel engine fueled with higher alcohols/biodiesel blends. *Applied Energy*, 163, 71-80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.173>
- [14] Ali, O., Mamat, R., Abdullah, N., & Adam, A. (2016). Analysis of blended fuel properties and engine performance with palm biodiesel–diesel blended fuel (Vol. 86).
- [15] Gogoi, T. K., & Baruah, D. C. (2010). A cycle simulation model for predicting the performance of a diesel engine fuelled by diesel and biodiesel blends. *Energy*, 35(3), 1317-1323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.11.014>
- [16] Jaichandar, S., & Annamalai, K. (2013). Combined impact of injection pressure and combustion chamber geometry on the performance of a biodiesel fueled diesel engine. *Energy*, 55, 330-339. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.019>
- [17] Broatch, A., Tormos, B., Olmeda, P., & Novella, R. (2014). Impact of biodiesel fuel on cold starting of automotive direct injection diesel engines. *Energy*, 73, 653-660. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.062>
- [18] Torregrosa, A. J., Broatch, A., Plá, B., & Mónico, L. F. (2013). Impact of Fischer–Tropsch and biodiesel fuels on trade-offs between pollutant emissions and combustion noise in diesel engines. *Biomass and Bioenergy*, 52, 22-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.03.004>
- [19] Chauhan, B. S., Kumar, N., & Cho, H. M. (2012). A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with *Jatropha* biodiesel oil and its blends. *Energy*, 37(1), 616-622. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.043>

- [20] Pang, X., Shi, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Chen, H., & Li, R. (2006). Characteristics of carbonyl compounds emission from a diesel-engine using biodiesel–ethanol–diesel as fuel. *Atmospheric Environment*, 40(36), 7057-7065. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.06.010>
- [21] Shi, X., Yu, Y., He, H., Shuai, S., Dong, H., & Li, R. (2008). Combination of biodiesel-ethanol-diesel fuel blend and SCR catalyst assembly to reduce emissions from a heavy-duty diesel engine. *Journal of Environmental Sciences*, 20(2), 177-182. doi: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60028-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60028-5)
- [22] Di, Y., Cheung, C. S., & Huang, Z. (2009). Comparison of the effect of biodiesel-diesel and ethanol-diesel on the gaseous emission of a direct-injection diesel engine. *Atmospheric Environment*, 43(17), 2721-2730. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.02.050>
- [23] Hulwan, D. B., & Joshi, S. V. (2011). Performance, emission and combustion characteristic of a multicylinder DI diesel engine running on diesel–ethanol–biodiesel blends of high ethanol content. *Applied Energy*, 88(12), 5042-5055. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.07.008>
- [24] Agarwal, A. K., Chandra Shukla, P., Patel, C., Gupta, J. G., Sharma, N., Prasad, R. K., & Agarwal, R. A. (2016). Unregulated emissions and health risk potential from biodiesel (KB5, KB20) and methanol blend (M5) fuelled transportation diesel engines. *Renewable Energy*, 98, 283-291. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.058>
- [25] Jedynska, A., Tromp, P. C., Houtzager, M. M. G., & Kooter, I. M. (2015). Chemical characterization of biofuel exhaust emissions. *Atmospheric Environment*, 116, 172-182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.06.035>
- [26] Shen, X., Shi, J., Cao, X., Zhang, X., Zhang, W., Wu, H., & Yao, Z. (2018). Real-world exhaust emissions and fuel consumption for diesel vehicles fueled by waste cooking oil biodiesel blends. *Atmospheric Environment*, 191, 249-257. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.08.004>
- [27] Xue, J., Grift, T. E., & Hansen, A. C. (2011). Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1098-1116. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.016>
- [28] Hwang, J., Bae, C., & Gupta, T. (2016). Application of waste cooking oil (WCO) biodiesel in a compression ignition engine. *Fuel*, 176, 20-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.02.058>
- [29] Ambekar, A., Maurya, A. K., & Chowdhury, A. (2018). Droplet combustion studies of nitromethane and its blends. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 93, 431-440. doi: <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2018.01.026>
- [30] Presles, H. N., Desbordes, D., Guirard, M., & Guerraud, C. (1996). Gaseous nitromethane and nitromethane-oxygen mixtures: A new detonation structure. *Shock Waves*, 6(2), 111-114. doi: [10.1007/BF02515194](https://doi.org/10.1007/BF02515194)
- [31] Brackmann, C., Nauc ler, J. D., El-Busaidy, S., Hosseinia, A., Bengtsson, P.-E., Konnov, A. A., & Nilsson, E. J. K. (2018). Experimental studies of nitromethane flames and evaluation of kinetic mechanisms. *Combustion and Flame*, 190, 327-336. doi: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2017.12.011>
- [32] Germane, G. J. (1985). A Technical Review of Automotive Racing Fuels. *SAE Transactions*, 94, 867-878.
- [33] Ambekar, A., Bhangale, R., Chatterjee, R., Kulkarni, C., Kumar, S., & Chowdhury, A. (2015). Glow-plug-assisted combustion of nitromethane sprays in a constant volume chamber. *Applied Thermal Engineering*, 76, 462-474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.11.043>
- [34] Menikoff, R., & Shaw, M. S. (2011). Modeling detonation waves in nitromethane. *Combustion and Flame*, 158(12), 2549-2558. doi: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2011.05.009>

- [35] Zhang, Q., Li, W., Lin, D.-C., He, N., & Duan, Y. (2011). Influence of nitromethane concentration on ignition energy and explosion parameters in gaseous nitromethane/air mixtures. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2), 756-762. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.085>
- [36] Bouyer, V., Darbord, I., Hervé, P., Baudin, G., Le Gallic, C., Clément, F., & Chavent, G. (2006). Shock-to-detonation transition of nitromethane: Time-resolved emission spectroscopy measurements. *Combustion and Flame*, 144(1), 139-150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2005.07.004>
- [37] Leal-Crouzet, B., Baudin, G., & Presles, H. N. (2000). Shock initiation of detonation in nitromethane. *Combustion and Flame*, 122(4), 463-473. doi: [https://doi.org/10.1016/S0010-2180\(00\)00132-2](https://doi.org/10.1016/S0010-2180(00)00132-2)
- [38] Hardesty, D. R. (1976). An investigation of the shock initiation of liquid nitromethane. *Combustion and Flame*, 27, 229-251. doi: [https://doi.org/10.1016/0010-2180\(76\)90026-2](https://doi.org/10.1016/0010-2180(76)90026-2)
- [39] Kachel, K., Siche, D., Golka, S., Sennikov, P., & Bickermann, M. (2016). FTIR exhaust gas analysis of GaN pseudo-halide vapor phase growth. *Materials Chemistry and Physics*, 177, 12-18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.03.010>
- [40] Asgari, N., Ahmed, S. F., Farouk, T. I., & Padak, B. (2017). NO<sub>x</sub> formation in post-flame gases from syngas/air combustion at atmospheric pressure. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(38), 24569-24579. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.08.017>
- [41] Corro, G., Sánchez, N., Pal, U., & Bañuelos, F. (2016). Biodiesel production from waste frying oil using waste animal bone and solar heat. *Waste Management*, 47, 105-113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.001>
- [42] Najafi, G. (2018). Diesel engine combustion characteristics using nano-particles in biodiesel-diesel blends. *Fuel*, 212, 668-678. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.10.001>
- [43] Wei, L., Cheung, C. S., & Ning, Z. (2018). Effects of biodiesel-ethanol and biodiesel-butanol blends on the combustion, performance and emissions of a diesel engine. *Energy*, 155, 957-970. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.049>
- [44] Flórez Montoya, A. A., & Rojas, A. F. (2011). Efecto de la proporción de mezclas biodiesel/petrodiesel en el desempeño mecánico-ambiental de motores. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*(2), 107-115% V 111. doi: 10.25100/iyc.v11i2.2465
- [45] Couso, I., Strauss, O., & Saulnier, H. (2018). Kendall's rank correlation on quantized data: An interval-valued approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 343, 50-64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fss.2017.09.003>
- [46] Ge, J. C., Kim, H. Y., Yoon, S. K., & Choi, N. J. (2018). Reducing volatile organic compound emissions from diesel engines using canola oil biodiesel fuel and blends. *Fuel*, 218, 266-274. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.045>
- [47] Deng, W., Hu, Q., Liu, T., Wang, X., Zhang, Y., Song, W., . . . George, C. (2017). Primary particulate emissions and secondary organic aerosol (SOA) formation from idling diesel vehicle exhaust in China. *Science of The Total Environment*, 593-594, 462-469. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.088>

**Capítulo 9 Reciclado del poliestireno expandido en instituciones educativas para su uso como impermeabilizante. Caso de estudio: Universidad Politécnica de Altamira**

**Chapter 9 Recycling of the expanded polystyrene in educational institutions for use as a waterproofing. Case study: Universidad Politécnica de Altamira**

DELGADO-HERNÁNDEZ, Xochitl Samantha†\*, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva y WONG-GALLEGOS, Juan Yared

*Universidad Politécnica de Altamira-Depto. Ingeniería Industrial, Altamira, Tamaulipas, México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Xochitl Samantha, Delgado-Hernández* / **ORC ID:** 0000000161031650, **Researcher ID Thomson:** L11432018, **CVU CONACYT-ID:** 828822

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Sheila Genoveva, Pérez-Bravo* / **ORC ID:** 0000000153333763, **Researcher ID Thomson:** I59242018, **CVU CONACYT-ID:** 728001

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Juan Yared, Wong-Gallegos* / **ORC ID:** 0000000282043973, **Researcher ID Thomson:** N44682018, **CVU CONACYT-ID:** 658316

X. Delgado, S. Pérez y J. Wong

\*xochitl.delgado@upalt.edu.mx

A. Marroquín, H. Corres y L. Carpio. (Dir.) Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2018.

## Abstract

Currently the preservation of the environment is a necessary issue, which is causing changes in the culture of people. The expanded polystyrene (EPS) or better known in Mexico as uncel, is one of the most used materials for packaging and packaging food. Being of high consumption, it is also high volume of waste, and this, in the Urban Solid Waste (RSU, acronym in Spanish), is a polluting material that requires many years for its degradation. The objective of this work is to reuse the uncel that is discarded inside the universities, mainly in the cafeterias, to produce a waterproofing that can be used within the same institutions. In this way, it is intended to save on expenses and reduce waste in uncel. To achieve the above, four stages were carried out in this process. In the first stage, EPS was collected at the Polytechnic University of Altamira. As a second stage it became a pre-treatment. In the third stage the solvent was determined to form the resin. In the final stage, the operation of the resin as waterproofing is validated. With the above you can create a useful product for universities, as well as the culture of recycling EPS, in addition to reducing the amount of EPS that reaches landfills or open dumps (TCA acronym in Spanish).

## Recycling, Uncel and Waterproofing

### 1 Introducción

El poliestireno expandido (EPS por sus siglas en inglés) o mejor conocido como uncel, es un material muy utilizado en la sociedad actualmente. Se sabe de antemano que puede contaminar al desecharse, aunque algunas investigaciones afirman lo contrario [1]. Lo cierto, es que su baja tasa de reciclaje en México, representa un fuerte problema ambiental, pues dicho material tarda en degradarse aproximadamente 500 años [2]. Siendo un material de fácil reciclaje ya sea de forma mecánica o química [3], se debe de aprovechar para evitar descharlo.

Un punto estratégico de recolección del uncel, son las universidades, principalmente en el área de cafetería, en el cuál se desecha gran cantidad de uncel como basura común. La Universidad Politécnica de Altamira (UPALT) no es la excepción, ya que se concentran varios contenedores al día de desechos. El uncel es el que da mayor volumen a la basura de los contenedores. En la Figura 9.1, se muestra el uncel ya separado y listo para reciclar. La cantidad es solo de un contenedor de basura. Para las empresas de reciclaje significa un gasto su recolección [4], debido al poco peso y gran tamaño, sin embargo la institución educativa ya cuenta con la concentración de éste.

**Figura 9.1** Uncel de un contenedor



Fuente: Universidad Politécnica de Altamira

Para evitar que ésta acumulación de uncel se desperdicie, es necesario dar una segunda vida útil al material dentro de las mismas instituciones, disminuyendo el traslado de éste a los TCA o rellenos sanitarios, y evitando un posible impacto ambiental para generar el principio de un ambiente sustentable. Para lograr este ambiente sustentable es necesario crear conciencia en la sociedad donde se pretende reciclar el uncel, trabajando en conjunto con las autoridades correspondientes. En México, la comisión de medio ambiente y recursos naturales aprueba el exhorto para que la SEMARNAT, SS y PROFECO, en coordinación con las autoridades de las entidades federativas correspondientes y en el ámbito de sus competencias, se sigan implementando campañas de educación, difusión sobre los riesgos a la salud y el daño al medio ambiente que puede causar la producción, uso y desecho del uncel [5].

Es importante crear una campaña en las instituciones para que estén informadas de las consecuencias que el unigel puede ocasionar si se sigue desechando como hasta ahora. En la Figura 9.2, se muestra el ejemplo con el que se trabajó en la universidad de estudio, tratando de fomentar una cultura de reciclaje.

**Figura 9.2** Campaña de Reciclaje de Unigel



Fuente: Universidad Politécnica de Altamira

### **Justificación**

Al reciclar el unigel, nos permitirá disminuir el volumen de basura que se genera en las Universidades, y probablemente economizar en el gasto público por transportación, así como evitar el posible impacto ambiental que éste resultaría al desecharse. Más aún, se utilizaría éste material modificado para un beneficio en los edificios de las instituciones, como es el impermeabilizar, contribuyendo con un ahorro económico al sustituir un consumible, y aportar comodidad a la sociedad estudiantil.

### **Estado del Arte**

Actualmente existen diversas empresas que se dedican a reciclar el unigel para la elaboración de productos como alternativa para disminuir el desecho de unigel, e incluso hay algunos proyectos que lo proponen como un sustituto del impermeabilizante comercial, algunos de los cuales se describen brevemente a continuación:

1. Según Juárez [6], realizó un impermeabilizante a base de unigel reciclado y solvente, en éste caso acetona, haciendo una investigación de mercado con el fin de comercializarlo, la acetona es un buen material para este proceso pero resulto un poco caro conseguirlo, por lo que se descartó este solvente.
2. Según Alberola [7], creó impermeabilizante con unigel y acetato de etilo con el fin de reciclar el material. Conseguir el acetato no fue fácil, y utilizarlo para grandes cantidades de unigel no lo hizo conveniente, por lo que se descartó.
3. Según Sosa [8], desarrolló un aislante térmico a base de unigel y thinner. Aunque en esta investigación el thinner que se utilizó era de buena calidad, se adaptó el solvente que se pudo conseguir, el cual fue de segunda, pero funcional para la experimentación.

Se encontraron muchos proyectos más, pero los anteriores son los más parecidos a lo que se quiso lograr en éste trabajo, no encontrando uno proyecto completamente igual. La diferencia principal de esta investigación con otras, es el reciclaje del unigel dentro de las universidades como medio sustentable y la implementación de una cultura de reciclaje.

### **Metodología**

Para lograr el reciclado de unigel y la elaboración del impermeabilizante, se dividió éste trabajo en 4 fases que a continuación se describen:

### Fase 1 Acopio del EPS en la Universidad

Se implementó una campaña de recolección de unigel en la Universidad de estudio. Se destinó un contenedor especial, invitando a separar la basura y depositar el unigel ya usado en ese recipiente. La ubicación del contenedor fue en la zona de cafetería, como se muestra en la Figura 9.3, se colocaron señalamientos y propaganda. Ésta campaña nos dio material suficiente para experimentar.

**Figura 9.3** Contenedor para unigel



Fuente: Universidad Politécnica de Altamira

### Fase 2 Pretratamiento

Una vez recolectado el unigel, se procedió al pretratamiento para eliminar las impurezas como sobras de alimentos. Como se muestra en la Figura 9.4, éste proceso consistió en lavar el unigel con agua y detergente. No es recomendable utilizar el unigel sin éste proceso, ya que al ser utilizado como contenedor de alimentos, termina contaminado principalmente por grasas y residuos de comida.

**Figura 9.4** Pretratamiento



Fuente: Universidad Politécnica de Altamira

### Fase 3 Determinar el solvente

Una vez con la materia prima en óptimas condiciones, se procedió a experimentar con los materiales disponibles para trabajar con grandes cantidades de unigel, sin afectar económicamente las finanzas de la universidad, lo que llevó hacer uso de thinner sobrante de segunda, el cuál abunda actualmente en ésta institución. Sin embargo no fue el thinner el único material utilizado, ya que se consiguió PVC en polvo desechado de la industria, con el cual también se decidió experimentar, con el objetivo de formar una resina con mayor resistencia a las altas temperaturas del clima.

Como se muestra en la Figura 9.5, se añadió en un recipiente, 250gr de unigel pretratado y 500ml de thinner, medidos previamente. Con ayuda de una espátula plástica, se mezcló manualmente los materiales hasta obtener una homogenización del unigel con el solvente. Una vez disuelto todo el unigel, se tomaron pequeñas porciones que igualmente, con ayuda de la espátula plástica, se colocó la mezcla encima de 2 blocks para comprobar su adhesión a una superficie áspera.

**Figura 9.5** Disolución del unigel



Fuente: Universidad Politécnica de Altamira

Una vez terminada la primera mezcla de unigel y solvente, se hicieron otras más, pero combinando PVC, para comprobar si el resultado era de mejor adhesión que la mezcla hecha únicamente con unigel. En la Tabla 9.1, se muestran los porcentajes de unigel y PVC contenidos en las combinaciones realizadas.

**Tabla 9.1** Combinaciones de unigel y PVC

Resinas	Unigel	PVC
R1	100%	0%
R2	95%	5%
R3	75%	25%

Fuente: Universidad Politécnica de Altamira

#### Fase 4 Validar el funcionamiento de la resina

Se procedió a hacer pruebas a las diferentes resinas resultantes de las combinaciones hechas. La prueba a la que se le dio mayor importancia fue la térmica [9], ya que era indispensable que la resina resistiera las altas temperaturas de la zona. Como se muestra en la Figura 9.6, se cortaron pequeñas muestras de las resinas completamente secas y se procedió a calentarlas con ayuda de un crisol, mechero, pinzas y una pistola infrarrojo para medir la temperatura.

**Figura 9.6** Prueba térmica



Fuente: Universidad Politécnica de Altamira

## Resultados

Los resultados de la Fase 1 *Acopio del EPS en la Universidad*, fueron los siguientes: Como observación de la campaña de recolección de unigel realizada en la Universidad, así como la invitación a separar los materiales reciclables, fue una respuesta negativa dentro de la sociedad estudiantil, primeramente casi la totalidad de las personas aún desconocen que el unigel puede ser reciclado y por otro lado no hay compromiso, disponibilidad ni cultura ambiental actualmente, por lo que tuvimos dificultades en la recolección como se muestra en la Figura 9.7, ya que se presentó resistencia en un inicio, a ésta campaña.

**Figura 9.7** Respuestas a la Campaña de Reciclado



Fuente: Universidad Politécnica de Altamira

Es responsabilidad de todos seguir reciclando los materiales que a diario desechamos y fue favorable el pequeño logro obtenido con éste trabajo para impermeabilizar áreas necesarias de la universidad con productos reciclados a un bajo costo.

Los resultados de la Fase 2 *Pretratamiento*, fueron los siguientes: EL unigel desechado en la zona de la cafetería, contenía sobras de alimentos y grasa, por lo que fue necesaria su limpieza previa, haciendo funcional el material para reciclarlo. Se detectó que sin su pretratamiento, el material tarda más en disolverse que el que se encuentra libre de impurezas. El cual, sin limpieza, también despiden mal olor y contaminan el thinner. Existen más desechos de unigel en otras áreas como mantenimiento y laboratorios, aunque este unigel no necesitó el pretratamiento para su disolución.

Los resultados de la Fase 3 *Determinar el solvente*, fueron los siguientes: Determinar el solvente no fue difícil ya que al tener sobrante de thinner en la universidad y con el objetivo de economizar, se utilizó éste sin problema para disolver el unigel. El producto obtenido fue una solución viscosa con propiedades adhesivas. Se compararon las características de disolver el unigel, utilizando acetona, y se observó que su secado era más rápido que el del thinner, pero al transcurrir el tiempo, un mes aproximadamente, llegan a tener la misma apariencia con la diferencia de que éste último guarda pequeñas burbujas en su interior.

Los resultados de la Fase 4 *Validar el funcionamiento de la resina*, fueron los siguientes: Se observó, que a mayor cantidad de PVC, mayor era su rapidez de secado y su tono oscuro. Todas las resinas resultantes fueron adhesivas, por lo que se pegaron a los blocks sin problema. También evitaron el paso del agua al block.

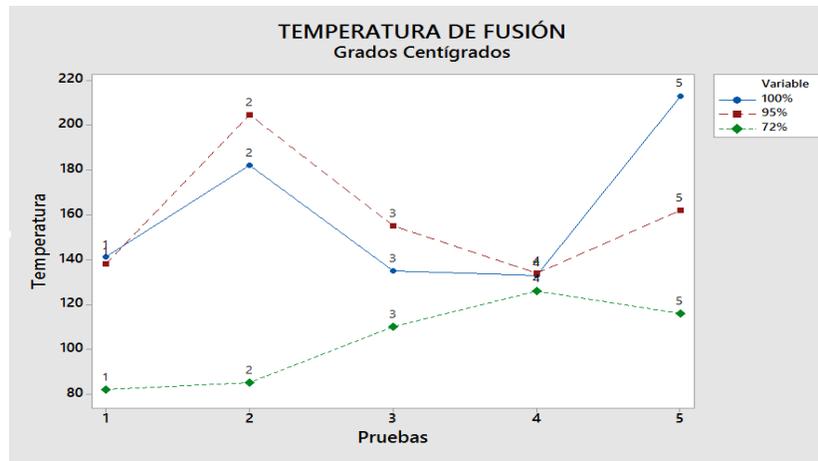
En la Tabla 9.2, refleja el resultado de las pruebas térmicas realizadas a cada resina de las combinaciones hechas con unigel y PVC. Estas medidas de temperatura fueron tomadas a 5 muestras de cada una de las resinas en su punto de fusión, o sea, en el momento en que comenzaba a derretirse el material. Como resultado se comparó las medidas de temperatura de cada resina, para identificar la de mayor resistencia para deformarse por temperaturas altas del medio ambiente.

**Tabla 9.2** Medidas en grados centígrados del punto de fusión

Concentración		Temperatura de fusión				
Unicel	Pvc	1	2	3	4	5
100%	0%	141	182	135	132.9	213
95%	5%	138	204.6	155	134	162
72%	28%	81.8	85	110	126	116

Fuente: Universidad Politécnica de Altamira

Con la tabla de medidas de temperatura del punto de fusión de las combinaciones de unicel y PVC, se interpretaron con una gráfica de tiempos [10] como se muestra en la Gráfica 9.1, la cual presenta la combinación de 95% unicel y 5% PVC, así como la de 100% unicel, como las dos resinas de punto de fusión más alto en la mayoría de las pruebas realizadas.

**Gráfico 9.1** Temperatura de fusión (Elaborado en Minitab)

Fuente: Universidad Politécnica de Altamira

Finalmente después de dos meses, se observó que la resina con 5% de PVC, se desprendía en algunas zonas del block a diferencia de la de 100% unicel, que permaneció adherida, como se muestra en las Figuras 9.8 y 9.9.

**Figura 9.8** Polímero con PVC

Fuente: Universidad Politécnica de Altamira

**Figura 9.9** Polímero sin PVC

Fuente: Universidad Politécnica de Altamira

### **Agradecimiento**

De antemano muchas gracias al Rector de la Universidad Politécnica de Altamira, Dr. Gustavo Hernández, a la Secretaria Académica, Dra. Sagrario Vázquez, al Coordinador del programa de Ingeniería Industrial, MII. Juan Wong, a mi compañera MIA Sheila Genoveva Pérez Bravo, quienes creyeron y apoyaron éste proyecto desde un inicio así como al Jefe de Mantenimiento, Ángel González y a la Jefa de Laboratorios, Ing. Elida Ríos, quienes nos proporcionaron lo necesario para hacer las pruebas correspondientes y finalmente a mis alumnos que me apoyaron en todo el proceso de elaboración de la resina, Reyna Cobos y Ricardo Zamora.

### **Conclusiones**

Por lo anterior se concluyó que, el unigel puro o con una baja combinación de PVC, tiene mayor resistencia a las altas temperaturas pero, en las pruebas realizadas en block, la combinación de unigel puro, tuvo mejor adhesión a la superficie.

Para proyectos futuros, queda la experimentación con otros materiales que se pueden utilizar como solventes sin generar un alto costo y la fabricación de más productos que se pueden obtener a raíz de éste trabajo para su utilización dentro de las universidades.

### **Referencias**

- [1] «Poliestireno, características y ventajas respecto al medio ambiente». EcoPlas, 2011.
- [2] «Iniciativa con proyecto de decreto por el que se reforman los artículos 7, 19, 33,98 y 106 de la ley general para la prevención y gestión integral de los residuos, en materia de reciclaje de unigel.» Comisión de medio ambiente y recursos naturales, Senado de la República, 2016.
- [3] «El ABC de los plásticos». Comisión de la Industria del Plástico, Responsabilidad y Desarrollo Sustentable, 2016.
- [4] J. C. Machorro, «Crean marcos a base de reciclaje de unigel», 2015.
- [5] «Los problemas ambientales y a la salud humana que genera la producción, uso y desecho del material conocido como “unigel”». 2016.
- [6] E. Juárez, «Estudio de la factibilidad para elaboración de impermeabilizante a través del reciclaje del unigel, México». Instituto Politécnico Nacional, 2016.
- [7] A. Alberola, «Eco-estireno “de no reciclable a re-utilizable»». Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.

- [8] J. Sosa, «Poliestireno expandido: potencial para su reciclado como aislante térmico». Universidad Autónoma de Nuevo León, 2015.
- [9] E. L. Pencue Fierro, D. A. Bravo Montenegro, y M. M. Patiño Velasco, «Análisis de termografías infrarrojas dinámicas mediante técnicas de procesamiento de imágenes. (Analysis of Dynamic Infrared Thermographies through the Application of Image Processing Techniques.)», *Cienc. EN Desarro.*, vol. 6, n.º 1, p. 127, jul. 2015.
- [10] Carrasco, «Visualizando lo que varía. Interpretación y construcción de gráficas de variación en el tiempo». 2005.

## Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

---

### Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2<sup>do</sup> Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3<sup>er</sup> Coautor

*Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)*

*International Identification of Science - Technology and Innovation*

ID 1<sup>st</sup> author: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID) and CVU 1<sup>st</sup> author: (Scholar-PNPC or SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1<sup>st</sup> coauthor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID) and CVU 1<sup>st</sup> coauthor: (Scholar or SNI) (No.10 Times New Roman)

ID 2<sup>nd</sup> coauthor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID) and CVU 2<sup>nd</sup> coauthor: (Scholar or SNI) (No.10 Times New Roman)

ID 3<sup>rd</sup> coauthor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID) and CVU 3<sup>rd</sup> coauthor: (Scholar or SNI) (No.10 Times New Roman)

(Report Submission Date: Month, Day, and Year); Accepted (Insert date of Acceptance: Use Only ECORFAN)

**Citación:** Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 1<sup>er</sup> Autor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 1<sup>er</sup> Coautor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 2<sup>do</sup> Coautor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 3<sup>er</sup> Coautor. Apellido

Correo institucional [Times New Roman No.10]

Primera letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre Editores. Apellidos (Dir.) *Título del Handbook [Times New Roman No.10]*, Temas Selectos del área que corresponde ©ECORFAN- Filial, Año.

# Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

---

## Abstract

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo, en inglés.

**Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman y Negritas No.12**

## 1 Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?.

Enfocar claramente cada una de sus características.

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Capítulo.

## Desarrollo de Secciones y Apartados del Capítulo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Capítulos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del Capítulo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

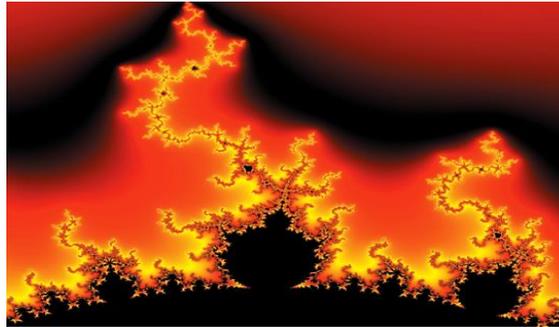
[Indicando el título en la parte Superior con Times New Roman No.12 y Negrita, señalando la fuente en la parte Inferior centrada con Times New Roman No. 10]

**Tabla 1.1** Título

<b>Particiones</b>	<b>Valores</b>	<b>Log</b>
P1	7.58	0.88
P2	7.62	0.88
P3	7.58	0.88
P4	7.59	0.88
P5	7.57	0.88
P6	7.58	0.88
P7	7.57	0.88

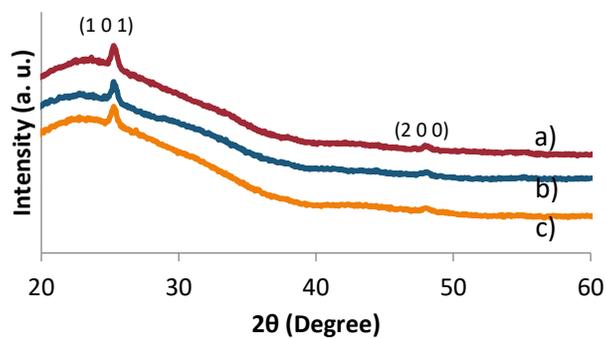
Fuente de Consulta:  
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

**Figura 1.1** Título



Fuente de Consulta:  
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

**Gráfico 1.1** Título



Fuente de Consulta:  
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Cada Capítulo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

**Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:**

$$P = \frac{[V_V - P_V]^{1/2}}{V_O - P^{Uh}} + \frac{3}{4} \left[ \frac{(P^{VL})}{(P_u)} \right] \rightarrow \int_V^a L_a \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

### Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados.

### Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Capítulo.

### Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

### Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

# Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

---

## Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

## Referencias

Utilizar sistema APA. **No** deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo, en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Capítulo.

## Ficha Técnica

Cada Capítulo deberá presentar en un documento Word (.docx):

Nombre del Handbook

Título del Capítulo

Abstract

Keywords

Secciones del Capítulo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

## Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

## **Reserva a la Política Editorial**

ECORFAN Handbooks se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar la Obra Científica a la Política Editorial del Ecorfan Handbooks. Una vez aceptada la Obra Científica en su versión final, el Ecorfan Handbooks enviará al autor las pruebas para su revisión. Ecorfan® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación de la Obra Científica.

## **Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales**

### **Declaración de Originalidad y carácter inédito de la Obra Científica, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución**

La Dirección de Ecorfan-México, S.C reivindica a los Autores de la Obra Científica que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes de la Obra Científica deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia de la Obra Científica propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título de la Obra Científica:

- El envío de una Obra Científica a Ecorfan Handbooks emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en esta Obra Científica ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en la Obra Científica, así como las teorías y los datos procedentes de otras Obras Científicas previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que Ecorfan-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de esta Obra Científica se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en la Obra Científica.

## Copyright y Acceso

La publicación de esta Obra Científica supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding México para su ECORFAN Handbooks, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada de la Obra Científica y la puesta a disposición de la Obra Científica en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título de la Obra Científica:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

## Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

### Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre la Obra Científica enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

### Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio a la Obra Científica el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

### Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de la Obra Científica. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con la Obra Científica que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter la Obra Científica a evaluación.

### **Responsabilidades de los Autores**

Los Autores deben garantizar que sus Obras Científicas son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Obra Científica definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza de la Obra Científica presentado a arbitraje.

### **Servicios de Información**

#### **Indización - Bases y Repositorios**

RESEARCH GATE	For international bibliographer's manager
MENDELEY	For basification of data from scientific journals
GOOGLE SCHOLAR	For your international search specialized in retrieving scientific documents
REDIB	Ibero-American Network of Innovation and scientific knowledge-CSIC

#### **Servicios Editoriales:**

Identificación de Citación e Índice H.  
Administración del Formato de Originalidad y Autorización.  
Testeo del Chapter con PLAGSCAN.  
Evaluación de Obra Científica.  
Emisión de Certificado de Arbitraje.  
Edición de Obra Científica.  
Maquetación Web.  
Indización y Repositorio  
Publicación de Obra Científica.  
Certificado de Obra Científica.  
Facturación por Servicio de Edición.

#### **Política Editorial y Administración**

244 - 2 Itzopan Calle. La Florida, Ecatepec Municipio México Estado, 55120 Código postal, MX. Tel: +52 1 55 2024 3918, +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 4640 1298; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org)  
[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

## **ECORFAN®**

### **Editora en Jefe**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

### **Redactor Principal**

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

### **Asistente Editorial**

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC

### **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

### **Editor Ejecutivo**

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

### **Editores de Producción**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

### **Administración Empresarial**

REYES-VILLAO, Angélica. BsC

### **Control de Producción**

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

### **Editores Asociados**

OLIVES-MALDONADO, Carlos. MsC

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

CHIATCHOUA, Cesaire. PhD

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

CENTENO-ROA, Ramona. MsC

ZAPATA-MONTES, Nery Javier. PhD

ALAS-SOLA, Gilberto Américo. PhD

MARTÍNEZ-HERRERA, Erick Obed. MsC

ILUNGA-MBUYAMBA, Elisée. MsC

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

### **Publicidad y Patrocinio**

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan ),sponsorships@ecorfan.org

### **Licencias del Sitio**

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

**Oficinas de Gestión**

244 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre–Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal –Madrid-España.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenue, Salinas 1 - Santa Elena-Ecuador.

1047 La Raza Avenue -Santa Ana, Cusco-Peru.

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Cameroon.

Southwest Avenue, San Sebastian – León-Nicaragua.

6593 Kinshasa 31 – Republique Démocratique du Congo.

San Quentin Avenue, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 Kilometro, American Highway, House Terra Alta, D7 Mixco Zona 1-Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Captain, CP-2060. Luque City- Paraguay.

Distrito YongHe, Zhongxin, calle 69. Taipei-Taiwán.

