

ISSN 2523-6881

Volumen 3, Número 11 — Octubre — Diciembre — 2019

# Revista de Energías Renovables



## **ECORFAN®**

### **Editor en Jefe**

SERRANO-PACHECO, Martha. PhD

### **Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

### **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

### **Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

### **Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

### **Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

### **Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

### **Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Revista de Energías Renovables**, Volumen 3, Número 11, de Octubre a Diciembre 2019, es una revista editada trimestralmente por Ecorfan-Perú. La Raza Av. 1047 No.-Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode:11500. WEB: [www.ecorfan.org/republicofperu](http://www.ecorfan.org/republicofperu), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editora en Jefe: SERRANO-PACHECO, Martha. PhD. 2523-6881. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática Ecorfan. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Diciembre 2019.

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 Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

# **Revista de Energías Renovables**

## **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 Energía solar y sus aplicaciones, Energías renovables y el cambio climático, Impacto ambiental, Plantas hidroeléctricas, Energías renovables contaminantes, Energía eólica, Energía geotérmica en el mundo

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 de Energías Renovables es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Perú, 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 Energía solar y sus aplicaciones, Energías renovables y el cambio climático, Impacto ambiental, Plantas hidroeléctricas, Energías renovables contaminantes, Energía eólica, Energía geotérmica en el mundo 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 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**

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD  
University of La Rochelle

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD  
Intitut National Polytechnique Toulouse

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD  
University of Bristol

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

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD  
University of Texas

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD  
Oak Ridge National Laboratory

RODRÍGUEZ - MORALES, José Alberto. PhD  
Universidad Politécnica de Madrid

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD  
University of Alberta

VEGA - PINEDA, Javier. PhD  
University of Texas

RODRIGUEZ - ROBLEDO, Gricelda. PhD  
Universidad Santander

## **Comité Arbitral**

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

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

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD  
Universidad Politécnica de Amozoc

GÓMEZ - MERCADO, Abdiel  
Instituto Tecnológico de Pachuca

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

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

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

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

AGUILAR - VIRGEN, Quetzalli. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

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

## **Cesión de Derechos**

El envío de un Artículo a Revista de Energías Renovables 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 Perú 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 mandará 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 Energía solar y sus aplicaciones, Energías renovables y el cambio climático, Impacto ambiental, Plantas hidroeléctricas, Energías renovables contaminantes, Energía eólica, Energía geotérmica en el mundo y a otros temas vinculados a las Ingeniería y Tecnología.

## Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos *Diseño e implementación de un sistema seguidor solar inteligente a dos ejes para optimizar la producción de energía fotovoltaica con una lente de fresnel y un sistema de limpieza robotizado a bajo costo* por HERNÁNDEZ-MEDINA, José Juan, LÓPEZ-XELO, Hilario, HERNÁNDEZ-DÍAZ, Aldo y CABRERA-PÉREZ, José Luis con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco, como segundo artículo presentamos *Técnicas de aprendizaje automático en el diagnóstico de aerogeneradores* por GARCÍA, Uriel A., IBARGÜENGOYTIA, Pablo H., DÍAZ-GONZÁLEZ, Lorena y HERMOSILLO-VALADEZ, Jorge con adscripción en Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, como tercer artículo presentamos, *Hidrógeno como combustible complementario para motores de ciclo diésel* por BENITEZ-CRUZ, Gerardo Alan, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio, JUÁREZ-ZERÓN, Tomás Aáron y FLORES-MARTINEZ, Guillermo con adscripción en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, como cuarto artículo presentamos *Propuesta de producción de biodiésel mediante aceite vegetal usado* por OSORIO-CANUL, Marvin, GARCÍA-MAGALLANES, Gabriel, HERRERA-LUGO, Angélica y NOVELO-MOO, Thelma con adscripción en la Universidad Tecnológica Metropolitana.

## Contenido

Artículo	Página
<b>Diseño e implementación de un sistema seguidor solar inteligente a dos ejes para optimizar la producción de energía fotovoltaica con una lente de fresnel y un sistema de limpieza robotizado a bajo costo</b> HERNÁNDEZ-MEDINA, José Juan, LÓPEZ-XELO, Hilario, HERNÁNDEZ-DÍAZ, Aldo y CABRERA-PÉREZ, José Luis <i>Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco</i>	1-6
<b>Técnicas de aprendizaje automático en el diagnóstico de aerogeneradores</b> GARCÍA, Uriel A., IBARGÜENGOYTIA, Pablo H., DÍAZ-GONZÁLEZ, Lorena y HERMOSILLO-VALADEZ, Jorge <i>Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias</i>	7-14
<b>Hidrógeno como combustible complementario para motores de ciclo diésel</b> BENITEZ-CRUZ, Gerardo Alan, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio, JUÁREZ-ZERÓN, Tomás Aáron y FLORES-MARTINEZ, Guillermo <i>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla</i>	15-22
<b>Propuesta de producción de biodiésel mediante aceite vegetal usado</b> OSORIO-CANUL, Marvin, GARCÍA-MAGALLANES, Gabriel, HERRERA-LUGO, Angélica y NOVELO-MOO, Thelma <i>Universidad Tecnológica Metropolitana</i>	23-28



## Diseño e implementación de un sistema seguidor solar inteligente a dos ejes para optimizar la producción de energía fotovoltaica con una lente de fresnel y un sistema de limpieza robotizado a bajo costo

### Design and implementation of an intelligent solar follower system of two axes to optimize the production of photovoltaic energy with a fresnel lens and a robotized low cost cleaning system

HERNÁNDEZ-MEDINA, José Juan†\*, LÓPEZ-XELO, Hilario, HERNÁNDEZ-DÍAZ, Aldo y CABRERA-PÉREZ, José Luis

*Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco*

ID 1<sup>er</sup> Autor: José Juan, Hernández-Medina / ORC ID: 0000-0003-4625-2660, CVU CONACYT ID: 5227576

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Hilario, López-Xelo / ORC ID: 0000-0001-6597-6598, CVU CONACYT ID: 732365

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Aldo, Hernández-Díaz / ORC ID: 0000-0002-5338-8075, CVU CONACYT ID: 269589

ID 3<sup>er</sup> Coautor: José Luis, Cabrera-Pérez / ORC ID: 0000-0003-3035-0266, CVU CONACYT ID: 672263

DOI: 10.35429/JRE.2019.11.3.1.6

Recibido 16 de Octubre, 2019; Aceptado 19 Noviembre, 2019

#### Resumen

Los sistemas fotovoltaicos con lámparas de Fresnel son costosos, así como tecnológicamente complicados, debido a sus componentes óptico, mecánico y de control. Todos estos sistemas son sensibles a los costos de operación y mantenimiento. En este artículo se propone utilizar lentes de Fresnel comerciales para mejorar la eficiencia de los módulos fotovoltaicos, en conjunto con un sistema seguidor solar inteligente de control difuso a dos ejes y un novedoso sistema de limpieza robotizado de bajo costo. La idea básica es que este sistema optimice la producción de energía eléctrica de manera económica y tecnológicamente simple. Se recurrirá a la tecnología de microcontroladores Arduino y la lógica difusa para el control, así como la geometría de las lentes de Fresnel, para concentrar en un área pequeña la energía solar, sin hablar de que tienen estos dispositivos ópticos tienen un peso reducido. El efecto acumulado de producción de energía se verá mejorado por el sistema robotizado de limpieza de bajo costo. Se debe mantener la mayor parte del tiempo posible la alineación y perpendicularidad del impacto de la energía solar sobre las celdas fotovoltaicas y contrastar el desempeño de este sistema con otros comerciales, más caros y tecnológicamente más complejos.

**Fotovoltaico, Lentes de Fresnel, Control difuso**

#### Abstract

Photovoltaic systems with Fresnel lenses are expensive, as well as technologically complex, due to their optical, mechanical and control components. In addition, all these systems are sensitive to operation and maintenance costs. This article proposes the use of commercial Fresnel lenses to improve the efficiency of photovoltaic modules, in conjunction with a fuzzy intelligent controlled solar tracking system with two-axis and a novel low-cost robotic cleaning system. The basic idea is that this system optimizes the production of electricity in an economically and technologically simple way. The technology of Arduino microcontrollers and fuzzy logic for control, as well as the geometry of Fresnel lenses, will be used to concentrate solar energy in a small area, not to mention that these optical devices have a low weight. The accumulated effect of energy production will be improved by a novel low cost robotic cleaning system. The alignment and perpendicularity of the impact of solar energy on photovoltaic cells must be maintained as much as possible and the performance of this system must be compared with other more expensive and technologically more complex commercial systems.

**Photovoltaic, Fresnel lens, fuzzy control**

**Citación:** HERNÁNDEZ-MEDINA, José Juan, LÓPEZ-XELO, Hilario, HERNÁNDEZ-DÍAZ, Aldo y CABRERA-PÉREZ, José Luis. Diseño e implementación de un sistema seguidor solar inteligente a dos ejes para optimizar la producción de energía fotovoltaica con una lente de fresnel y un sistema de limpieza robotizado a bajo costo. Revista de Energías Renovables 2019. 3-11: 1-6

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jjhmedina@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Las tecnologías de concentración de energía solar, CPV, por sus siglas en inglés (*Concentrating Photovoltaic*), mediante lentes de Fresnel es una forma efectiva de optimizar la incidencia de la luz solar en las fotoceldas ya que los sistemas CPV, pueden contribuir a reducir el área de las celdas fotovoltaicas y puede permitir la reducción de costos en general del sistema (Yupeng et al, 2012).

Los concentradores funcionan mejor cuando hay una fuente de luz directa y el concentrador puede apuntar directamente a ella. Se debe recordar que las celdas fotovoltaicas (FV) tienen una baja eficiencia: los paneles monocristalinos tienen un promedio de 16% y los paneles y los paneles amorfos apenas superan el 10%.

Para los satélites y las naves espaciales se fabrican módulos de arseniuro de galio (GaAs) que alcanzan una eficiencia de 30% (Shanks, 2016).

El propósito de este proyecto es mejorar la eficiencia de las fotoceldas con materiales baratos como las lentes plásticas concentradoras de Fresnel, para mejorar la producción de energía eléctrica, reduciendo el área útil.

Las lentes de Fresnel para este concentrador solar se deben acoplar a elementos secundarios ópticos (SOE o *secondary optical elements*, por sus siglas en inglés), para incrementar la concentración geométrica de los haces de luz, así como para ajustar la tolerancia del ángulo, reducir las pérdidas de eficiencia por calentamiento excesivo y a otros dispositivos para controlar la posición con respecto al sol (Vallerotto et al, 2016).

## Metodología

La parte medular de este sistema es un controlador inteligente difuso, que permite orientar los paneles FV, a fin de mantener siempre la perpendicularidad del panel con respecto al Sol.

El seguidor inteligente tendrá dos ejes, uno de cuales permite seguir al sol en su recorrido diario aparente de oriente a poniente y el segundo eje es para seguir al sol a lo largo de su recorrido estacional.

La parte mecánica del sistema comprende las lentes de Fresnel, el sistema robotizado de limpieza, el seguidor solar, un microcontrolador, la estructura de montaje, un SPCC (*Solar Power Charge Controller*) o controlador de carga por energía solar, las baterías, motores paso a paso y el sensor para detectar la luz. Dado que el sistema es un seguidor inteligente tomará las decisiones pertinentes, incluso en condiciones nubosas, lluviosas e imprevistas como un eclipse (Huang et al, 2016).

## Mercado Objetivo del proyecto

En México hay más de 2,200,000 personas sin servicios de energía eléctrica procedente de una red (INEGI, 2010), que viven en regiones apartadas y que son los principales clientes potenciales para este proyecto.

Por otra parte, este sistema debe funcionar durante al menos 10 años, sin gastos mayores en mantenimiento, pues sólo requerirá lubricación e inspecciones periódicas. Además, el sistema debe soportar la intemperie, sobre todo la lluvia y el granizo, así como el viento y podría operar en rangos de temperatura de entre -15 °C a 50°C. El Protocolo de Kioto establece que para 2050 habrá una matriz energética libre de combustibles fósiles, con tres pilares: el ahorro de energía, el fomento de las fuentes renovables y la eficiencia energética (Font, 2019).

Además, otras aplicaciones que pueden usar este sistema son los sistemas autónomos de bombeo de agua y de comunicaciones, los sistemas de protección catódica de metales expuestos a la intemperie o a la humedad, luces indicadoras para tráfico aéreo y ferroviario, suministrar energía a naves, entre otras. Además, como ya se hace en muchos lugares, la producción de energía en paneles solares, reducirá la demanda de electricidad del sector convencional (Kumar et al, 2015).

## El control inteligente difuso

La lógica difusa es un algoritmo creado por Lofti Zadeh en 1965 y consiste en una teoría general de conjuntos, en la que cada elemento tiene un número infinito de grados de pertenencia a uno o más conjuntos difusos cuyos valores de pertenencia oscilan entre cero y uno.

En contraste, en los conjuntos tradicionales (también llamados booleanos o duros), los elementos pertenecen o no pertenecen a dicho conjunto, asumiendo solamente dos valores: cero o uno (verdadero o falso). (Huang et al, 2016).

Mediante la lógica difusa se pueden diseñar controladores inteligentes difusos o FLC, por sus siglas en inglés (*Fuzzy Logic Controllers*), capaces de tratar con situaciones ambiguas, complejas y situaciones en las que se tiene como entrada información fragmentaria.

El controlador inteligente difuso se basa en algunas reglas difusas. Las reglas difusas representan el compendio del conocimiento de un experto humano en el sistema que se desea controlar (Patel y Shewale, 2015). El criterio del experto se expresa en términos de reglas empíricas arbitrarias del tipo **si... entonces...** Dichas reglas determinan las interacciones entre las variables difusas, por ejemplo:

*Si está muy oscuro entonces enciende todas las luces.*

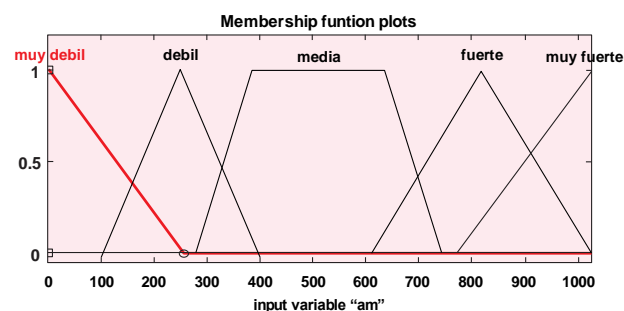
El FLC se compone de cuatro etapas: la *fuzzificación*, la base de reglas, el mecanismo de inferencia y la *defuzzificación* (Usta et al, 2011). Cada variable que interviene se representa mediante un conjunto difuso.

### Etapa 1: La fuzzificación

Para realizar esta etapa se debe definir en primer término, un universo de discurso que permita representar de manera adecuada los valores de las variables de entrada. Después, hay que convertir los valores numéricos de dicha entrada en términos que permitan definir los grados de pertenencia de los miembros de los conjuntos difusos, a través de una función de pertenencia (Aguirre et al, 2018). Como ya se mencionó, dichos valores de pertenencia oscilan entre 0 y 1, para realizar una representación de estas señales *versus* el voltaje del panel FV para diferentes niveles de irradiación solar (Robles y Hómez, 2011)

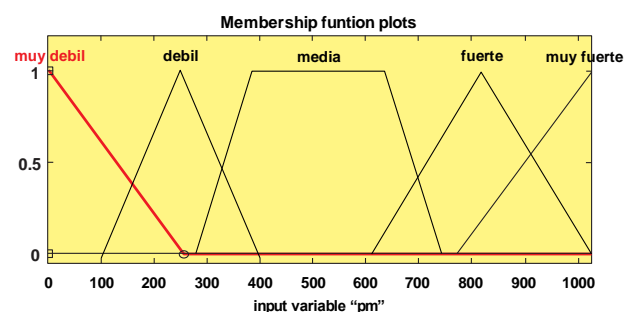
Los nombres de las variables de entrada son arbitrarios y en este sistema son la **iluminación en la mañana (AM)** y la **iluminación en la tarde (PM)**, variables que representan la cantidad de luz recibida en la mañana y en la tarde por el módulo FV.

A su vez, la variable **AM** (iluminación por la mañana), se dividió en los siguientes conjuntos difusos arbitrarios: **muy\_débil**, **débil**, **media**, **fuerte**, **muy\_fuerte**.



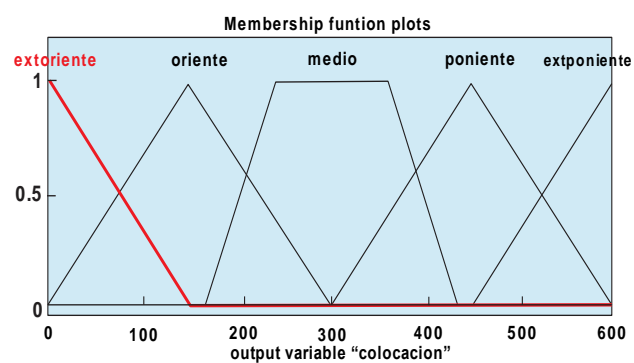
**Gráfico 1** La variable de entrada AM (iluminación por la mañana) que tiene cinco conjuntos difusos: muy\_débil, débil, media, fuerte, muy\_fuerte

En cuanto a la variable **PM** se dividió en los siguientes conjuntos difusos arbitrarios: **muy\_débil**, **débil**, **media**, **fuerte**, **muy\_fuerte**, como lo muestra la siguiente figura.



**Gráfico 2** La variable de salida PM (iluminación por la tarde) con cinco conjuntos difusos: muy\_débil, débil, media, fuerte, muy\_fuerte

La variable de salida, tiene el nombre de **colocación** y representa la posición del panel FV y tiene cinco conjuntos: **ext\_oriente**, **oriente**, **medio**, **poniente**, **ext\_poniente**.



**Gráfico 3** La variable de salida COLOCACIÓN representa la orientación del panel con cinco conjuntos difusos: ext\_oriente, oriente, medio, poniente, ext\_poniente

## Etapa 2: La base de reglas difusas

Las 25 reglas difusas de control de este sistema se evalúan mediante un mecanismo de inferencia y se representan como un conjunto de silogismos del tipo SI... ENTONCES..., mismos que se pueden resumir en la Tabla 1

AM PM	Muy débil	Débil	Media	Fuerte	Muy Fuerte
Muy débil	Medio	Oriente	Ext_ oriente	Ext_ oriente	Ext_ oriente
Débil	Poniente	Medio	Oriente	Ext_ oriente	Ext_ oriente
Media	Poniente	poniente	Medio	oriente	Oriente
Fuerte	Ext_ poniente	Ext_ poniente	poniente	medio	Oriente
Muy Fuerte	Ext_ poniente	Ext_ poniente	Ext_ poniente	poniente	Medio

**Tabla 1** Las reglas de inferencia del seguidor solar

Un ejemplo sobre cómo se debe interpretar la tabla anterior, tome por caso el recuadro verde como base, mismo que se puede leer por sus intersecciones en sus ejes:

**Si AM es media y PM es débil, entonces el panel se debe orientar hacia el oriente**

A partir de los valores de entrada y mediante el uso de los conjuntos difusos, se pueden cuantificar las funciones de pertenencia.

Las variables difusas establecen la relación entre la luz solar recibida y la orientación que debería tener el panel fotovoltaico, que a su vez es función de la fuerza electromotriz producida en el panel FV (Morales y Espinosa, 2018).

## Etapa 3: La inferencia difusa

El motor de inferencia difusa es la “mente” del sistema experto y es el que toma las decisiones al interpretar y aplicar el conocimiento experto empírico a partir de reglas difusas.

Cada regla difusa se evalúa de izquierda a derecha, pero todas ellas son tratadas como si fueran evaluadas simultáneamente. La operación difusa **and** se usa para conectar los antecedentes con los consecuentes dentro de una misma regla.

El tratamiento de las reglas sucesivas se realiza mediante la operación difusa **or**. A este procedimiento difuso, AND - OR se le llama razonamiento de tipo Mamdani.

## Etapa 4: La defuzzificación

La defuzzificación es el proceso de interpretar los grados de pertenencia de los conjuntos difusos de salida. Las funciones de pertenencia de salida tienen forma de triángulo. Si este triángulo fuera cortado por una línea horizontal en un punto entre la parte superior e inferior, y la parte superior fuese eliminada, la porción restante sería un trapecoide. Todos los trapecoides así formados se superponen uno sobre otro formarían una única figura geométrica compleja. Luego, se calcula el centroide de esta figura y se obtiene un valor duro, mismo que corresponde a una decisión concreta. En otras palabras, la etapa de *defuzzificación* permite que las decisiones del mecanismo de inferencia se concreten en términos de salidas duras, es decir, encendido o apagado (Patel y Shewale, 2015).

## La protección catódica del sistema

Los paneles solares deben tener una unidad catódica de protección (CP por sus siglas en inglés, *cathodic protección unit*). La CP es un convertidor de corriente que suministra una CD a las tuberías, herrajes, tornillería y los otros equipos metálicos expuestos a la intemperie para mitigar los efectos de la corrosión. A fin de disminuir el mantenimiento la CP se fabrica de elementos de estado sólido.

## El concentrador solar

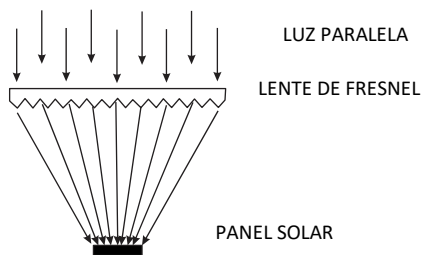
Las lentes de Fresnel para concentradores solares son fabricados con vidrio-silicón (SOG, por sus siglas en inglés *silicon on glass*), ya que es el material que tiene el mejor desempeño y son adecuados para operar a la intemperie, además de tener las siguientes ventajas:

- Alto índice de refracción.
- Pérdidas ópticas mínimas
- Transmitancia de alta intensidad.
- Mayor resistencia a la radiación UV y al envejecimiento.
- Las lentes SOG son varias veces mayor resistencia a la intemperie que el PMMA (polimetil meta acrilato óptico).

Además, la superficie de la lente de Fresnel es ultrablanca y endurecida, lo que resulta que los surcos de la lente están perfectamente definidos para optimizar el proceso de concentración.

Los fabricantes de lentes de Fresnel pueden hacer algunas modificaciones para adaptar su producto a las necesidades del cliente, en términos de sus ángulos de incidencia, de la distancia focal entre el lente y el panel solar, entre otros.

La distancia focal de las lentes de Fresnel comerciales oscila entre los 48 mm y los 350 mm. Los paneles solares más grandes tienen dimensiones de longitud hasta 1100 mm. En cualquier caso, se sugiere consultar las especificaciones del fabricante de las lentes.



**Figura 1** Se muestra cómo los rayos del sol al incidir sobre la lente de Fresnel se concentran de la manera más homogénea posible sobre la superficie del panel solar

### El sistema robotizado de limpieza

El polvo y los contaminantes acumulados sobre la superficie del panel solar bloquean la irradiación solar y en consecuencia la eficiencia puede disminuir considerablemente. Por lo tanto, la limpieza de los paneles solares es de gran interés para garantizar la producción eficiente de la energía. Entre los métodos más usados para la limpieza están los siguientes:

- Cepillado.
- Sistemas electrostáticos.
- Lavado con agua.
- Método con tensoactivos (surfactantes).
- Sistema de Micro-estructura repelente al agua.
- Sistema de limpieza por ultrasonido.
- Método de inclinación (Tilt).

El sistema de limpieza robotizado consiste en un brazo rotatorio con un rociador de agua. Dicho fluido no solamente permitirá realizar la limpieza, sino que también permitirá enfriar los paneles. Este robot para limpieza de desplazamiento cartesiano estará alimentado por su propia fotocelda. El sistema de limpieza contará con un sensor de temperatura que activará a este robot cuando la temperatura se aproxime a los 45° C, cuidando siempre del choque térmico que pudiese afectar a las fotoceldas.

### Resultados

La posición del sol se monitorea continuamente mediante sensores tipo fotorresistor para conocer las entradas (AM y PM). El voltaje producido en cada sensor de entrada se convierte a un valor digital usando un convertidor analógico a digital (ADC, por sus siglas en inglés, *analog digital conversor*). Cuando el sistema toma la decisión respecto al ángulo al que se debe colocar el panel, un motor paso a paso hace girar al panel solar de tal manera que se coloque en una posición perpendicular al sol. Los resultados de la simulación en Matlab se muestra en la gráfica número 5, en la que si se proporciona dos entradas (conjuntos difusos en amarillo, se puede obtener una salida, el conjunto difuso **colocación**). El control responde en tiempo real.

El motor paso a paso, mismo que impulsa al seguidor solar no funciona todo el tiempo, sino que lo hace cada cinco minutos durante doce horas, es decir, el motor de pasos opera 144 veces en un día, lo que permite ahorrar energía y posicionar las celdas de manera adecuada. Otra rutina de programación permite que cuando llega la noche, el panel solar se coloque de tal manera que regrese a su punto de origen para esperar la salida del sol con un solo arranque del motor. El controlador inteligente difuso toma las mejores decisiones para posicionar el panel, incluso si el día está nublado, lluvioso, o si ocurriera un evento inesperado como un eclipse. Aunque el microcontrolador tiene notables ventajas como su bajo precio y su facilidad para programarse, puede presentar algunos problemas al tratar con sistemas de control complejos.

### Conclusiones

Las fotoceldas son dispositivos que permiten obtener energía eléctrica rentable, si se operan con un criterio de optimización tecnológica. Con tal finalidad, en este trabajo se propone la sinergia de tres elementos importantes: el control inteligente difuso para el seguidor solar, la lente de Fresnel, además de un sistema robotizado para limpieza y enfriamiento de todo el equipo. En suma, el desempeño de los paneles fotovoltaicos se puede optimizar mediante la adición de dispositivos secundarios baratos. Además, es importante que estos dispositivos auxiliares tengan sus propias fotoceldas, independientes para no incurrir en el consumo de la energía del mismo sistema.



Por otra parte, también se trata de diseñar este sistema con los medios fácilmente disponibles para su fabricación y mantenimiento y adaptándolo al entorno. La idea es tener una fuente de energía confiable y de calidad. **El control difuso parece que tiene un desempeño eficiente en tiempo real, por lo menos en simulación.** Un trabajo a futuro es tratar este problema con algún recurso de cómputo paralelo como FPGA o una tarjeta NVIDIA (Patel y Shewale, 2015). Otra perspectiva es interconectar este sistema con una red inteligente (*smart grid*) para producir un intercambio de energía, permitiendo una mejor gestión de este recurso. Esto puede cambiar el paradigma de generación centralizada de energía, basada en consumidores pasivos y permitiría al usuario del servicio contaminar menos, gestionar mejor su energía y ahorrar dinero (Rubio, 2019).

## Referencias

- Abouobaida, H., & Said, E. B. (2017). *Practical Performance Evaluation of Maximum Power Point Tracking Algorithms in a Photovoltaic System. International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 8(4), 1744-1755.
- Aguirre, J. C. P., Agundis, A. R., Segura, E. J. R., & Nolasco, J. J. M. (2018). Control Difuso Para Un Convertidor Cd-Cd Aplicado A Sistemas Fotovoltaicos En Los Modos MPPT y CV. *Pistas Educativas*, 39(128).
- El-Sayed, M. A., & Leeb, S. (2015, April). *Fuzzy logic based maximum power point tracking using boost converter for solar photovoltaic system in Kuwait. In International conference on renewable energies and power quality, Spain* (Vol. 14, No. 13, pp. 433-443).
- Font, J. G. (2019). La integración de medidas de eficiencia energética en el sector de la edificación en España a la vista de los objetivos de la UE para los horizontes 2020-2030. El district heating and cooling. *Revista Catalana de Dret Ambiental*, 10(1).
- Huang, C. H., Pan, H. Y., & Lin, K. C. (2016). *Development of intelligent fuzzy controller for a two-axis solar tracking system. Applied Sciences*, 6(5), 130.
- Kharb, R. K., Shimi, S. L., Chatterji, S., & Ansari, M. F. (2014). *Modeling of solar PV module and maximum power point*
- Kumar, A. P., Parimi, A. M., & Rao, K. U. (2015, February). *Implementation of MPPT control using fuzzy logic in solar-wind hybrid power system. In Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES), 2015 IEEE International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.
- Lee, C. Y., Chou, P. C., Chiang, C. M., & Lin, C. F. (2009). *Sun tracking systems: a review. Sensors*, 9(5), 3875-3890.
- Morales Ospina, D. A., & Espinosa Romero, F. A. (2018). Lámpara Led Inteligente Alimentada Por Paneles Solares.
- Patel, R. R., & Shewale, M. A. N. (2015). *Intelligent Sun Tracking System Using FLC Implemented On FPGA. Int. J. Adv. Found. Res. Comput*, 2(10), 260-263.
- Robles, C., & Hómez, G. A. V. (2011). Control del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico, utilizando lógica difusa. *Télématique: Revista Electrónica de Estudios Telemáticos*, 10(2), 54-72.
- Rubio del Castillo, I. (2019). Diseño de un sistema inteligente de gestión energética para hogar con autogeneración y V2G para la integración de smart grids basado en Raspberry Pi.
- Shanks, K., Senthilarasu, S., & Mallick, T. K. (2016). Optics for concentrating photovoltaics: Trends, limits and opportunities for materials and design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 394-407.
- Suganthi, L., Iniyan, S., & Samuel, A. A. (2015). *Applications of fuzzy logic in renewable energy systems—a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 585-607.
- Usta, M. A., Akyazi, Ö., & Altaş, İ. H. (2011, December). *Design and performance of solar tracking system with fuzzy logic controller used different membership functions. In Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2011 7th International Conference on* (pp. II-381). IEEE.
- Vallerotto, G., Victoria, M., Askins, S., Herrero, R., Domínguez, C., Antón, I., & Sala, G. (2016). Design and modeling of a cost-effective achromatic Fresnel lens for concentrating photovoltaics. *Optics express*, 24(18), A1245-A1256.
- Zadeh, L.A. *Fuzzy sets. Inf. Control* 1965, 8, 338–353. [CrossRef]

## Técnicas de aprendizaje automático en el diagnóstico de aerogeneradores

### Machine learning techniques in the diagnosis of wind turbines

GARCÍA, Uriel A. †\*, IBARGÜENGOYTIA, Pablo H., DÍAZ-GONZÁLEZ, Lorena y HERMOSILLO-VALADEZ, Jorge

*Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias. Reforma 113, Palmira. 62490 Cuernavaca, Morelos*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Uriel A, García* / CVU CONACYT ID: 862399

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Pablo H, Ibargüengoytia* / ORC ID: 0000-0001-8893-6708, CVU CONACYT ID: 120007

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Lorena, Díaz González* / ORC ID: 0000-0003-1577-5629, CVU CONACYT ID: 174039

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Jorge, Hermosillo Valadez* / ORC ID: 0000-0001-9040-767X

DOI: 10.35429/JRE.2019.11.3.7.14

Recibido 13 de Octubre, 2019; Aceptado 08 Diciembre, 2019

#### Resumen

EL Centro Mexicano de Innovación en Energía Eólica (CEMIE-Eólico) diseñó un sistema de diagnóstico de aerogeneradores basado en modelos de comportamiento de la turbina utilizando las señales del sistema de control supervisorio y adquisición de datos (SCADA por sus siglas en inglés). El sistema proporciona un patrón de variables que presentan comportamiento anormal en presencia de una falla. Los patrones se forman con la detección del comportamiento anormal de las variables durante una ventana de tiempo en que se manifiesta la falla. En este trabajo, se presenta la aplicación de técnicas de aprendizaje automático para la identificación de fallas en aerogeneradores después del sistema de diagnóstico. Los datos de entrenamiento y validación se obtuvieron a partir de la simulación de seis diferentes fallas en el aerogenerador usando la Máquina Eólica Mexicana (MEM) diseñada en el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL). Se aplicó el sistema de diagnóstico, se generaron los perfiles de comportamiento anormal y se realizaron experimentos para la clasificación multiclase de patrones de fallas usando el algoritmo de "Random Forest". Finalmente, se evaluó el desempeño del algoritmo usando las métricas de exactitud y precisión logrando un 91% en la clasificación de patrones para identificar la falla raíz.

**Diagnóstico de aerogeneradores, Random Forest, Aprendizaje automático**

#### Abstract

The Mexican Center for Innovation in Wind Energy (CEMIE-Eólico) designed a wind turbine diagnostic system based on turbine behavior models using the signals of the Supervisory Control and Data Acquisition system (SCADA). The system provides a pattern of variables that exhibit abnormal behavior in the presence of a fault. The patterns are formed with the detection of the abnormal behavior of the variables during a time window in which the failure manifests itself. This paper presents the application of machine learning techniques for the identification of faults in wind turbines after the diagnostic system. The training and validation data were obtained from the simulation of six different faults in the wind turbine using the Mexican Wind Machine (MEM) designed at the National Institute of Electricity and Clean Energy (INEEL). The diagnostic system was applied, profiles of abnormal behavior were generated and experiments were carried out for the multiclass classification of fault patterns using the "Random Forest" algorithm. Finally, the algorithm performance was evaluated using accuracy and precision metrics achieving 91% in the classification of patterns to identify the root failure.

**Wind turbine diagnosis, Random Forest, Machine learning**

**Citación:** GARCÍA, Uriel A., IBARGÜENGOYTIA, Pablo H., DÍAZ-GONZÁLEZ, Lorena y HERMOSILLO-VALADEZ, Jorge. Técnicas de aprendizaje automático en el diagnóstico de aerogeneradores. Revista de Energías Renovables. 2019 3-11: 7-14

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: uriel.garcia@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Existe una necesidad urgente de realizar una transición hacia el uso de recursos renovables para la generación de potencia eléctrica a nivel mundial. Todos los países, en mayor o menor grado hacen esfuerzos para lograr esa transición. México no es la excepción.

Según la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), en el 2018 existían 2,447 aerogeneradores (AG) formando parte de 54 parques eólicos y con una generación total de 4,935 Mega Watts, resultando en un 5.08% de la producción nacional (AMDEE, 2017).

Dada la creciente importancia de la energía eólica en la generación total nacional y dado que un AG tiene un tiempo de vida promedio entre 20 y 25 años, la necesidad de contar con sistemas de diagnóstico de AGs resulta evidente. Lograr la identificación de fallas incipientes podrá lograr acciones de mantenimiento y reparación que permitan elevar los índices de confiabilidad y disponibilidad de los parques eólicos.

Para atender las necesidades del sector eólico en México, la secretaría de Energía (SENER) y el CONACYT, crearon el CEMIE-Eólico a través del Fondo Sectorial SENER-Sustentabilidad. El proyecto reportado en este artículo es resultado de las actividades en el proyecto P12 del CEMIE-Eólico. La idea fue utilizar técnicas de Inteligencia Artificial (IA) en apoyo al sector eólico. En este proyecto se diseñó un sistema de diagnóstico utilizando modelos probabilistas de comportamiento para poder detectar desviaciones a ese comportamiento normal.

La literatura reporta diferentes formas de atacar el problema de diagnóstico de aerogeneradores (AG). La mayoría de los trabajos consultados pertenecen a la comunidad de Monitoreo de la Condición (Condition monitoring, CM, en inglés). El artículo de revisión de literatura (García Márquez, MarkTobias, Pinar Pérez, & Papaelias, 2012) establece los métodos más utilizados en el monitoreo de la condición o diagnóstico. Ellos son: i) análisis de vibraciones, ii) análisis de emisiones acústicas, iii) técnicas de pruebas ultrasónicas, iv) análisis en aceite, v) medición del esfuerzo o tensión en aspas, vi) termografía, vii) métodos de pulso de choque, viii) inspecciones radiográficas y otros métodos.

Sin embargo, esos métodos tradicionales han requerido siempre personal experto en el área y la formación de modelos muy complejos y difíciles de construir y mantener. Alternativamente, en la actualidad existen métodos computacionales basados en técnicas de inteligencia artificial para realizar el diagnóstico. Como un ejemplo, el trabajo reportado en (Zhou, Yu, & Zhang, 2015) está basado en ontologías y en análisis crítico de efectos de modos de falla (FEMCA por sus siglas en inglés). Con este análisis, la metodología reportada genera una ontología y crea una base de conocimientos para alimentar un sistema experto. El problema de este método y en general con los sistemas expertos es que no manejan la incertidumbre que es común en esta aplicación. Otro trabajo reportado en (Meik, Ferreira Santos, & Achiche, 2013) utiliza modelos de comportamiento de la turbina y datos históricos del SCADA. El enfoque utilizado es de sistemas de inferencia neurodifusa adaptada (ANFIS por sus siglas en inglés) pero no se tiene ninguna distinción de los modos de operación de la turbina eólica.

El trabajo reportado en este artículo está formado por dos etapas. La primera utiliza modelos del comportamiento para poder detectar desviaciones al comportamiento normal. Los modelos de comportamiento se basan en redes Bayesianas (Pearl, 1988) que capturan las relaciones probabilistas entre las variables del SCADA. La salida de la primera etapa consiste en un conjunto de variables que presentan un comportamiento anormal según los modelos de comportamiento. La segunda etapa toma el conjunto de variables con comportamiento anormal y forma un patrón de falla. El objetivo del trabajo es reconocer los patrones de falla generados en el sistema de diagnóstico y lograr la identificación de la falla raíz utilizando técnicas de aprendizaje de máquina. La metodología seguida consistió en la utilización de un simulador de aerogenerador para realizar corridas experimentales del aerogenerador funcionando correctamente y después se insertaron 6 fallas diferentes. De acuerdo a los patrones generados en los experimentos, se usó el algoritmo de "Random Forest" para crear el modelo de identificación de fallas raíces. La principal contribución del trabajo reportado en el artículo es la aplicación del Random Forest para aprender el patrón de las fallas y la medición del desempeño que tuvo este algoritmo en esta identificación de fallas raíces.



Este artículo se organiza de esta manera: La siguiente sección describe el sistema de diagnóstico de aerogeneradores construido en el proyecto del CEMIE-Eólico. Se denomina DxAG. La sección 3 describe la Máquina Eólica Mexicana (MEM) con la cual se realizaron los experimentos. La sección 4 describe los experimentos y resultados realizados con un simulador de la MEM, y finalmente, la sección 5 concluye este artículo y propone tareas para mejorar el sistema DxAG.

### Diagnóstico de AeroGeneradores, DxAG

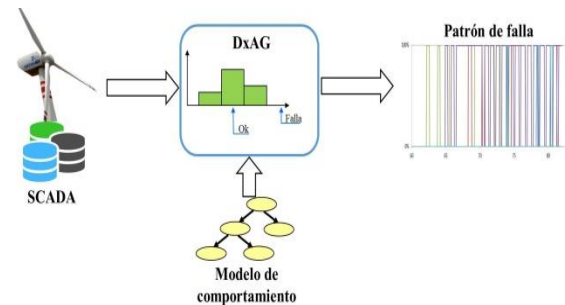
El sistema de diagnóstico de aerogeneradores DxAG fue desarrollado en el CEMIE-Eólico. La idea es crear modelos del comportamiento del AG para poder identificar desviaciones al comportamiento normal aprendido (Ibargüengoytia, García, Reyes, & Borunda, 2016). Los modelos de comportamiento se representan con una red Bayesiana donde se codifican las relaciones probabilistas entre las señales del SCADA. La detección de desviaciones al comportamiento normal se hace utilizando la teoría de validación de información (Ibargüengoytia, Vadera, & Sucar, 2006).

La Figura 1 muestra el papel que realiza el sistema DxAG en el presente trabajo (García, Ibargüengoytia, Reyes, & Borunda, 2016).

Una vez aprendidos los modelos de comportamiento con datos históricos del SCADA, se tiene al DxAG en condiciones de operación. Para su funcionamiento, se conecta al SCADA con el DxAG para adquirir la información actualizada de las variables, cada cierto tiempo de muestreo, por ejemplo cada 5 minutos. El DxAG estima el valor de cada variable infiriéndola en el modelo probabilista de comportamiento y lo compara con la lectura del valor real de la variable en turno. Si el valor real coincide con el valor inferido en una distribución de probabilidad, entonces se considera comportamiento normal.

En caso de que no correspondan los valores, se supone una variable con comportamiento anormal en las condiciones de operación correspondientes. Cuando se realiza este procedimiento de inferencia-comparación de todas las variables, se genera un patrón de comportamiento de falla como se muestra a la derecha de la Figura 1.

El patrón de falla resultante se puede ver como un video de una ventana de tiempo donde se muestran las variables (cada una con diferente color) que presentaron comportamiento anormal. Sin embargo, esos patrones sólo indican que hubo una situación anormal, pero no se puede identificar la falla raíz. La sección 4 explica en detalle el uso de la técnica de aprendizaje automático para el reconocimiento de patrones de fallas raíces.



**Figura 1** Arquitectura para generar patrones de fallas  
Fuente: Elaboración Propia

### Máquina Eólica Mexicana (MEM)

La Máquina Eólica Mexicana es desarrollada actualmente por el (INEEL) con el propósito de aprovechar las oportunidades que ofrece el mercado eólico internacional. La MEM es un aerogenerador de eje horizontal con control de potencia por cambio de ángulo de paso, de velocidad variable, conformado por un rotor de 3 aspas diseñado con las siguientes características de operación:

- Potencia nominal de 1.2 MW
- Diámetro del rotor de 60 m
- Velocidad de inicio de 4 m/s
- Velocidad de paro de 25 m/s

Actualmente, el aerogenerador cuenta con un diseño de funcionamiento simulado en la herramienta de computacional Focus6 (WMC, 2010).

Focus6 es una herramienta modular integrada para diseñar aerogeneradores y componentes de la misma, tales como palas de rotor y soporte.

Esta herramienta de simulación proporciona una interfaz de usuario consistente que integra una serie de herramientas para simular el funcionamiento normal o con falla del aerogenerador.

Para construir un modelo de comportamiento normal de la MEM, el simulador se configuró con las siguientes características: se generaron simulaciones de 5 min con una frecuencia de 16 muestras por segundo de 96 variables, se realizaron simulaciones con un rango de velocidades de 12-15 m/s y 300 variaciones de velocidades dentro del rango definido. Para la simulación de 6 fallas (ver Tabla 1) insertadas al aerogenerador se usaron las mismas características de operación que se utilizaron para generar el modelo de comportamiento normal, se agregó una ventana de tiempo de 10 segundos por cada una de las fallas simuladas y se estableció que la falla debe de iniciar en el segundo 30.

Id Falla	Descripción de la falla
F0	Operación normal
F1	Sin velocidad de Pitch en todas las aspas (control suprimido)
F2	Exceso de velocidad de Pitch en todas las aspas (falla de sensor)
F3	Sin velocidad de Pitch en aspa No. 2
F4	Pitch fuera de control en aspa No. 2
F5	Cortocircuito en el generador
F6	Falla en el sistema Yaw

Tabla 1 Fallas insertadas en la MEM

Las fallas F1, F2, F3 y F4 son fallas referentes al Pitch. El pitch es el control que hace girar las aspas para que puedan presentar la máxima resistencia al aire y capturar la máxima potencia hasta llevarla a la posición bandera, es decir en forma paralela a la dirección de viento. La falla F6 se refiere al mecanismo de Yaw que controla el movimiento de la góndola del AG.

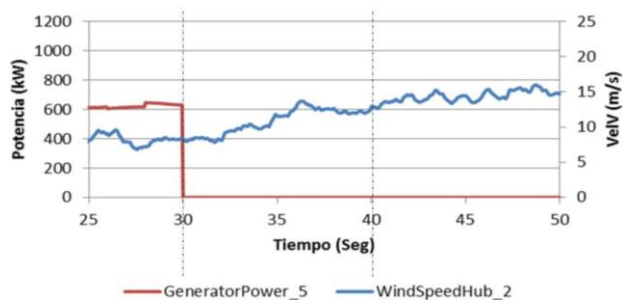


Figura 2 Simulación de la falla de un corto circuito  
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 2 se muestran dos variables del aerogenerador, en color rojo la generación de potencia y en color azul la velocidad de viento. Se puede apreciar la falla del aerogenerador ocasionada por un corto circuito, cuando la generación se pone en cero aún con viento favorable.

### Experimentos y resultados

Para clasificar de manera correcta la falla raíz, se establece un procedimiento de reconocimiento de patrones, tal y como se muestra en la Figura 3, que consiste en los siguientes 6 pasos:

- i) Patrón de falla: Describe el conjunto de variables con comportamiento anormal que se produce a partir de una falla del AG. El patrón de falla se obtiene del sistema DxAG tal como se describe en la sección 2.
- ii) Formación de objetos: Describe la extracción de características partiendo de un patrón de comportamiento de falla.
- iii) Reducción de dimensionalidad: Es el proceso para obtener el mejor subconjunto de variables en un conjunto de datos mediante una búsqueda automática.
- iv) Modelo de clasificación: Es el algoritmo aplicado al conjunto de patrones de fallas definidos para la clasificación de la falla raíz.
- v) Evaluación del modelo: Es el conjunto de procesos para verificar que los modelos de clasificación se estén desempeñando de manera correcta.
- vi) Clasificación de falla raíz: Establece la precisión y exactitud del modelo para clasificar futuras fallas.

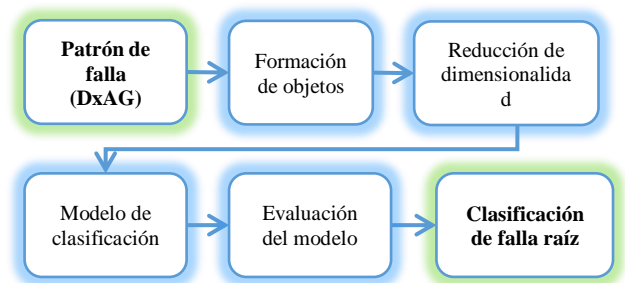
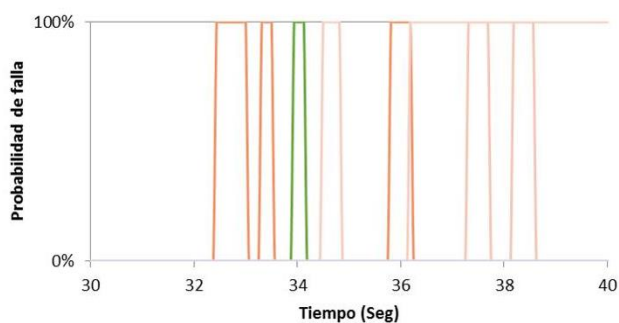


Figura 3 Procedimiento de reconocimiento de patrones

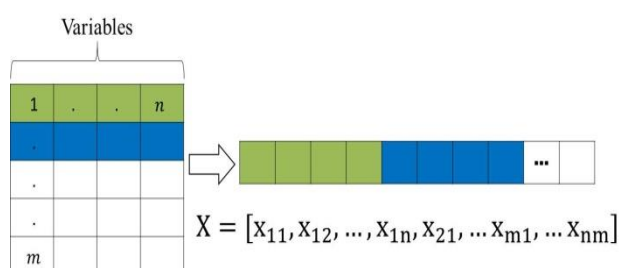
### Formación de objetos

Partiendo de un patrón de falla (ver Figura 4) generado por el sistema DxAG, se continúa con el proceso de generar características presentes en los datos adquiridos de los patrones de cada falla, los cuales pueden ser pasados directamente a la etapa de clasificación de fallas.



**Figura 4** Patrón de la falla F1  
Fuente: *Elaboración Propia*

El patrón de falla de la Figura 4, donde el eje de las “x” representa el tiempo en segundos del conjunto de variables y el eje de las “y” el porcentaje de probabilidad de falla, esto se toma como referencia, como una fotografía de la falla donde se involucra un conjunto variables en comportamiento anormal, tal como se describe en secciones anteriores. Tomando en cuenta que el objetivo del reconocimiento de patrones es asignar un patrón a la clase a la que pertenece, es necesario extraer características que permitan representarse y describirse como un vector de características cuantitativas globales. En la Figura 5 se describe una matriz de  $m$  registros por  $n$  variables involucrados en una falla a la cual se procede a generar un vector de  $m \times n$  características cuantitativas donde  $X$  es el patrón y  $x$  son las características descriptivas.



**Figura 5** Vector de características cuantitativas  
Fuente: *Elaboración Propia*

La extracción de características, partiendo del patrón de falla, tiene como objetivo obtener un único patrón de comportamiento de la falla a clasificar que contenga la mayor información representativa de ésta.

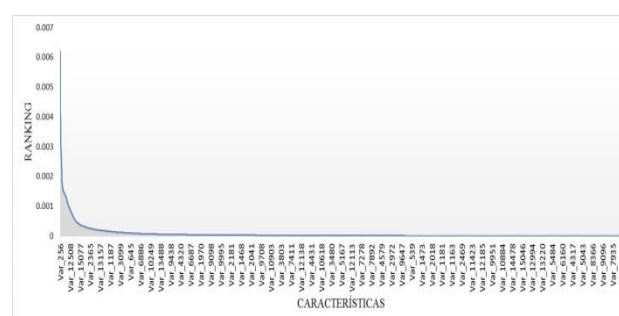
### Reducción de dimensionalidad

La selección de características o variables importantes, es un proceso donde se busca obtener el mejor subconjunto de características dentro de un conjunto de datos mediante una búsqueda automática.

Por lo tanto, es necesario extraer aquellas variables que sean útiles para distinguir los patrones de cada falla. Además de que contribuye a mejorar la precisión del modelo de clasificación, ayuda a disminuir el tiempo de entrenamiento y colabora a obtener menos datos redundantes.

La selección de características mediante el algoritmo de aprendizaje “Random Forest” (RF) se implementa mediante algoritmos que tienen sus propios métodos de selección de características incorporados, por lo tanto, cuando se entrena un árbol, es posible calcular cuánto disminuye la entropía de cada variable; cuanto mayor es la disminución de la entropía, más significativa es la variable. Hacer una selección de variables mediante las características importantes derivadas de árboles es una forma muy sencilla, rápida y generalmente, precisa.

Para reducir la dimensionalidad de los datos, se creó un modelo de selección de características importantes basado en el algoritmo RF, posterior a ello, mediante una visualización de los datos (ver Figura 6). Se seleccionaron todas aquellas variables con puntaje mayor a cero logrando una reducción del 37 % sobre el total de las variables seleccionadas.

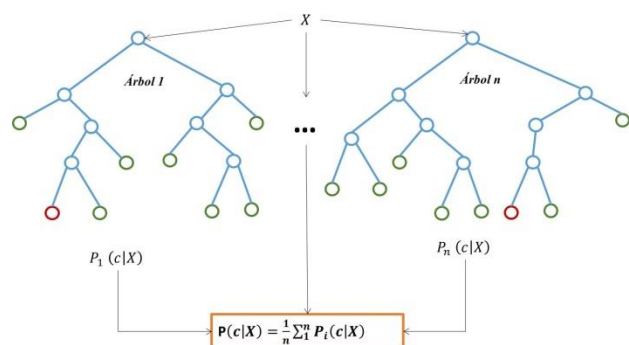


**Figura 6** Características importantes. En el eje de las “x” se describen las variables a evaluar y en el eje de las “y” se describe la importancia de la variable  
Fuente: *Elaboración Propia*

### Modelo de clasificación

Dentro de los algoritmos supervisados del aprendizaje automático se encuentran los de clasificación, que tiene como objetivo el poder saber a qué clase pertenece una observación dada. El algoritmo de RF es uno de los más populares y estudiados en cuanto a clasificación. En general, brindan un buen desempeño gracias al ensamble de muchos árboles de decisión.

El algoritmo consiste en un gran número de árboles de decisión aleatorios, cada árbol de decisión en el bosque aleatorio genera una predicción de clase y la clase con la mayor cantidad de votos se convierte en la predicción del modelo (vea Figura 7). En general, mientras más árboles existan en el bosque, más robusto podría ser el algoritmo.



**Figura 7** Algoritmo de clasificación: “Random Forest”  
Fuente: *Elaboración Propia*

La Figura 7 muestra una explicación general del funcionamiento del algoritmo como clasificador con un número  $n$  de árboles de decisión, donde  $X$  son las características seleccionadas y  $c$  es la predicción de la clase.

La capacidad de clasificar con una buena precisión las observaciones dadas, es de vital importancia para diversas aplicaciones en el sector energético, en particular para clasificar fallas tipo raíz de los AGs.

### Evaluación del modelo

Para determinar si un modelo de Aprendizaje Automático realizará un buen trabajo de clasificación con futuras fallas, es importante evaluarlo. Dado que las futuras fallas tienen valores desconocidos a los previamente entrenados, debe evaluarse el modelo mediante distintas métricas. Por ejemplo, precisión, exactitud y recuperación (recall) (Hossin & Sulaiman, 2015) con respecto a los datos de fallas conocidas. Esto con el objetivo de tener una medida del desempeño de nuestro modelo para clasificar futuras fallas.

Para poder evaluar un modelo correctamente, se debe tener una muestra de datos que sea etiquetada como datos de entrenamiento para el modelo de clasificación y otra muestra de datos para probar el modelo distinto a los datos etiquetados como entrenamiento.

Las siguientes métricas se usaron para evaluar y validar los modelos de clasificación.

Exactitud (acc): Mide la bondad de un modelo de clasificación como la proporción de los resultados verdaderos al total de casos.

$$\text{acc} = \frac{\text{tp} + \text{tn}}{\text{tp} + \text{tn} + \text{fp} + \text{fn}} \quad (1)$$

Precisión (p): Es la proporción de resultados verdaderos sobre todos los resultados positivos.

$$p = \frac{\text{tp}}{\text{tp} + \text{fp}} \quad (2)$$

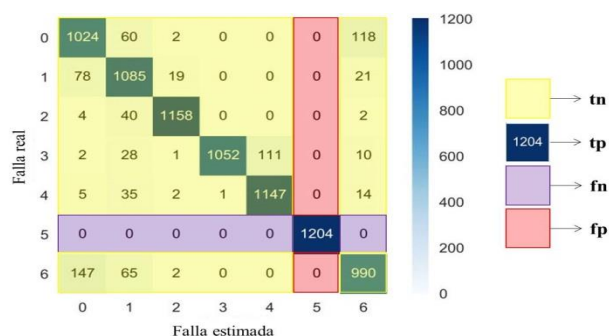
Recall (r): Es la fracción de todos los resultados correctos devueltos por el modelo.

$$r = \frac{\text{tp}}{\text{tp} + \text{fn}} \quad (3)$$

La validación cruzada: Se utilizó esta técnica para evaluar el rendimiento del modelo de clasificación mediante un procedimiento básico de 4 pasos:

- i) Se dividió el conjunto de datos en 2 partes etiquetando el primero como datos de entrenamiento y el segundo como prueba.
- ii) Se entrenó el modelo con el primer conjunto de datos
- iii) Se evaluó el modelo con el conjunto de pruebas
- iv) Para evitar sesgos en la prueba el modelo se entrenó y evaluó durante 10 veces, repitiendo los pasos 1-3.

Matriz de confusión: Describe el rendimiento del modelo de clasificación RF dado un conjunto de datos de prueba para los cuales se conocen los valores reales (ver Figura 8).



**Figura 8** Matriz de confusión  
Fuente: *Elaboración Propia*



La Figura 8 se describe el rendimiento de clasificación de múltiples fallas, en el eje de las “x” se representa las fallas estimadas por el algoritmo y en el eje de las “y” representa las fallas reales que se sometieron a evaluación.

Dónde:

- **tp** (verdaderos positivos): Es el número de casos que clasificó correctamente la clase positiva.
- **fn** (falsos negativos): Es el número de casos que clasificó incorrectamente la clase negativa.
- **fp** (Falsos positivos): Es el número de casos que clasificó incorrectamente la clase positiva.
- **tn** (verdaderos negativos): Es el número de casos que clasificó correctamente la clase negativa.

En la Tabla 2 se describe el resultado de la evaluación del algoritmo RF para clasificar múltiples fallas, donde se destaca el porcentaje de precisión y recall de cada una de las fallas evaluadas.

Reporte de la clasificación		
Clase	Precisión (%)	Recall (%)
Falla0	82	85
Falla1	83	91
Falla2	98	97
Falla3	99	87
Falla4	91	96
Falla5	99	100
Falla6	86	83

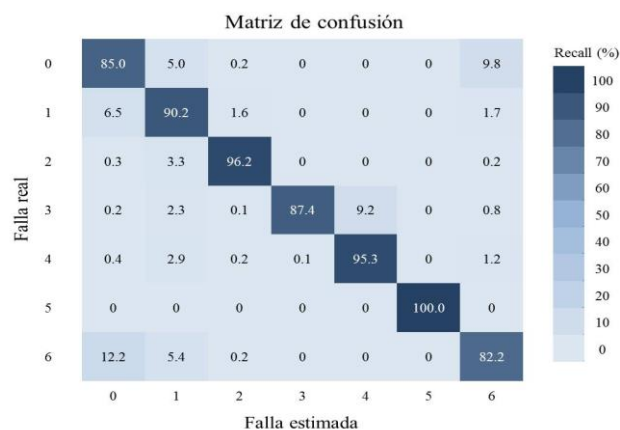
**Tabla 2** Tabla de resultados

Fuente: *Elaboración Propia*

### Clasificación de la falla raíz

Con base en los resultados expuestos se demuestra que el algoritmo “Random Forest” presenta un buen rendimiento para clasificar distintas fallas simuladas en la MEM, con el 91.14% de exactitud y un 91 % de precisión del modelo generado. Se comprueba que tendrá un buen rendimiento con las nuevas fallas que no hayan sido usadas para el entrenamiento del modelo de clasificación de fallas múltiples. En la Figura 9 se describe en términos de porcentaje el resultado de la clasificación de cada falla raíz evaluada. Por ejemplo, para F1 (falla real) el modelo clasifica la falla como F1 (falla estimada) con el 90.2%, con el 6.5% lo clasifica como F0, con el 1.6% lo clasifica como F2 y con el 1.7% lo clasifica como F6.

La variación de porcentaje con el cual se clasifica las fallas se debe en gran parte al comportamiento de operación similar que existe entre ellas. En estos experimentos podemos observar que la F5 fue clasificada con el 100% debido a que es una falla que no presenta un comportamiento de operación similar con el resto de las fallas por tratarse de un corto circuito en el generador.



**Figura 9** Clasificación de la falla raíz

Fuente: *Elaboración Propia*

### Agradecimiento

Este proyecto fue realizado con el apoyo del CEMIE-Eólico del Fondo CONACYT-SENER-Sustentabilidad y del proyecto 14629 del INEEL. Agradecimiento especial al Ing. Fortino Mejía Neri del INEEL, por su apoyo con el programa de simulación Focus6.

### Conclusiones

Se presenta en este artículo el desarrollo de un sistema de diagnóstico de aerogeneradores utilizando técnicas de IA. El diagnóstico consiste en dos etapas. Primero, se utiliza el DxAG, un sistema diseñado por este grupo de trabajo que utiliza modelos probabilistas de comportamiento para generar patrones de comportamiento anormal. Segundo, el módulo presentado en este artículo que toma los patrones generados e identifica la falla raíz que causó el mal comportamiento del AG. Esta identificación de falla se realiza utilizando técnicas de aprendizaje automático. Para entrenar y probar el sistema, se corrieron experimentos en el simulador de la Máquina Eólica Mexicana diseñada en el INEEL. Los resultados muestran que el algoritmo “Random Forest” mantiene una precisión y exactitud muy aceptables para esta aplicación. Como trabajo futuro se tiene las pruebas en línea en algún AG en un parque eólico.

## Referencias

- WMC. (26 de 01 de 2010). Recuperado el 01 de 03 de 2018, de WMC: <https://wmc.eu/focus6.php>
- AMDEE. (20 de Septiembre de 2017). Recuperado el 30 de Mayo de 2019, de La Asociación Mexicana de Energía Eólica A.C “AMDEE”: <http://www.amdee.org>
- Arteaga Celedonio, A. (2019). Estrategias de eficiencia energética en el diseño de un centro empresarial en Pacasmayo (Tesis parcial).
- Christopher M., B. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. New York: Springer.
- García Márquez, F., MarkTobias, A., Pinar Pérez, J., & Papaelias, M. (2012). Condition monitoring of wind turbines: Techniques and methods. *ELSEVIER*, 169-178.
- García, U. A., Ibarquengoytia, P. H., Reyes, A., & Borunda, M. (18 de 05 de 2016). Modelo de Comportamiento de una turbine eólica. Congreso Mexicano de Inteligencia Artificial, págs. 119–129.
- González González, G. L. (2019). Pronóstico de generación eléctrica de corto plazo en parques eólicos utilizando técnicas de predicción de clima de microescala.
- Gutiérrez, J., Flórez, L., & Serrano, D. (2017). Convertidor dc–ac de alta eficiencia basado en el modulador EG8010 para implementar en sistemas energéticos alternativos. *Revista Publicaciones e Investigació*, 141-14.
- Hossin, H., & Sulaiman, M. (Marzo de 2015). A review on evaluation metrics for data classification evaluations. *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process (IJDKP)*.
- Ian H., W., & Eibe, F. (2005). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. USA: Morgan Kaufmann.
- Ibarquengoytia, P., García, U., Reyes, A., & Borunda, M. (2016). Anomalies Detection in the Behavior of Processes Using the Sensor Validation Theory. *IBERAMIA 2016* (págs. 14-24). San Jose, Costa Rica: Springer.
- Ibarquengoytia, P., Vadera, S., & Sucar, L. (2006). A Probabilistic Model for Information and Sensor Validation. *The Computer Journal*, 113-126.
- Lopez, E., Garcia, U., Ibarquengoytia, P., & Serrano, L. (2016). Evaluation of Artificial Intelligence Techniques for Vibration Analysis of Turbogenerators. Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico, CIINDET 2016. Cuernavaca, Mor.: IEEE.
- Meik, S., Ferreira Santos, i., & Achiche, S. (2013). Wind turbine condition monitoring based on SCADA data using normal behavior models. Part 1: System description. *ELSEVIER*, 259-270.
- Navarro, V., & José Raúl. (2019). Estudio técnico y económico, de la utilización de energía eólica y solar, para generar energía eléctrica en el caserío La Lima distrito Santo Tomas – Cutervo –Cajamarca.
- Pearl, J. (1988). *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: networks of plausible inferenc*. Palo Alto, Calif: Morgan Kaufmann.
- Peter, F. (2012). *MACHINE LEARNING: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data*. New York: CAMBRIDGE.
- S. K., A., K. G., O., F. V., J., & F., J. (1989). Hugin – a shell for building Bayesian belief universes for expert systems. In *Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1080-1085.
- Sepúlveda, C., Javier, M., Urrutia, P., & paz, J. (2019). Prefactibilidad de instalación de iluminaria en parque quebrada verde, mediante uso de paneles fotovoltaicos y uso de aerogeneradores.
- Stuart, R., & Peter, N. (2010). *Artificial Intelligence*. New Jersey: PEARSON.
- Tom M., M. (1997). *Machine Learning*. Ithaca, NY: McGraw-Hill.
- Zhou, A., Yu, D., & Zhang, W. (2015). A research on intelligent fault diagnosis of wind turbines based on ontology and FMECA. *ELSEVIER*, 115-125.

## Hidrógeno como combustible complementario para motores de ciclo diésel

### Hydrogen as a complementary fuel for diesel cycle engines

BENITEZ-CRUZ, Gerardo Alan†, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio\*, JUÁREZ-ZERÓN, Tomás Aáron y FLORES-MARTINEZ, Guillermo

*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Gerardo Alan, Benitez-Cruz* / ORC ID: 0000-0002-0250-3918, Researcher ID Thomson: G-2657-2019, CVU CONACYT ID: 972789

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Marco Antonio, Cruz-Gómez* / ORC ID: 0000-0003-1091-8133, Researcher ID Thomson: S-3098-2018, CVU CONACYT ID: 349626

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Tomás Aáron, Juárez-Zerón* / ORC ID: 0000-0002-9796-0540, Researcher ID Thomson: S-3099-2018, CVU CONACYT ID: 295058

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Guillermo, Flores-Martinez* / ORC ID: 0000-0002-2243-2379, Researcher ID Thomson: G-3384-2019, CVU CONACYT ID: 169853

DOI: 10.35429/JRE.2019.11.3.15.22

Recibido 09 de Octubre, 2019; Aceptado 30 Noviembre, 2019

#### Resumen

El uso de hidrógeno como combustible complementario en sistemas de combustión interna pretende obtener máquinas automotoras con parámetros propios para el desarrollo sustentable, proporcionando la cantidad de hidrógeno necesaria para ser utilizada en motores de ciclo diésel. El objetivo de esta investigación es cuantificar la cantidad de hidrógeno producida por un prototipo de celda seca para abastecer de forma óptima el suministro energético de un motor diésel en condiciones de operación estándar. Esta investigación fue realizada bajo un enfoque mixto, empleando un procedimiento experimental, sistemático, descriptivo, explicativo, correlacional, empírico y en un contexto de campo, las variables consideradas para el desarrollo de la investigación son las cantidades de hidrógeno, diésel, oxígeno, tiempo y concentración de la mezcla para los experimentos. El prototipo presentó condiciones de operación controladas en función del caudal suministrado de hidrógeno para obtener las curvas de operación del motor a diésel (presión-volumen, temperatura-entropía), estableciendo la concentración necesaria de la mezcla para obtener un rendimiento óptimo para el ciclo de combustión interna. La evolución de los sistemas de combustión con hidrógeno tenderá a optimizar el rendimiento al caracterizar el suministro de manera controlada en función del torque en motores a diésel en condiciones reales de operación.

**Ciclo diésel, Hidrógeno, Electrólisis**

#### Abstract

The use of hydrogen as a complementary fuel to internal combustion systems search to obtain automotive machines with individual parameters for sustainable development, providing the hydrogen amount required to be used in diesel cycle engines. The aims of this investigation are to use a dry hydrogen cell prototype to quantify the amount released that is optimal for energetic supply to the diesel cycle in standard operating conditions. This research was conducted under a mixed approach, using an experimental, systematic, descriptive, explanatory, correlational, empirical and in a field context, the variables considered for the development of the research are the amounts of hydrogen, diesel, oxygen, time and concentration of the mixture for the experiments. The prototype presented controlled operating conditions depending on the delivered hydrogen flow to obtain the operating curves of the diesel engine (pressure-volume, temperature-entropy), setting the necessary concentration of the mixture for optimum performance for the internal combustion cycle. The combustion systems evolution with hydrogen will tend to optimize performance when characterizing the supply in a controlled manner, depending on the torque in diesel engines under real operating conditions.

**Diesel cycle, Hydrogen, Electrolysis**

**Citación:** BENITEZ-CRUZ, Gerardo Alan, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio, JUÁREZ-ZERÓN, Tomás Aáron y FLORES-MARTINEZ, Guillermo. Hidrógeno como combustible complementario para motores de ciclo diésel. Revista de Energías Renovables 2019. 3-11: 15-22

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: mangacruz@live.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

En la actualidad, es posible visualizar los cambios en el ambiente que son resultado del uso de combustibles fósiles y/o de actividades humanas que han llevado a una situación crítica en el medio.

Los gobiernos están cada vez más conscientes del problema que representa seguir dependiendo de combustibles contaminantes, debido a esto se requiere investigar sobre fuentes de energía limpias o en su defecto, que disminuyan las emisiones de los equipos existentes para decrementar el impacto que tienen sobre la naturaleza.

En el caso de continuar con el ritmo actual en que se emiten gases y partículas contaminantes al ambiente, la calidad de vida a mediano y largo plazo se verá sumamente afectada y resultará mucho más complicado tratar de combatir el problema.

Por ello la búsqueda de formas menos contaminantes de obtener energía es imprescindible para continuar con el desarrollo de la sociedad en general y así evitar problemáticas mayores. Se han implementado diversas tecnologías para lograr este objetivo, tales como las celdas fotovoltaicas, vehículos eléctricos o híbridos y motores impulsados con hidrógeno.

El hidrógeno es una de las mejores alternativas para ser el combustible que haga posible la disminución del empleo de combustibles fósiles, entre sus características tenemos:

- Es el elemento más abundante de la naturaleza, pero no existe en estado puro.
- Tiene un alto potencial energético.
- Como combustible, es un gas incoloro, inodoro, insípido y no tóxico.
- Es el más ligero de los gases, su densidad es de  $0.0899 \text{ kg/m}^3$  a temperatura y presión normales.
- Su poder calorífico es de 23 Kcal/mol, mayor al del gas natural (12Kcal/mol) y la gasolina (11Kcal/mol).
- No hay emisiones de  $\text{CO}_2$  en su combustión, por lo tanto, reduce considerablemente los efectos contaminantes de las máquinas.

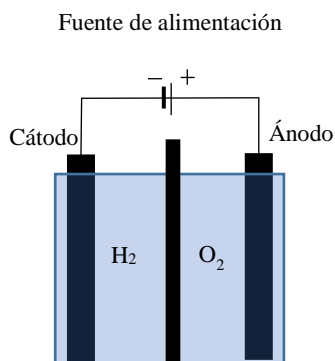
Cabe resaltar que el hidrógeno debe obtenerse de otras materias primas (agua, biomasa, combustibles fósiles) y a través de una serie de transformaciones en las que se consume alguna fuente de energía primaria nuclear (electrólisis, termólisis), renovable (gasificación, electrólisis) o fósil (oxidación de gas natural, reformación de gas natural, gasificación).

Esto representa un proceso de obtención que contamina, pero que, a comparación de los demás combustibles existentes, el impacto es mínimo al obtenerlo y al consumirlo.

La investigación para optimizar el uso de hidrógeno como combustible complementario para la operación de distintos tipos de maquinaria que requieren de combustibles fósiles es de vital importancia para ayudar a combatir los efectos negativos del uso de los equipos, así como mejorar la relación costo-beneficio y propiciar la tendencia hacia el uso de energías renovables y/o menos contaminantes. Contar con el uso de hidrógeno como combustible, puede reducir considerablemente la demanda de combustibles fósiles, es por ello que en este artículo se implementó un sistema de cuantificación de producción hidrógeno de bajo costo, en prototipos de celda seca para obtención de hidrógeno por medio de electrólisis, utilizando un sensor MQ-8, Arduino UNO y el software Arduino para programar dicha placa y realizar las mediciones de la producción de hidrógeno, que se obtuvo de una mezcla entre agua destilada e hidróxido de potasio (KOH). Al tener conocimiento de la cantidad de hidrógeno producida por las celdas, podemos establecer el suministro que llega al motor diésel que se desea mantener en operación.

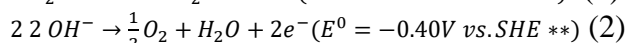
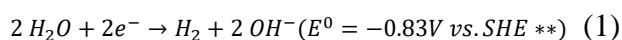
Para poder producir hidrógeno se utilizan prototipos de celda seca, cuya construcción y funcionamiento consta de un cátodo y un ánodo sumergidos en un electrolito conductor y que se les suministra corriente continua proveniente de una batería de 12V a 450 cca. Los iones de hidrógeno fluyen hacia el cátodo y los iones de hidróxido a el ánodo, y se utilizan receptores de gas para recoger la producción de hidrógeno y oxígeno formados por la electrólisis. Para la generación de hidrógeno con agua alcalina se usa hidróxido de potasio como electrolito, esto evita la corrosión en los componentes de la celda y porque tiene una conductividad más alta que el hidróxido de sodio (NaOH) que también puede utilizarse para realizar la electrólisis.





**Figura 1** Esquema de unidad de electrólisis del agua  
 Fuente: *Elaboración Propia*

Cuando se ejecuta la prueba con un electrolito alcalino, las reacciones resultantes en el cátodo y en el ánodo están descritas por las ecuaciones 1 y 2:



Al sumar las ecuaciones 4 y 5 se conduce a la reacción general descrita en la ecuación 3.



\*\*Standard hydrogen Electrode (SHE) es la referencia a partir de la cual se determinan todos los potenciales redox estándar.

El comportamiento de las sustancias dentro de los electrodos está indicado por las leyes de Faraday.

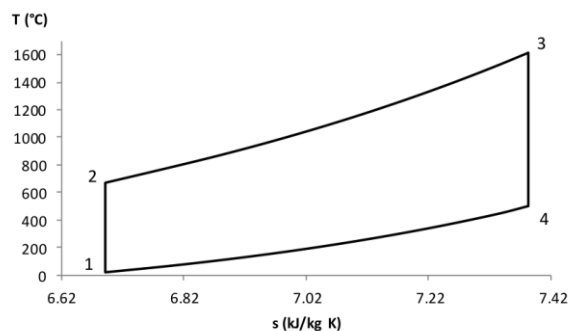
En esta investigación, uno de los objetivos es operar un motor diésel MERLIN2 con propósito experimental. El ciclo diésel se lleva a cabo con los siguientes procesos:

1-2. Compresión isentrópica: el aire contenido en el cilindro-émbolo se comprime, disminuyendo el volumen y generando un aumento en la presión y la temperatura.

2-3. Suministro de calor a presión constante por la combustión de la mezcla aire-combustible.

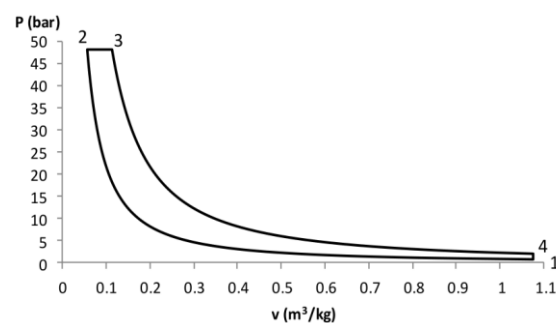
3-4. Expansión isoentrópica: el volumen aumenta, disminuyendo la presión y la temperatura, generando trabajo mecánico.

4-1. Rechazo de calor a un volumen constante con disminución de temperatura y presión.



**Figura 2** Diagrama temperatura (T)- entropía (s) de ciclo diésel

Fuente: <http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI19131.pdf>



**Figura 3** Diagrama presión (P) - volumen (v) de ciclo diésel.

Fuente: <http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI19131.pdf>

El hidrógeno generado se suministra al motor para mantenerlo en operación, teniendo así la posibilidad de funcionar con diésel e hidrógeno, reduciendo el consumo de diésel y por ende economizando costos de operación y emitiendo menor cantidad de contaminantes al ambiente.

### Objetivos

- Desarrollar un sistema de bajo costo capaz de cuantificar la producción de hidrógeno por celdas secas.
- Suministrar hidrógeno y gasóleo a un motor de ciclo diésel para mantenerlo en operación.
- Establecer referencias para futuras investigaciones relacionadas a la producción y uso de hidrógeno como combustible complementario.
- Contribuir al desarrollo de tecnología que se incline hacia el desarrollo sustentable y a la conservación del ambiente.

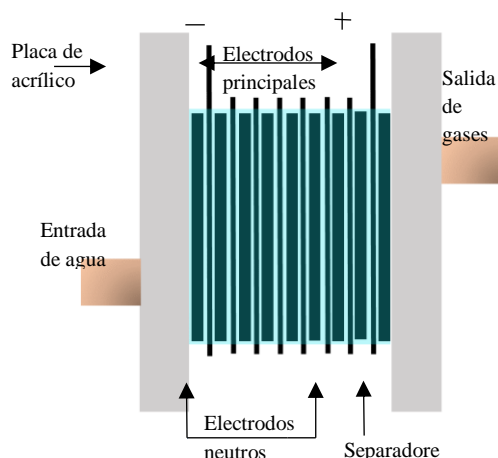
## Metodología

Para el desarrollo del proyecto se siguió un enfoque mixto, empleando un procedimiento experimental, sistemático, descriptivo, explicativo, correlacional para manejar las variables, empírico y en un contexto de campo.

La hipótesis formulada para el propósito de la investigación fue de tipo correlacional y causal, adecuada para la relación entre las variables involucradas en el proyecto, y así poder establecer un nivel predictivo y explicativo sobre los efectos al manejar las variables establecidas. La ejecución se llevó a cabo por un diseño explicativo secuencial y los instrumentos utilizados para monitorear y controlar las variables fueron el sistema desarrollado para la cuantificación de la producción de hidrógeno y una báscula de precisión para los experimentos realizados, y así analizar el rendimiento de las conexiones entre las celdas secas y la operación del motor.

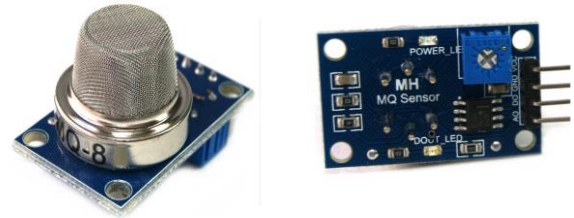
Los alcances de esta investigación correspondientes a la parte cuantitativa del enfoque mixto, al combinar la parte experimental, descriptiva, correlacional y explicativa permiten lograr una visualización directa del manejo de las variables y la comprensión del comportamiento de los experimentos, los cuales pueden ser reanalizados posteriormente modificando las variables controladas en la ejecución de la investigación.

Se utilizaron prototipos de celda seca para la producción de hidrógeno, conectadas a una batería de 12V, 450 cca, el fluido suministrado a las mismas fue una mezcla de agua destilada e hidróxido de potasio (25gr. De KOH por cada 400 ml de agua).



**Figura 4** Esquema de celda seca para producción de hidrógeno

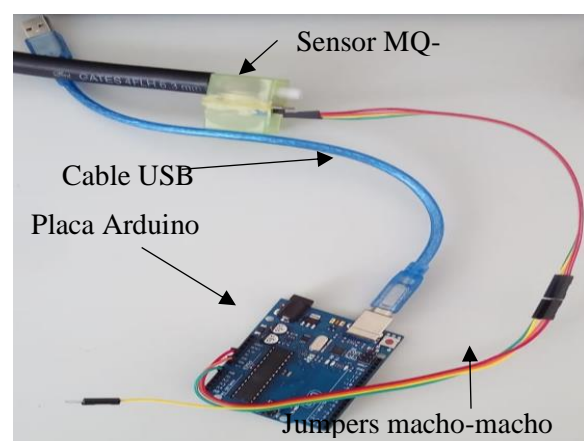
Se realizaron experimentos probando distintas conexiones entre las celdas, la producción de hidrógeno varía de acuerdo con el acomodo de estas, ya sea en serie o en paralelo, y se realizaron las mediciones con la ayuda del sensor MQ-8, que registra exclusivamente el hidrógeno que pasa a través de él.



**Figura 5** Sensor MQ-8 para detección de hidrógeno

Fuente: <https://hetpro-store.com/sensor-de-gas-mq-8-mq8-h2-hidrogeno/>

Para la cuantificación de la producción de hidrógeno es necesario conectar el sensor MQ-8 a una placa Arduino, en este caso se realizó la conexión a una placa Arduino UNO, y a su vez, la placa se conecta a un ordenador para visualizar las lecturas del sensor. La conexión del sensor a la placa se lleva a cabo mediante jumpers macho-macho, y la placa se conecta al ordenador mediante un cable USB. Para visualizar los datos y correr el programa escrito para el muestreo de datos del sensor, dentro del software Arduino se utiliza la herramienta “Monitor serie”.



**Figura 6** Conexión de sensor MQ-8 a Arduino UNO

## Prueba y cuantificación de producción de hidrógeno con celdas en conexión serie

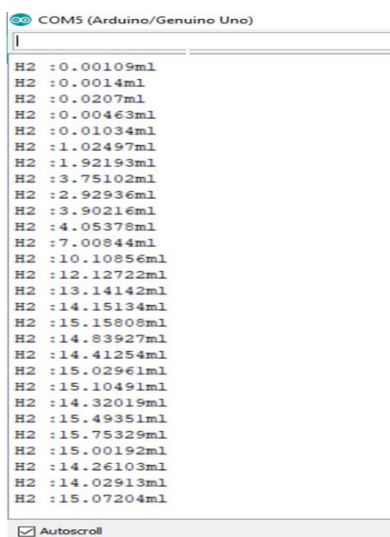
Los experimentos con las celdas consistieron en probar conexiones entre las mismas para obtener una mayor cantidad de producción de hidrógeno, la primera conexión realizada fue “en serie”, obteniendo una cantidad aproximada de 15 ml, cuando el sistema de producción se satura (se desaloja el aire atmosférico contenido en el sistema de producción de hidrógeno).



**Figura 7** Celdas secas conectadas en serie. (1: batería 12V 450cca, 2 y 3: Celdas secas, 4: recipiente de balance de 1.6 lt, 5: supresor de flamas, 6: manguera de salida de hidrógeno, 7: voltímetro y amperímetro.)

Fuente: Elaboración Propia

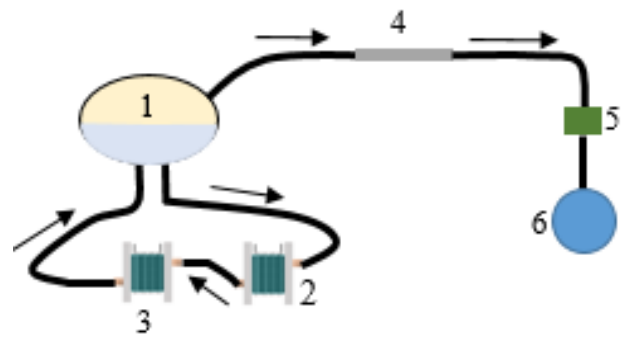
La unión de las celdas nos proporciona un caudal mayor de producción que si se trabaja cada una por separado, en esta primera prueba se conectó el sensor a la salida de hidrógeno del sistema para registrar la cantidad de hidrógeno producida por las celdas. Se energiza el sistema con la batería de 12 V, y por la variación de la carga de esta, las lecturas registradas en el amperímetro y voltímetro fueron de 9A y 6V. La producción oscila entre los 14-15ml cuando la mezcla entre agua destilada y KOH (400ml de agua por cada 25g de KOH) se satura y la producción comienza a ser mayor en este punto, y es el tope de producción posible con las celdas secas que se cuentan empleando la conexión en serie, el tiempo para el experimento fue de 7 minutos. Los resultados de las mediciones se muestran en la figura 8.



**Figura 8** Producción de hidrógeno con celdas secas en serie.

Fuente: Elaboración Propia

El esquema de conexión de las celdas se muestra en la figura 9.

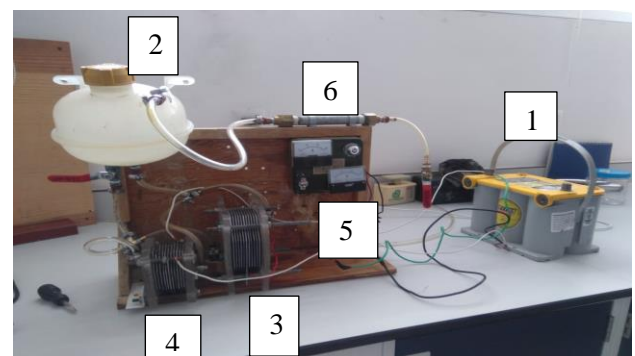


**Figura 9** Esquema de conexión de celdas secas en serie (1: recipiente de balance, 2 y 3: celdas secas, 4: supresor de flamas, 5: sensor MQ-8, 6: salida de producción de hidrógeno.)

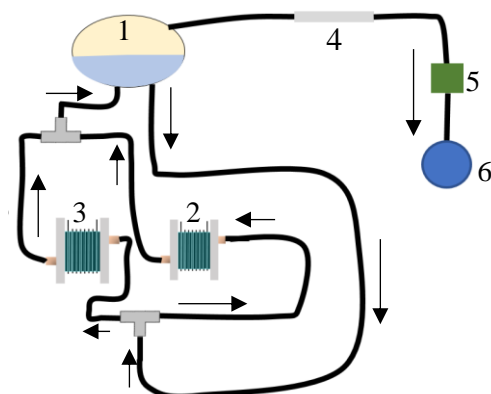
Fuente: Elaboración Propia.

**Prueba y cuantificación de producción de hidrógeno con celdas en conexión en paralelo**

Para la segunda prueba se realizó una conexión en paralelo de las celdas; la producción de hidrógeno por electrolisis del agua fue mayor utilizando esta conexión, se emplean conexiones tipo “T” para unir las mangueras de las celdas y abrazaderas para evitar fugas de fluidos. La conexión en paralelo y su esquema se muestran en las figuras 10 y 11 respectivamente.



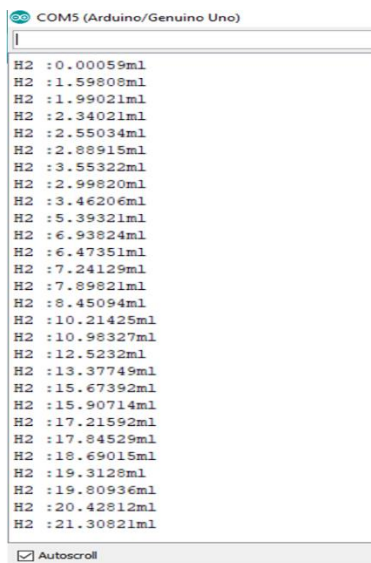
**Figura 10** Conexión de celdas secas en paralelo (1: batería 12V 450 cca, 2: recipiente de balance, 3 y 4: celdas secas, 5: voltímetro y amperímetro, 6: supresor de flamas).



**Figura 11** Esquema de conexión de celdas secas en paralelo (1: recipiente de balance, 2 y 3: celdas secas, 4: supresor de flamas, 5: sensor MQ-8, 6: salida de producción de hidrógeno.)



Una vez conectados, se procedió a realizar las mediciones de la generación de hidrógeno, energizando el sistema con la batería, en el amperímetro y voltímetro marcaron lecturas de 6<sup>a</sup> y 9V respectivamente; en este caso, se registró una producción mayor respecto a la prueba anterior. La producción cuando la mezcla se encuentra saturada oscila entre los 20-21 ml, el tiempo de la prueba fue de 5 minutos. Los resultados de las mediciones se muestran en la figura 12.



**Figura 12** Mediciones de la producción de hidrógeno con la conexión de celdas en paralelo  
*Fuente: Elaboración Propia*

### Pruebas en motor de combustión interna con caudal de hidrógeno producido

Después de cuantificar el hidrógeno obtenido por electrólisis en las celdas secas, se procedió a realizar pruebas con el motor de combustión interna utilizando la conexión en paralelo para tener un suministro mayor del gas hacia el motor.

El experimento consistió en conectar la manguera de salida del hidrógeno a la cuba del motor de ciclo diésel MERLIN2, para tener una fuente de alimentación dual hacia el motor. De esta manera se puede ayudar a reducir el consumo de diésel, decrementado las emisiones contaminantes y el costo de operación del motor. El MERLIN2 es un motor monocilíndrico a 4 tiempos con enfriamiento por aire, opera a una velocidad máxima de 2400 RPM con una potencia generada de alrededor de 1.5 kW, su relación de compresión es de 14.6:1, el volumen de barrido del cilindro es de 0.28 lt. que corresponde a un diámetro de 73 mm y una carrera de 67 mm.

El motor no arrancó si se alimentaba únicamente con hidrógeno, se tuvo que encender primero consumiendo diésel y pasados unos segundos desde el encendido, se conectaba el suministro de gas hidrógeno para que se mantuviera en operación, fue necesario intercalar la fuente de combustible para que el motor continuara en marcha. Las pruebas realizadas con el motor tuvieron una duración aproximada de 3 minutos.



**Figura 13** Motor diésel MERLIN2  
*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura 14** Motor MERLIN2 alimentado con la producción de hidrógeno de celdas secas en conexión paralela  
*Fuente: Elaboración Propia*

### Resultados

El sensor MQ-8 y la placa Arduino UNO constituyen un sistema de cuantificación confiable, precisa y de bajo costo para la medición de la producción de hidrógeno que se obtiene de las celdas secas, lo cual permite llevar un registro detallado de los experimentos, obtener datos que permitan mejorar los prototipos y establecer el rango de la eficiencia de la producción de las celdas por medio de métodos estadísticos.

La conexión con mayor eficiencia para la generación del hidrógeno es la unión en paralelo de las celdas, permite el suministro de un caudal mayor en un tiempo de producción menor para poder alimentar a un motor de combustión interna.

BENITEZ-CRUZ, Gerardo Alan, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio, JUÁREZ-ZERÓN, Tomás Aáron y FLORES-MARTINEZ, Guillermo. Hidrógeno como combustible complementario para motores de ciclo diésel. Revista de Energías Renovables 2019.

Los efectos negativos del uso de motores de combustión interna, tanto económicos como ambientales, pueden disminuirse con la adecuada implementación de una operación dual en el consumo de combustible entre hidrógeno y combustible fósil, siempre y cuando se suministre la cantidad necesaria de acuerdo a los requerimientos de la operación del motor para evitar paros y/o fallas en el funcionamiento, así como pérdida de la eficiencia del ciclo diésel y de esta manera sea rentable aplicar combustibles poco contaminantes.

### Conclusiones

El método de cuantificación de producción de gas hidrógeno resultante es un sistema preciso y confiable para el registro de los datos, mostrando las lecturas del monitor serie en Arduino (Figuras 8 y 12).

La conexión en paralelo de las celdas secas ofrece una generación de hidrógeno mayor en menor tiempo, sin embargo, se requiere de una fuente de voltaje constante para mantener el proceso de electrólisis en estado óptimo, ya que las baterías se descargan regularmente.

La generación de hidrógeno en las celdas secas puede ayudar a reducir el consumo de combustibles fósiles y disminuir costos de operación y emisiones contaminantes, siendo una de las mejores opciones en la implementación de combustibles renovables.

No obstante, las celdas con las que se contó para el desarrollo de las pruebas requieren de mayor producción de gas hidrógeno para suministrar un caudal adecuado de acuerdo a la demanda del motor, es por ello que debe establecerse un consumo adecuado de combustible dual, entre el diésel y el hidrógeno para operar el motor sin que éste detenga su funcionamiento, puede incrementarse el número de celdas conectadas en paralelo para incrementar la producción de hidrógeno, pero esto requiere mayor espacio para el sistema y también de una fuente de alimentación de mayor tamaño para las celdas secas.

Para que los motores de combustión interna puedan funcionar únicamente con hidrógeno falta mucho por investigar, ya que su producción es costosa y su almacenamiento es difícil de controlar debido a las propiedades del gas.

En los experimentos, el encendido del motor MERLIN2 utilizando únicamente hidrógeno no fue posible, se logró alimentando primero el motor con diésel y una vez encendido se conectó la manguera que proporcionaba el caudal de hidrógeno producido por las celdas para continuar con la operación del motor, fue necesario intercalar el consumo de combustible para mantener en funcionamiento el motor de combustión interna.

### Agradecimientos

- A la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por facilitar el acceso a la infraestructura y para el desarrollo del proyecto.
- Al grupo de Tribología y Transporte perteneciente al Cuerpo Académico 189 Prevención de Desastres y Desarrollo Sustentable, Tribología BUAP por su colaboración en el desarrollo de la investigación.
- A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por el apoyo al desarrollo del proyecto, así como el acceso a la infraestructura necesaria para completarlo.
- A Antonio Torres José Roberto y Rueda Aguillón Cynthia Janette, por su contribución y apoyo en la ejecución de los experimentos realizados.

### Referencias

Aydin, K., Kenanoglu, R. (2018, abril 26). Effects of hydrogenation of fossil fuels with hydrogen and hydroxy gas on performance and emissions of internal combustion engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43, 14047-14058, 2019, junio 11. De ScienceDirect Base de datos.

Castillo, V. (2016) Producción, caracterización y desempeño del biodiesel en un motor diésel con mezclas B5, B10 Y B20 (tesis de maestría) Universidad Autónoma Metropolitana, D.F., México.

Fernández S.. (2009). ¿Por qué hidrógeno?. 2019, abril 22, de DocPlayer Sitio web: <http://docplayer.es/docview/54/33905019/#page=9>

Juárez A. et al. (2018, septiembre). Caracterización de celda para producción de hidrógeno con fin de generar combustible alternativo para motores de combustión interna. *Revista de energías renovables*, Vol. 2 no. 6, 26-32. 2019, abril 30.

Pavlos D., Madan K., Taku T., & Yasumasa S.. (2018, junio 21). Combustion and emission characteristics of a hydrogen-diesel dual-fuel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43, 13605-13617. 2019, abril 30, De ScienceDirect Base de datos.

Rolle, K.. (2006). *Termodinámica*. México: Pearson Educación.

Serrano, J., Jiménez-Espadafor, F.J., & López, A.. (2019, febrero 4). Analysis of the effect of different hydrogen/diesel ratios on the performance and emissions of a modified compression ignition engine under dual-fuel mode with water injection. *Hydrogen-diesel dual-fuel mode.. Energy*, 172, 702-711. 2019, abril 20, De ScienceDirect Base de datos.

Verma S. et al, (2019, mayo 25). A renewable pathway towards increased utilization of hydrogen in diesel engines, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019, junio 20. De ScienceDirect Base de datos.

Yilmaz, .I.T, Gumus, M., (2017, octubre 5). Effects of hydrogen addition to the intake air on performance and emissions of common rail diesel engine. *Energy*, 142, 1104-1113. 2019, mayo 4. De ScienceDirect Base de datos.

## Propuesta de producción de biodiésel mediante aceite vegetal usado

### Proposal to produce biodiesel using waste vegetable oil

OSORIO-CANUL, Marvin†\*, GARCÍA-MAGALLANES, Gabriel, HERRERA-LUGO, Angélica y NOVELO-MOO, Thelma

*Universidad Tecnológica Metropolitana-Mérida*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Marvin, Osorio Canul* / **ORC ID:** 0000-0002-6129-2559, **Researcher ID Thomson:** Marvin Efraim Osorio-Canul, **arXiv Author ID:** Marvin-Osorio-Canul

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Gabriel, García Magallanes* / **ORC ID:** 0000-0002-2091-6433, **Researcher ID Thomson:** Gabriel Iván García-Magallanes, **arXiv Author ID:** Gabriel-Magallanes

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Angélica, Herrera Lugo* / **ORC ID:** 0000-0001-8066-8956, **CVU CONACYT ID:** 272950

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Thelma, Novelo Moo* / **ORC ID:** 0000-0002-6383-9933, **CVU CONACYT ID:** 458937

**DOI:** 10.35429/JRE.2019.11.3.23.28

Recibido 18 de Octubre, 2019; Aceptado 12 Diciembre, 2019

#### Resumen

Actualmente, el uso de las energías renovables va en constante aumento, para ello, las universidades deben brindar a sus estudiantes una constante actualización con las técnicas innovadoras que permitan una comprensión de los conceptos de la producción de biocombustibles, en este caso iniciaremos con la producción de biodiésel. En el presente trabajo se muestra la producción de biodiésel mediante la técnica de transesterificación. Esto con ayuda de equipos y materiales con los que cuenta la universidad, como un reactor químico. Este y otros equipos se estarán reactivando y reparando para el buen funcionamiento futuro. Con el fin de establecer las condiciones de producción acordes con el reactor químico, las instalaciones y equipos de la universidad, se han realizado pruebas con aceite vegetal nuevo para posteriormente escalar las condiciones al empleo de aceite vegetal usado. La importancia de producir biodiésel radica en la aportación de la reducción de las emisiones generadas por la combustión y darle un aprovechamiento al desperdicio del aceite vegetal.

**Aceite vegetal usado, Biodiésel, Transesterificación**

#### Abstract

Today, the use of renewable energies is constantly increasing, for that reason, Universities must constantly provide update to their students with innovative techniques that allow a compression of the concepts of biofuel production, in our case, will start with the production of biodiesel. The current document shows the production of biodiesel using the transesterification technique. All this with the help of equipment and materials available to the University, as a chemical reactor. This equipments will be reactivating and repairing for the good future functioning. In order to establish production condition chords to the chemical reactor, facilities and equipment of the university, has been tested with new vegetable oil to later scale the conditions to the use waste vegetable oil. The importance of producing biodiesel are in contribution of emission reduction from combustion and making use of the waste of vegetable oil.

**Waste vegetable oil, Biodiesel, Transesterification**

**Citación:** OSORIO-CANUL, Marvin, GARCÍA-MAGALLANES, Gabriel, HERRERA-LUGO, Angélica y NOVELO-MOO, Thelma. Propuesta de producción de biodiésel mediante aceite vegetal usado. *Revista de Energías Renovables*. 2019. 3-11: 23-28

\* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: marvin.canul.10@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Viviendo en un tiempo en el que el calentamiento global se ha convertido en una prioridad principal, el uso de energías limpias en el mundo es un tema fundamental. El biodiésel es un biocombustible obtenido a partir de aceites vegetales, sus propiedades son similares al combustible diésel del petróleo, por ello, estos se pueden mezclar (SENER, 2018).

El aprovechamiento de desechos para producir combustibles puede resolver varios problemas a la vez, ya que permite reducir la contaminación que genera el vertido de estos residuos en los caños y desagües pluviales. Además, la generación de combustibles que pueden utilizarse en motores diésel, reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Desde el punto de vista económico, se genera una alternativa relacionada a la recolección del aceite vegetal usado y a su procesamiento posterior. Los datos obtenidos en varios países indican que el biodiésel obtenido de aceites reciclado de cocina probablemente no reemplace al combustible diésel completamente; sin embargo, una sustancial cantidad de diésel puede ser mezclado con biodiésel preparado de aceites reciclado de cocina, ayudando en parte a disminuir la dependencia de combustibles basado en petróleo (Barriga Moreno, 2011).

La mayor parte (75-85%) del costo de producción del biodiésel corresponde a la materia prima (grasa o aceite), por lo que las tecnologías encaminadas a uso y producción de aceites alternativos tendrían gran impacto, ya que los estudios ambientales indican que el uso de aceites y grasas residuales produce el biodiésel con las menores emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, sigue siendo un reto tecnológico el trabajar con materias primas de residuos, por lo que varias de nuestras acciones estratégicas van encaminadas a solucionarlo (Macera, 2011).

## Historia del biodiésel

La técnica de transesterificación en aceites vegetales fue desarrollada en 1853 por los británicos E. Duffy y J. Patrick con el principal objetivo de obtener glicerina y utilizarla como materia prima en la producción de jabón, varios años antes de que se hubiera inventado el motor de biodiésel.

Esta técnica, primordialmente empleaba aceites de cacahuete, marihuana y maíz; actualmente se utilizan una gran cantidad de materias primas como son los aceites vegetales y también ha sido aplicada con éxito en grasas animales y aceite comestible residual (Balat & Balat, 2008).

Hasta principios del siglo XX los motores automotrices utilizaban dos tipos de combustibles, los derivados del petróleo y los biocombustibles, pero en 1920 se impulsó a nivel internacional la penalización de la marihuana (principal materia prima de los biocombustibles por su bajo costo), lo que favoreció la explotación y comercialización de los derivados del petróleo y la tecnología que los ocupa, entre ellas el motor de diésel.

Lo que actualmente conocemos como biodiésel fue utilizado por primera vez en motores automotrices en Europa durante la segunda guerra mundial ante la escasez de derivados del petróleo durante ese periodo especial.

Pero no fue sino hasta finales de la década de los 70's y principios de los 80's que la preocupación por los altos precios del petróleo promovió una extensa experimentación de la técnica de obtención de biodiésel de una gran variedad de aceites vegetales y grasas animales en la búsqueda de fuentes alternativas de energía.

La comercialización mundial del biodiésel alcanzó 7,952 millones de galones (26.8 millones de toneladas) en 2015, siendo USA el líder en producción, seguido de Brasil, Indonesia, Alemania, Francia y Argentina, este último es el mayor exportador actualmente.

## Materia prima para el biodiésel

La producción de biodiésel utilizando aceites vírgenes, tiene como principal inconveniente el alto costo de manufactura que se debe al elevado costo de los aceites de origen vegetal (soya, canola, etc.); a este se suma la crítica debido a la utilización de tierras de cultivo y materia prima, que en vez de ser destinadas para el consumo alimenticio se utilizan en la producción de biodiésel (Barriga Moreno, 2011).



Una solución particular es la producción con aceites vegetal usados por ser menos costosos, y ya que estos suelen ser vertidos en los caños y desagüe pluviales, lo cual producen altos niveles de contaminación; situación que es frecuente en locales de comida que utilizan grandes cantidades de aceite en sus cocinas. Su uso permitirá aprovechar ese desecho y dar un uso a un producto contaminante, logrando así aminorar la contaminación ambiental (Ballesteros, 2008).

La importancia de producir biodiésel radica en la reducción de las emisiones generadas por la combustión. Con este procedimiento, se tienen reducciones netas de CO<sub>2</sub> de 100%, además de reducciones de SO<sub>x</sub> cercanas al 100% debido a la ausencia de Azufre en el biodiésel, de hollín entre 46-60%; de CO entre 10-50%; HC entre 10-50%; y de aldehídos y compuestos poli-aromáticos en torno a 13%.

### Producción de biodiésel en México

En México la cadena de valor que opera es la producción de aceites usados y grasas. La producción comercial de biodiésel con aceites crudos no se ha podido sostener, debido a la falta de insumos a costos competitivos. Un de SENER (2016) en México, se han identificado 3 plantas de producción de biodiésel que llegaron a operar comercialmente y han cesado operaciones:

1. En Cadereyta, Nuevo León, utilizaba grasas animales (res y pollo) y aceites vegetales de desecho. Su capacidad instalada era de 18,000 m<sup>3</sup>/año. Dejó de operar en 2011.
2. En Lázaro Cárdenas, Michoacán, se instaló una planta anexa a una fábrica de aceite vegetal, con capacidad de 9,000 m<sup>3</sup>/año. Fue inaugurada en 2007 y debía utilizar *Jatropha curcas* e higuera; por falta de producción de esos cultivos, cerró en 2008.
3. En Chiapas en 2010, se instaló una planta de 10,000 m<sup>3</sup>/año. Utilizaría *Jatropha curcas*, pero no hubo producción de semillas. Cerró operaciones en 2011.

La figura 1 muestra fotografías de las primeras dos plantas mencionadas.



**Figura 1** Plantas de producción de biodiésel en México. Cadereyta, Nuevo León (izquierda). Lázaro Cárdenas, Michoacán (derecha)  
 Fuente: SENER (2016)

México cuenta con 77 plantas generadoras, que representan el 1.3% de la capacidad total instalada (1,007 MW) del país y emplearon algún tipo de biocombustible para producir 1,884 GWh durante el 2017. Los estados de Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí concentran el 53.9% de la capacidad total de esta tecnología debido al aprovechamiento de los residuos orgánicos en los ingenios azucareros y del procesamiento de los residuos sólidos urbanos (SENER, 2018).

### Biodiésel

La ASTM (American Society for Testing and Materials) define al biodiésel como ésteres monoalquílicos de cadena larga de ácidos grasos (FAME). Se encuentra en estado líquido y se obtiene a partir de recurso renovables como aceites vegetales de soja, colza/canola, girasol, palma y otros, como grasas animales y aceites usados, a través de un proceso denominado transesterificación (Garrido, 2010).

Se considera un combustible alternativo para motores de combustión interna. Generalmente el biodiésel está compuesto por ésteres metílicos de cadena larga (C<sub>14</sub>-C<sub>22</sub>) de ácidos grasos como el ácido láurico, palmítico, esteárico y oleico, además de alcoholes de cadena corta, provenientes del metanol o el etanol.

El biodiésel es el mejor candidato para el gasóleo en los motores diésel. El biodiésel es producido principalmente a partir de aceite de soja, colza y aceite de palma (Demirbas, 2009).

La práctica internacional condujo a la adopción de una nomenclatura única para identificar la concentración de biodiésel en mezclas, conocida como nomenclatura BXX, donde XX corresponde al porcentaje en volumen del biodiésel en la mezcla diésel/biodiésel.

Por ejemplo: B2, B5, B20, B100 son combustibles con una concentración de 2%, 5%, 20% y 100% de biodiésel, respectivamente. Actualmente existen cuatro concentraciones principales de biodiésel que se utilizan en el mercado de los combustibles. El total (B100), las mezclas (B20 a B30), el aditivo (B5) y el aditivo lubricante (B2). Las mezclas B5 y B20 son las más comunes. La más utilizada actualmente es al 20% y cuando se utiliza como aditivo no supera el 5%.

Las materias primas más utilizadas para la fabricación de biodiésel deben ser aquella que contenga un alto índice de triglicéridos como: aceite de girasol, colza, soja, aceite de frituras usados, sebo, etc. La tabla 1 muestra un resumen de las principales fuentes para la obtención de biodiésel.

<b>Aceites convencionales:</b> Girasol, Colza, Coco, Soja, Palma
<b>Aceites alternativos:</b> <i>Brassica carinata</i> (Colza etíope) <i>Cynara cardunculus</i> (Cardo) <i>Camelina sativa</i> (Sésamo bastardo) <i>Crambe abyssinica</i> (Cambre)
<b>Otras fuentes:</b> Aceite de semillas modificadas genéticamente, Grasas animales, Aceite de microalgas, Aceite de producciones microbianas, Aceite de frituras.

**Tabla 1** Principales materias primas para la elaboración de biodiésel

Fuente: Alfonso Álvarez (2013)

El objetivo de este estudio es establecer las condiciones de proceso de para obtener biodiésel a partir de aceite vegetal mediante una reacción de transesterificación y utilizando un reactor químico didáctico PIGNAT 02/2000.

## Metodología

La puesta en marcha del reactor químico PIGNAT 02/2000, activando mangueras, partes; para el uso completo del equipo es la primera actividad para llevar a cabo la producción de biodiésel. Posteriormente se verifican las condiciones físicas del aceite vegetal usado adecuado para la obtención el biodiésel, que sirven para la obtención de las especificaciones de proceso adecuadas para la realización del biodiésel. Una vez obtenido el biodiésel se realiza una evaluación bajo diferentes condiciones físicas y parámetros establecidos que permitan realizar las pruebas del funcionamiento del biodiésel con un motor diésel.

## Adecuación del reactor

Durante la verificación del reactor químico PIGNAT 02/2000 se observaron detalladamente las condiciones físicas de sus partes: mangueras, válvulas, tanque de doble pared para calentamiento, tanque de aceite de calentamiento, resistencias, sistema eléctrico, termómetros, medidores de caudal, dispositivos de fijación y estructura.

La estructura tubular, las mangueras que conectan el tanque de reacción con las etapas de separación compuestas de serpentines se encontraban en buenas condiciones físicas y adecuadas para su uso.

Sin embargo, se observó una ligera desalineación del tanque de reacción con la salida principal de los gases de reacción. Se procedió a solicitar la alineación al personal de mantenimiento de los laboratorios. También fue necesario el reemplazo del interruptor principal que estaba dañado y la limpieza de la resistencia del tanque de calentamiento de aceite.

## Caracterización del proceso

La obtención del biodiésel se realizó mediante una reacción de transesterificación de 500 ml aceite comestible de semillas de canola, calentado a 50 °C, después se realizó una decantación para la separación los subproductos, seguido de un lavado y secado para la purificación del biodiésel.

## Resultados

En la primera prueba se emplearon 140 ml de metóxido de sodio al 1.5 % m/V en alcohol etílico, calentándose durante 40 min. Se pudo observar que además de la generación del biodiésel y la glicerina presencias de jabón.

En la figura 2 se pueden observar los productos de la reacción antes del proceso de separación y lavado. También se formó una pequeña cantidad de jabón y hubo presencia de la gran cantidad de agua atribuible a la baja calidad de alcohol y NaOH empleados.



**Figura 2** Productos obtenidos, biodiésel en la parte superior y glicerina de color marrón en la parte inferior  
Fuente: *Elaboración Propia*

Para las siguientes pruebas se empleó diferentes cantidades de metóxido de sodio y aumentando su concentración al 2.5% m/V en alcohol etílico, con el objetivo de eliminar la formación de jabón. Para los lavados y secado de biodiésel se emplea la técnica de agitación mediante burbujeo y un secado por calentamiento durante 45-60 min. hasta la observación de un cambio de coloración propio del biodiésel. En las primeras se obtuvo biodiésel con una gran presencia de partículas de agua, ocasionando que el tiempo de secado previsto de 45-60 min aumentara a más de tres horas.

## Conclusiones

Con la rehabilitación del reactor y la determinación de las condiciones de proceso, para la transesterificación de aceite vegetal tanto virgen como usado, proveniente de los comercios locales se pudo obtener un biodiésel que puede ser empleado como combustible.

## Referencias

Alfonso Álvarez, J. A. (junio de 2013). Obtención de biodiésel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad de Refugio. Chihuahua, Chihuahua, México.

Balat, M., & Balat, H. (2008). A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel. *Energy Conversion and Management*, 2727-2741. doi: 10.1016/j.enconman.2008.03. 016

Ballesteros Perdices, M. (julio de 2008). Los biocarburantes. España. Recuperado el 04 de enero de 2019, de [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://imagenes.racc.es/pub/ficheros/ad\\_juntos/adjuntos\\_mercedes\\_ballesteros\\_jzq\\_ed94ed27.pdf](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://imagenes.racc.es/pub/ficheros/ad_juntos/adjuntos_mercedes_ballesteros_jzq_ed94ed27.pdf)

Barriga Moreno, E. A. (2011). Diseño del módulo de transesterificación de una planta piloto para producción de biodiésel a partir de aceites usados de cocina. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica de Perú.

Biodiésel y su situación en México y el mundo. (2017). Recuperado el 7 de enero de 2019, de Clúster biodiésel avanzado: <http://bdavanzado.org/la-carrera-por-la-energia-solar-espacial/>

Consuegra Pacheco, S. (2007). Guía de estudio y asignatura "Motores diésel". Colombia.

Demirbas, A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy conversion and Management*, 14-34. doi: 10.1016/j.enconman.2008.09.001

Encinar, J. M., González, J. F., & Rodríguez Reinares, A. (2005). Biodiesel from Used Frying Oil. Variables Affecting the Yields and Characteristics of the Biodiesel. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 5491-5499. doi:10.1021/ie040214f

Garrido, S. M. (2010). Producción de biodiésel a partir de aceites usados. *Ciencias Sociales*, 75-86. Recuperado el 04 de enero de 2019, de file:///G:/Biodiesel/ Dialnet-TecnologiaTerritorioYSociedad -3319 142.pdf

J. M. (24 de marzo de 2018). Terrazocultor José Manuel. Recuperado el 13 de enero de 2019, de YouTube MX: <https://www.youtube.com/watch?v=s71TIiMb2IQ>

Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G., Teas, C., & Sakellaropoulos, F. (2003). An investigation of using biodiesel/marine diesel blends on the performance of a stationary diesel engine. *Biomass and Bioenergy*, 141-149. doi:10.1016/S0961-9534(02)00092-2

Leclercq, E., Finiels, A., & Moreau, C. (noviembre de 2011). Transesterification of Rapeseed Oil in the Presence of Basic Zeolites and Related Solid Catalysts. *Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS)*, 1161-1165.

Macera, Coralli, García, et al. (2011). La Bioenergía en México situación actual y perspectivas. Cuaderno Temático No. 4. Edición original publicada por Red Mexicana de Bioenergía, A.C.

OSORIO-CANUL, Marvin, GARCÍA-MAGALLANES, Gabriel, HERRERA-LUGO, Angélica y NOVELO-MOO, Thelma. Propuesta de producción de biodiésel mediante aceite vegetal usado. *Revista de Energías Renovables*. 2019.

Meher, L. C., Dharmagadda, V. S., & Naik, S. N. (2006). Optimization of alkali-catalyzed transesterification of *Pongamia pinnata* oil for production of biodiesel. *Bioresource Technology*, 1392–1397. doi: 10.1016/j.biortech. 2005.07.003

Meng, X., Chen, G., & Wang, Y. (2008). Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test. 851-857. doi: 10.1016/j.fuproc.2008.02.006

Narváez Rincón, P. C. (2010). Fuentes convencionales y no convencionales de energía: estado actual y perspectivas. *Ingeniería e investigación*, 165-173. Recuperado el 04 de enero de 2019, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64316140016>

Ramírez Coutiño, V. Á., Castañeda, M. E., Saldaña, L. G., & González, L. M. (diciembre de 2017). Biodiésel a base de aceites usados. *Revista de investigación y desarrollo*, 3(10), 39-44.

Saka, S., & Kusdiana, D. (2001). Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol. *Fuel*, 225-331. doi:10.1016/S0016-2361(00)00083-1

SENER. (2006). Energías renovables para el desarrollo sustentable en México. México. Recuperado el 04 de enero de 2019, de [http://awsassets.panda.org/downloads/folletoerenmex\\_sener\\_gtz\\_isbn.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/folletoerenmex_sener_gtz_isbn.pdf)

SENER. (12 de 08 de 2016). Diagnóstico de la situación actual del biodiésel en México y escenarios para su aprovechamiento. México. Recuperado el 11 de 01 de 2019, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/275444/Final\\_Report.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/275444/Final_Report.pdf)

SENER. (2018). PRODESE. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. Recuperado el 01 de julio de 2019, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/331770/PRODESEN-2018-2032-definitiva.pdf>

Usta, N. (2005). Use of tobacco seed oil methyl ester in a turbocharged indirect injection diesel engine. *Biomass and Bioenergy*, 77-86. doi: 10.1016/j.biombioe.2004. 06.004

Wang, Y., Ou, S., Liu, P., Xue, F., & Tang, S. (2006). Comparison of two different processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 107-112. doi: 10.1016/j.molcata.2006.02.047

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

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

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1<sup>er</sup> Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1<sup>er</sup> Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

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

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

ID 3<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3<sup>er</sup> 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 de Energías Renovables. 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

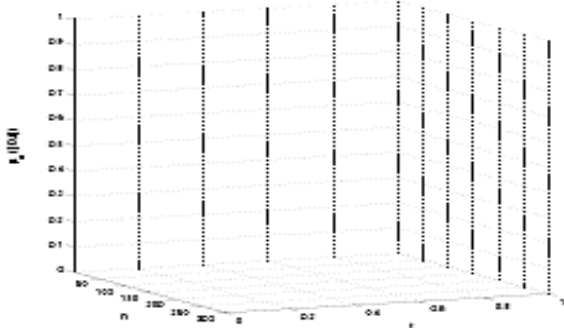
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

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

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

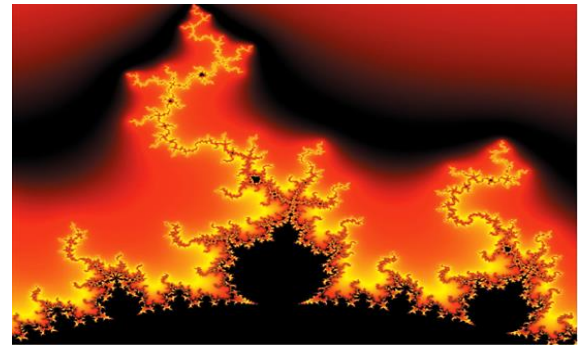
En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[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 Titulo 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.

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 de Energías Renovables. Año (Times New Roman No.8)



## 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 de Energías Renovables 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 de Energías Renovables 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 Perú 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-Mexico, S.C en su Holding Perú para su Revista de Energías Renovables, 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)

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**

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org) [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**ECORFAN®**

**Editor en Jefe**

SERRANO-PACHECO, Martha. PhD

**Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

**Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

**Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

**Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

**Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

**Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

**Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Publicidad y Patrocinio**

(ECORFAN® Republic of Peru), [sponsorships@ecorfan.org](mailto: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](mailto:financingprograms@ecorfan.org)

**Oficinas de Gestión**

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú.

# Revista de Energías Renovables

“Diseño e implementación de un sistema seguidor solar inteligente a dos ejes para optimizar la producción de energía fotovoltaica con una lente de fresnel y un sistema de limpieza robotizado a bajo costo”

**HERNÁNDEZ-MEDINA, José Juan, LÓPEZ-XELO, Hilario, HERNÁNDEZ-DÍAZ, Aldo y CABRERA-PÉREZ, José Luis**

*Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco*

“Técnicas de aprendizaje automático en el diagnóstico de aerogeneradores”

**GARCÍA, Uriel A., IBARGÜENGOYTIA, Pablo H., DÍAZ-GONZÁLEZ, Lorena y HERMOSILLO-VALADEZ, Jorge**

*Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias*

“Hidrógeno como combustible complementario para motores de ciclo diésel”

**BENITEZ-CRUZ, Gerardo Alan, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio, JUÁREZ-ZERÓN, Tomás Aáron y FLORES-MARTINEZ, Guillermo**

*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*

“Propuesta de producción de biodiésel mediante aceite vegetal usado”

**OSORIO-CANUL, Marvin, GARCÍA-MAGALLANES, Gabriel, HERRERA-LUGO, Angélica y NOVELO-MOO, Thelma**

*Universidad Tecnológica Metropolitana*

