

ISSN 2531-2960

Volumen 2, Número 6 — Abril — Junio - 2018

Revista del Desarrollo Tecnológico

ECORFAN®

ECORFAN-Spain

Editora en Jefe

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo

MIRANDA-GARCIA, Marta. 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

Revista del Desarrollo Tecnológico,

Volumen 2, Número 6, de Abril a Junio-2018, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Spain. Calle Matacerquillas 38, CP: 28411. Morazarzal -Madrid.

WEB: www.ecorfan.org/spain,

revista@ecorfan.org. Editora en Jefe:

RAMOS-ESCAMILLA, María. Co-Editor:

MIRANDA-GARCÍA, Marta. PhD. ISSN-

2531-2960. Responsables de la última

actualización de este número de la Unidad de

Informática ECORFAN. ESCAMILLA-

BOUCHÁN, Imelda, LUNA-SOTO,

Vladimir, actualizado al 30 de Junio 2018.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Centro Español de Ciencia y Tecnología

Revista del Desarrollo Tecnológico

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas Desarrollo tecnológico, Tecnología Digital, Impacto tecnológico, Enseñanza con ayuda de ordenador, Fiabilidad de los ordenadores, Heurística, Informática, Instrucciones aritméticas de máquina, Inteligencia artificial, Lenguajes algorítmicos, Lenguajes de programación

ECORFAN-México 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

Revista del Desarrollo Tecnológico es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Spain, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. 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 la Desarrollo tecnológico, Tecnología Digital, Impacto tecnológico, Enseñanza con ayuda de ordenador, Fiabilidad de los ordenadores, Heurística, Informática, Instrucciones aritméticas de máquina, Inteligencia artificial, Lenguajes algorítmicos, Lenguajes de programación 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 Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® 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 un Artículo a Revista del Desarrollo Tecnológico 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 Artículo.

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

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Artículo 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 del Artículo.

Detección de Plagio

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandara a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todos los Artículos 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 homólogo 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 Research Journal 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 Artículo Modificado para Edición-Publicación.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Desarrollo tecnológico, Tecnología Digital, Impacto tecnológico, Enseñanza con ayuda de ordenador, Fiabilidad de los ordenadores, Heurística, Informática, Instrucciones aritméticas de máquina, Inteligencia artificial, Lenguajes algorítmicos, Lenguajes de programación y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología

Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos, *Comparativa de panel solar monocristalino 0 y 20° vs policristalino 0 y 20° de inclinación en Puerto Vallarta*, por PAREDES-VÁZQUEZ, Cesar Paul, FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe y DIBENE-ARREOLA, Luis Martin, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, como Segundo artículo presentamos, *Diseño y construcción de un módulo automatizado para simulación de regímenes de carga de un banco de pruebas de rendimiento electromecánico de biodiesel*, por ORTIZ-MEDINA, Raúl Arturo, MALDONADO-RUELAS, Victor Arturo, AGUIRRE-SÁMANO, Juan Fernando y KAMARAJ - Sathish Kumar, con adscripción en la Universidad Politécnica de Aguascalientes y el Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes, como tercer artículo presentamos, *Importancia del n-butanol y su aplicación al modelado de procesos de combustión*, por PRINCE-AVELINO, Juan, DÍAZ-GONZÁLEZ, Mario, RODRÍGUEZ-LEÓN, Abelardo y OVANDO-CHACÓN, Guillermo, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Veracruz, como cuarto artículo presentamos, *Desarrollo de una HMI tipo arquitectura abierta para la comunicación Ethernet con PLCs de la marca Allen Bradley*, por CARMONA-MARTÍNEZ, Luis Alberto, SOTO-CAJIGA, Jorge Alberto, RODRÍGUEZ-OLIVARES, Noé Amir y ORTÍZ-ORTÍZ, Tania Judith, con adscripción en el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) y la Universidad Tecnológica de Querétaro (UTEQ).

Contenido

Artículo	Página
Comparativa de panel solar monocristalino 0 y 20° vs policristalino 0 y 20° de inclinación en Puerto Vallarta PAREDES-VÁZQUEZ, Cesar Paul, FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe y DIBENE-ARREOLA, Luis Martin <i>Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas</i>	1-7
Diseño y construcción de un módulo automatizado para simulación de regímenes de carga de un banco de pruebas de rendimiento electromecánico de biodiesel ORTIZ-MEDINA, Raúl Arturo, MALDONADO-RUELAS, Victor Arturo, AGUIRRE-SÁMANO, Juan Fernando y KAMARAJ - Sathish Kumar <i>Universidad Politécnica de Aguascalientes</i> <i>Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes</i>	8-14
Importancia del n-butanol y su aplicación al modelado de procesos de combustión PRINCE-AVELINO, Juan, DÍAZ-GONZÁLEZ, Mario, RODRÍGUEZ-LEÓN, Abelardo y OVANDO-CHACÓN, Guillermo <i>Instituto Tecnológico de Veracruz</i>	15-23
Desarrollo de una HMI tipo arquitectura abierta para la comunicación Ethernet con PLCs de la marca Allen Bradley CARMONA-MARTÍNEZ, Luis Alberto, SOTO-CAJIGA, Jorge Alberto, RODRÍGUEZ-OLIVARES, Noé Amir y ORTÍZ-ORTÍZ, Tania Judith <i>Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)</i> <i>Universidad Tecnológica de Querétaro (UTEQ)</i>	24-31

Comparativa de panel solar monocristalino 0 y 20° vs policristalino 0 y 20° de inclinación en Puerto Vallarta

Comparison of solar panel monocristalino 0 and 20 ° vs policristalino 0 and 20 ° of inclination in Puerto Vallarta

PAREDES-VÁZQUEZ, Cesar Paul*†, FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe y DIBENE-ARREOLA, Luis Martin

Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, División Ingenierías

ID 1^{er} Autor: Cesar Paul, Paredes-Vázquez / ORC ID: 0000-0002-4408-9487

ID 1^{er} Coautor: Noé Guadalupe, Fletes-Camacho

ID 2^{do} Coautor: Luis Martin, Dibene-Arreola / CVU CONACYT ID: 412156

Recibido Marzo 27, 2018; Aceptado Junio 30, 2018

Resumen

Con esta investigación se busca determinar cuál es la diferencia de energía eléctrica (KWH) que resulta de elegir entre paneles solares de silicio monocristalino o policristalino, además si el diseño del inmueble no permite hacer la inclinación recomendada de los paneles se podrá tener el dato de la generación de esos mismo paneles a 0° y a 20°, en un clima costero como la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco. El sistema a medir cuenta con paneles solares de la marca Solartec modelos; 2 paneles S60-PC250 y 2 paneles S60-MC250 conectados a dos micro inversores marca APS modelo YC500 junto con un sistema de monitoreo y registro de datos. Dicho sistema se tiene grabando y registrando desde el día 1 de abril de 2017, completando la base de datos de un año en 2018 se pretende contribuir a los integradores de sistemas solares y sociedad estudiantil con información real para tomar decisiones sobre sus proyectos. Como dato adicional, el sistema en ningún día se le dio algún tipo de mantenimiento como (limpieza de cubiertas, micros, etc). Toda la información será comparada con datos registrados por piranómetros instalados a escasos 40 metros y a la misma altura.

Policristalino Monocristalino Eficiente

Abstract

This investigation define what is the difference of the electrical energy (KWH) presented in a comparative between solar panels of monocrystalline silicon or polycrystalline silicon, besides if the design of the property doesn't permit to do the inclination recommended for the panels, the investigation could be developed with the generation of these ones at 0° and 20°, in a coastal weather like the city of Puerto Vallarta, Jalisco. The system to measure has two different solar panels of the brand Solartec, with two models of S60-PC250 and another two of S60-MC250, connected to two microinversors of the brand APS model YC500 with a system of monitory and a data register that has been making recorderings since the 1rst of April 2017. Completing the data base of a year in 2018, we pretend to contribute with real information for the integrators of solars systems and the student society to make concrete desitions on their upcoming projects. As additional fact, the system didn't have any kind of manteinance like (cleaning of covers, micros, etc). All the information will be compared with the data registred by pyranometers installed at 40 meters up the panels, and others at the same height of these ones.

Polycrystalline Monocrystalline Efficient

Citación: PAREDES-VÁZQUEZ, Cesar Paul, FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe y DIBENE-ARREOLA, Luis Martin. Comparativa de panel solar monocristalino 0 y 20° vs policristalino 0 y 20° de inclinación en Puerto Vallarta. Revista del Desarrollo Tecnológico. 2018. 2-6: 1-7.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (cparedes@utbb.edu.mx)

Introducción

La energía solar fotovoltaica se basa en la utilización de células solares o fotovoltaicas, fabricadas con materiales semiconductores cristalinos que, por efecto fotovoltaico, generan corriente eléctrica cuando sobre los mismos incide la radiación solar. El silicio es la base de la mayoría de los materiales más ampliamente utilizados en el mundo para la construcción de células solares (Collado, Castro, Colmenar, & Calero, 2013). La industria fotovoltaica ha ido creciendo a gran escala en lo residencial, comercial e industrial, sin embargo, un mismo panel puede ser instalado en cualquier industria.

Conforme se desarrollan nuevas técnicas de fabricación y nuevos materiales se logran mejores eficiencias, sin duda, un factor importante que definiría cuando un sistema fijo generaría más energía es la inclinación y orientación independiente si el tipo de silicio. En la presente investigación son utilizados 4 paneles y 2 micro inversores fabricado con fines comerciales en común, es decir, tomar productos del mercado y ponerlos a prueba, para determinar cuál es la ganancia de generación instalándolos a determinada inclinación y si es policristalino o monocristalino, no decir cual producto es mejor.

Los paneles usados son; 4 paneles marca Solartec en dos versiones, 2 policristalinos modelo S60-PC250 y 2 monocristalinos modelo S60-MC250. Dichos paneles conectados a dos micro inversores marca APS modelo YC500.

De los primeros conceptos que se quedan grabados cuando se comienza a aprender sobre energía solar son: “Los paneles solares se orientan al sur” y “Los paneles se deben inclinar según la latitud del lugar” (Perez, s.f.).

Las empresas que actualmente se dedican a las instalaciones fotovoltaicas carecen de información especializada de ciertas zonas, por ello la importancia de desarrollar fuentes de información confiable.

La investigación se dividió básicamente en tres etapas; Instalación y puesta en marcha, concentrado de toda la información y análisis. Esas etapas fueron en un periodo de abril 2017 a marzo 2018 para poder completar mínimo un año de registro.

Fundamentos

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica, de estas existen básicamente dos tipos de sistemas fotovoltaicos; autónomos e interconectados. (Mendez, 2007).

Sistemas aislados

Tienen como objeto satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica en aquellos lugares donde no existe red eléctrica de distribución o es de difícil acceso. La figura 1 muestra un esquema general de un sistema fotovoltaico autónomo, mostrando sus elementos más comunes y principales.

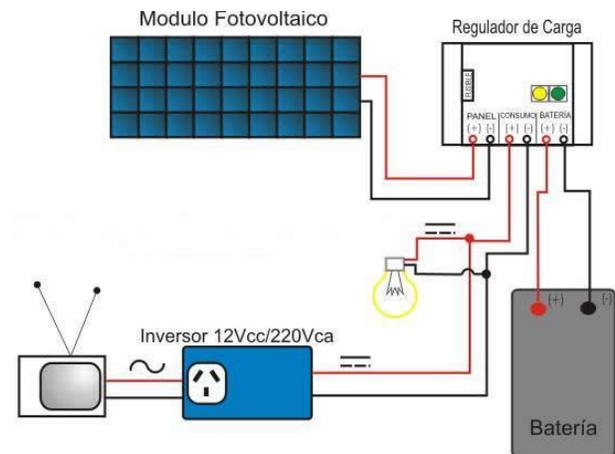


Figura 1 Esquema de sistema autónomo
Fuente: conermex, 2014

Sistema de conexión a red

Los sistemas conectados a red no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica. En la figura 2 se muestra un esquema general de un sistema general de conexión a la red mostrando sus elementos comunes y principales.

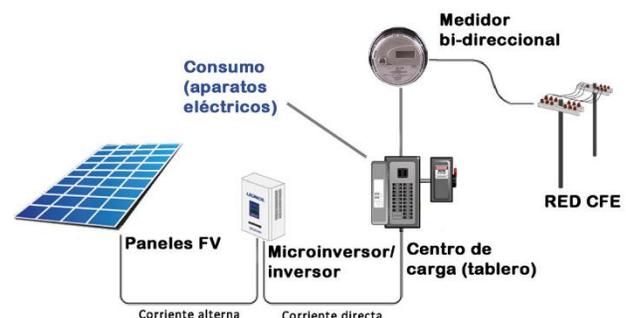


Figura 2 Esquema de un sistema conectado a la red
Fuente: greensun, 2015

Las instalaciones fotovoltaicas descritas anteriormente, tienen un precio elevado. Si se considera este precio como una amortización a lo largo de varios años repercutiéndolo como coste de la electricidad, en general no es competitivo con los precios del mercado. Este hecho debería variar con el tiempo; los sistemas fotovoltaicos deber de evolucionar y conseguir mayores rendimientos, es decir, que los paneles con el mismo tamaño obtendrán más energía. (Mendez, 2007).

Uno de los elementos principales, si no el principal, del cual viene el nombre de sistemas fotovoltaicos, son los paneles solares. Siguen teniendo la misma forma, pero solo los diferencia comúnmente dos tipos de silicio; monocristalino y policristalino, cada uno con características especiales y eficiencias.

Células de silicio monocristalino: Poseen una estructura muy uniforme. Se fabrican en cilindros que posteriormente se cortan en obleas; su fabricación es lenta y consume mucha energía. Las mejoras de eficiencia del silicio policristalino han hecho disminuir la presencia en el mercado de las células monocristalino. Tradicionalmente más caro que el silicio policristalino, el precio de ambos de ha aproximado en gran medida a día de hoy.

Células de silicio policristalino: tiene una estructura no uniforme; se fabrican en moldes rectangulares, y su, coste de fabricación es menor que el silicio monocristalino. Hoy en día, la mayor parte de los paneles que se comercializan están formados por silicio policristalino. Le eficiencia de las celular policristalinas hasta hace unos años era sensiblemente más baja que la eficiencia de las de silicio monocristalino, sin embargo, el rendimiento del primero viene igualando, en los últimos tiempos, el del segundo.

Los paneles de silicio policristalino poseen en 2010 una eficiencia de entre el 13 y el 16 por ciento, si bien se trata de valores que aumentan sensiblemente cada año. (Moro, 2010). En la figura 3 se muestra la comparativa entre una célula monocristalina y una policristalina.

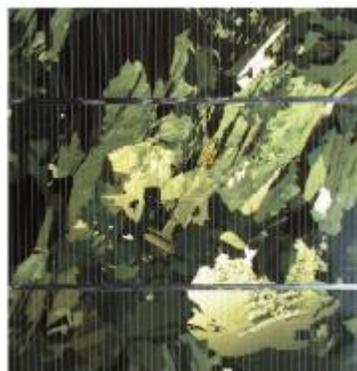


Figura 3 Comparación de una célula de silicio monocristalina (arriba) y una de silicio policristalino (abajo)

Fuente: Instalaciones solares fotovoltaicas, 2010)

En la célula fotovoltaica tienen lugar una serie de pérdidas que limitan su rendimiento, de modo que solo pueden extraer una parte de la energía solar que incide sobre ella:

Sombra causada por la conexión eléctrica y reflexión de parte de la radiación solar: 3%

Energía de los fotones demasiado baja como para romper el enlace del silicio y generar un par electrón-hueco: 22%

Energía de los fotones demasiado elevada para romper el enlace del silicio: 30%

Pérdidas de energía debido a recombinación de electrones y huecos: 8.5%

Pérdidas de tensión en la célula: 20%

Pérdidas en las resistencias: 0.5%

Todo ello limita el rendimiento global de la célula fotoeléctrica a aproximadamente el 16%. (Mendez, 2007).

Desarrollo

El procedimiento seguido para determinar cuál de los paneles; panel con células monocristalinas o panel con célula policristalina, es más eficiente tomando en cuenta su ángulo de inclinación, 0° y 20° fue el siguiente: en marzo de 2018 se instalaron 4 paneles solares en dos estructuras, la primera inclinada a 0° con un panel monocristalino y un panel policristalino, la segunda estructura, con paneles similares pero a una inclinación de 20°, cada estructura se incluyó un micro inversor con su datalogger o Unidad de Comunicación de energía (ECU) para el registro de los datos de generación: voltaje de corriente directa, alterna, frecuencia, corriente de corriente directa, alterna, potencia de los paneles, la energía eléctrica generada se interpretó por medio de las lecturas y periodo. Esto en la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas (UTBB), en el edificio de Ingenierías.

Con la información generada por todos esos equipos, se creó una tabla con toda la información registrada de energía, cabe señalar que debido a que no se estaba midiendo la eficiencia de los paneles solares en sí, no se tomaron registros de insolaciones ni cuestiones ambientales y suponiendo que es una instalación común (sin mantenimiento), en todo ese periodo no se realizaron actividades de limpieza de paneles ni revisiones al resto de los componentes.

El registro de información se inició el 01 de abril de 2017 concluyendo el día 31 de marzo de 2018, durante ese periodo en la UTBB se presentaron fallas de internet en periodos largos y cortos por causas de terceros. Sin embargo, de todo el periodo de registro se tiene el 81.6%, es decir se tiene información de 298 días registrados, de los 65 días faltantes se tienen de manera dispersos en el periodo.

Las especificaciones del panel se muestran en la tabla 1, tabla 2 y tabla 3. En la tabla 4 se presentan las especificaciones del micro inversor, de igual forma en la figura 4 se muestran los paneles instalados a 0° y en la figura 5 se muestran los paneles instalados a 20°.

Tipo de celda	Policristalina/Monocristalina
Dimensión de la celda	156mm X 156mm
Número de celdas	60 (6 X 10)
Peso	18.5 Kg
Dimensiones del modulo	1640mmX992mmX40mm
Cable	900mm fotovoltaico
Caja de conexión	IP65/IP67
Número de diodos de derivación	3 / 6
Conectores	MC4 Compatible
Hoja trasera	Blanca
Marco	Aluminio anodizado (15 µm)
Clasificación de flama	Clase C
Aplicación de acuerdo a IEC	Clase A

Tabla 1 Datos físicos del panel Policristalino y monocristalino

Fuente: Solartec

La tabla 1 servirá para los dos tipos de paneles, de acuerdo al fabricante presentan las mismas características, solamente diferenciando entre el silicio monocristalino y policristalino.

Condición de medición	de Estándar Condition (STC)	Test Test Operation (NOCT)	Condition Normal
Voltaje de circuito abierto (Voc)	37.30	37.23	
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmpp)	30.50	30.40	
Corriente de corto circuito (Isc)	8.74	7.03	
Corriente en el punto de máxima potencia (Impp9)	8.21	6.92	
Potencia máxima (Pmax)	250 W	210W	
Eficiencia del modulo	15.39%	15.39%	

Tabla 2 Panel solar S60MC-250 (Monocristalino)

Fuente: Solartec

Condición de medición	Estándar Test Condition (STC)	Test Condition Operation Normal (NOCT)
Voltaje de circuito abierto (Voc)	36.30	36.24
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmpp)	30.60	30.54
Corriente de corto circuito (Isc)	8.71	6.98
Corriente en el punto de máxima potencia (Impp9)	8.17	6.55
Potencia máxima (Pmax)	250 W	200 W
Eficiencia del modulo	15.39%	15.39%

Tabla 1 Panel solar S60PC-250 (Policristalino)

Fuente: Solartec

Rango de voltaje MPPT (Vdc)	22-45
Rango de operación de voltaje (Vdc)	16-52
Voltaje máximo de entrada (Vdc)	55
Voltaje de inicio (Vdc)	22
Corriente máxima de entrada (Adc)	12X2
Máxima potencia de salida (W)	500
Voltaje nominal de salida (Vac)	240
Corriente nominal de salida (Aac)	2.8
Rango de voltaje de salida por defecto (Vdc)	211-264
Frecuencia nominal de salida (Hz)	60
Eficiencia	95.5%
Eficiencia nominal MPPT	99.5%
Consumo de energía nocturno (mW)	120

Tabla 4 Micro inversor APS YC500A

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 4 Paneles monocristalino y policristalinos montados a cero grados.

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 5 Paneles solares monocristalino y policristalino montados a veinte grados.

Fuente: *Elaboración Propia*

Los paneles fueron instalados en la azotea del laboratorio de ingenierías teniendo dos paneles por micro inversor, uno que mediría paneles a 0° y el segundo que mediría los paneles a 20°, como se muestra en la figura 6.

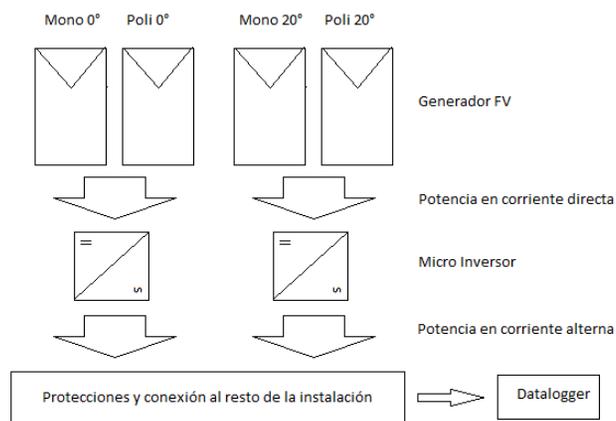


Figura 6 Esquema de conexión del sistema

Fuente: *Elaboración Propia*

El análisis de los datos fue basado en mediciones directas por el ECU (ver figura 7), a través del software APSsystems EMA, la Unidad de Comunicación de Energía (ECU) envía información en tiempo real por medio de una comunicación PLC o ZigBee (APSystems,2018).



Figura 7 ECU de APSystems

Fuente: *APSystems, 2018*

Para la comparativa de los resultados se basaran en la media aritmética:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

\bar{X} es la media aritmética

N es el número de muestras

X_i son los valores de muestra

Como se mencionó, no se cuenta con la misma cantidad de datos en los meses, es por ello que se realizará el promedio de los promedios mensuales, utilizando la misma fórmula 1. (Ángel, 2012).

Resultados

En la tabla 5 se muestran el número de días por mes que presentan lecturas completas de inicio a fin, mismas que servirán para determinar los promedios mensuales y anuales.

Mes	No. De Lecturas
Enero	22
Febrero	0
Marzo	17
Abril	30
Mayo	31
Junio	30
Julio	31
Agosto	31
Septiembre	30
Octubre	31
Noviembre	30
Diciembre	15
Promedio anual	24.83

Tabla 5 Resumen de los días con lecturas por mes

Fuente: *Elaboración Propia*

En la tabla 6 se muestran las potencias máximas registradas por mes por los paneles policristalinos y monocristalinos montados a cero grados, en este análisis no es posible determinar promedios diarios debido a que en todo el día se tiene por la mañana una potencia mínimo de cero, medio día la máxima y en la tarde de nuevo potencia cero, sin embargo, se pueden sacar promedio en base a las potencias máximas, como se muestra en la última fila.

Mes	Mono 0° W	Poli 0° W
Enero	183	180
Febrero	0	0
Marzo	189	185
Abril	231	229
Mayo	222	221
Junio	251	250
Julio	242	241
Agosto	237	238
Septiembre	247	246
Octubre	197	197
Noviembre	185	181
Diciembre	169	170
Promedio anual	196	195

Tabla 6 Comparativa en potencia máxima en watts por mes a cero grados

Fuente: *Elaboración Propia*

En la tabla 7 se muestran las potencias máximas registradas por mes por los paneles policristalinos y monocristalinos montados a veinte grados, en este análisis no es posible determinar promedios diarios debido a que en todo el día se tiene por la mañana una potencia mínima de cero, medio día la máxima y en la tarde de nuevo potencia cero.

Sin embargo, se pueden sacar promedio en base a las potencias máximas, como se muestra en la última fila.

Mes	Mono 20° W	Poli 20° W
Enero	219	216
Febrero	0	0
Marzo	212	210
Abril	236	235
Mayo	225	221
Junio	245	243
Julio	233	231
Agosto	243	240
Septiembre	259	259
Octubre	213	212
Noviembre	218	217
Diciembre	235	238
Promedio anual	212	210

Tabla 7 Comparativa en potencia máxima en watts por mes a veinte grados

En la tabla 8 se muestran la energía eléctrica generada y registrada por mes por los paneles policristalinos y monocristalinos montados a cero grados, en este análisis basta con sumar la energía total en todo el día, para que, el acumulado represente la suma mensual y llegar a la anual, pudiendo tener también el dato de promedio mensual.

Mes	Mono 0° KW-h	Poli 0° KW-h
Enero	0.86	0.83
Febrero	0.0	0.0
Marzo	1.27	1.23
Abril	1.46	1.37
Mayo	1.37	1.33
Junio	1.08	1.11
Julio	1.29	1.26
Agosto	1.10	1.08
Septiembre	1.04	1.01
Octubre	1.09	1.06
Noviembre	0.97	0.94
Diciembre	0.68	0.70
Promedio anual	1.11	1.09
Total anual	337	329

Tabla 8 Comparativa de generación de energía eléctrica en KW-h por mes a cero grados

En la tabla 9 se muestran la energía eléctrica generada y registrada por mes por los paneles policristalinos y monocristalinos montados a veinte grados, en este análisis basta con sumar la energía total en todo el día, para que, el acumulado represente la suma mensual y llegar a la anual, pudiendo tener también el dato de promedio mensual.

Mes	Mono 20° KW-h	Poli 20° KW-h
Enero	1.10	1.09
Febrero	0.0	0.00
Marzo	1.45	1.43
Abril	1.47	1.46
Mayo	1.31	1.29
Junio	1.18	1.17
Julio	1.20	1.20
Agosto	1.08	1.08
Septiembre	1.08	1.08
Octubre	1.25	1.25
Noviembre	1.24	1.24
Diciembre	0.98	0.98
Promedio anual	1.21	1.21
Total anual	362	360

Tabla 9 Comparativa de generación de energía eléctrica en KW-h por mes a veinte grados

Fuente: *Elaboración Propia*

Agradecimiento

En conjunto los autores extienden su más sincero agradecimiento a la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas por todas las facilidades otorgadas para poder desarrollar esta investigación y todas las futuras, de igual forma al cuerpo académico de Innovación y Aplicación Tecnológica por sus aportaciones.

Conclusiones

Como se puede observar en cada tabla siempre el panel monocristalino tuvo mejores resultados, tanto en promedios de potencia máxima como generación de energía eléctrica, como era de esperarse. También es notorio que de acuerdo a la literatura que dependiendo a la época del año los sistemas generan más o menos por consecuencia de las horas sol pico.

En las tablas 7 y 6 muestran los datos de potencia máxima, de las cuales se observa; el panel monocristalino alcanza su potencia máxima de 259W en el mes de septiembre a 20 grados y 251W en el mes de junio a cero grados mientras que el panel policristalino alcanza su máxima potencia de 259W en el mes de septiembre y 250W en el mes de junio. Prácticamente en cuanto a potencia máxima, ambas tecnologías la alcanzan.

En las tablas 8 y 9 se muestran de generación de energía eléctrica KW-h, de las cuales se observa; el panel monocristalino alcanza una generación promedio mensual de 1.21KW-h a 20 grados y 1.11KW-h a 0 grados con una generación anual de 361.6KW-h a 20 grados y 337 a 0 grados mientras que el panel policristalino alcanza una generación promedio mensual de 1.21KW-h a 20 grados y 1.09KW-h a 0 grados con una generación anual de 360.1KW-h a 20 grados y 328KW-h a 0 grados. En cuanto a generación de energía eléctrica se observa que el panel monocristalino a 20 grados presenta mayor generación de energía eléctrica con 361.60 KW-h, segundo del policristalino con 360 KW-h.

En resumen quedan de la siguiente forma la generación anual:

Monocristalino 0° con 337 KW-h
 Monocristalino 20° con 361.6 KW-h
 Policristalino 0° con 328.81 KW-h
 Policristalino 20° con 360 KW-h

Referencias

- Ángel, J. (2012). La correcta utilización de los promedios. *Revista Universidad EAFIT*, 77-86.
- Collado, F., Castro, G., Colmenar, S., & Calero, R. &. (2013). *Centrales de energías renovables*. Madrid: Person.
- Mendez, J. &. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica*. España: Fundación Confemetal.
- Moro, M. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. España: Parainfo.
- Perez, M. (s.f.). www.conermx.com.mx.
 Obtenido de <http://www.conermex.com.mx/blog-desmitificando.html>

Diseño y construcción de un módulo automatizado para simulación de regímenes de carga de un banco de pruebas de rendimiento electromecánico de biodiesel

Design and construction of an automated module for load regimes simulation of an electromechanical biodiesel performance test bench

ORTIZ-MEDINA, Raúl Arturo^{†*1}, MALDONADO-RUELAS, Victor Arturo¹, AGUIRRE-SÁMANO, Juan Fernando¹ y KAMARAJ - Sathish Kumar²

¹Universidad Politécnica de Aguascalientes

²Instituto Tecnológico el Llano Aguascalientes

ID 1^{er} Autor: Raúl Arturo, Ortiz-Medina / ORC ID: 0000-0002-2052-9003, Researcher ID Thomson: H-7174-2018, CVU CONACYT ID: 619788

ID 1^{er} Coautor: Victor Arturo, Maldonado-Ruelas / ORC ID: 0000-0003-2125-1557, Researcher ID Thomson: I-2774-2018, CVU CONACYT ID: 209649

ID 2^{do} Coautor: Juan Fernando, Aguirre-Sámano / ORC ID: 0000-0002-8064-6199, Researcher ID Thomson: I-4848-2018, CVU CONACYT ID: 246697

ID 3^{er} Coautor: Sathish Kumar, Kamaraj / ORC ID: 0000-0001-5145-6962, Researcher ID Thomson: B-3238-2010 CVU CONACYT ID: 404385

Recibido Enero 20, 2018; Aceptado Marzo 30, 2018

Resumen

Este trabajo presenta el diseño y construcción del módulo de carga de un banco de pruebas de rendimiento electromecánico de biodiesel. El banco consta de un motor diésel y un generador eléctrico, ambos de 3hp. Las máquinas están acopladas en sus ejes formando un sistema motor-generador, que está limitado a realizar pruebas en vacío. Para aumentar la funcionabilidad del banco, se adiciona un módulo de carga resistiva trifásica capaz de llevar al motor a cinco regímenes de carga con el 15, 22, 30, 45 y 85 por ciento. Las variaciones de carga simulan el esfuerzo mecánico al cual es sometido el motor diésel en aplicaciones cotidianas. El módulo tiene tres resistencias de 50 Ω por fase y un arreglo lógico de relevadores para cambiar la topología del circuito de acuerdo a los regímenes de carga del banco de pruebas. La activación lógica de los relevadores se realiza a través de un microcontrolador dsPIC30F4011 protegido ópticamente. El módulo de carga provee de seguridad y eficiencia al banco de pruebas de biodiesel, dando la posibilidad de observar los parámetros electromecánicos que describen cambios en la combustión del combustible del motor debido a variaciones de carga o del poder calorífico del combustible.

Diésel, Biodiesel, Parámetros Electromecánicos

Abstract

This work presents the design and construction of a load module for a biodiesel electromechanical performance test bench. The bench consists of a diesel engine and an electric generator, both of 3hp. The machines are coupled in their shafts forming a motor-generator system, which is limited to no load tests. To increase the functionality of the bank, a 5-phase three-phase resistive load module is added, which leads the engine to load rates of 15, 22, 30, 45 and 85%, simulating the mechanical stress to which the diesel engine is subjected in normal conditions. The module has three resistors of 50 Ω per phase and a logic set of relays to change the topology of the circuit according to the load regimes of the test bench. The logic activation of the relays take place through an optically protected microcontroller dsPIC30F4011. The load module provides safety and efficiency to the biodiesel test bench, giving the possibility to observe the electromechanical parameters that describe changes in the combustion of the engine fuel due to load variations or to modifications of the calorific value of the fuel.

Diesel, Biodiesel, Electromechanical Parameters

Citación: ORTIZ-MEDINA, Raúl Arturo, MALDONADO-RUELAS, Victor Arturo, AGUIRRE-SÁMANO, Juan Fernando y KAMARAJ - Sathish Kumar. Diseño y construcción de un módulo automatizado para simulación de regímenes de carga de un banco de pruebas de rendimiento electromecánico de biodiesel. Revista del Desarrollo Tecnológico. 2018. 2-6: 8-14.

[†] Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (raul.ortiz@upa.edu.mx)

Introducción

La diversificación de recursos energéticos se ha convertido en un tema de gran importancia debido a la alta demanda de combustibles fósiles y sus efectos en el medio ambiente, además de su posible escasez en el mediano plazo (Serna et al. 2011). Una alternativa para el reemplazo de los combustibles convencionales es el uso de biodiesel, procedente de fuentes biológicas como la biomasa, éste biocombustible cumple con las nuevas exigencias ambientales que regulan la reducción de emisiones de gases que provocan el efecto invernadero (Serna et al., 2011).

En este trabajo se aborda el diseño y la construcción de un banco de pruebas de rendimiento electromecánico de biodiesel, planteado como un sistema para la evaluación de parámetros electromecánicos que determinan la funcionalidad de los motores diésel, cuando utilizan diferentes concentraciones de biodiesel como combustible (Rodríguez, 2008, Riba 2010).

La funcionalidad, así como el consumo de combustible, se obtienen sometiendo al banco de pruebas a diferentes condiciones de carga que simulan el comportamiento que tendría un motor diésel en un ambiente de trabajo normal (Rodríguez, 2010, Martín et al., 2015). Los motores diésel son los más utilizados en la industria, transporte y, en menor medida, en la generación de energía eléctrica (Jaipraditham, 2016).

El banco de pruebas consta de un motor diésel y una generador síncrono, ambos de 3hp. Las máquinas están acopladas en sus ejes formando un sistema motor-generador, que está limitado a realizar pruebas en vacío, es decir, al 0% de carga. La parte de diseño del presente trabajo, se encuentra en la automatización del sistema de carga trifásica del banco de pruebas de rendimiento electromecánico de biodiesel, dado que un arreglo convencional de resistencias por fase en estrella cubriendo el total de la carga (Guru et al. 2003, Grainger, 1996), sólo soporta dos posibilidades: carga del motor al 100% y en vacío.

Para el banco de pruebas de rendimiento electromecánico del biodiesel se diseñó un sistema de cargas automatizado con variación de carga paulatina, que consta de valores intermedios entre 0 y 100 % con la capacidad de probar biodiesel con diferentes porcentajes de mezcla de combustible convencional con biocombustible, ya que el porcentaje de carga plena de un motor es variable cuando es alimentado por combustibles con diferentes poderes caloríficos (Rojas et al., 2012).

El presente trabajo está constituido de manera que, en la segunda sección de este trabajo se presenta la descripción general del banco de pruebas de rendimiento electromecánico. En la tercera sección se describe el diseño propuesto de la disposición de las cargas y la automatización de las mismas, así como su construcción e integración al banco de pruebas. Se realizan pruebas de funcionamiento con diésel y biodiesel, las cuales son descritas y comparadas en la cuarta sección. Finalmente se concluye el trabajo, con base en los resultados obtenidos.

Características del banco de pruebas de rendimiento electromecánico de biodiesel

El banco de pruebas de rendimiento electromecánico de biodiesel, consta de tres elementos principales motor diésel, generador síncrono y un banco de resistencias, los cuales se muestran en la figura 1. El acoplamiento mecánico de los primeros dos elementos forma un sistema motor-generador, que convierte la energía calorífica del combustible a energía mecánica a través del motor diésel (Wark et al., 2001), el movimiento generado es utilizado como energía entrante para el generador síncrono que transforma esa energía mecánica a energía eléctrica por medios electromagnéticos (Hayt et al., 2001).

El generador síncrono se acopla al motor diésel debido a que brinda un fácil control de la potencia de salida a través del sistema de carga, conformado por el banco de resistencias. De esta manera se reproduce el proceso de conversión de energía del motor diésel en vehículos de transporte, ya que la carga que conectada al generador síncrono exige potencia mecánica al motor diésel como lo haría un vehículo automotor.

El motor diésel del banco de pruebas es de arranque manual, con un ciclo de funcionamiento a 4 tiempos, de inyección directa, velocidad nominal de 1500 rpm y 3 hp. El motor maneja como lubricante aceite SAE 15W40 de alto rendimiento y nominalmente utiliza combustible diésel ultra bajo en azufre (UBA) que es el diésel comercial.

El generador síncrono es trifásico y consta de una conexión interna en estrella, valor nominal de frecuencia 60 Hz, voltaje de línea de 220V, potencia y velocidad nominales de 3 hp y de 1500 rpm respectivamente. Ambas máquinas tienen la misma velocidad nominal en sus ejes, manteniendo así la frecuencia eléctrica de 60 Hz, que es la frecuencia de operación en México.



Figura 1 Componentes del banco de pruebas de rendimiento electromecánico de biodiesel
Fuente: Fotografía propia

La carga resistiva está constituida por un conjunto de 9 resistencias de 50 Ω y 400W cada una. El banco de resistencias se diseñó para colocar 3 resistencias por fase conectadas en paralelo, cuyo arreglo brinda una baja resistencia que exige al generador y asu vez al motor al 100%. Con dicho arreglo se tienen dos puntos de prueba de rendimiento del biodiesel: en vacío o 0% de carga y al 100% de carga (Navarro et al., 2017).

En estos dos puntos analizan los parámetros electromecánicos, que son voltaje generado, corriente, potencia, frecuencia, velocidad y par, cuyas lecturas y adquisición de datos se realizan con un analizador de redes y un tacómetro digital.

El análisis de los parámetros electromecánicos con el arreglo de las cargas en paralelo, presenta los extremos del rendimiento del motor diésel, es decir, ignora el comportamiento que tiene el motor en porcentajes de carga entre 0 y 100%, lo que provoca una lectura incompleta del comportamiento de las variables electromecánicas.

Para adicionar puntos de análisis del rendimiento del combustible utilizado en el motor, es necesaria la implementación de variaciones paulatinas en la carga a través de un control electrónico, que cambié el arreglo de resistencias de manera automatizada para que se realicen los cambios en el arreglo de resistencias sin conectar o desconectar conductores, salvaguardando así la seguridad del operador.

Diseño y construcción del sistema de carga automatizado

Para el diseño de las variaciones de carga, se estudiaron los diferentes arreglos de resistencia por fase posibles, para poder hacer combinaciones entre las tres resistencias por fase. Se llega a que se pueden generar cinco arreglos serie-paralelo en diferentes configuraciones satisfagan cinco diferentes condiciones correspondientes al 15, 22, 30, 45 y 85 % de carga, además de las existentes de 0 y 100%.

Para lograr las combinaciones de carga definidas debe de cambiarse el cableado de las resistencias de las tres fases, para pasar de un arreglo a otro, esto es inviable y peligroso, debido a que por seguridad del operador, no debe realizar ese cambio con el generador alimentado a la carga para evitar la electrocución.

Por otro lado, interrumpir la prueba apagando y encendiendo el motor puede resultar en un rendimiento erróneo del motor porque se somete a un régimen de trabajo atípico. Por estos motivos la automatización del proceso de cambio de carga se hace indispensable. A través de la automatización se brinda seguridad al operador y la tarea del recableado para el cambio en los arreglos, se reduce a oprimir un botón. Los cambios de carga se realizan por medio de relevadores acomodados de manera que con combinaciones de activación y desactivación, entreguen los cinco arreglos para cargar el generador síncrono.

La figura 2, muestra el arreglo por fase de resistencias de $50\ \Omega$ y relevadores R1, R2, R3 y R4 con los que realizan las diferentes combinaciones de resistencias.

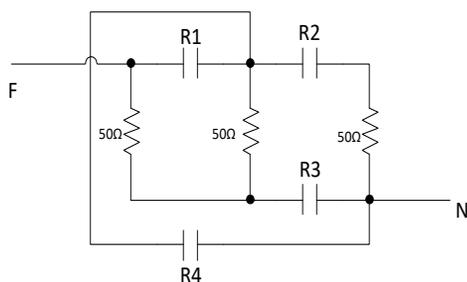


Figura 2 Diagrama del arreglo por fase de resistencias y contactores del módulo de carga del banco de pruebas.

Fuente: *Elaboración Propia*

Los relevadores de la figura 2 son activados o desactivados según se requiera para cada combinación de resistencias implementada. Quedando como resultado las cinco combinaciones mostradas en la figura 3, donde se observa en color rojo, la trayectoria del circuito que se genera, yendo desde la fase hasta el neutro con resistencias equivalentes de $150\ \Omega$, $100\ \Omega$, $75\ \Omega$, $50\ \Omega$ y $25\ \Omega$ que corresponden a los porcentajes de cargas mencionados anteriormente.

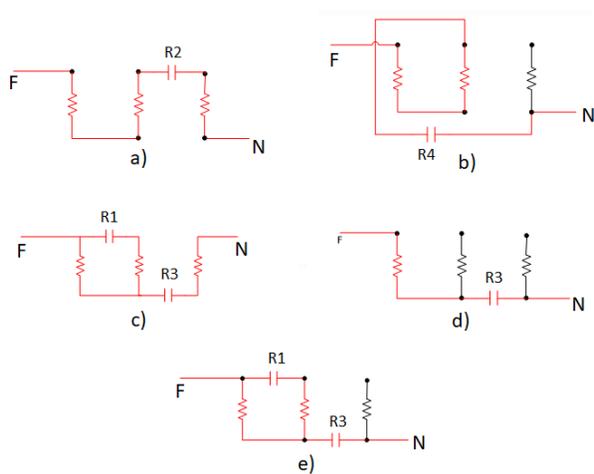


Figura 3 Combinaciones de activación y desactivación de los relevadores generar los arreglos de resistencias de a) $150\ \Omega$, b) $100\ \Omega$, c) $75\ \Omega$, d) $50\ \Omega$, y e) $25\ \Omega$ por fase

Fuente: *Elaboración Propia*

Para la activación de los relevadores, estos son colocados en una tarjeta electrónica diseñada para que se desempeñen de manera segura a través de un optoacoplador, que separa la parte de niveles lógicos de tensión y la parte de corriente alterna de $127\ \text{V}$ (Hart, 2001, Rashid, 2015).

Para el control de los relevadores se implementa un sistema que usa como unidad central de procesamiento (CPU, por sus siglas en inglés), un microcontrolador dsPIC30F4011, que es considerado como un dispositivo de alto desempeño, adecuado para aplicaciones de control de electrónica de potencia, motores y aplicaciones similares (Microchip, 2005).

El microcontrolador se programa para tener puertos de entrada de información, que físicamente corresponden a botones, que al ser oprimidos activan la señal para que los puertos de salida del microcontrolador se activen según sea la combinación de relevadores asignada a cada arreglo de resistencias. El sistema de control queda compuesto por doce relevadores distribuidos en tres tarjetas; una por fase, una tarjeta con la unidad central y una botonera que manipula la activación o desactivación de los relevadores.

El sistema incluye dos fuentes de $5\ \text{Vcd}$, una alimenta las tarjetas de activación de los relevadores y la otra al CPU del sistema. Cabe señalar que las tarjetas electrónicas fueron especialmente diseñadas e implementadas para esta aplicación particular, el sistema automatizado de carga se observa en la figura 4.

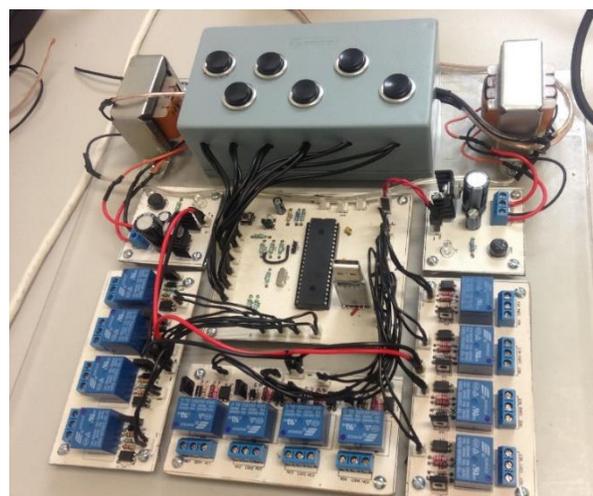


Figura 4 Sistema de control de carga implementado.

Fuente: *Fotografía Propia*

Por otro lado, se programó el microcontrolador con un algoritmo que, de manera cíclica, revisa el estado de los botones de activación de las condiciones de la carga, en caso de activación, el microcontrolador envía las señales a las tarjetas de relevadores para que se activen, generando así el arreglo de resistencias deseado.

También se desarrolló una rutina de activación continua, donde las cargas cambian de manera paulatina del 0 al 100 % pasando por los diferentes niveles de carga implementados.

Pruebas de rendimiento electromecánico de diésel y biodiesel

Las pruebas de rendimiento electromecánico se llevan a cabo integrando todos los elementos del banco de pruebas, como se muestra en la figura 5. Se inicia seleccionando el combustible, que debe de ser diésel o una mezcla de biodiesel con diésel a diferente porcentaje. El cople entre el motor y el generador lleva una parte opaca con una cinta blanca para medir la velocidad a través de un tacómetro óptico.

Las demás variables, se miden con un analizador de redes trifásico, que permite conocer y registrar los parámetros eléctricos de la salida del generador. Cuando el motor es encendido, se realiza la prueba en vacío, es decir, no se coloca ninguna resistencia a la salida del generador, es lo que registra en las mediciones en esta condición es lo que el motor consume sólo por estar encendido. Una vez que el motor llega a las condiciones de calentamiento normal, entra el sistema automatizado de carga, que lleva al motor a los porcentajes de carga de 15, 22, 30, 45 y 85 %.

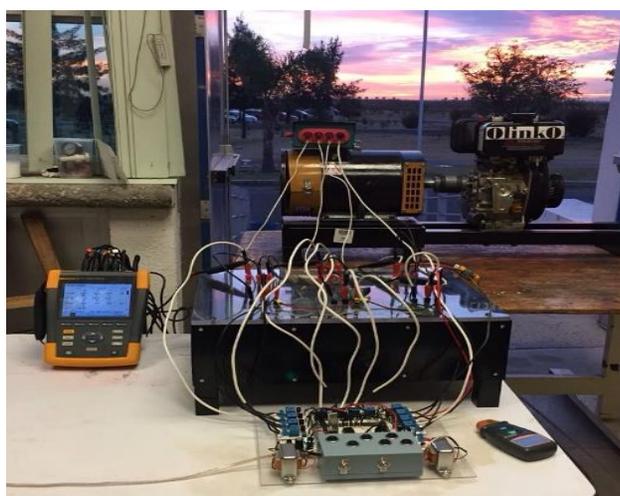


Figura 5 Banco de pruebas de rendimiento electromecánico de biodiesel operando con el sistema automatizado de carga.

Fuente: Fotografía Propia

Realizando el proceso descrito, se obtienen los parámetros electromecánicos que caracterizan el comportamiento del motor utilizando un combustible de poder calorífico específico.

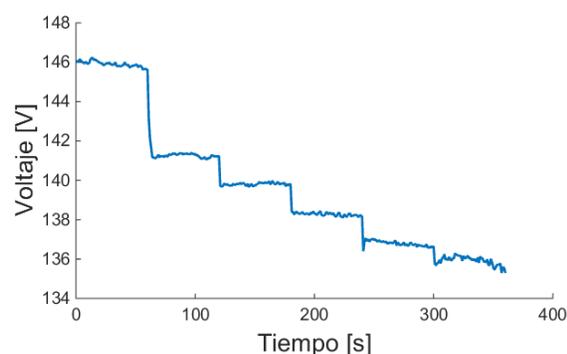


Gráfico 1 Voltaje de fase, en la prueba de rendimiento electromecánico del diésel

Fuente: Resultados Propios

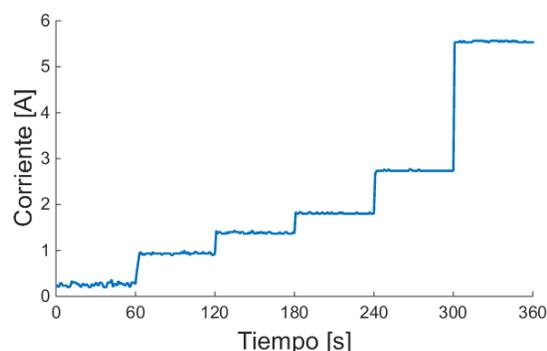


Gráfico 2 Corriente de línea, en la prueba de rendimiento electromecánico del diésel

Fuente: Resultados Propios

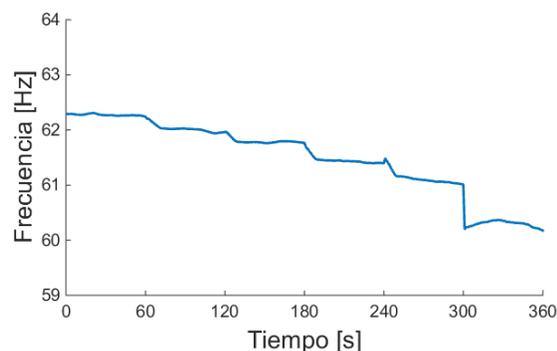


Gráfico 3 Frecuencia, en la prueba de rendimiento electromecánico del diésel

Fuente: Resultados Propios

Los gráficos 1, 2 y 3 corresponden respectivamente al voltaje del generador, la corriente para alimentar a la carga y la frecuencia eléctrica. En todos los gráficos se observa claramente el cambio de carga que se presenta cada 60 segundos, que van desde el vacío hasta el máximo nivel de carga. Durante esos lapsos de tiempo, los parámetros de voltaje, corriente y frecuencia se mantienen a un nivel, hasta que se presenta el siguiente nivel de carga accionado por el sistema automatizado de cambio de carga.

El voltaje, mientras la carga aumenta, las terminales del generador presentan caídas de voltaje, inherentes a la disminución de la velocidad del eje del motor producida por el aumento en la carga. La corriente, es también dependiente de la carga conectada al generador, mientras la carga crece, la corriente exigida al generador es mayor también, la potencia real tiene un comportamiento similar a la corriente, debido a que los cambios en el voltaje se presentan, pero en proporciones menores que en la corriente. El parámetro eléctrico de la frecuencia puede ser también considerado un parámetro mecánico, ya que la frecuencia y la velocidad guardan una relación directamente proporcional y sólo dependen de los polos de la máquina eléctrica, que es una constante. Mientras mayor es la carga, la velocidad del motor también disminuye.

El resultado de mayor relevancia en las pruebas de rendimiento electromecánico de los diferentes combustibles es la curva potencia-velocidad, que se genera a partir de estos dos datos. En estas gráficas se observa que mientras el motor es más exigido, es decir, que se extrae más potencia de él, su velocidad disminuye. Entonces el mayor rendimiento es de aquel que mantiene una velocidad mayor al estar sometido a la misma carga.

En el gráfico 4 se observa la comparación del rendimiento electromecánico de cuatro combustibles diferentes. El primer combustible es el diésel, marcado en azul. El diésel, como se esperaba es el que tiene el mayor rendimiento a través de los puntos de prueba, que corresponden a las cargas definidas por el sistema automatizado de cambio de carga. Las líneas naranja, amarilla y verde corresponden a concentraciones del 10, 20 y 25% de biodiesel, obtenido con base en aceites vegetales utilizados en frituras varias.

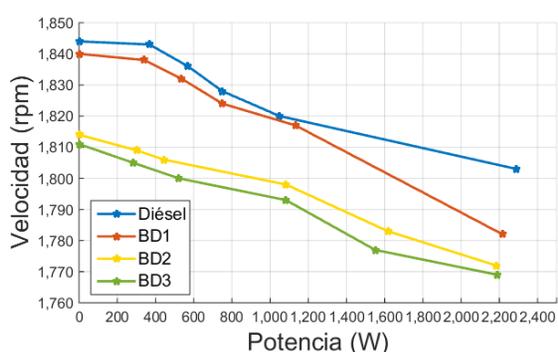


Gráfico 4 Comparación de las curvas de rendimiento electromecánico del diésel y mezclas de biodiesel.

Fuente: Resultados Propios

Conclusiones

En la Universidad Politécnica de Aguascalientes existe la producción de biodiesel a nivel didáctico y académico de investigación, pero no se contaba con el equipo necesario para realizar pruebas del producto terminado, atendiendo a esta problemática se desarrolló el banco de pruebas para la caracterización de parámetros electromecánicos de biodiesel en la misma universidad. Aunado a la implementación del banco se trabajó en el sistema de variación de carga, que en conjunto, ostentan una mayor capacidad de análisis del rendimiento del biodiesel generado. Así mismo, el banco de pruebas está al servicio de los productores locales de biodiesel, abriendo la posibilidad de vincular su producción con el sector académico y de investigación

Referencias

- Guru B. S., Hiziroglu H. R. (2003) Máquinas eléctricas y transformadores, Tercera edición, *Orford University Press*
- Grainger J. J., Stevenson, W. D., (1996) Análisis de sistemas de potencia, primera edición, *McGraw Hill*
- Hart D. W., (2001) Electrónica de potencia, primera edición, *Prentice Hall*
- Hayt W. H, Buck, J. A., (2001) Teoría electromagnética, séptima edición, *McGraw Hill*
- Jaipradidtham C., (2016) Energy cost reduction and potential analysis of diesel engine for electricity generation using biodiesel from oil palm-rice husk and pig manure with biogas renewable energy, *IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, Melaka, 2016, pp. 378-383.
- Martin S. S., Chebak A., Barka N., (2015) Development of renewable energy laboratory based on integration of wind, solar and biodiesel energies through a virtual and physical environment, *3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, Marrakech, 2015, pp. 1-8.

Microchip, (2005) dsPIC30F4011/4012 High Performance Digital Signal Controllers, *Data Sheet, Microchip Technology Inc.*

Navarro M. F., Ortiz R. A., Aguirre J. F., Fregoso E. R., (2017) Diseño y construcción de banco de pruebas para la caracterización de biodiesel a través de parámetros electromecánicos, *Memoria de congreso XLI Semana Nacional de Energía Solar* en Guadalajara, Jal.,

Rashid M. H., (2015) *Electrónica de potencia*, Cuarta edición, *Pearson*,

Riba J. R., Esteban B., Baquero G., Puig R., Ruis A., (2010) Caracterización de las propiedades físicas de aceites vegetales para ser utilizados como carburante en motores diésel, *Revista afinidad*, Vol 67, No. 546

Rodríguez R. P., Evaluación del funcionamiento de motores de combustión interna trabajando con biodiesel., *Revista de Ingeniería Mecánica*, vol. 11, núm. 3., pp. 33-38, 2008.

Rodríguez R. P., Determinación del uso de biodiesel en el funcionamiento de motores diésel., *Revista CENIC Ciencias Químicas*, Vol. 41, pp. 57-58, 20 de enero de 2010

Rojas González, A., Chaparro Anaya, Óscar, & Ospina, C. (2012). Evaluación de mezclas biodiésel-diésel en la generación de energía eléctrica. *Ingeniería Y Universidad*, 15(2)

Serna F., Barrera L., Montiel H., (2011) Impacto social y económico en el uso de biocombustibles, *Journal of technology management and innovation*, Vol. 6, issue I

Wark K., Richards D. E. (2001) *Termodinámica*, Sexta edición, *McGraw Hill*

Importancia del n-butanol y su aplicación al modelado de procesos de combustión

Importance of n-butanol and its application to modeling combustion processes

PRINCE-AVELINO, Juan†*, DÍAZ-GONZÁLEZ, Mario, RODRÍGUEZ-LEÓN, Abelardo y OVANDO-CHACÓN, Guillermo

Instituto Tecnológico de Veracruz, M. A. de Quevedo 2779, Veracruz, Ver., C.P. 91857, México.

ID 1^{er} Autor: Juan, Prince-Avelino / ORC ID: 0000-0002-1056-2272, CVU CONACYT ID: 9650

ID 1^{er} Coautor: Mario, Díaz-González / ORC ID: 0000-0002-9281-2190, CVU CONACYT ID: 162741

ID 2^{do} Coautor: Abelardo, Rodríguez-León / ORC ID: 0000-0002-2179-4837, CVU CONACYT ID: 222277

ID 3^{er} Coautor: Guillermo, Ovando-Chacón / ORC ID: 0000-0003-2441-3021, CVU CONACYT ID: 43814

Recibido Enero 20, 2018; Aceptado Marzo 30, 2018

Resumen

En este trabajo se describe la importancia de los bio-combustibles (balance neutro del CO₂, producción y consideraciones de uso) y además se obtuvo un mecanismo reducido de reacciones del bio-combustible n-butanol, para implementarlo en el modelado de procesos de combustión reales. Bajo la hipótesis de que es posible desarrollar un mecanismo de combustión reducido de un bio-combustible a partir de un modelo químico detallado, la metodología consistió en análisis de sensibilidad y aproximación de estado estacionario de las especies químicas. De lo anterior, catorce reacciones químicas son identificadas, así como sus correspondientes constantes de reacción para acoplarlas al mecanismo reducido base (mecanismo de San Diego) que abarca hasta el propano y no incluye a este bio-combustible. Lo anterior implicó la introducción de solo seis especies químicas adicionales al mecanismo base. Pruebas de comparación del modelado con datos experimentales de velocidades de llamas y tiempos de ignición son reportadas, lo que soporta y valida este mecanismo de reacciones químicas, con la ventaja de ahorro en tiempo computacional.

Bio-combustibles, n-butanol, Mecanismo Químico reducido

Abstract

This research paper describes the importance of bio-fuels: neutral CO₂ balance, production and use considerations. Also, a reduced n-butanol reaction mechanism was obtained to implement it in the modeling and simulation of combustion processes. Under the hypothesis that it is possible to develop a combustion reduced mechanism from the reduction of different detailed chemical model, the methodology consisted of sensitivity analysis and steady-state approximation of the chemical species. From the above, fourteen chemical reactions are identified, as well as their corresponding reaction constants for coupling them to the reduced base mechanism (San Diego mechanism) that spans even butane and does not include this bio-fuel. This implied the introduction of only six additional chemical species to the base mechanism. Modeling comparison tests with experimental data of flame velocities and ignition times are reported, which supports and validates this mechanism of chemical reactions, with the advantage of saving computational time.

Bio-fuels, n-butanol, Reduced chemical mechanism

Citación: PRINCE-AVELINO, Juan, DÍAZ-GONZÁLEZ, Mario, RODRÍGUEZ-LEÓN, Abelardo y OVANDO-CHACÓN, Guillermo. Importancia del n-butanol y su aplicación al modelado de procesos de combustión. Revista del Desarrollo Tecnológico. 2018. 2-6: 15-23.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (jcpa@itver.edu.mx)

1. Introducción

Los biocombustibles pueden usarse para diferentes propósitos en la conversión de energía, incluidos el transporte por carretera, la aviación y la generación de electricidad. En la discusión pública, el término biocombustible se asocia con solo unos pocos compuestos seleccionados, especialmente el etanol y el biodiesel. Otros biocombustibles, como el n-butanol, rara vez se discuten. Estos biocombustibles son combustibles oxigenados, que contienen oxígeno como un elemento adicional en su constitución molecular. Esta característica los distingue de los combustibles convencionales a base de petróleo, cuya química de combustión ha sido estudiada durante mucho tiempo.

A. Balance de bióxido de carbono

Las recientes discusiones públicas y científicas sobre la posible sustitución de los combustibles de transporte convencionales basados en el petróleo por materia bio-génica se concentran en los aspectos climáticos, geopolíticos y socioeconómicos. Comúnmente se sugiere que las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) de la combustión de combustibles fósiles se pueden compensar con el uso de combustibles de la biomasa (ver Fig. 1). Esto es, la combustión de los combustibles fósiles y los bio-combustibles con aire, ambos producen CO_2 , pero a diferencia del combustible fósil, el bio-combustible puede generar un ciclo neutro de este gas de invernadero, como lo indica la Fig. 1.

Los argumentos contrarios incluyen un equilibrio energético potencialmente insatisfactorio del proceso de producción de biocombustible de baja emisión de dióxido de carbono y la competencia de los cultivos de biocombustibles con plantas alimenticias.

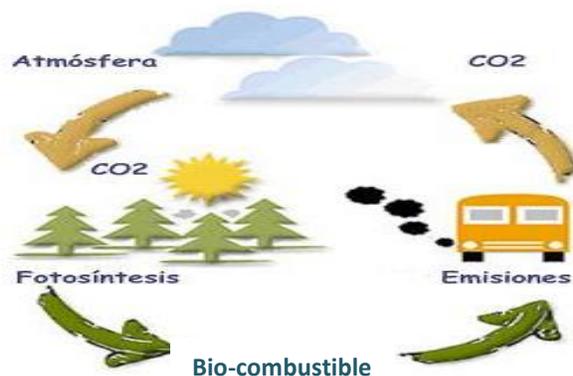


Figura 1 Ciclo neutro del bióxido de carbono (CO_2)

Fuente: Elaboración Propia

Otras consideraciones se refieren a la transformación de ecosistemas perfectos y la pérdida de biodiversidad asociada al crecimiento de plantas de biocombustibles. Además, los procesos auxiliares, como la fertilización o la limpieza de áreas agrícolas mediante la quema de biomasa, pueden contribuir a la liberación de emisiones no deseadas. La magnitud de los ahorros potenciales de carbono de los procesos actuales de biomasa a biocombustibles está aún en discusión [1].

Se supone que la deuda de carbono creada a partir del desmonte de tierras para la producción de cultivos de biocombustibles puede eventualmente recuperarse con el CO_2 ahorrado de los biocombustibles en comparación con la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, pueden surgir grandes diferencias, dependiendo de la estrategia específica. Por ejemplo, la producción de biodiesel de palmeras cultivadas en áreas de selva tropical en Indonesia o Malasia liberará más de 400 veces el CO_2 ahorrado, según los cálculos del modelo, en comparación con el etanol producido a partir de biomasa de pradera en tierras de cultivo abandonadas en EE. UU., que generaría una deuda de carbono de aproximadamente cero [1].

B. Consideraciones para el uso de biocombustibles

Para lograr la reducción de los gases de efecto invernadero sustituyendo los biocombustibles por gasolina, los beneficios del carbono deben equilibrar los costos del carbono durante largos períodos de tiempo. Dependiendo de la estrategia particular, el resultado puede ser positivo o negativo.

Searchinger et al. [2] han informado que el etanol a base de maíz cultivado en los EE. UU., por ejemplo, es probable que casi duplique las emisiones de efecto invernadero durante 30 años y que continúe contribuyendo al aumento de los niveles de gases de efecto invernadero en 170 años. Consideraciones similares han motivado recientemente a un grupo de científicos de los Estados Unidos [3] para identificar los aspectos clave que deberían observarse en la elección de los "biocombustibles beneficiosos".

Aconsejan que "los biocombustibles deberían recibir apoyo de políticas como sustitutos de la energía fósil solo cuando tengan un impacto positivo en cuatro objetivos importantes: seguridad energética, emisiones de gases de efecto invernadero, biodiversidad y sostenibilidad del suministro de alimentos" [3].

Se sugieren opciones para cumplir con estos criterios e incluyen el uso de plantas perennes nativas o mezclas de plantas adaptadas en suelos degradados, pobres en nitrógeno o tierras de cultivo abandonadas. Tales estrategias tienen el potencial de generar reducciones muchos mayores en las emisiones de gases de efecto invernadero que las que se obtienen cuando se reemplazan los combustibles fósiles por etanol de grano de maíz o bio-diésel de soja.

Los combustibles oxigenados como reemplazos o alternativas a los combustibles de hidrocarburos convencionales deben ser examinados críticamente desde diferentes puntos de vista prácticos. Aspectos importantes incluyen, además de la disponibilidad y los costos de producción, el contenido de energía, la compatibilidad con la infraestructura de entrega (por ejemplo, estaciones de combustible y distribución) y con maquinaria de combustión (por ejemplo, motores de automóviles y turbinas de gas).

Tales consideraciones se discuten actualmente en vista de las propiedades del combustible y los avances en los conceptos de combustión [4]. Los aspectos de la química de la combustión están involucrados particularmente en los procesos de ignición, liberación de calor y extinción. Son de gran influencia en la emisión de contaminantes.

Por ejemplo, la emisión de partículas se puede reducir mediante la adición de etanol, pero las emisiones de aldehídos no deseadas pueden aumentar significativamente. Además, se han observado mayores emisiones de NOx a partir de la combustión de biodiesel. Varias variantes de combustibles oxigenados están actualmente disponibles a partir de almidón, azúcar o cultivos oleaginosos, incluidos bio-alcoholes y biodiesel.

C. Producción de combustible de la bio-masa

La disminución de las reservas de combustibles fósiles convencionales conlleva a la obtención y uso de bio-combustibles renovables. Alcoholes derivados a través de procesos bioquímicos tienen el potencial de proporcionar combustibles que además de ser renovables, produzcan una combustión más limpia.

La fabricación de combustibles a partir de biomasa es un campo activo de investigación, que incluye ingeniería química y biotecnología. Se han recomendado diferentes estrategias [5], que incluyen enfoques híbridos termoquímicos y enzimáticos para producir moléculas pequeñas y ricas en carbono de combustibles típicos de las cadenas largas de carbohidratos que se encuentran en la materia vegetal.

Los procesos pueden beneficiarse de los avances recientes en la catálisis química y la ingeniería biológica de las proteínas, las células y las vías metabólicas. Identificar más enzimas activas y microbios adecuados puede eliminar los pasos críticos y costosos de energía en el proceso de producción de biocombustible. Recientemente se han sugerido nuevas vías no fermentativas para biocombustibles con propiedades útiles, incluidos alcoholes superiores, como butanoles. Por lo tanto, es una pregunta intrigante sobre qué biocombustibles se defenderán y estarán disponibles dentro de diez años.

2. Química de la combustión de biocombustibles

A. Análisis de la química de la combustión

La combustión es un proceso complejo que genera calor e involucra muchas especies de radicales libres y reactivos intermedios en las reacciones de ramificación de cadena, propagación de cadena y terminación [6]. Para una predicción confiable de las características de combustión y emisión de un combustible específico, no es suficiente proporcionar parámetros globales, tales como índices de octano o retardos de encendido.

Para evaluar la formación de contaminantes, se necesita información química cuantitativa, que incluya la naturaleza y la cantidad de productos no deseados y potencialmente dañinos.

Estas especies no siempre se forman a lo largo de las principales vías de oxidación, y los parámetros cinéticos adecuadamente reducidos, adaptados al entorno de combustión específico, deben derivarse de modelos de combustión más completos. Los modelos de computadora que describen las secuencias de reacciones químicas pertinentes pueden involucrar cientos de especies y reacciones. Existen diferentes entornos para estudiar aspectos de la combustión, pero para revelar detalles químicos, es útil evitar los complejos campos de flujo de la combustión turbulenta.

Los coeficientes de velocidad de reacción de alta temperatura a menudo se determinan en experimentos con tubos de choque. Se puede estudiar una única reacción elemental (o un subconjunto de reacciones de un mecanismo más grande) en estas condiciones, y se pueden determinar relaciones de ramificación entre diferentes canales de producto. Las expresiones de velocidad de reacción de los experimentos se complementan con información sobre barreras de energía y configuraciones de estado de transición a partir de métodos teóricos

Un mecanismo de reacción, que incluye las reacciones químicas relevantes, se desarrolla para un combustible específico (o una familia de combustibles similares) y los resultados de la simulación se compararon posteriormente con datos experimentales de reactores de flujo, reactores de chorro agitado (JSR), máquinas de compresión rápida (RCM), llamas de laboratorio en diferentes configuraciones, y de sistemas de combustión prácticos, obtenidos usando una gran cantidad de técnicas de análisis. Los avances recientes en la cinética de la combustión, tanto de la teoría como de la experimentación, en el diagnóstico de la combustión y el modelado de la combustión se han revisado en una serie de artículos [6] que proporciona una introducción útil a estos temas.

B. Determinación de la química de combustión de bio-combustibles

Desde la perspectiva de la combustión, las vías de descomposición química y oxidación de los biocombustibles actuales y futuros están íntimamente acopladas a la estructura de la molécula de combustible respectiva.

Predecir el comportamiento de combustión de estos combustibles, incluyendo ignición, extinción, liberación de calor y la formación de contaminantes potenciales, requiere el desarrollo de mecanismos de combustión detallados. Estos deben incluir todas las especies pertinentes, reacciones, coeficientes de velocidad y parámetros termoquímicos y de transporte relacionados como funciones de temperatura y presión [7-13]. Los modelos de combustión que se validan con experimentos confiables se utilizan para examinar todos los aspectos importantes del rendimiento de la combustión y para transferir los resultados del laboratorio al proceso industrial.

Aunque se ha realizado investigación por décadas para proporcionar tales bases de datos químicas para los combustibles de hidrocarburos convencionales, la experiencia con la química en combustibles oxigenados y otros combustibles bio-derivados es comparativamente reciente. La combinación de grupos funcionales químicos en una molécula de biocombustible puede producir secuencias de reacción que no se encuentran en la química del combustible fósil.

Por lo tanto, puede que falte información importante para anticipar las propiedades de combustión de los combustibles (incluida la formación de contaminantes). Aquí, para los compuestos del biocombustible seleccionado, discutiremos sus secuencias de reacción de combustión y la influencia de las características estructurales de la molécula de combustible en productos intermedios y productos, incluidos los contaminantes potenciales. Tal información se requiere con urgencia para ayudar a la evaluación de su idoneidad como combustibles de reemplazo.

3. Desarrollo del mecanismo de combustión

Combustión, definida como la dinámica de fluidos químicamente reactantes, comprende áreas interdisciplinarias como termodinámica, mecánica de fluidos y cinética química; en una clasificación general de los fenómenos de combustión se tienen: llamas, ignición y explosiones.

El tiempo de ignición térmica, es uno de los parámetros más importantes para muchas aplicaciones de combustión. Este tiempo controla la ignición en motores de combustión interna, donde si el tiempo de ignición es menor que el tiempo de residencia de la mezcla aire/combustible entonces la ignición se llevará en la parte baja y no en la parte alta de la cámara de combustión.

El modelado y simulación de estos problemas se basan en la complejidad matemática de la física de los fluidos y en la cinética química de las especies que intervienen como reactantes y como gases de combustión. Por lo que el entendimiento de la evolución de las especies químicas y de sus reacciones de combustión puede ayudar a mitigar las emisiones dañinas y a mejorar la eficiencia de este proceso de conversión de energía.

La cinética química de la oxidación de hidrocarburos es muy compleja: una mezcla de combustible y aire pueden reaccionar ya sea a través de un proceso de combustión lento o a través de un incremento exponencial no controlado dando lugar a una ignición, y solo mediante el uso de cinética química apropiada es como estos fenómenos pueden ser bien descritos.

Dos puntos de vista extremos pueden ser adoptados para el desarrollo de mecanismos de cualquier combustible. Uno de ellos consiste en descripciones de cinética química detallada para procesos de ignición y llamas que involucran un gran número de pasos elementales [7-9, 14-19]. La complejidad resultante del sistema de ecuaciones necesarias para describir estos procesos de combustión muchas veces sobrepasa las capacidades computacionales.

El otro consiste en descripciones simplificadas de la cinética química [20-21] que retenga los elementos esenciales de los fenómenos de combustión, compatible con los actuales recursos computacionales. Este segundo punto es el empleado en este trabajo de investigación.

Para el desarrollo del mecanismo reducido de reacciones del n-butanol, se tomó como base el modelo químico de la Universidad de California, San Diego (UCSD) <http://combustion.ucsd.edu> [20-21], que abarca hasta el alcano C3, y ha sido probado para un rango de presiones de 1 a 100 bar y para relaciones de equivalencia ϕ de la mezcla iso-butano/aire de 0.5 a 3. ϕ es la razón de la relación combustible/aire real con respecto a la relación combustible/aire estequiométrica. Su versión completa, hasta C3, implica sólo 245 reacciones y 40 especies. Este mecanismo de UC San Diego ha sido previamente usado y extendido para el análisis de ignición y llamas del butano y heptano tanto a altas temperaturas como para bajas temperaturas [20-21].

Para la obtención de las reacciones y especies químicas importantes del presente estudio, diferentes mecanismos químicos detallados fueron consultados. Para propósitos de consistencia, se trató de usar reacciones químicas y datos termodinámicos de un solo mecanismo detallado, recientemente formulado [7], el cual contiene alrededor de 2500 reacciones para modelar el n-butanol. Algunas constantes de reacciones de otros mecanismos [3] fueron tomadas, sobre todo para mejorar las predicciones de los tiempos de ignición. Estas reacciones, adicionadas al mecanismo de UCSD, generaron un mecanismo detallado para el combustible propuesto (C_4H_9OH).

Después, con análisis de sensibilidad, el tamaño del mecanismo detallado propuesto fue reducido al eliminar sistemáticamente las especies y reacciones que tienen muy poca influencia en los fenómenos de combustión (llamas e ignición), descritos por las ecuaciones de conservación de energía y especies, respectivamente,

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c_p u \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \sum_{k=1}^N h_k w_k, \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial Y_i}{\partial t} + \rho u \frac{\partial Y_i}{\partial x} = - \frac{\partial}{\partial x} (\rho Y_i V_i) + w_i. \quad (2)$$

Donde T , Y_i , y ω_i son la temperatura, fracción molar y velocidad de reacción de las especies i , respectivamente. N es el número total de especies, y t es el tiempo. c_p es el calor específico a presión constante y ρ es la densidad de la mezcla, y h_i representa la entalpía específica de la especie i . La velocidad de reacción ω_i de la especie i esta dada por

$$\omega_i = \sum_{j=1}^M K_j(T) v'_{ij} \prod_{k=1}^N C_k^{v_{kj}} \quad (3)$$

$$K_j(T) = B_j T^{\alpha_j} \exp(-E_j / RT) \quad (4)$$

Aquí, M es el número total de reacciones químicas elementales y C_i la concentración molar de la especie i . K_j y v'_{ij} son la constante de velocidad de reacción y los coeficientes estequiométricos del reactante i en la reacción química j . Es más importante eliminar especies que reacciones, porque esto directamente reduce el número de ecuaciones de conservación que deben ser resueltas.

Para el caso de ignición, por ejemplo, el vector de coeficientes de sensibilidad normalizado, S_j , se calculó con el tiempo de ignición, t_{ig} , como parámetro principal; esto es $S_j = (K_{j0}/t_{j0}) \partial t_{ig} / \partial K_j$, donde K_j , corresponde a la constante de velocidad de reacción modificada de la reacción j , a la temperatura inicial, y $K_j = K_{j0}(1 + \varepsilon)$, con $\varepsilon \ll 1$. De similar manera, el análisis de sensibilidad se aplicó en el fenómeno de llamas, donde el parámetro principal es la velocidad de la llama S_L . Para los procedimientos y estrategias de análisis para obtener mecanismos reducidos de reacciones se emplea el código FlameMaster [30], que es comúnmente usado por la comunidad científica en el área de combustión.

La Tabla 1 muestra la selección final del esquema reducido de reacciones del n-butanol (C_4H_9OH), que son agregadas al mecanismo base de UC San Diego; son solo 14 reacciones que involucran 6 especies nuevas (NC_4H_9OH , C_4H_8OH-1 , $C_4H_8OH-1O_2$, $C_4H_7OH-1OOH-4$, $C_4H_7OH-1OOH-4O_2$, $C_4OHKET1-4$) dentro del modelo químico de UCSD. Todas las reacciones son reversibles. El mecanismo de la Tabla 1 puede describirse de la siguiente manera: Los primeros 7 pasos en la tabla son relevantes para predecir la descomposición del n-butanol en fenómenos de ignición y propagación de llamas a altas temperaturas ($T > 1000$ K) sobre un amplio rango de condiciones de interés. Las constantes de velocidad de estas siete reacciones son tomadas de [14], ya que en el presente se encontró que son las mejores para describir, principalmente, el fenómeno de ignición. Los parámetros de las reacciones 8-14 son de [11] con el propósito de mejorar los resultados de propagación de llamas, sin perjudicar las predicciones de tiempos de ignición.

No.	Reacción	B_j	α_j	E_j
1	$NC_4H_9OH(+M) \leftrightarrow NC_3H_7 + CH_2OH(+M)$	3.02E+23	-1.88	85710
2	$NC_4H_9OH+O_2 \leftrightarrow C_4H_8OH-1+HO_2$	2.00E+13	0.00	46800
3	$NC_4H_9OH+HO_2 \leftrightarrow C_4H_8OH-1+H_2O_2$	6.00E+12	0.00	16000
4	$NC_4H_9OH+O \leftrightarrow C_4H_8OH-1+OH$	1.45E+05	2.47	876
5	$NC_4H_9OH+OH \leftrightarrow C_4H_8OH-1+H_2O$	5.56E+10	0.500	-380
6	$NC_4H_9OH+H \leftrightarrow C_4H_8OH-1+H_2$	1.79E+05	2.530	3420
7	$C_4H_8OH-1 \leftrightarrow CH_3CHO+C_2H_5$	3.00E+11	0.000	31000
8	$C_4H_8OH-1+O_2 \leftrightarrow CH_2CO+C_2H_6+HO_2$	4.40E+11	0.000	5000
9	$C_4H_8OH-1+O_2 \leftrightarrow C_4H_8OH-1O_2$	1.00E+12	0.000	0.000
10	$C_4H_8OH-1O_2 \leftrightarrow CO+C_2H_6+CH_2O+OH$	2.50E+11	0.000	25000
11	$C_4H_8OH-1O_2 \leftrightarrow C_4H_7OH-1OOH-4$	4.69E+09	0.000	21950
12	$C_4H_7OH-1OOH-4+O_2 \leftrightarrow C_4H_7OH-1OOH-4O_2$	4.52E+12	0.000	0.000
13	$C_4H_7OH-1OOH-4O_2 \leftrightarrow C_4OHKET1-4+OH$	1.56E+09	0.000	13650
14	$C_4OHKET1-4 \leftrightarrow C_2H_4+H+CO_2+CH_2O+OH$	1.00E+16	0.000	39000

Tabla 1 Reacciones del mecanismo reducido de n-butanol con sus constantes de velocidad de reacción K_j ; las unidades son mol, centímetros cúbicos, segundos, kilocalorías, Kelvin

Fuente: *Elaboración Propia*

El radical C_4H_8OH-1 , generado en las reacciones 2-6, puede descomponerse mediante descomposición termoquímica tipo β para formar, principalmente CH_3CHO y etilo. Las reacciones 8-14, son características de la química a baja temperatura, aun cuando experimentalmente no se ha detectado el comportamiento del coeficiente negativo de temperatura NTC (Negative coefficient temperature). Estas reacciones tuvieron que incorporarse al mecanismo para obtener mejor concordancia con los tiempos de ignición calculados a temperaturas menores a 1000 K.

4. Pruebas de validación

En las pruebas de validación del mecanismo desarrollado, uno de los fenómenos de combustión a analizar es la propagación de llamas, que tiene un gran campo de interés, ya que se puede aplicar en la regulación del flujo combustible/aire y en la determinación de las condiciones necesarias para poder obtener una llama estable con las formas y dimensiones que se requieren en los diferentes tipos de quemadores de gas, de líquido y de aceite.

El otro fenómeno a estudiar es el tiempo de ignición térmica, que es uno de los parámetros más importantes para muchas aplicaciones de combustión. Este tiempo controla la ignición en motores de combustión interna, donde si el tiempo de ignición es menor que el tiempo de residencia de la mezcla aire/combustible entonces la ignición se llevará en la parte baja y no en la parte alta de la cámara de combustión.

Para que cualquier mecanismo de reacciones sea exitoso, debe al menos proveer resultados razonablemente buenos de velocidades de quemado S_L que sean comparables a las mediciones experimentales, dentro de la incertidumbre de los experimentos. En cierta forma, esto no es completamente equitativo ya que la velocidad de las llamas depende no solo de la cinética química sino además de las propiedades de transporte. Las primeras pruebas de validación son, entonces, velocidades de llamas tanto para el iso-butano como para el iso-buteno, las cuales se modelarán con descripciones de transporte de mezcla promedio.

Seguido de las pruebas de validación en propagación de llamas, las comparaciones se harán en tiempos de ignición experimentales. Tales pruebas no dependen de las propiedades de transporte, sin embargo existen otras incertidumbres, como la definición del tiempo de ignición. Los tiempos de ignición experimentales [8] fueron determinados en el momento de inflexión máxima de la presión, que coincide con el criterio de inflexión máxima de temperatura empleado en las simulaciones. El código computacional FlameMaster [30] fue empleado principalmente y ocasionalmente el código CHEMKIN II [22] también fue utilizado para comparar que resultados de dos programas diferentes fueran los mismos. Ambos códigos utilizan las ecuaciones de conservación (1)-(2).

Para el cálculo de velocidades de llama con FlameMaster, se usó la opción de propiedades de transporte de mezcla promedio, produciendo convergencia con 300 puntos de malla. Los experimentos mostrados en la Fig. 2, para hacer comparaciones, fueron realizados a diferentes temperaturas (343, 353, 373 K) y presiones (1, 2, 10 atm), para una gran gama de relaciones de equivalencia ϕ . Se puede ver en la Fig. 2 que las velocidades de llama son bien reproducidas, incluyendo su dependencia con la relación de equivalencia, excepto cerca de la zona de estequiometría donde existe una pequeña discrepancia donde valores de predicción son ligeramente menores que los datos experimentales. Continuando ahora con tiempos de ignición, computacionalmente, el tiempo de ignición se definió como el tiempo requerido para alcanzar el punto de inflexión del perfil de temperatura en función del tiempo, bajo condiciones adiabática a volumen constante.

La Fig. 3 compara las predicciones del presente mecanismo con mediciones de tiempos de ignición [8] en el rango de temperaturas de 770-1300 K para presiones de 10, 20, 40 y 80 atm. Los experimentos fueron realizados para una mezcla estequiométrica, $\phi = 1.0$. Se observa que los resultados numéricos son comparables a las mediciones experimentales, donde a mayores presiones se obtienen tiempos de ignición más cortos, con una pendiente con gran influencia del ramal de alta temperatura para $H + O_2$.

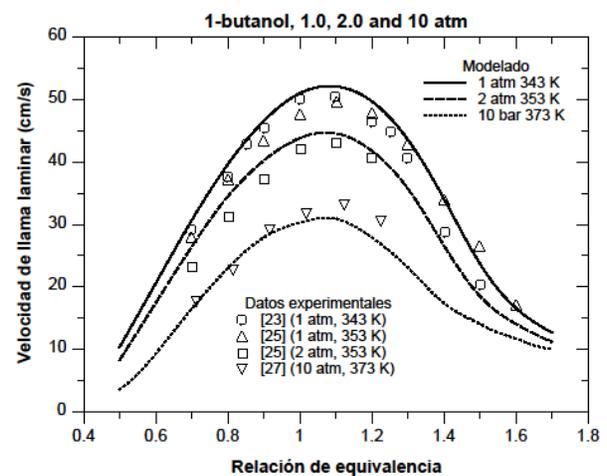


Figura 2 Comparación de las velocidades de llama medidas y calculadas para una mezcla de n-butanol/Aire
Fuente: Elaboración Propia

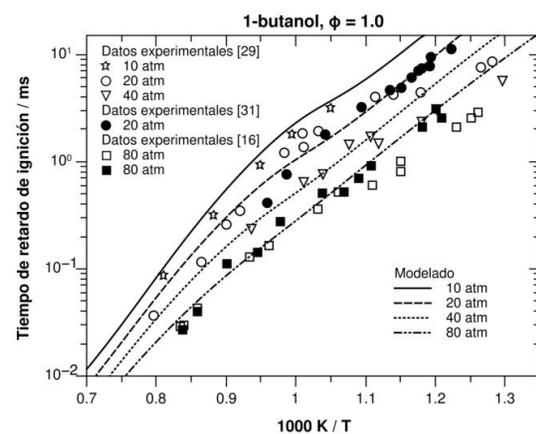


Figura 3 Comparación de tiempos de ignición para una mezcla de n-butanol/Aire y $\phi = 1.0$
Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

En este trabajo se describió la importancia de los biocombustibles: Balance neutro del CO_2 , producción y consideraciones de uso.

También se ha mostrado que agregando un conjunto relativamente pequeño de reacciones y especies al mecanismo químico reducido de UC San Diego, es posible modelar la combustión del n-butanol. La metodología toma en cuenta extensa literatura reciente sobre la cinética química de este bio-combustible. Para obtener este mecanismo corto y de fácil uso, en el presente trabajo se eliminaron todas aquellas especies químicas y reacciones de menor importancia así como eliminación de especies en estado estacionario. Ninguno de los parámetros químicos finales fue escogido arbitrariamente para ajustarse a los datos experimentales; todos ellos fueron tomados directamente de la literatura.

El mecanismo reducido resultante produce muy buenos resultados al compararlos contra datos experimentales de propagación de llamas, tiempos de ignición y reactores de inyección agitado, para mezclas de n-butanol/aire.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo otorgado por el Tecnológico Nacional de México y el CONACYT para el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- [1] Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S., Hawthorne, P. (2008). Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. *Science*, 319, 1235-1238.
- [2] Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R. A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D., Yu, T. H. (2008). Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. *Science*, 319, 1238–1240.
- [3] Tilman, D., Socolow, R., Foley, J. A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., Pacala, S., Reilly, J., Searchinger, T., Somerville, C., R. Williams, R. (2009). Beneficial Biofuels—The Food, Energy, and Environment Trilemma. *Science*, 325, 270–271.
- [4] Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Prog. Energy Combust. Sci.* 33, 233–271.
- [5] Schmidt, L. D., Dauenhauer, P. J. (2007). Chemical engineering: Hybrid routes to biofuels. *Nature*, 447, 914–915.
- [6] Millr, J. A., Troe, J., Pilling, M. J. (2005). Unravelling combustion mechanisms through a quantitative understanding of elementary reactions. *Proc. Combust. Inst.*, 30, 43–88.
- [7] Dagaut, P., Sarathy, S. M., Thomson, M. J. (2009). A chemical kinetic study of n-butanol oxidation at elevated pressure in a jet stirred reactor. *Proc. Combust. Inst.*, 32, 229-237.
- [8] Sarathy, S. M., Thomson, M. J., Togbé, C., Dagaut, P., Halter, F., Mounaim-Rousselle, C. (2009). An experimental and kinetic modeling study of n-butanol combustion. *Combust. Flame*, 156, 852-864.
- [9] Van Geem, K. M., Pyl, S. P., G.B. Martin, G. B., Harper, M. R., W.H. Green, W. H. (2010). Accurate high-temperature reaction networks for alternative fuels: butanol isomers, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 49, 10399–10420.
- [10] Black, G., Curran, H. J., Pichon, S., Simmie, J. M., Zhukov, V. (2010). Bio-butanol: Combustion properties and detailed chemical kinetic model. *Combust. Flame*, 157, 363-373.
- [11] Grana, R., Frassoldati, A., Faravelli, T., Niemann, U., Ranzi, E., Seiser, R., Seshadri, K. (2010). An experimental and kinetic modeling study of combustion of isomers of butanol. *Combust. Flame*, 157, 2137-2154.
- [12] Harper, M. R., Van Geem, K. M., Pyl, S. P.; Marin, G. B.; Green, W. H. Comprehensive reaction mechanism for n-butanol pyrolysis and combustion. *Combust. Flame*, 2011, 158, 16-41.
- [13] Weber, B. W., Kumar, K., Zhang, Y., Sung, C. J. (2011). Autoignition of n-butanol at elevated pressure and low-to-intermediate temperature. *Combust. Flame*, 158, 809-819.
- [14] Sarathy, S. M., Vranckx, S., Yasunaga, K., Mehl, M., Oßwald, P., Metcalfe, W. K., Curran, H. J. (2012). A comprehensive chemical kinetic combustion model for the four butanol isomers. *Combust. Flame*, 159, 2028-2055.

- [15] Yasunaga, K., Mikajiri, T., Sarathy, S. M., Koike, T., Gillespie, F., Nagy, T., John M. Simmie, J. M., Curran, H. J. (2012). A shock tube and chemical kinetic modeling study of the pyrolysis and oxidation of butanol. *Combust. Flame*, 159, 2009-2027.
- [16] Merchant, S. S., Zanoelo, E. F., Speth R. L., Harper, M. R., Van Geem, K. M, Green, W. H. (2013). Combustion and pyrolysis of iso-butanol: experimental and chemical kinetic modeling study, *Combust. Flame*, 160, 1907–1929.
- [17] Welz, O., Zádor, J., Savee, J. D., Sheps, L., David L. O., Taatjes. C. A. (2013). Low-temperature combustion chemistry of n-butanol: principal oxidation pathways of hydroxybutyl radicals. *J. Phys. Chem. A*, 117, 11983-12001.
- [18] Alam, F. E., Liu, Y. C., Avedisian, C. T., Dryer, F. L., Farouk, T. I. (2015). n -Butanol droplet combustion: numerical modeling and reduced gravity experiments, *Proc. Combust. Inst.*, 35, 1693–1700.
- [19] Liu, Y. C., Alam, F. E.; Xu, Y., Dryer. F. L., Avedisian, C. T., Farouk, T. I. (2016). Combustion characteristics of butanol isomers in multiphase droplet configurations, *Combust. Flame*, 169, 216–228.
- [20] Prince, J. C., Treviño, C., Williams, F. A. (2017). A reduced reaction mechanism for the combustion of n-butane. *Combust. Flame*, 175, 27-33.
- [21] Prince, J. C., Williams F. A., Ovando, G. E. (2015). A short mechanism for the low-temperature ignition of n-heptane at high pressures. *Fuel*, 149, 138-142.
- [22] R. J. Kee, R. J., M. Rupley, F. M., Miller, J. A. (1989). Chemkin-II: A Fortran chemical kinetics package for the analysis of gas-phase chemical kinetics (No. SAND-89-8009). Sandia National Labs., Livermore, CA (USA).
- [23] Veloo, Peter S., Wang, Y. L., Egolfopoulos, F. N., Westbrook, C. K. (2010). A comparative experimental and computational study of methanol, ethanol, and n-butanol flames. *Combust. Flame*, 157, 1989-2004.
- [24] Veloo, Peter S., Egolfopoulos, Fokion N. (2011). Flame propagation of butanol isomers/air mixtures. *Proc. Combust. Inst.*, 33, 987-993.
- [25] Liu, W., Kelley, A. P., Law, C. K. (2011). Non-premixed ignition, laminar flame propagation, and mechanism reduction of n-butanol, iso-butanol, and methyl butanoate. *Proc. Combust. Inst.*, 33, 995-1002.
- [26] Wu, F., Law, C. K. (2013). An experimental and mechanistic study on the laminar flame speed, Markstein length and flame chemistry of the butanol isomers. *Combust. Flame*, 160, 2744-2756.
- [27] Beeckmann, J., Cai, L., Pitsch, H. (2014). Experimental investigation of the laminar burning velocities of methanol, ethanol, n-propanol, and n-butanol at high pressure. *Fuel*, 117, 340-350.
- [28] Wang, H., Reitz, R. D., Yao, M., Yang, B., Jiao, Q., Qiu, L. (2013). Development of an n -heptane- n -butanol-PAH mechanism and its application for combustion and soot prediction, *Combust. Flame*, 160, 504–519.
- [29] Gautam, M., Martin, D. W., Carder, D. (2000). Emissions characteristics of higher alcohol/gasoline blends. *Proc. Inst. Mech. Eng., Part A*, 214, 165-182.30.
- [30] Yacoub, Y., Bata, R., Gautam, M. (1998). The performance and emission characteristics of C1-C5 alcohol-gasoline blends with matched oxygen content in a single-cylinder spark ignition engine. *Proc. Inst. Mech. Eng., Part A*, 212, 363-379.
- [31] Zhu, Y., Davidson, D. F., Hanson, R. K. 1-Butanol ignition delay times at low temperatures: an application of the constrained-reaction-volume strategy. *Combust. Flame*, 2014, 161, 634-643.

Desarrollo de una HMI tipo arquitectura abierta para la comunicación Ethernet con PLCs de la marca Allen Bradley

Development of an open architecture type HMI for Ethernet communication with PLCs from the trademark Allen Bradley

CARMONA-MARTÍNEZ, Luis Alberto^{†1,2,3}, SOTO-CAJIGA, Jorge Alberto¹, RODRÍGUEZ-OLIVARES, Noé Amir^{1,2,3} y ORTÍZ-ORTÍZ, Tania Judith^{2,3}

¹Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), Av. Playa Pie de la Cuesta No. 702, c.p. 76125, Col. Desarrollo San Pablo, Querétaro, Qro. México

²Universidad Tecnológica de Querétaro (UTEQ), Av. Playa Pie de la Cuesta No. 2501, c.p. 76128, Col. Unidad Nacional, Querétaro, Qro. México

²Universidad Tecnológica de Querétaro (UTEQ)-Cuerpo Académico de Automatización y Control

ID 1^{er} Autor: Luis Alberto, Carmona-Martínez / ORC ID: 0000-0002-7925-1229, Researcher ID Thomson: H-1068-2018, CVU CONACYT ID: 486128

ID 1^{er} Coautor: Jorge Alberto, Soto-Cajiga / ORC ID: 0000-0002-1737-5197, Researcher ID Thomson: I-5468-2018, CVU CONACYT ID: 167955

ID 2^{do} Coautor: Noé Amir, Rodríguez-Olivares / ORC ID: 0000-0001-5892-0625, Researcher ID Thomson: I-5012-2018, CVU CONACYT ID: 444191

ID 3^{er} Coautor: Tania Judith, Ortíz-Ortíz / ORC ID: 0000-0001-6712-9237, Researcher ID Thomson: H-6539-2018, CVU CONACYT ID: 426398

Recibido Enero 30, 2018; Aceptado Marzo 30, 2018

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de una HMI de tipo arquitectura abierta basada en una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3, una pantalla táctil y una aplicación desarrollada bajo la plataforma de programación Python 2. El objetivo de la interfaz es contar con una alternativa libre y de código abierto capaz de extraer, modificar y visualizar la información de las variables creadas en los PLCs de la marca Allen Bradley de las familias ControlLogix, CompactLogix, MicroLogix y SLC 500. La comunicación fue realizada utilizando sockets TCP/IP en conjunto con una serie de librerías de comunicación que facilitan la interacción entre el PLC y la HMI por medio del protocolo CIP. Las librerías fueron desarrolladas con las especificaciones del protocolo CIP que aplican en las capas de transporte, aplicación y de usuario del modelo de referencia OSI. Posteriormente se realizó la validación del proyecto mediante la conexión de la interfaz con los PLCs Micrologix 1100 y ControlLogix 1756-L71 por medio de la lectura y escritura de 16 variables distintas para cada PLC. Este trabajo permitirá a futuro desarrollar HMIs que permitan comunicarse con distintos equipos industriales y otros dispositivos bajo el concepto de industria 4.0 en el entorno de arquitectura abierta.

PLC, HMI, Raspberry

Abstract

This paper presents the development of an open architecture type HMI based on a Raspberry Pi 3 development board, a touchscreen display, and a Python 2 based application. Our goal was to develop an HMI with open source, which is capable of to extract, modify, and visualize the data of the variables created in the Allen Bradley PLCs of the ControlLogix, CompactLogix, Micrologix, and SLC 500 families. First, we did the communication with TCP/IP sockets in conjunction with our communication libraries that facilitate the interaction between the PLC and the HMI. The interface was through the CIP. Later, we developed the libraries with the CIP protocol specifications, which are executed in the transport, application and user layers of the OSI reference model. Finally, the validation was done by connecting the interface with the PLCs Micrologix 1100 and ControlLogix 1756-L71 by reading and writing 16 different variables for each PLC. This work will allow a future the development of HMIs that will enable communication with various industrial equipment and other devices under the 4.0 industry concept in the open architecture environment.

PLC, HMI, Raspberry

Citación: CARMONA-MARTÍNEZ, Luis Alberto, SOTO-CAJIGA, Jorge Alberto, RODRÍGUEZ-OLIVARES, Noé Amir y ORTÍZ-ORTÍZ, Tania Judith. Desarrollo de una HMI tipo arquitectura abierta para la comunicación Ethernet con PLCs de la marca Allen Bradley. Revista del Desarrollo Tecnológico. 2018. 2-6: 24-31.

[†] Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (alberto0488@hotmail.com)

1. Introducción

La competitividad altamente creciente en la industria de hoy exige productos con calidad y precios competitivos. Para superar este desafío, muchas industrias han integrado sistemas automatizados, reemplazando la toma de decisiones del ser humano en un proceso mecanizado, por computadoras y dispositivos de automatización, dejando el control de las líneas de producción a una cantidad mínima de operadores. Uno de los dispositivos de automatización más utilizados en la industria actualmente son los PLCs. Los PLCs son computadoras diseñadas para el control de maquinaria de líneas de producción, que interactúan con la maquinaria por medio de múltiples señales de entrada y de salida.

La HMI es un dispositivo o sistema que permite la interacción entre el usuario y un sistema de control, como es el caso de los PLCs. Para que el operador pueda interactuar con la línea de producción por medio del PLC (asignando parámetros y revisando el estado de la línea), requiere de una interfaz hombre-máquina, o más comúnmente conocido por sus siglas en inglés HMI. La comunicación entre las HMIs y los PLCs se puede realizar con una amplia variedad de protocolos de comunicación y, dependerá de la marca y el precio de cada HMI; el protocolo utilizado y los modelos de PLCs disponibles para comunicar.

Este proyecto surge de la necesidad de contar con una HMI de bajo costo, de arquitectura abierta y de buenas prestaciones, como son: conexión a internet, generación de reportes, envío de correos electrónicos, conectividad FTP, comunicación serial, buena resolución de pantalla y que sea capaz de comunicarse vía Ethernet con PLCs SLC 500, Micrologix, CompactLogix y ControlLogix de la marca Allen Bradley. La importancia de este proyecto se centra en dos partes:

La primera parte es la arquitectura abierta y de bajo precio, la cual permite contar con una HMI con capacidad de ser modificada a nivel de hardware y software para adaptarla a necesidades específicas, principalmente en proyectos de bajos recursos o en pequeñas y medianas empresas.

La segunda parte se centra en su posición en la industria, ya que se prevé que el mercado mundial de HMIs llegue a 6.31 mil millones de dólares para antes del año 2022 (Grand View Research, 2016), con un crecimiento en el mercado de software de interfaz estimado superior al 10% promedio anual en los próximos años. También se considera el crecimiento del mercado de la automatización de manera general, el cual espera un crecimiento de 149 mil millones de dólares para el año 2022, con un 6% de crecimiento promedio anual (Market Research Future, 2018). Garantizando así la utilidad actual y a futuro de este trabajo dentro de la industria.

Para el desarrollo de la HMI se realizó un estudio de varios trabajos relacionadas con el desarrollo de interfaces para equipo industrial. La mayoría de los trabajos encontrados relacionados consisten en la implementación de software de paga para el desarrollo de las interfaces, un ejemplo de ello es el desarrollo de una sistema SCADA para monitoreo remoto de grúas RTG (Rodríguez, et al., 2017), el cual consiste en la aplicación del software Ignition para desarrollar una interfaz capaz de comunicarse con un PLC FUJI-NP1S-22 para el monitoreo remoto de los niveles de combustible de una grúa.

Pocos trabajos consistieron en el desarrollo de HMIs de bajo costo y código abierto. Un ejemplo de ello es el desarrollo de un servidor de comunicaciones para el monitoreo, supervisión y control de equipos industriales (Prado, 2005), el cual consiste en la implementación de un servidor con interfaz desarrollada en Linux y con la utilización del protocolo de comunicación EtherNet/IP para el intercambio de datos con un PLC ControlLogix 5555 de Allen Bradley. Otro ejemplo, y muy similar al trabajo desarrollado en este artículo, es la implementación de una HMI para un PLC Micrologix 1100 con Raspberry (Zavala, et al., 2016), el cual consiste en el desarrollo de una HMI de bajo costo capaz de comunicarse con PLCs SLC y Micrologix de la marca Allen Bradley.

El valor agregado de este trabajo respecto a los trabajos encontrados consiste en la diversidad de modelos de PLCs de Allen Bradley que pueden conectarse.

Ya que, en los artículos encontrados el campo de aplicación solo se centra en un cierto modelo de PLCs o se apoyan de programas y librerías de código ya existentes protegidas por derechos de autor, impidiendo o dificultando la modificación del código de comunicación para aplicaciones específicas y futuras mejoras, además, de que limitan la capacidad de la HMI para toda la versatilidad que se pueda obtener.

La estructura de la HMI desarrollada en este trabajo se basa en una computadora de placa reducida Raspberry Pi 3, que incluye un chip de tipo SoC con arquitectura ARM fabricado por Broadcom. El procesador incluye, memoria RAM, una GPU, puertos USB, HDMI, Ethernet, WiFi, 40 pines GPIO y un puerto DSI para la cámara (Raspberry Pi, s.f.). El sistema operativo utilizado es una versión adaptada de Debian, denominada Raspbian. La lógica y el entorno gráfico se desarrollaron utilizando el lenguaje de programación Python 2.

La comunicación con los PLCs se realiza por medio de Ethernet industrial. Este protocolo de comunicación se eligió debido al rápido crecimiento que tiene en el mercado. Con una tasa de crecimiento de un 20%, representando en el 2016 el 38% del mercado global (Hardware Meets Software, 2018). Es necesario mencionar que el Ethernet industrial es la aplicación del estándar Ethernet en un entorno industrial con diversos protocolos que proporcionan determinismo y control.

Dentro de la diversidad del protocolo del Ethernet industrial, se eligió el protocolo EtherNet/IP, el cual ocupa el primer lugar de los protocolos del Ethernet industrial en el mercado (Hardware Meets Software, 2018). El protocolo EtherNet/IP también es conocido como “ControlNet sobre Ethernet” y consiste en la aplicación del protocolo CIP en la capa de transporte, sesión, presentación y aplicación del modelo de referencia OSI. Utilizando como capa física y capa de enlace de datos el estándar Ethernet y respectivamente IP, UDP/TCP; como la capa de red y de transporte.

La visualización se hace por medio de una pantalla táctil de 7 pulgadas conectada al puerto DSI de la Raspberry Pi 3. Pero también se puede conectar vía HDMI hacia cualquier tamaño de pantalla, con resoluciones desde 640x480 pixeles hasta 1920x1080 pixeles.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: En la sección 2 se presenta el desarrollo de este trabajo incluyendo la arquitectura de la HMI, el protocolo de comunicación y la implementación en código. En la sección 3 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas. Finalmente en la sección 4 se presentan las conclusiones del trabajo.

2. Desarrollo

A continuación se presenta el desarrollo de del trabajo realizado, primero se da a conocer la arquitectura de la HMI, luego la arquitectura del protocolo EtherNet/IP para la comunicación mediante la operación de lectura y escritura de las variables del PLC, y finalmente la aplicación en código para la comunicación con los PLCs y la estructura de la interfaz gráfica.

2.1 Arquitectura de la HMI

En la Figura 1 se muestra el diagrama esquemático de la HMI compuesto únicamente por la Raspberry Pi 3 y la pantalla táctil de 7 pulgadas. La Raspberry permite comunicarse a través del puerto Ethernet o de la conexión WiFi con los PLCs Micrologix, SLC, CompactLogix y ControlLogix para una posterior visualización y control de las variables a través de la pantalla táctil, o en otro tipo de pantalla (monitor o TV) que cuente con salida HDMI.

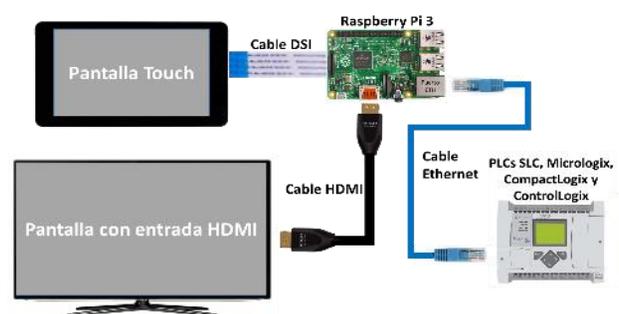


Figura 1 Diagrama esquemático de la HMI

Fuente: *Elaboración Propia.*

2.2. Protocolo EtherNet/IP

ODVA y ControlNet introdujeron el empaquetado de mensajes con TCP/IP. El resultado se conoció como “ControlNet sobre Ethernet” y ahora es llamado EtherNet/IP. El EtherNet/IP usa el Protocolo CIP, este protocolo define el encapsulamiento en la capas de transporte, sesión, presentación y aplicación del modelo OSI (Figura 2). También compartidas por ControlNet y DeviceNet.

Aplicación	Capa de aplicación CIP. Biblioteca de objetos de aplicación.
Presentación	Servicios de gestión de datos CIP. Mensajes explícitos, mensajes de E/S.
Sesión	CIP enrutamiento de mensajes, gestión de conexión.
Transporte	Encapsulación CIP. TCP/UDP.
Red	IP.
Enlace de datos	Ethernet.
Física	Punto a punto, multicast, unicast.

Figura 2 Modelo de red EtherNet/IP

Fuente: *Elaboración Propia*

La comunicación a través del encapsulado CIP en EtherNet/IP tiene definidos dos métodos de conexión: mensajes explícitos, usando TCP/IP y mensajes implícitos, usando UDP. El método utilizado en este trabajo es el de mensajes explícitos, que sigue el patrón de conexión cliente-servidor o petición-respuesta. Todo mensaje explícito es enviado a través del puerto TCP 44818 y es estructurado de manera general (Tabla 1) por un encabezado de 24 bytes seguido de una porción de datos que varían dependiendo del comando utilizado.

Estructura	Nombre del campo	Tipo de dato
Encabezado	Comando	UINT
	Tamaño	UINT
	Número de sesión	UDINT
	Estatus	UDINT
	Contexto del remitente	Arreglo DE 8 BYTES
	Opciones	UDINT
Datos específicos del comando	Datos encapsulados	Arreglo de 0 a 65511 USINT

Tabla 1 Paquete de mensaje encapsulado.

Fuente: *(Prado, 2005)*.

Para realizar el intercambio de información de manera coherente entre el PLC y la HMI se requiere primero de una solicitud de sesión a través del comando **RegisterSession**, el cual se estructura como se muestra en la Tabla 2.

Estructura	Nombre del campo	Tipo de dato
Encabezado	Comando	UINT
	Tamaño	UINT
	Número de sesión	UDINT
	Estatus	UDINT
	Contexto del remitente	Arreglo DE 8 BYTES
	Opciones	UDINT
Datos específicos del comando	Versión del protocolo	UINT
	Banderas de opciones	UINT

Tabla 2 Solicitud de comando RegisterSession

Fuente: *(Prado, 2005)*

Al enviar los datos de la Tabla 2, el PLC deberá indicar a la HMI que está registrado, a través del campo “número de sesión”, en un formato de respuesta como se muestra en la Tabla 3.

Estructura	Nombre del campo	Tipo de dato
Encabezado	Comando	UINT
	Tamaño	UINT
	Número de sesión	UDINT
	Estatus	UDINT
	Contexto del remitente	Arreglo DE 8 BYTES
	Opciones	UDINT
Datos específicos del comando	Versión del protocolo	UINT
	Banderas de opciones	UINT

Tabla 3 Respuesta del comando RegisterSession

Fuente: *(Prado, 2005)*.

El número de sesión es guardado en la HMI e insertado en las siguientes solicitudes para que puedan ser aceptadas por el PLC.

2.3. Operación de lectura y escritura

Las operaciones de lectura y escritura entre la HMI y el PLC se realizan a través del comando **SendRRData** que está estructurado como se muestra en la Tabla 4, y deben ser enviados a través de un mensaje sin conexión UCMR encapsulado en el campo “paquete de solicitud”, el cual está compuesto por un arreglo de datos de longitud variable.

Estructura	Nombre del campo	Tipo de dato
Encabezado	Comando	UINT
	Tamaño	UINT
	Número de sesión	UDINT
	Estatus	UDINT
	Contexto del remitente	Arreglo DE 8 BYTES
	Opciones	UDINT
Datos específicos del comando	Tipo de interfaz	UDINT
	Timeout	UINT
	Conteo de elementos	UINT
	ID del tipo de dirección	UINT
	Longitud de la dirección	UINT
	ID del tipo de dato	UINT
	Longitud de los datos	UINT
	Paquete de solicitud	Arreglo de UINT

Tabla 4 Solicitud de comando SendRRData.

Fuente: *(Prado, 2005)*.

Al ser enviada la solicitud, el PLC responderá con base en el protocolo encapsulado en el comando **SendRRData** (Tabla 5), el cual será utilizado para extraer la información de la variable en caso de una solicitud de lectura.

Estructura	Nombre del campo	Tipo de dato
Encabezado	Comando	UINT
	Tamaño	UINT
	Número de sesión	UDINT
	Estatus	UDINT
	Contexto del remitente	Arreglo DE 8 BYTES
	Opciones	UDINT
Datos específicos del comando	Tipo de interfaz	UDINT
	Timeout	UINT
	Conteo de elementos	UINT
	ID del tipo de dirección	UINT
	Longitud de la dirección	UINT
	ID del tipo de dato	UINT
	Longitud de los datos	UINT
	Paquete de solicitud	Arreglo de UINT

Tabla 5 Respuesta del comando SendRRData.

Fuente: (Prado, 2005).

2.4. Aplicación en código

El programa fue desarrollado en Python 2 y está compuesto de dos partes: una parte de comunicación y una parte de interfaz gráfica. La parte de comunicación utiliza una librería desarrollada exclusivamente en este trabajo para comunicarse con los PLCs de Allen Bradley. La librería está compuesta por 4 funciones: 2 para leer y 2 para escribir sobre las variables del PLC. El código de la librería se realizó siguiendo la estructura del protocolo EtherNet/IP explicada anteriormente y la sintaxis de las funciones desarrolladas en este trabajo son las que se explicarán a continuación.

```
#Lectura PLCs ControlLogix y CompactLogix
Dato=C_ReadPLC('192.168.0.10', 0, 'variable00')

#escritura PLCs ControlLogix y CompactLogix
C_WritePLC('192.168.0.10', 0, 'variable01', dato)

#Lectura PLCs Micrologix y SLC
Dato=M_ReadPLC('192.168.0.10', 'B3:0')

#escritura PLCs Micrologix y SLC
M_WritePLC('192.168.0.10', 'B3:1', dato)
```

Figura 3 Ejemplo de funciones de lectura y escritura.

Fuente: Elaboración Propia

La función C_ReadPLC (Figura 3) permite leer los datos de una variable tipo DINT existente en los PLCs ControlLogix y CompactLogix. Los argumentos solicitados por la función son: la dirección IP del PLC, el número de slot en el que se ubica el PLC y el nombre de la variable existente en el PLC.

La función C_WritePLC (Figura 3) permite escribir un valor sobre una variable tipo DINT existente en los PLCs ControlLogix y CompactLogix. Los argumentos solicitados son: la dirección IP del PLC, el número de slot en el que se ubica el PLC, el nombre de la variable a modificar y el valor a escribir.

La función M_ReadPLC (Figura 3) permite leer los datos de una variable tipo INT existente en los PLCs SLC y MicroLogix. Los argumentos solicitados por la función son: la dirección IP del PLC y el nombre de la variable existente en el PLC.

La función M_WritePLC (Figura 3) permite escribir un valor sobre una variable tipo INT existente en los PLCs SLC y MicroLogix. Los argumentos solicitados son: la dirección IP del PLC, el nombre de la variable a modificar y el valor a escribir.

2.5. Interfaz gráfica

La parte gráfica fue desarrollada mediante la librería Tkinter para la creación de ventanas, controles e indicadores que están vinculados con las variables del PLC a través de las funciones de lectura y escritura. La interfaz gráfica permite moverse entre 4 paneles como se muestra en la Figura 4.

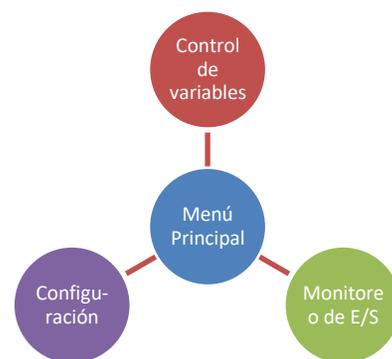


Figura 4 Diagrama de interconexión de los paneles.

Fuente: Elaboración Propia

Al iniciar la interfaz el primer panel que se visualiza es el menú principal (Figura 5) que da acceso a cada uno de los otros 3 paneles para poder controlar las variables del PLC, monitorear el estado de las entradas y salidas físicas, y configurar los parámetros de conexión con el PLC.



Figura 5 Menú Principal de la HMI
Fuente: Elaboración propia

3. Resultados

La implementación de la interfaz para las pruebas de lectura y escritura se realizaron con los PLCs Micrologix 1100 1763 serie B, CompactLogix 1769-L18ERM-BB1B y ControlLogix 1756-L71. Para cada prueba se generaron 16 variables en cada PLC (Figura 6, Figura 7 y Figura 8). Cada prueba consistió en leer y escribir datos desde la HMI sobre cada una de las 16 variables del PLC, utilizando las librerías desarrolladas para este trabajo. Todas las pruebas también se hicieron con el software comercial Interact Xpress Manager para tener un punto de comparación.

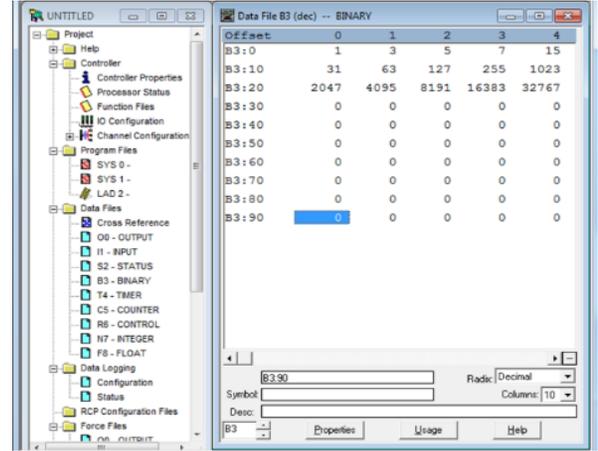


Figura 8 Asignación de variables para MicroLogix.
Fuente: Elaboración Propia

El resultado obtenido para cada prueba fue la comunicación satisfactoria de la HMI desarrollada en este trabajo, pudiendo leer y escribir números de tipo DINT sobre cada una de las 16 variables creadas en los PLCs CompactLogix y ControlLogix, y pudiendo leer y escribir números de tipo INT sobre cada una de las 16 variables creadas en el PLC Micrologix. En la Figura 9 se muestran un ejemplo de los resultados obtenidos por la HMI de este trabajo, comparados con los resultados del software comercial (Figura 10).

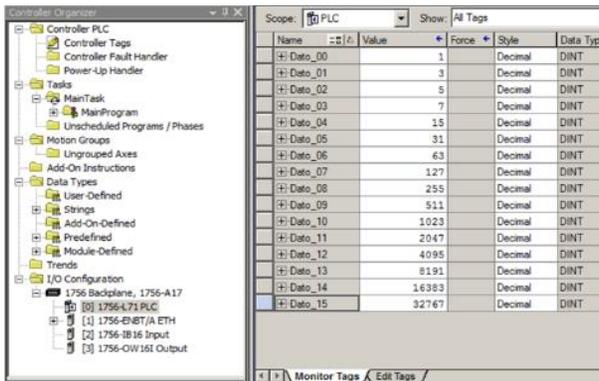


Figura 6 Asignación de variables para ControlLogix.
Fuente: Elaboración Propia

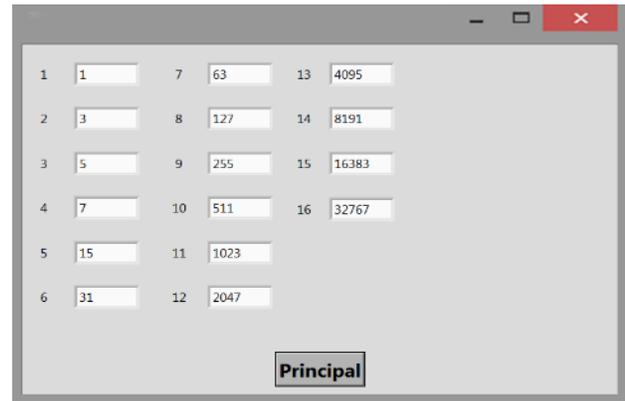


Figura 9 Variables en la HMI de este trabajo.
Fuente: Elaboración Propia

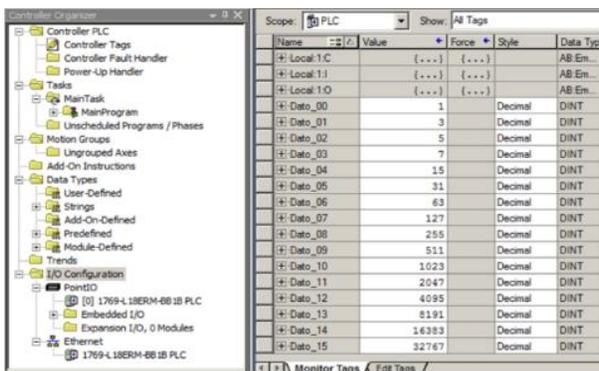


Figura 7 Asignación de variables para CompactLogix.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 10 Variables en Interact Xpress Manager.
Fuente: Elaboración Propia.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos avalan el alcance de este trabajo, permitiéndonos contar con una HMI de un costo aproximado de 3 mil pesos, equivalente a una quinta parte del precio de una HMI comercial, con la facilidad de comunicarse con varios modelos de PLCs de Allen Bradley, siendo un resultado satisfactorio y de calidad de un equipo clasificado como minicomputadora con un precio accesible como lo es la Raspberry Pi, presentando ésta un tercio de sus aplicaciones de tipo industrial en una cultura de emprendedurismo comercial denominada: professionals makers, quienes buscan la estandarización e interoperabilidad de equipos que se comuniquen entre sí para el intercambio de información relevante para la toma inteligente de decisiones, tanto para aplicaciones de IoT (Internet of Things) como para su aplicación en el mundo industrial IIoT (Industrial Internet of Things), por lo que además de haber empleado un software libre como Python para el protocolo Ethernet/IP para un monitoreo e intercambio de variables críticas del proceso en planta productiva vía alámbrica e inalámbrica, es posible desarrollar las pantallas para monitoreo, control, históricos, alarmas propias de un HMI comercial.

La continuación del presente trabajo se extiende con un mayor alcance tanto en protocolos industriales como aplicaciones alineadas a la industria 4.0 (cuarta revolución industrial), dándole así una mayor competitividad con los equipos industriales, como también una oportunidad viable económica para las Pymes, las cuales deberán incorporar en sus procesos lo más pronto posible, la digitalización de sus datos, conectividad segura entre equipos industriales y procesos a nivel local y/o remota, ya que esta 4ta revolución exige una manufactura más eficiente para mantener la competitividad en el mercado y el uso más eficiente de los recursos, transfiriendo información relevante entre equipos industriales y móviles, datos que facilitan el conocimiento de lo monitoreado, permitiendo así su análisis y toma estratégica de decisiones en los diferentes niveles del negocio, alrededor del 82% de las organizaciones mundiales aplican la manufactura inteligente; se estima que para el 2020 se conecten 26 billones de dispositivos a nivel mundial.

Agradecimientos

Se agradece a CIDESI por el apoyo en la realización del presente trabajo y al cuerpo académico de automatización y control de la universidad tecnológica de Querétaro por el apoyo brindado para la aplicación de la metodología.

Anexo 1 Abreviaturas

ARM	Máquina RISC Avanzada (Advanced RISC Machine).
CIP	Protocolo de Control e Información (Control and Information Protocol).
DSI	Pantalla de Interfaz serial (Display Serial Interface).
EtherNet/IP	Ethernet/Protocolo Industrial (Ethernet/Industrial Protocol).
FTP	Protocolo de Transferencia de archivos (File Transfer Protocol).
GPIO	Entrada/Salida de Propósito General (General Purpose Input/Output).
GPU	Unidad de Procesamiento Gráfico (Graphics Processing Unit).
HDMI	Interfaz Multimedia de Alta Definición (High-Definition Multimedia Interface).
HMI	Interfaz Hombre-Máquina (Human-Machine Interface).
IP	Protocolo de Internet (Internet Protocol).
ODVA	Asociación Abierta de Vendedores DeviceNet (Open DeviceNet Vendor Association).
OSI	Interconexión de Sistemas Abierto (Open System Interconnection).
PLC	Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller).
RAM	Memoria de Acceso Aleatorio (Random Access Memory).
RISC	Computadora con Conjunto Reducido de Instrucciones (Reduced Instruction Set Computer).
SoC	Sistema en Chip (System on Chip).
TCP	Protocolo de Control de Transmisión (Transmission Control Protocol).
UCMM	Administrador de mensaje desconectado (Unconnected Message Manager).
UDP	Protocolo de Datagramas de Usuario (User Datagram Protocol).
USB	Bus Universal en Serie (Universal Serial Bus).
WiFi	Fidelidad Inalámbrica (Wireless Fidelity).

Referencias

ControlNet International and Open DeviceNet Vendor Association. (2001). *EtherNet/IP Adaptation of CIP Specification*.

Grand View Research. (2016). Human Machine Interface (HMI) Market Analysis By Product (Display Terminals, Interface Software, Industrial PC), By Application (Automotive, Healthcare, Food & Beverages, Oil & Gas, Packaging, Aerospace & Defense) And Segment Forecasts To 2022. *Market Research Report*. Obtenido de <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/human-machine-interface-market>

Hardware Meets Software. (2018). HMS Release 2016 Industrial Market Share Report. *LC Automation*. Obtenido de https://www.lcautomation.com/Page/Latest_News/2016_Industrial_Network_Market_Share_Report.aspx

Market Research Future. (2018). *Industrial Automation Market Research Report- Forecast 2022*. Obtenido de <https://www.marketresearchfuture.com/reports/industrial-automation-market-2212>

Prado Hernández, D. (2005). *Desarrollo de un servidor de comunicaciones para el monitoreo, supervisión y control de equipos industriales*. (Tesis inédita de ingeniería). Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.

Raspberry Pi. (s.f.). THE Official RASPBERRY PI PROJECTS BOOK. Obtenido de https://www.raspberrypi.org/magpi-issues/Projects_Book_v1.pdf

Rodriguez, J., Ramirez, M., Burgara, O., & Escoto, E. (2017). Desarrollo de un sistema SCADA para monitoreo remoto de grúas RTG en la empresa LCTPC del Puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, México. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*. 4(12), 36-43.

Zavala, J., Domínguez, R., & Orizaba, J. (2016). Implementación de HMI para un PLC Micrologix 1100 con Raspberry Pi 2 modelo b. *Pistas Educativas*, 38(121), 260-269.

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

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

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} 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^{er} Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2^{do} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2^{do} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)

Citación: Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista del Desarrollo Tecnológico. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

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 Artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del Artículo* 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 inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]

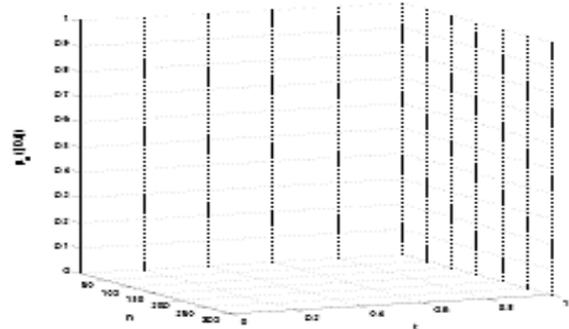


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

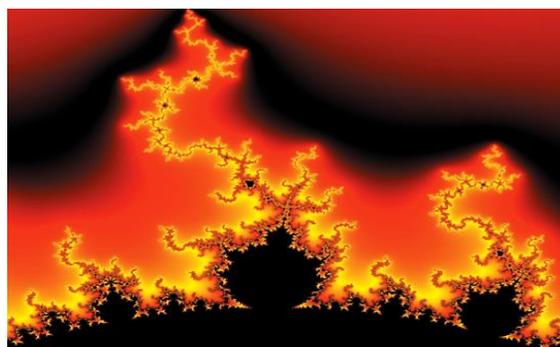


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo 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:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

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 Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

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 Artículo.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

Ficha Técnica

Cada Artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, 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

Revista del Desarrollo Tecnológico se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal 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 del Artículo.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, 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 Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo 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 del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista del Desarrollo Tecnológico 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 Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo 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 el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Spain considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- 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 este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-México, S.C en su Holding Spain para su Revista del Desarrollo Tecnológico, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo 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 del Artículo:

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 Artículos 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 al Artículo 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 los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos 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 que 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 el Artículo a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Artículos 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 Artículos 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 del Artículo presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

Servicios Editoriales:

Identificación de Citación e Índice H.

Administración del Formato de Originalidad y Autorización.

Testeo de Artículo con PLAGSCAN.

Evaluación de Artículo.

Emisión de Certificado de Arbitraje.

Edición de Artículo.

Maquetación Web.

Indización y Repositorio

Traducción.

Publicación de Obra.

Certificado de Obra.

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
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, Jesús. BsC

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo

MIRANDA-GARCIA, Marta. 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. Moralarzal –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.

Revista del Desarrollo Tecnológico

“Comparativa de panel solar monocristalino 0 y 20° vs policristalino 0 y 20° de inclinación en Puerto Vallarta”

PAREDES-VÁZQUEZ, Cesar Paul, FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe y DIBENE-ARREOLA, Luis Martín

Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas

“Diseño y construcción de un módulo automatizado para simulación de regímenes de carga de un banco de pruebas de rendimiento electromecánico de biodiesel”

ORTIZ-MEDINA, Raúl Arturo, MALDONADO-RUELAS, Víctor Arturo, AGUIRRE-SÁMANO, Juan Fernando y KAMARAJ - Sathish Kumar

Universidad Politécnica de Aguascalientes

Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes

“Importancia del n-butanol y su aplicación al modelado de procesos de combustión”

PRINCE-AVELINO, Juan, DÍAZ-GONZÁLEZ, Mario, RODRÍGUEZ-LEÓN, Abelardo y OVANDO-CHACÓN, Guillermo

Instituto Tecnológico de Veracruz

“Desarrollo de una HMI tipo arquitectura abierta para la comunicación Ethernet con PLCs de la marca Allen Bradley”

CARMONA-MARTÍNEZ, Luis Alberto, SOTO-CAJIGA, Jorge Alberto, RODRÍGUEZ-OLIVARES, Noé Amir y ORTÍZ-ORTÍZ, Tania Judith

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)

Universidad Tecnológica de Querétaro (UTEQ)



2 5 3 1 | 2 9 6 0

ISSN 2531 - 2960



www.ecorfan.org