

Volumen 3 Número 10 — Julio — Septiembre - 2019

ISSN 2523-2517

# Revista de Ingeniería Eléctrica



## **ECORFAN®**

### **Editor en Jefe**

QUINTANILLA-CÓNDOR, Cerapio. 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 Ingeniería Eléctrica**, Volumen 3, Número 10, de Julio a Septiembre 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). Editor en Jefe: QUINTANILLA - CÓNDOR, Cerapio. PhD. ISSN: 2523-2517. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Septiembre 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 Ingeniería Eléctrica**

## **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 de electromagnetismo, fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales, diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas.

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 Ingeniería Eléctrica 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 Electromagnetismo, fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales, diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas 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**

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD  
Massachusetts Institute of Technology

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

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

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD  
University of Bristol

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

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

TIRADO - RAMOS, Alfredo. PhD  
University of Amsterdam

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD  
University of Manitoba

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD  
University of Southampton

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

## **Comité Arbitral**

TECPOYOTL - TORRES, Margarita. PhD  
Universidad Autónoma del Estado de Morelos

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

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

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

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

GUTIÉRREZ - VILLEGAS, Juan Carlos. PhD  
Universidad de Guadalajara

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

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

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

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

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

## **Cesión de Derechos**

El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Eléctrica emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadadas 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 mandara a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

## **Proceso de Arbitraje**

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homologo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del 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 Electromagnetismo, fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales, diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas y a otros temas vinculados a las Ingeniería y Tecnología.

## **Presentación del Contenido**

Como primer artículo presentamos, *Metodología para el dimensionamiento óptimo de sistemas híbridos para la electrificación de comunidades rurales situadas en el Occidente de México utilizando herramientas computacionales de optimización*, por CARRILLO-GÓMEZ, Iván, CORONADO-MENDOZA, Alberto y GONZÁLEZ-GABRIEL, Luis Fernando , con adscripción en la Universidad de Guadalajara, como segundo artículo presentamos, *Estudio y diseño del Sistema de Tierra Integral de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche*, por LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco Román, OVANDO-SIERRA, Juan Carlos, CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita y ANDRADE-DURÁN, Juan Edgar, con adscripción en la Universidad Autónoma de Campeche, como tercer artículo presentamos, *Sistema de control de temperatura on-off implementado en el proceso de termoformado para elaboración de bloque a partir de envases multicapas*, por ROSALES-DAVALOS, Jaime, ENRIQUEZ-PEREZ, Ma. de los Ángeles, LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto y MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo, con adscripción en el Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, como último artículo presentamos, *Modelo predictivo inteligente para la generación de energía eléctrica en un sistema fotovoltaico*, por ARELLANO-VALMAÑA, Fernando, RUZ-HERNANDEZ, Jose Antonio y PITALÚA-DÍAZ, Nun, con adscripción en la Universidad Autónoma del Carmen.

## Contenido

Artículo	Página
<b>Metodología para el dimensionamiento óptimo de sistemas híbridos para la electrificación de comunidades rurales situadas en el Occidente de México utilizando herramientas computacionales de optimización</b> CARRILLO-GÓMEZ, Iván, CORONADO-MENDOZA, Alberto y GONZÁLEZ-GABRIEL, Luis Fernando <i>Universidad de Guadalajara</i>	1-7
<b>Estudio y diseño del Sistema de Tierra Integral de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche</b> LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco Román, OVANDO-SIERRA, Juan Carlos, CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita y ANDRADE-DURÁN, Juan Edgar <i>Universidad Autónoma de Campeche</i>	8-16
<b>Sistema de control de temperatura on-off implementado en el proceso de termoformado para elaboración de bloque a partir de envases multicapas</b> ROSALES-DAVALOS, Jaime, ENRIQUEZ-PEREZ, Ma. de los Ángeles, LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto y MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo <i>Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán</i>	17-21
<b>Modelo predictivo inteligente para la generación de energía eléctrica en un sistema fotovoltaico</b> ARELLANO-VALMAÑA, Fernando, RUZ-HERNANDEZ, Jose Antonio y PITALÚA-DÍAZ, Nun <i>Universidad Autónoma del Carmen</i>	22-29

## Metodología para el dimensionamiento óptimo de sistemas híbridos para la electrificación de comunidades rurales situadas en el Occidente de México utilizando herramientas computacionales de optimización

### Methodology for the optimal sizing of hybrid systems for the electrification of rural communities located in western Mexico using computational optimization tools

CARRILLO-GÓMEZ, Iván†\*, CORONADO-MENDOZA, Alberto y GONZÁLEZ-GABRIEL, Luis Fernando

*Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Tonalá, División de Ingenierías e Innovación Tecnológica, Departamento de Agua y la Energía, Av. Nuevo Periférico 555 Ejido San José Tatepozco, Tonalá Jalisco, México, C.P. 45425*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Iván, Carrillo-Gómez / **ORC ID:** 0000-0002-1421-4494, **CVU CONACYT ID:** 824680

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Alberto, Coronado-Mendoza / **ORC ID:** 0000-0002-6283-4911, **CVU CONACYT ID:** 98169

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Luis Fernando, González-Gabriel / **ORC ID:** 0000-0001-9676-6091, **CVU CONACYT ID:** 556347

**DOI:** 10.35429/JEE.2019.10.3.1.7

Recibido: 30 de Abril, 2019; Aceptado 30 de Septiembre, 2019

#### Resumen

Este artículo muestra la importancia que han adquirido los software especializados para el diseño de sistemas energéticos que operan bajo un esquema fuera de la red eléctrica e incorporan Energía Renovables. La relevancia de este trabajo se cernie en el entendido que uno de los objetivos de los gobiernos actuales es mejorar la calidad de vida de las personas y su índice de marginalidad, mediante el acceso al servicio eléctrico. Se propone una metodología para el dimensionamiento de un sistema híbrido aislado utilizando HOMER Pro, un software de optimización de sistemas de potencia que facilita la evaluación técnica y económica del sistema. Se partió de la elaboración de un perfil de demanda para una comunidad rural ubicada en el municipio de Mezquitic al Norte del estado de Jalisco a partir de una revisión internacional, que permita mejorar su índice de desarrollo humano; y la selección de los diferentes componentes de generación y almacenamiento de energía que integran al sistema. El resultado de las simulaciones nos permite construir una tabla de resultados, que facilita la selección de equipos debido a que permite observar las diferentes combinaciones de las variables técnicas, económicas y meteorológicas con mayor viabilidad económica.

**Perfil de demanda, Dimensionamiento óptimo, Electrificación rural**

#### Abstract

This paper shows the importance acquired by specialized software for the design of energy systems that operate under a scheme outside the electricity grid and incorporate Renewable Energy. The relevance of this work is based on the understanding that one of the objectives of current governments is to improve the quality of life of people and their marginality index, through access to electricity service. A methodology is proposed for the sizing of an isolated hybrid system using HOMER Pro, a software of optimization of power systems that facilitates the technical and economic evaluation of the system. It started with the elaboration of a demand profile for a rural community located in the municipality of Mezquitic in the North of the state of Jalisco based on an international review, which allows to improve its Human Development Index; and the selection of the different energy generation and storage components that make up the system. The result of the simulations allows us to build a table of results, which facilitates the selection of equipment because it allows to observe the different combinations of technical, economic and meteorological variables and economically viable.

**Load profile, Optimal sizing, Rural electrification**

**Citación:** CARRILLO-GÓMEZ, Iván, CORONADO-MENDOZA, Alberto y GONZÁLEZ-GABRIEL, Luis Fernando. Metodología para el dimensionamiento óptimo de sistemas híbridos para la electrificación de comunidades rurales situadas en el Occidente de México utilizando herramientas computacionales de optimización. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2019. 3-10: 1-7

\* Correspondencia del Autor (cagi1993@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

La energía es uno de los principales elementos que ha interactuado con el ser humano a lo largo de su evolución, favoreciéndole en su desarrollo. Realmente la energía hoy en día es indispensable para casi todas las actividades que dan impulso a la economía de un país. Lo anterior se comprueba si analizamos a aquellos países industrializados que cuentan con grandes economías, los cuales necesitan de grandes cantidades de energía para sostener un equilibrio en su funcionamiento y tener rápido crecimiento económico, por otra parte, para que los países de desarrollo intermedio logren un mayor crecimiento necesitan incrementar sus consumos de energía (Pastén, 2012).

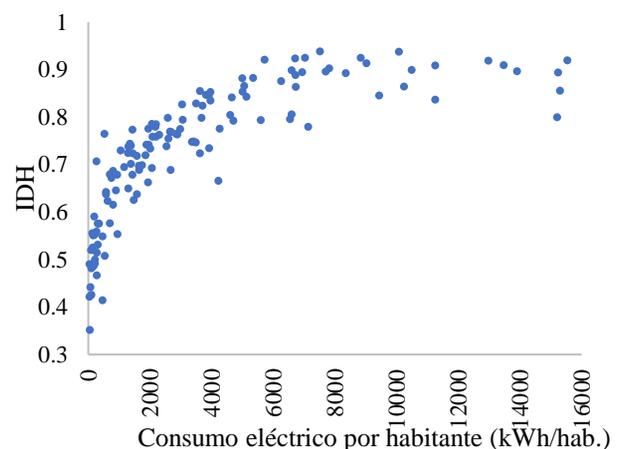
La electrificación de las comunidades rurales en México y en el mundo había sido un papel no prioritario para los gobiernos de las naciones. Según datos del Banco Mundial en 2016 solo el 77.4% de la población a nivel mundial en el sector rural tenía acceso a la electricidad; en el caso de México desde comienzos del siglo XXI el acceso a la electricidad alcanzó el 96.6%, sin embargo 3.5 millones de personas aún no contaban con acceso a dicho servicio, de las cuales el 60% pertenecían a comunidades indígenas con carencia de servicios e infraestructura (Banco Mundial, 2017).

La implementación de sistemas aislados de generación distribuida con energías renovables ha demostrado ser una opción viable para el suministro de energía eléctrica en este tipo de escenarios. La arquitectura de un sistema híbrido se basa en la combinación de múltiples sistemas de generación de energía en una sola instalación (Ávila, Alesanco & Veliz, 2011). HOMER es el estándar global para el diseño de sistemas de generación distribuida y micro-redes en todos los sectores.

Este software permite evaluar económica y ambientalmente sistemas híbridos de generación de energía eléctrica, mostrando la configuración óptima en cuanto a costos de un conjunto de alternativas (Casarotto, Romano & Collihuin, 2011).

Este trabajo muestra la importancia que han adquirido los software especializados para la planificación de sistemas energéticos cuya naturaleza se enfoca en la implementación de los mismos en escenarios fuera de red, cuyo principal objetivo es la generación de polos de desarrollo que aminoren las brechas de pobreza de las comunidades rurales en el Occidente de México.

La importancia del consumo de energía puede apreciarse de una forma sencilla si lo relacionamos con el índice de desarrollo humano (IDH), éste es un indicador que se encarga de medir el desarrollo humano. El IDH se compone por tres dimensiones básicas de desarrollo: esperanza de vida, nivel de educación y producto interno bruto (PIB) (PNUD, 2016). En la gráfica 1 se representa la relación existente entre el consumo eléctrico por habitante de las distintas economías del mundo. Se puede apreciar que a medida que el consumo per cápita aumenta, el IDH de igual manera presenta un crecimiento, siendo el rango de consumo desde 0 hasta 3,000 kWh/habitante donde el rango del IDH presenta la mayor apertura, que va desde 0.3 hasta 0.8 aproximadamente. Para el caso de México el consumo eléctrico por habitante es de aproximadamente 2,100 kWh con un IDH de 0.76, mientras que en el Municipio de Mezquitic el IDH es de 0.44 (PNUD, 2014).



**Gráfica 1** Relación entre el consumo eléctrico y el IDH representado mediante gráfico de dispersión

Fuente: PNUD y Banco Mundial

En la tabla 1 se muestran cuatro diferentes niveles económicos que agrupan a diversos países; conforme el nivel económico de los países aumenta, también aumenta el IDH, el consumo eléctrico y el acceso a la energía eléctrica.

Nivel	IDH	Consumo eléctrico [kWh/hab.]	Acceso electricidad %
Bajo	0.351–0.555	39–537	4.5–84.9
Medio-Bajo	0.466–0.768	144–3,419	27.9–100
Medio-Alto	0.637–0.826	271–6,603	49.6–100
Alto	0.779–0.948	2,202–19,592	96.4–100

**Tabla 1** Rango de valores de algunos indicadores energéticos e IDH por nivel de ingreso económico.

Fuente: *Elaboración Propia*

### Perfil de carga

Para dimensionar un sistema híbrido es necesario conocer el tamaño y tipo de carga que debe satisfacerse, para ello se elaborará una propuesta de un perfil de carga para una comunidad rural ubicada en el municipio de Mezquitic, al norte del estado de Jalisco. Es importante conocer la zona donde se llevará a cabo el dimensionamiento del sistema híbrido (geografía, clima, características sociales, económicas y culturales).

Según INEGI los hogares en este escenario están compuestos en promedio por 4.82 personas; las viviendas están compuestas por 3.34 cuartos en promedio. El 84.8 % de la población en este tipo de escenarios se encuentran en situación de pobreza multidimensional, además de tener un alto nivel de marginación social. Nuestro caso de estudio se centra en San Andrés de Cohamiata una comunidad rural ubicada en el municipio de Mézquitic, en el estado de Jalisco, México. (IIEG, 2017).

La carga eléctrica estimada se basa en una cantidad porcentual del total nacional calculada a partir de un análisis de carga por usuario. La información recolectada para definir el perfil de carga empleado en la simulación considera los siguientes puntos: cantidad de usuarios, número de viviendas, viviendas electrificadas, ocupantes por vivienda, ventas registradas de energía eléctrica y disponibilidad de aparatos eléctricos. Crear una carga sintética desde un perfil es una forma rápida de generar una carga que puede ser relativamente realista. HOMER tiene cuatro tipos de perfil de carga definidos los cuales son: perfil de carga residencial, comercial, industrial y comunidad (Homer Energy, 2016).

Estos perfiles se encargan de dar una distribución de la carga escalar promedio en el transcurso de un día, con un comportamiento parecido al de una comunidad rural. La mayor demanda se efectúa después de las 6:00 pm.

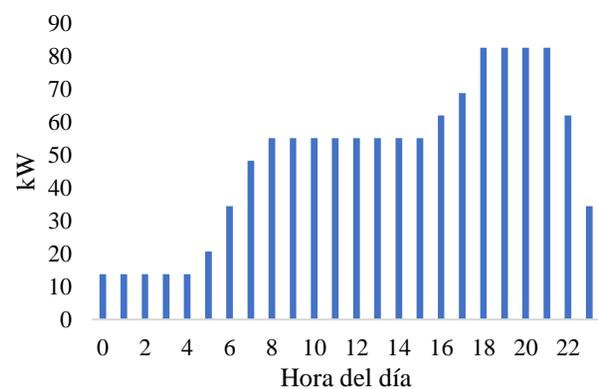
Para este estudio se empleó un perfil de carga tipo comunidad en corriente alterna sin variaciones anuales cíclicas. En la tabla 2 se observa la carga escalar promedio anual y otros parámetros que fueron considerados en el diseño del sistema.

Promedio (kWh/d)	1,100
Promedio (kW)	45.83
Pico (kW)	136.03
Factor de carga	0.34

**Tabla 2** Datos escalados de la carga eléctrica considerada en la simulación.

Fuente: *Elaboración Propia*

Por otro lado, se consideró una carga térmica promedio de 165.9 kWh/d y una potencia promedio de 6.89 kW, una carga pico de 24.57 kW y un factor de carga de 0.24. HOMER simula el funcionamiento de un sistema mediante el balanceo de energía para cada hora del año, comparando: la demanda de energía eléctrica y térmica con las fuentes de generación que puedan abastecer la carga en el mismo intervalo (Rodríguez et al., 2011). La gráfica 2 muestra la distribución de la carga promedio diaria durante las 24 horas del día.



**Gráfica 2** Perfil de carga por día.

Fuente: *Elaboración Propia*

### Potencial energético de la zona

Es importante conocer la disponibilidad de recursos energéticos que hay en la zona donde será evaluado el sistema. En HOMER un recurso es cualquier cosa que proviene del exterior del sistema y que es utilizado por un componente para generar energía eléctrica o térmica.

Una de las ventajas de utilizar HOMER es que, cuando introducimos la ubicación del proyecto el software automáticamente descarga de la base de datos de la NASA la información referente a la disponibilidad de recursos.

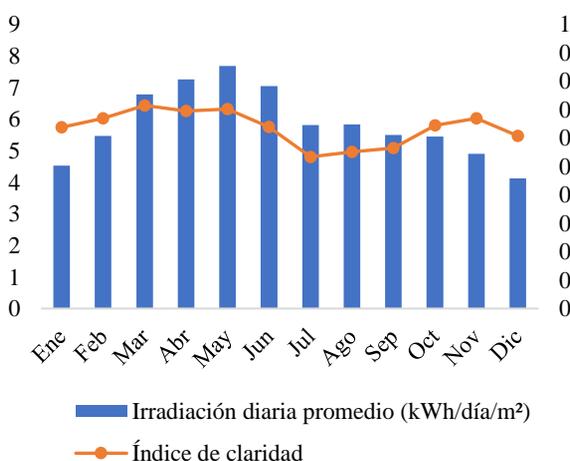
La ubicación geográfica de la comunidad San Andrés de Cohamiata, fue introducida al sistema con las coordenadas: 22°11.4' N, 104°14.6' O. La figura 3 muestra una vista satelital de la zona a evaluar.



**Figura 1** Vista Satelital de la comunidad San Andrés de Cohamiata en el municipio de Mezquitic.

Fuente: Google Maps

Para las coordenadas seleccionadas el software descargó de la base de datos de la NASA la distribución anual de irradiación sobre la superficie horizontal. El promedio anual es de 5.87 kWh/m<sup>2</sup>/día. La gráfica 3 muestra la radiación solar global promedio en la superficie horizontal, expresada en kWh/m<sup>2</sup>, para cada mes del año.

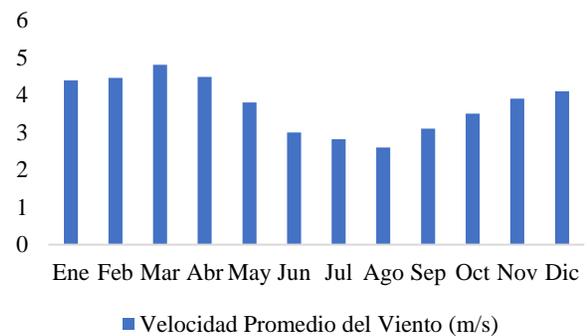


**Gráfica 3** Irradiación Global Horizontal mensual promedio

Fuente: Elaboración Propia

HOMER utiliza la temperatura ambiente para calcular la temperatura de la celda fotovoltaica y al modelar un componente de turbina eólica. Para nuestro lugar de estudio la temperatura promedio anual es de 19.13 °C.

El recurso eólico es demasiado escaso en San Andrés de Cohamiata con un promedio anual de 3.74 m/s, por tal motivo, la idea del uso de aerogeneradores fue descartada. La gráfica 4 muestra la velocidad promedio del viento, expresada en m/s, para cada mes del año.



**Gráfica 4** Velocidad promedio del viento expresada en metros por segundo.

Fuente: Elaboración Propia

### Selección de componentes y características económicas

El sistema encargado de generar la energía está basado en una arquitectura que contempla el aprovechamiento de energía fotovoltaica a través de paneles fotovoltaicos debido a la alta disponibilidad de recurso solar en esta área; así como el uso de generadores diésel y generadores de gas lp, debido a que los paneles fotovoltaicos no generan energía las 24 horas del día y es necesario considerar fuentes de generación de respaldo. También se considera un sistema de almacenamiento de energía (baterías), el cual además de almacenar la energía eléctrica contribuye con la absorción de las fluctuaciones de la demanda de energía (Werner de Dios & Errasti, 2013).

Para la simulación se tomaron en cuenta diferentes componentes del mismo tipo, pero con fabricante, capacidad y características diferentes. Los componentes probados se presentan en la tabla 3, señalando la capacidad y costo del equipo.

Componente	Detalles	Costo US\$
Generador Diésel	48 kW	16,500.00
Generador Gas LP	22 kW	9,000.00
PV 1	345 W	255.00
PV 2	325 W	275.00
Batería Estacionaria	1.92 kWh	2,520.00
Batería Ciclo Profundo 1	3.12 kWh	390.00
Batería Ciclo profundo 2	1.68 kWh	310.00
Inversor Monofásico	8.2 kW	2,400.00
Boiler Básico de Diésel	32 kW	3,780.00
Calentador eléctrico de Agua	3.6 kW	425.00

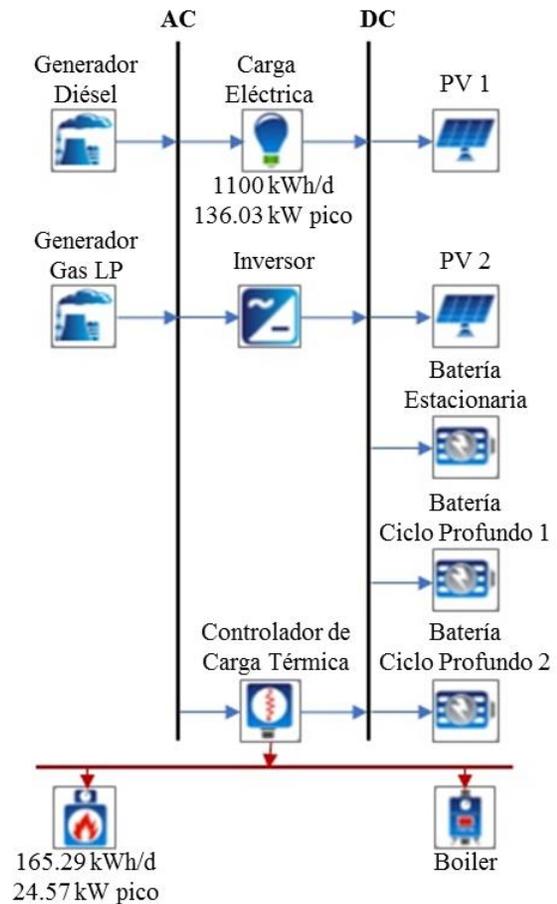
**Tabla 3** Componentes considerados para la optimización.  
Fuente: *Elaboración Propia*

Además del costo inicial del equipo es necesario considerar los costos de reemplazo, y de operación y mantenimiento del mismo. Para los generadores los costos de reemplazo considerados son del 80 % del costo inicial; en el caso de los paneles fotovoltaicos es del 83 %; para las baterías son de hasta el 89 %.

La tasa de descuento nominal y la tasa de inflación esperada que se contemplaron para la optimización del sistema fueron 8 % y 6 % respectivamente.

La optimización de un sistema híbrido consiste en encontrar la mejor combinación y tamaño de los componentes que cubran una demanda de energía de manera confiable a un bajo costo y mayor eficiencia, partiendo de una demanda eléctrica definida por una ubicación concreta; una estimación de recursos, costos de los componentes, y costos de operación y mantenimiento (Roberts, Prado & Thibaud, 2015).

El esquema del sistema híbrido permite visualizar los componentes y cargas que se encuentran en el sistema. El esquema generado por HOMER para nuestra simulación se muestra en la figura 2.



**Figura 2** Esquema ilustrativo considerado en la optimización

Fuente: *Elaboración Propia*

## Resultados

Al finalizar los cálculos de optimización HOMER simuló 135,991 soluciones para nuestro sistema de las cuales 89,964 son factibles, 33,357 no son factibles debido a restricciones por su escasa capacidad. También se omitieron 21,462 soluciones por diversos motivos de incongruencia en el sistema.

Como resultado de la simulación HOMER optimizó la arquitectura del sistema, donde se seleccionaron las diez mejores variantes del sistema, las cuales se muestran en la tabla 4. Donde PV1 y PV2 son los paneles fotovoltaicos; Gen D se refiere al Generador Diésel; BCP1 y BCP2 a las Baterías de Ciclo Profundo 1 y Baterías de Ciclo Profundo 2 respectivamente; CCT al Control de Carga Térmica; e INV al Inversor del Sistema. Las mejores combinaciones arrojadas por HOMER no incluyen el Generador de Gas LP, ni la Batería Estacionaria debido a su alto costo de inversión inicial.

Conf. #	PV2 kW	PV1 kW	Gen DkW	BCP1 Pza	BCP2 Pza	CCT kW	INV kW
1	0	321.13	0	0	615	0	108.91
2	0	321.13	0	0	615	25	108.91
3	309.91	0	0	0	672	0	106.20
4	309.91	0	0	0	672	25	106.20
5	0	289.75	48	0	586	25	107.31
6	0	366.15	0	519	0	0	108.39
7	272.02	0	48	0	596	25	108.82
8	0	366.15	0	519	0	25	108.39
9	327.49	0	0	575	0	0	111.27
10	327.49	0	0	575	0	25	111.27

**Tabla 4** Arquitectura de las configuraciones óptimas del sistema

Fuente: *Elaboración Propia*

La clasificación de los resultados de la simulación está determinada por el CPN (Costo Presente Neto). El CPN es el valor presente de todos los costos en los que incurre el sistema durante su vida útil, menos el valor presente de todos los ingresos que gana durante su vida útil. El CNE es el Costo Nivelado de Energía es el costo promedio por kWh de energía útil producida. El CO se refiere a los Costos de Operación durante todo el año y el CI al Capital Inicial, es decir, el costo de inversión inicial de los componentes del sistema. Estos valores se muestran en la tabla 5.

Conf #	CNE \$	CPN \$	CO \$/año	CI \$
1	0.16369	631,919.10	19,039.44	459,878.30
2	0.16423	633,819.20	18,923.10	462,829.70
3	0.16946	652,681.40	16,716.49	501,630.80
4	0.17000	654,581.50	16,600.14	504,582.20
5	0.17302	681,970.80	26,038.87	446,682.90
6	0.18236	699,831.50	21,587.37	504,767.50
7	0.17826	700,248.80	25,897.83	466,235.40
8	0.18290	701,731.60	21,471.03	507,718.90
9	0.18732	715,022.30	20,041.74	533,924.60
10	0.18787	716,922.40	19,925.40	536,876.00

**Tabla 5** Costos de las configuraciones óptimas del sistema.

Fuente: *Elaboración Propia*

Los resultados muestran que las configuraciones óptimas del sistema alcanzan un valor de FR (Fracción Renovable) de hasta un 86 %, esto indica el porcentaje de la carga eléctrica que es satisfecha mediante el uso de energías renovables. La Escasez de Capacidad, representada como EC, se refiere al porcentaje del déficit de capacidad, es decir, la carencia presentada entre la capacidad requerida y la cantidad real de la capacidad operativa del sistema. PE y PT representan la Producción de Energía Eléctrica y la Producción de Energía Térmica respectivamente, en un periodo anual.

El Excedente de Electricidad representado por las siglas EE se refiere al excedente de energía eléctrica producida que no puede ser aprovechado para servir a una carga o cargar baterías. Los valores de las diferentes configuraciones resultantes de la simulación se pueden observar en la Tabla 6.

Conf #	FR %	EC %	PE kWh/año	PT kWh/año	EE kWh/año	CO <sup>2</sup> kg/año
1	86.56	5.1	612,644	60,330	177,423	16,445
2	86.56	5.1	612,644	60,330	177,423	16,445
3	86.57	5.04	587,276	60,330	151,527	16,445
4	86.57	5.04	587,276	60,330	151,527	16,445
5	82.67	0.84	572,249	60,238	126,881	33,008
6	86.6	4.89	698,548	60,330	248,514	16,445
7	82.02	1.03	537,878	60,219	93,190	35,381
8	86.6	4.89	698,548	60,330	248,514	16,445
9	86.56	5.08	620,599	60,330	171,708	16,445
10	86.56	5.08	620,599	60,330	171,708	16,445

**Tabla 6** Características del Sistema.

Fuente: *Elaboración Propia*

## Agradecimiento

Se agradece el apoyo recibido por el Centro Universitario de Tonalá, perteneciente a la Universidad de Guadalajara y a CONACYT a través del Proyecto CB-2015/250777: Análisis de estabilidad de micro-redes aisladas con energías renovables.

## Conclusiones

El consumo de energía eléctrica demuestra ser un factor influyente en la calidad de vida de las personas. La relación entre estas dos variables de distintos países del mundo nos proporciona una referencia de que consumo de energía eléctrica hay que considerar para que la calidad de vida de las personas pueda mejorar.

La utilización de las diversas herramientas informáticas para el dimensionamiento de sistemas híbridos y micro-redes permiten el desarrollo de propuestas más sólidas y precisas para el desarrollo de proyectos de electrificación en cualquier parte del mundo mediante Micro-redes con energías renovables. HOMER es un software de gran alcance que permite dimensionar y evaluar de manera rápida y precisa sistemas de generación distribuida permitiendo al usuario ingresar el conjunto de variables que describen los aspectos técnicos y financieros del sistema.

Para nuestro caso de estudio la mejor solución a la arquitectura del sistema híbrido involucra la generación de energía a través de paneles solares y almacenamiento en baterías de ciclo profundo de ácido-plomo, descartando el uso de generadores eléctricos a base de Diésel y Gas LP, haciendo nuestro sistema con menor impacto negativo sobre el medio ambiente.

## Referencias

- Ávila, D., Alesanco, R. y Veliz, J. (2011). Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras. *Ingeniería Mecánica*, 14(1). Recuperado de: <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v14n1/im03111.pdf>
- Banco Mundial (2017). Comunidades rurales alejadas de la red eléctrica logran acceso a electricidad en México. Recuperado de: <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/11/01/switching-on-remote-communities-through-electricity-access-in-mexico>
- Casarotto, C.F., Romano, J.S. y Collihuin C.A. (2011). Evaluación de sistemas híbridos para electrificación de zonas remotas mediante HOMER. Recuperado de: [http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/images/2011/hyfusen\\_2011/trabajos/18-037.pdf](http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/images/2011/hyfusen_2011/trabajos/18-037.pdf)
- Homer Energy. (2016). Homer Pro Version 3.7 User Manual. Recuperado de: <https://www.homerenergy.com/pdf/HOMERHlpManual.pdf>
- Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG, 2017). Mezquitic. Diagnóstico del Municipio. Recuperado de: <http://www.iiég.gob.mx/contenido/Municipios/Mezquitic.pdf>
- Pastén, C. (2012). Chile, energía y desarrollo. *Obras Y Proyectos*, 11, 28–39. <https://doi.org/10.4067/S0718-28132012000100003>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2014). Índice de Desarrollo Humano municipal en México: nueva metodología. Recuperado de: <https://www.undp.org/content/dam/mexico/docs/Publicaciones/PublicacionesReduccionPobrez a/InformesDesarrolloHumano/UNDP-MX-PovRed-IDHmunicipalMexico-032014.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2016). Informe sobre el Desarrollo Humano 2016. Recuperado de: [http://hdr.undp.org/sites/default/files/HDR2016\\_SP\\_Overview\\_Web.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/HDR2016_SP_Overview_Web.pdf)
- Roberts, J., Prado, P. y Thibaud, S. (2015). Proyecto de un sistema híbrido de generación con energías renovables para un establecimiento rural aislado. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/293950988>
- Rodríguez, C., Jeandrevin, G., Ybáñez, J., Piumetto, M., Lago, D., Correa, G. y Leiva, E. (2011). Diseño de sistemas energéticos híbridos basados en hidrógeno para una población de la Provincia de Córdoba Argentina. Recuperado de: [http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/images/2011/hyfusen\\_2011/trabajos/16-163.pdf](http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/images/2011/hyfusen_2011/trabajos/16-163.pdf)
- Werner de Dios, A. y Errasti, M. (2013). Diseño por simulación de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para una vaquería en Cuba. *Ingeniería Mecánica*, 16(2). Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/2251/225129325004.pdf>

## Estudio y diseño del Sistema de Tierra Integral de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche

### Study and design of the Integral Grounding System of the Faculty of Engineering of the Campeche's Autonomous University

LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco Román†\*, OVANDO-SIERRA, Juan Carlos, CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita y ANDRADE-DURÁN, Juan Edgar

*Universidad Autónoma de Campeche, Campus V, Predio s/n por Av. Humberto Lanz Cardenas y Unidad Habitacional Ecológica Ambiental, Col. Ex-Hacienda Kala, San Francisco de Campeche, Cam., México. CP 24085*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Francisco Román, Lezama-Zárraga* / ORC ID: 0000-0003-3397-7881, **Researcher ID Thomson:** U-1229-2018, **CVU CONACYT ID:** 205493

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Juan Carlos, Ovando-Sierra* / ORC ID: 0000-0003-4358-6657, **Researcher ID Thomson:** S-2357-2018, **CVU CONACYT ID:** 358434

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Margarita, Castillo-Téllez* / ORC ID: 0000-0001-9639-1736, **Researcher ID Thomson:** S-2283-2018, **CVU CONACYT ID:** 210428

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Juan Edgar, Andrade-Durán* / ORC ID: 0000-0002-7370-1290, **Researcher ID Thomson:** T-8830-2018, **CVU CONACYT ID:** 238526

DOI: 10.35429/JEE.2019.10.3.8.16

Recibido 20 Junio, 2019; Aceptado Septiembre 30, 2019

#### Resumen

Hoy en día, los sistemas eléctricos en baja tensión son de mayor complejidad debido a cargas no lineales sensibles a las variaciones de tensión por perturbaciones o mala calidad de la energía en la red eléctrica de suministro, por lo que es necesario proteger los equipos y a las personas que a diario utilizan estas instalaciones eléctricas. En este artículo se presenta un estudio para diseñar el sistema de tierra equipotencial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche con el fin de obtener un valor de impedancia de tierra que cumpla con la normas NXM-J-549-ANCE-2005 y NOM-001-SEDE-2012 para proporcionar condiciones de seguridad a las personas y equipos que operan en la instalación eléctrica en baja tensión, drenando rápidamente la falla, logrando que el valor del voltaje con respecto a la tierra que se alcance en la parte fallada sea igual o inferior al valor de seguridad y ofrecer las medidas correctivas para mejorar la calidad de la energía, que recibimos de la empresa suministradora. Este estudio es la base para implementar un modelo de sistema de tierra integral para cualquier tipo de edificios de nuestro entorno para lograr niveles de voltaje estable a frecuencia constante.

**Baja impedancia de tierra, Equipotencial, Voltaje estable**

#### Abstract

Nowadays, low voltage electrical systems are more complex due to sensitive non-linear loads to voltage variations due to disturbances or poor quality of power in the electricity supply network, so it is necessary to protect equipment people who use these electrical installations every day. This paper presents a study to design the equipotential grounding system of the Faculty of Engineering of the Campeche's Autonomous University in order to obtain an earth impedance value that complies with the standards NXM-J-549-ANCE-2005 and NOM-001-SEDE-2012 to provide safety conditions to people and equipment operating in the electrical installation in low voltage, quickly draining the fault, making the value of the voltage with respect to the earth reached in the part failure is equal to or less than the safety value and offer the corrective measures to improve the quality of the energy, which we receive from the supplier company. This study is the basis to implement a model of integral earth system for any type of buildings in our environment to achieve stable voltage levels at a constant frequency.

**Low earth impedance, Equipotential, Stable voltage**

**Citación:** LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco Román, OVANDO-SIERRA, Juan Carlos, CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita y ANDRADE-DURÁN, Juan Edgar. Estudio y diseño del Sistema de Tierra Integral de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche. *Revista de Ingeniería Eléctrica*. 2019. 3-10: 8-16

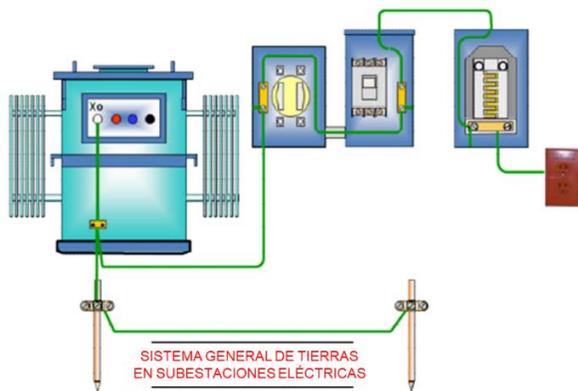
† Investigador contribuyendo como primer Autor.

\*Correspondencia al Autor correo electrónico: (frlezama@uacam.mx)

## Introducción

En la actualidad un sistema eléctrico en alta, media y baja tensión requiere ciertas características como la calidad, la confiabilidad, la continuidad y la seguridad para que opere de manera estable y brinde un servicio óptimo a los consumidores residenciales, comerciales, industriales y de servicios. Como parte de la seguridad de un sistema existe el sistema de puesta a tierra para asegurar la protección de las instalaciones y equipo eléctrico y sobre todo salvaguardar la integridad física de los operadores de dichas instalaciones y equipos cuando se presenten fallas en el sistema provocando cortocircuitos.

La puesta a tierra de equipos consiste en conectar a tierra las partes metálicas no conductoras de corriente que alojan a los sistemas o equipos y aparatos de utilización de energía eléctrica (Velasco, 2007). En la figura 1 se observa la interconexión a tierra de todos los medios de canalización metálicos, gabinetes metálicos, estructuras que soporten equipos eléctricos, carcasas de motores y generadores, tanques metálicos de transformadores y en general todas las cubiertas metálicas.



**Figura 1** Puesta a tierra del sistema eléctrico  
 Fuente: *Jesús Velasco Solís, Entendiendo el sistema de tierras, México, 2007)*

Para el diseño, se requieren cálculos muy precisos por lo que es necesario e indispensable interpretar adecuadamente las normativas vigentes tales como la NOM-001-SEDE-2012, NXM-J-549-ANCE-2005 y la IEEE-Std-80-2000 ya que se trata de un sistema de seguridad para el ser humano. La Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche cuenta con un sistema eléctrico de distribución en media y baja tensión con un conductor de puesta a tierra.

Esta es la parte de la Norma Oficial Mexicana, en su Artículo 250, que especifica cual es el conductor de nuestras instalaciones eléctricas que debe estar puesto a tierra. En este artículo, se verifica las condiciones iniciales del sistema de puesta a tierra, mediante la medición de resistividad del terreno y el valor de impedancia del conductor y los electrodos del sistema de puesta a tierra. Al existir una problemática por no tener los valores de resistencia de puesta a tierra que exigen las normas, se proponen acciones de mejoras al sistema de puesta a tierra para alcanzarlos. Y finalmente si se implementan las mejoras, se verifica de nuevo con mediciones si se alcanzaron los valores adecuados de baja impedancia del sistema de puesta a tierra.

En la primera sección del artículo, se explica de forma breve la importancia de tener un sistema de puesta a tierra confiable y seguro, los elementos y equipos eléctricos que deben estar conectados a tierra y el alcance de este trabajo. En la segunda sección, se describe la metodología propuesta para tener resultados significativos de eficiencia energética en la iluminación del campus. En la tercera sección, indica el procedimiento de las mediciones realizadas de acuerdo con la NOM vigente. Por último, en la cuarta sección se muestran los resultados obtenidos de mediciones e implementación de estrategias de eficiencia energética. Finalmente, en la sección de conclusiones se indica la importancia de este estudio y los resultados obtenidos

## Objetivos de la puesta a tierra

El objetivo principal de un sistema de puesta a tierra es la protección de las personas, los equipos e instalaciones contra tensiones peligrosas y al mismo tiempo dar confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico, creando para esto un circuito de retorno de muy baja impedancia para la circulación a tierra de corrientes de falla a tierra, corrientes producidas por electricidad estática, corrientes circulantes indeseables y las producidas por descargas atmosféricas. Otro objetivo fundamental de la puesta a tierra es limitar el potencial entre las partes no conductoras de corriente, que existan en la instalación, y entre esas partes y tierra para asegurar valores abajo de todas las condiciones de operación del sistema tanto normales como anormales.

El peligro para el personal existe al mismo tiempo en que ocurra una falla a tierra. Si se fuerza a la corriente a fluir a través de una impedancia elevada la conexión a tierra puede crear diferencias de potencial peligrosas que puedan dañar al personal y equipo que se localicen cerca de dichos sistemas.

Todos los conceptos involucrados en los sistemas de tierra y la conexión de equipo son reglamentados y normalizados, por lo que se debe tomar en cuenta que este sistema no es simplemente uno más que hay que instalar en los edificios, comercios, industria y hasta en nuestros hogares para el funcionamiento de todo equipo eléctrico, sino también hay que pensar que se trata de un sistema de seguridad para el ser humano, es por esta razón que debemos darle la importancia que merece, para ello es necesario e indispensable conocer e interpretar adecuadamente la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEDE-2012) actual, que en sus Artículos 250 y 921 tratan lo referente a la Puesta a Tierra.

El conductor puesto a tierra inicial en las cinco subestaciones es un conductor calibre 2 AWG para un sistema trifásico a cuatro hilos, 220/127 Volts conectado a una varilla copperweld de cobre de ½ pulgada de diámetro y 1.5 metros de longitud. Este conductor puesto a tierra es instalado con la plena intención de conducir la corriente de desbalanceo del sistema (corriente en el neutro o retorno del sistema).

### Objetivo de la investigación

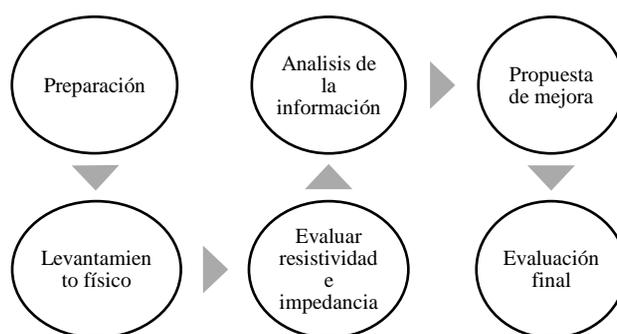
Diseñar el Sistema de Tierra Integral equipotencial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche aplicando la norma oficial mexicana NMX-j-549-ANCE-2005 que cumpla las especificaciones de diseño, los métodos de cálculo, los materiales y tipos de mediciones con el fin de disminuir el riesgo de daño para las personas, equipos e instalaciones eléctricas en baja tensión cuando se presente una falla.

### Metodología propuesta

Tomando como referencia la metodología de Checkland (Checkland, 1994), la propuesta consta de las siguientes etapas:

1. Preparación de herramientas, equipo de medición y del personal que realizará las mediciones en campo.
2. Levantamiento físico en las subestaciones con ayuda de los planos eléctricos, identificando cada uno de los conductores y electrodos de puesta a tierra y la trayectoria efectiva de puesta a tierra hacia los tableros de distribución y para los circuitos de alimentación y circuitos derivados.
3. Evaluar los niveles de resistividad del terreno e impedancia del conductor de puesta a tierra en cada subestación, de acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012, en su artículo 250 y con la IEEE-Std-81-2012.
4. Analizar la información obtenida con ayuda de hojas de cálculo que incluyan las ecuaciones para el diseño de sistemas de puesta a tierra.
5. Definir las propuestas de mejora, a través de un informe, que proporcionarán los valores de baja impedancia del conductor de puesta a tierra para cada subestación e interconexión entre dichos conductores para mantener un sistema equipotencial (sistema integral de puesta a tierra).
6. Realizar una evaluación final de las condiciones finales del sistema, luego de haberse implementado las propuestas de mejora con el fin de verificar si el sistema de puesta a tierra interconectado y equipotencial tiene condiciones óptimas de confiabilidad y seguridad para los seres humanos y protección de equipos eléctricos.

La figura 2 ilustra las etapas de la metodología propuesta en este artículo.

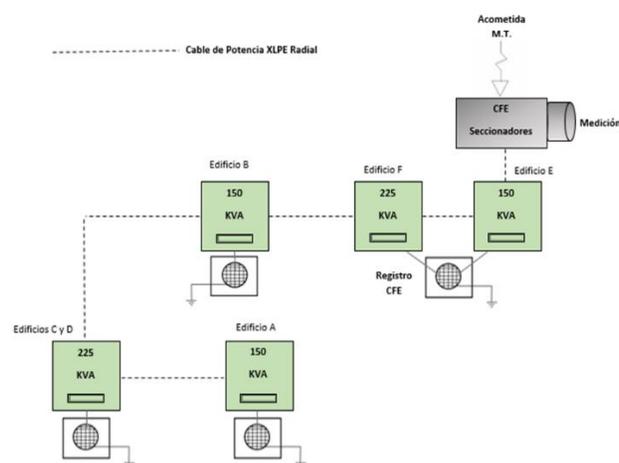


**Figura 2** Etapas de la metodología de un sistema de puesta a tierra integral

Fuente: *Elaboración Propia*

### El sistema de tierra física existente

El sistema de tierras en cada una de las cinco subestaciones de la Facultad de Ingeniería consta de una varilla copperweld de ½ pulgada de diámetro de cobre, las cuales están aisladas, sin interconexión entre ellas (ver figura 3).



**Figura 3** Sistemas de tierra en la Facultad de Ingeniería  
 Fuente: Elaboración Propia

La tensión en las subestaciones es de 13.8 kV en el lado primario y 220/127V en el lado secundario, conexión delta-estrella aterrizado.

### Medición de la resistividad del terreno

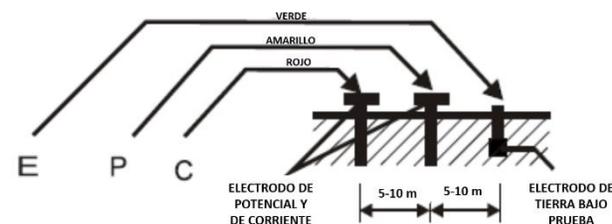
El parámetro eléctrico del terreno que cambia de acuerdo al tipo de suelo y a la cantidad de agua que contiene es la resistividad ( $\Omega\cdot m$ ). Algunos valores típicos se muestran en la siguiente tabla.

Tipo de terreno	Resistividad del terreno [ $\Omega\cdot m$ ]	
	Margen de valores	Valor medio
Terreno pantanoso	2 - 50	30
Barro mezclado con paja	2 - 200	40
Terreno fangoso y arcilloso	20 - 260	100
Arena y terreno arenoso	50 - 3000	200 (húmedo)
Turba	> 1200	200
Grava (húmeda)	50 - 3000	1000 (húmedo)
Terreno pedregoso y rocoso	100 - 8000	2000
Hormigón: 1 parte de cemento + 3 partes de arena	50 - 300	150
1 parte de cemento + 5 partes de grava	100 - 8000	400

**Tabla 1** Resistividad de varios suelos  
 Fuente: Markiewicz, H. & Klajn, A

Las dimensiones del lugar que alberga cada subestación son de 4.0 m. x 3.0 m., y está localizado sobre un terreno de tierra de arcilla y una capa inferior de caliza, con una resistividad promedio de  $\rho=21.85 \Omega\cdot m$ . de acuerdo a las mediciones realizadas.

Se utilizó un medidor de resistencias de tierra digital marca KOBAN modelo KRT-01-4P y se aplicó el método de tres puntos o Método de variación de profundidad (IEEE, 2000). La figura 4 ilustra las conexiones que deben realizarse al momento de la prueba.



**Figura 4** Conexiones en el método de los tres puntos  
 Fuente: IEEE-Std-80-2000.

Este método consiste en medir la resistencia de puesta a tierra de un electrodo tipo varilla y calcular la resistividad del suelo basado en la ecuación de resistencia a tierra de un electrodo

$$\rho = \frac{2\pi LR}{\ln\left(\frac{8L}{D}\right) - 1} \quad (1)$$

donde:

L = distancia entre electrodos, en m.

R = medición de resistencia, en Ohms

D = diámetro del electrodo tipo varilla, en m.

E, P y C: Electrodo tipo varilla, electrodo auxiliar de potencial y electrodo auxiliar de corriente respectivamente.

En nuestro caso, el valor promedio de resistencia que midió el equipo es de  $8.4 \Omega$ , con una distancia entre electrodos de 3 m. y con un diámetro de la varilla de 0.013 m. así, obtuvimos el valor de la resistividad

$$\rho = \frac{2\pi(3m)(8.4\Omega)}{\ln\left(\frac{8 \cdot 3m}{0.013m}\right) - 1} = 21.85 \Omega \cdot m$$

### Mediciones iniciales de Resistencia

Se realizaron las mediciones de la conexión a tierra para cada sistema (ver tabla 2).

Edificio	Subestación (kVA)	Resistencia ( $\Omega$ )
A	150	9.5
B	150	10.6
C y D	225	8.4
E y F	150 y 225	12.3

**Tabla 2** Mediciones en subestaciones

 Fuente: *Elaboración Propia*

De acuerdo con la tabla anterior, existen valores de resistencia de cada sistema de puesta a tierra que cumplen (edificios A, C y D) y otros que no cumplen (edificios B, E y F) con la NOM-001-SEDE-2012 ni con las Especificaciones CFE 01J00\_01, que es un valor máximo de 10  $\Omega$  en época de estiaje. Ningún sistema cumple la exigencia de la norma IEEE-Std-80-2002, la cual se muestra en las siguientes tablas.

Tipo de instalación eléctrica	Resistencia de puesta a tierra [ $\Omega$ ]
Subestaciones de gran tamaño (20,000 m <sup>2</sup> ) y de Transmisión	1 o menos
Subestaciones de plantas industriales, edificios e instalaciones comerciales grandes y subestaciones pequeñas	Rango de 1 a 5
Electrodos individuales (residenciales)	25
Torres de transmisión individuales	10

**Tabla 3** Valores de resistencia de puesta a tierra.

 Fuente: *IEEE-Std-80-2000*

Capacidad de la Subestación [MVA]	Resistencia de la Red de tierra [ $\Omega$ ]
$\leq 0.05$	12
0.05 – 0.1	6
0.1 – 0.5	2
0.5 – 1	1.5
1 – 50	1
50 – 100	0.5
> 100	0.2

**Tabla 4** Valores recomendados de la resistencia de puesta a tierra para subestaciones

 Fuente: *IEEE-Std-80-2000*

Derivado de lo anterior, cuando se presentan descargas atmosféricas o variaciones de voltaje, se dañan equipos eléctricos, principalmente equipo de cómputo y telecomunicaciones. Debido a esta problemática, se diseña un nuevo sistema de puesta a tierra tipo malla.

Se considera construir una red de tierras equipotencial para las cinco subestaciones de la Facultad, pero debido al bajo presupuesto, sólo se consideraron tres subestaciones, las más críticas.

La corriente de corto circuito ( $I_{cc}$ ) será calculada a partir de la potencia de corto circuito que proporciona la compañía suministradora la cual es de 800 MVA.

Debido a que la condición más crítica de corriente de cortocircuito en la subestación es producida por una falla de fase a tierra en la barra de 220/127V, la  $I_{cc}$  será calculada con la siguiente ecuación

$$I_{cc} = \frac{MVA_{cc}}{\sqrt{3}(kV)} [kA] \quad (2)$$

sustituyendo los datos, tenemos

$$I_{cc} = \frac{800MVA}{\sqrt{3}(13.8kV)} = 33.469kA$$

Considerando un factor de crecimiento a futuro del sistema, es decir  $f_c=1.3$ , la corriente de falla simétrica eficaz (rms) para el diseño de la red es

$$I_f = f_c * I_{cc} \quad (3)$$

Para nuestro sistema,  $I_f$  es

$$I_f = 1.3 * 33.469 = 43.51kA$$

### Cálculo de la sección transversal del conductor

La sección transversal del conductor para un sistema de tierra requerida, en función de la elevación de temperatura de corto tiempo, la magnitud y el tiempo de duración de la falla y cuando se conocen las constantes el material del conductor, se puede determinar con la siguiente ecuación, de acuerdo con Sverak (IEEE Std 837-1989, Apéndice B)

$$I_f = A \sqrt{\left[ \frac{TCAP * 10^{-4}}{t_c \sigma_r \rho_r} \right] \ln \left[ \frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right]} \quad (4)$$

donde:  $I_f$  = Corriente de falla rms en Ka

$A$  = Sección transversal del conductor en mm<sup>2</sup>

$T_m$  = Temperatura máxima permisible en °C

$T_a$  = Temperatura ambiente en °C

$T_r$  = Temperatura de referencia para las constantes del material en °C

$\sigma_0$  = Coeficiente térmico de la resistividad a 0°C en 1/°C

$\sigma_r$  = Coeficiente térmico de la resistividad a la temperatura de referencia  $T_r$  en 1/°C

$\rho_r$  = Resistividad del conductor de puesta a tierra a la temperatura de referencia  $T_a$  en  $\mu\Omega\text{-cm}$   
 $K_0 = 1/\sigma_r$  en  $^\circ\text{C}$   
 $t_c$  = Duración de la corriente en segundos  
 $TCAP$  = Capacidad térmica por unidad de volumen, en  $\text{J}/\text{cm}^3/^\circ\text{C}$ .

Para conductores de cobre a cierta temperatura de referencia y con la conductividad de 97%, se tiene los siguientes valores (IEEE,2000)

$$\begin{aligned} \sigma_r &= 0.00381 \text{ } 1/^\circ\text{C} \text{ con } T_r = 20^\circ\text{C} \\ K_0 &= 242^\circ\text{C} \\ T_m &= 1084^\circ\text{C} \\ \rho_r &= 1.78\mu\Omega - \text{cm con } T_r = 20^\circ\text{C} \\ TCAP &= 3.42 \text{ } \text{J}/(\text{cm}^3/^\circ\text{C}) \\ T_a &= 29^\circ\text{C} \end{aligned}$$

De la ecuación (4), despejando el área  $A$  de la sección transversal del conductor, tenemos

$$A = \frac{I_f}{\sqrt{\left[\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \sigma_r \rho_r}\right] \ln\left[\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right]}}$$

sustituyendo los valores del conductor,

$$A = \frac{43.51}{\sqrt{\left[\frac{3.42 \times 10^{-4}}{0.5 \times 0.00381 \times 1.78}\right] \ln\left[\frac{242 + 1084}{242 + 29}\right]}} = \frac{43.51}{\sqrt{0.1078 \times 1.587}} = 105.17 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, para esta área de la sección del conductor, tenemos un calibre

$$A_T = 105.17 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Cal } 4/0 \text{ AWG}$$

Con la sección transversal mínima obtenida se puede seleccionar el conductor de sección transversal inmediata superior existente de acuerdo con la norma NOM-001-SEDE-2012 lo que resulta ser de  $107.2 \text{ mm}^2$  (4/0 AWG) de cobre, siendo este calibre idóneo por su resistencia mecánica, mejor conductividad tanto eléctrica como térmica y sobre todo por ser resistente a la corrosión debido a que es catódico respecto a otros materiales que pudieran estar enterrados cerca de este conductor.

### Límite de Tensiones de paso y de contacto

Siguiendo la metodología de IEEE-Std-80-2000, se procede a calcular los potenciales de paso y de contacto, considerando una duración de falla de 0.5 s y una resistividad promedio del terreno de  $\rho=21.85 \Omega\text{-m}$ .

Para el diseño se considera que no se tiene una capa superficial por lo que:  $\rho_s = \rho$  y  $C_s = 1$ .

La tensión de paso para 50 kg está dada por:

$$E_{\text{paso}} = (1000\Omega + (6C_s * \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}) \quad (5)$$

Sustituyendo los valores, tenemos

$$\begin{aligned} E_{\text{paso}} &= (1000\Omega + (6C_s * \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}) \\ E_{\text{paso}} &= (1000 + ((6 * 1) * (21.85) \frac{0.116}{\sqrt{0.5}}) \\ &= (1000 + 131.1) * 0.1640 \end{aligned}$$

$$E_{\text{paso}} = 185.5V$$

Asimismo, la tensión de contacto para 50 kg esta dada por

$$E_{\text{contacto}} = (1000\Omega + (1.5C_s * \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}) \quad (6)$$

Sustituyendo los datos, tenemos

$$\begin{aligned} E_{\text{contacto}} &= (1000 + ((1.5 * 1) * (21.85) \frac{0.116}{\sqrt{0.5}}) \\ &= (1000 + 32.78) * 0.1640 \\ E_{\text{contacto}} &= 169.37V \end{aligned}$$

Estos valores cumplen con los límites normativos de acuerdo con la tabla 4 (IEEE, 2000).

Tiempo (s)	Tensión máxima de paso (V)	Tensión máxima de contacto (V)
> 5	500	50
3 - 5	640	64
2	690	69
1	785	78.5
0.9	800	80
0.7	1020	102
0.5	1440	194
0.2	3600	360
≤ 0.1	7200	720

**Tabla 5** Valores de tensión máximas admisibles para personas de 50 kg y 70 kg  
Fuente: IEEE-Std-80-2000

### Longitud total del conductor de la malla

La cantidad de conductor de la red de tierras es su longitud total. Para determinarla se debe procurar que las mallas formen lo más aproximado posible un cuadrilátero.

Por lo que la relación entre el número de mallas sobre el eje "X" y el número de mallas sobre el eje "Y" debe corresponder aproximadamente a la relación entre el largo y el ancho de la red.

$$\frac{\text{eje x}}{\text{eje y}} = \frac{\text{largo de la red}}{\text{ancho de la red}} = \frac{4}{3} = 1.33$$

Si en forma tentativa se consideran 5 hilos sobre el eje "x", el número de hilos sobre el eje "y" será:

$$\text{hiloseje "y"} = \frac{5}{1.33} = 3.76. \approx 4$$

Por lo que en forma preliminar la red estará constituida por 5 conductores transversales (paralelos al eje "y"), y de 4 conductores longitudinales (paralelos al eje "x"), con una longitud total ( $L_T$ ):

$$L_T = (a * L_x) + (b * L_y) + L_{punta} \quad (7)$$

Sustituyendo valores

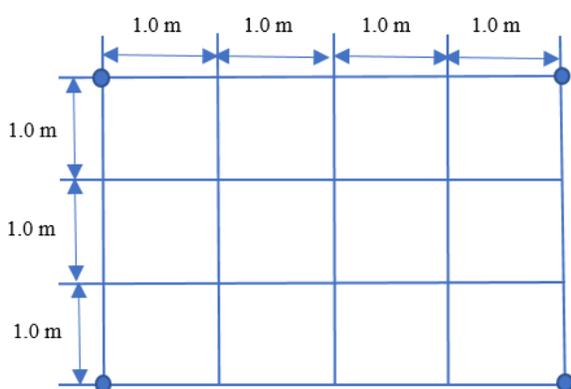
$$L_T = (4 * 3m) + (5 * 4m) = 32 m.$$

Con una separación preliminar entre los conductores paralelos igual a

$$D = \frac{2L_x * L_y}{L_C - L_X - L_Y} \quad (8)$$

Y así, obtenemos

$$D = \frac{(2 * 4 * 3)}{32 - 4 - 3} = 0.96 m. \approx 1 m.$$



**Figura 5** Dimensiones de la malla de tierra  
 Fuente: *Elaboración Propia*

Características de la malla:

A: Longitud de la malla ( $A = 4 m$ )

B: Ancho de la malla ( $B = 3 m$ )

L: Longitud del conductor ( $L = 32 m$ )

n: Número de conductores en paralelos de longitud A ( $n = 4$ )

m: Número de conductores en paralelo de longitud B ( $m = 5$ )

D: Espaciamiento entre conductores ( $D = 1 m$ )

h: Profundidad de enterramiento ( $h = 0.60 m$ )

d: Diámetro del conductor ( $d = 11.68 mm = 0.01168 m$ ).

### Resistencia de Puesta a Tierra

Para calcular la resistencia de puesta a tierra utilizaremos el método de Laurent y Niemann, el cual tiene la siguiente ecuación para su cálculo

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \quad (9)$$

donde:

$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$  y es conocido como radio equivalente.

L: longitud del conductor

$$A = (3.0 m. \times 4.0 m.) = 12.0 m^2$$

Tenemos que

$$r = \sqrt{\frac{12}{\pi}} = 1.954 m.$$

Por lo tanto:

$$R = \frac{21.85}{4(1.954)} + \frac{21.85}{32} = 2.79 + 0.68 = 3.47 \Omega$$

Este valor cumple con la normativa de la tabla 3 para las subestaciones de la Facultad: 150 kVA y 225 kVA.

### Número mínimo de varillas

El número mínimo de varillas que requerido es:

$$N_v = 0.60\sqrt{A} \quad (10)$$

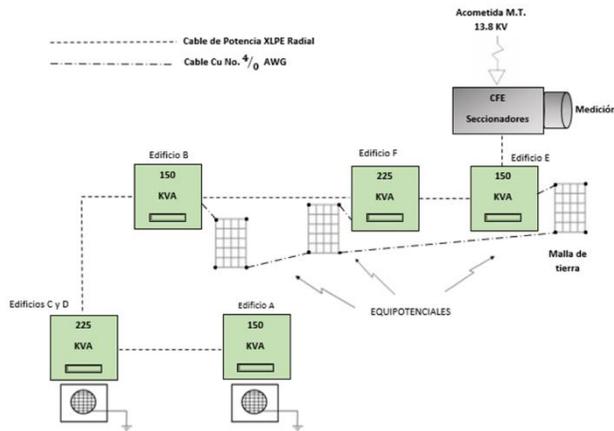
Entonces tenemos que

$$N_v = 0.60\sqrt{12} = 2$$

El número de varillas que se instalarán en total son 4 por lo que se cumple con el valor calculado.

### Resultados

Se instalaron tres mallas de puesta a tierra, para los edificios más críticos, tal como se muestra en la figura 6.



**Figura 6** Sistema de puesta a tierra actual.  
 Fuente: Elaboración propia

Se realizaron las mediciones al sistema interconectado y equipotencial formado por los edificios B, E y F para comparar con las mediciones iniciales mostradas en la tabla 1.

Edificio	Subestación (kVA)	Resistencia ( $\Omega$ )
A	150	9.7
B	150	3.6
C y D	225	8.8
E	150	3.7
F	225	3.9

**Tabla 6** Nuevas mediciones en subestaciones  
 Fuente: Elaboración Propia

Las mediciones muestran que el sistema interconectado formado por las mallas de los edificios B, E y F son equipotenciales. En los edificios A, C y D no se realizaron modificaciones por lo que se mantuvieron las mediciones iniciales ya que son sistemas de puesta a tierra con electrodo e independientes.

### Conclusiones y trabajos futuros

En este artículo se realizó el diseño e implementación de un sistema de tierras integral y equipotencial en la Facultad de Ingeniería para proporcionar condiciones de seguridad a las personas y equipos que operan en la instalación eléctrica en baja tensión, drenando rápidamente la falla, logrando que el valor del voltaje con respecto a la tierra que se alcance en la parte fallada sea igual o inferior al valor de seguridad.

Mediante las mediciones, primero, de resistencia del suelo, se obtuvo el nivel de resistividad que fue el punto de partida de nuestro diseño; segundo, las mediciones de nivel de resistencia de puesta a tierra de las cinco subestaciones nos mostraron que no cumplían con la normativa vigente.

Por lo que era común el daño permanente a equipos de cómputo y telecomunicaciones. Se implementó el sistema de tierra integral, sólo de las tres subestaciones más críticas, con el mayor valor de resistencia de puesta a tierra y se logró alcanzar los valores normativos. Se demuestra que al implementar estas medidas las condiciones de seguridad son confiables para los seres humanos y los equipos y que se le está dando el interés debido al sistema de puesta a tierra.

Como acciones futuras, se pretende en un corto plazo integrar al sistema de puesta a tierra a los edificios A, C y D, para tener seguridad y confiabilidad en todo el campus de la facultad de Ingeniería y elaborar un programa de mantenimiento preventivo.

Se concluye que la metodología empleada es una guía de acciones que se deben realizar de manera ordenada y con un orden cronológico en Instituciones de Educación Superior con el fin de optimizar el sistema de puesta a tierra.

### Referencias

- Asociación de Normalización y Certificación A. C. (2005). Norma NXM-J-549-ANCE-2005, Sistema de protección contra tormentas eléctricas. México.
- Baca, L. F. G., Flores, S. C., Medina-González, I., Olvera, A. A., Hermanson, P. M., Solís, C. A. G., & Glantz, R. S. (2019). *Conservación de bienes culturales: acciones y reflexiones*. Instituto Nacional de Antropología e Historia
- Cabrera Dávila, G. D. L. C. (2019). *Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba*. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante. España.
- Checkland, P. & Scholes J. (1994). *Metodología de los sistemas suaves en acción*. México: Megabyte, Noriega Editores. 352p.
- Comisión Federal de Electricidad. (2015). *Especificaciones CFE 01J00\_01*. México.

Dawalibi, F. & Mukhedkar, D. (1979) *Resistance measurement of large grounding systems*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, November/December, Vol. PAS-98, No. 6, pp.2348–2354.

Díaz, P. (2001). Soluciones prácticas para la puesta a tierra de sistemas eléctricos. México: Editorial Mc Graw Hill.

Estevez L. (2012) *NOM 001 Sede 2012 Instalaciones Eléctricas (Utilización)*. México: Limusa.

García Márquez, R. (2001). *La puesta a tierra de instalaciones eléctricas*. México: Alfaomega Marcombo.

Guemes, J. A. & Hernando, F. E. (2004). *Method for calculating grounding resistance of grounding grids using FEM*, IEEE Transactions on Power Delivery, April, Vol. 19, No. 2, pp.595–600.

Herrera, J. A. & Castro, O. (2003). *Cálculo de la malla de puesta a tierra de una subestación*. Scientia et Technica, Año IX, No. 22, Colombia: Redalyc.

León, M., & Roger, W. (2019). Índice de diversidad de flora silvestre y concentración de metales pesados del suelo asociados a los Géiseres de la Micro Cuenca de Calientes, Provincia de Candarave–Tacna. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Perú.

Markiewicz, H. & Klajn, A. (2003). *Puestas a tierra y EMC*. Wroclaw University of Technology. Reino Unido; Leonardo Power Quality Initiative.

Melgar Chipana, A., Yactayo, Y., & Daniel, J. (2019). Análisis descriptivo del cumplimiento del plan estratégico del sector pesquero peruano en el periodo 2012 al 2016. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Perú. Perú.

Mollo, A., & Benjamin, M. (2019). *Estudio Geofísico de Resistividad Eléctrica aplicando la configuración Dipolo–Dipolo para localización de cavidades en el municipio de solidaridad, playa del Carmen, estado de Quintana, ROO, Mexico*. “Proyecto Predio 3.04 HAS”.

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (2000). *Norma ANSI/IEEE-Std-80-2000, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. USA.

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (2012). *Norma ANSI/IEEE-Std-81-2012, IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems*. USA.

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (1989). *Norma ANSI/IEEE Std 837-1989, IEEE Standard for Qualifying Permanent Connections Used in Substation Grounding*. USA.

Velasco Solís, J. (2007). Entendiendo el sistema de tierras basado en la NOM. México: Ingeniería Mecánica Industrial.

## Sistema de control de temperatura on-off implementado en el proceso de termoformado para elaboración de bloque a partir de envases multicapas

### On-off temperature control system implemented in the thermoforming process for block production from multi-layer containers

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

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

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

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Ma. de los Ángeles, Enriquez-Perez / ORC ID: 0000-0002-2280-0661, Researcher ID Thomson: H-9399-2018

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Roberto, López-Ramírez / ORC ID: 0000-0001-8341-3684, CVU CONACYT ID: 233228

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Jorge Edmundo, Mastache-Mastache / ORC ID: 0000-0001-6104-6764, Researcher ID Thomson: H-1187-2018, CVU CONACYT ID: 544943

DOI: 10.35429/JEE.2019.10.3.17.21

Recibido Junio 20, 2019; Aceptado Septiembre 30, 2019

#### Resumen

En este trabajo se diseñó e implementó un sistema de control de temperatura (SCT) en el proceso de termoformado para la fabricación de bloques para construcción de muros (BCM). El proceso de control en el SCT consiste en establecer la temperatura de referencia para el termoformado y enviarla al microcontrolador Mega 2560. Este componente procesa la señal de entrada, obteniendo seis señales digitales que controlan la temperatura de la superficie de cada una de las caras externas del molde del BCM que posee una geometría de prisma rectangular. Estas señales son enviadas a la etapa de aislamiento eléctrico donde son excitados los actuadores habilitan seis resistencias eléctricas (200 Watts a 120 Volts). La retroalimentación de la temperatura en el sistema de control se realizó a través de termopares tipo-k, cuyas señales analógicas se comparan con la señal de referencia para regular la temperatura. Este proyecto contribuirá a establecer y controlar la temperatura de las resistencias, implementadas para el proceso de termoformado, para la elaboración de bloques utilizando envases multicapas.

Control, temperatura, termoformado

#### Abstract

In this work, a temperature control system (SCT) was designed and implemented in the thermoforming process for the manufacture of blocks for wall construction (BCM). The control process in the SCT consists in establishing the reference temperature for the thermoforming and send it to the Mega 2560 microcontroller. This component processes the input signal, obtaining six digital signals that control the surface temperature of each of the external faces of the BCM mold that has a rectangular prism geometry. These signals are sent to the electrical isolation stage where the actuators enable six electrical resistances (200 Watts to 120 Volts). The feedback of the temperature in the control system was made through type-k thermocouples, whose analog signals are compared with the reference signal to regulate the temperature. This project contributes to establish and control the temperature of the resistances, implemented for the thermoforming process, for the elaboration of blocks using multilayer containers.

Control, temperature, thermoforming

**Citación:** ROSALES-DAVALOS, Jaime, ENRIQUEZ-PEREZ, Ma. de los Ángeles, LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto y MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo. Sistema de control de temperatura on-off implementado en el proceso de termoformado para elaboración de bloque a partir de envases multicapas. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2019. 3-10: 17-21

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

\*Correspondencia al Autor correo electrónico: (jaime.rosales@tesjo.edu.mx)

## Introducción

Inicialmente, la humanidad generaba residuos biodegradables con alto grado de descomposición, de manera que la naturaleza podía conservar su equilibrio. Poco a poco, con la nuevas tecnologías y maquinarias se fueron generando residuos no biodegradables que han amenazado la capacidad de autodepuración de la naturaleza, en consecuencia, creado la necesidad de disminuir el impacto negativo al medio ambiente (Bernard, 1999).

Por ello surgen nuevas alternativas para reusar los desechos generados de los envases multicapa. Es decir, la empresa tetra pak en México se ha propuesto que para el 2020, agregaran 24,000 envases de Tetra Pak para reciclar y se incrementara 35% al 40% su tasa de reciclaje en México (Tetra Pak busca aumentar su tasa de reciclaje, 2019).

Si se centra la atención en los residuos generados por estos envases, una de las formas de reciclaje de este producto es por el proceso de termformado donde el material es molido y aplicando una temperatura, la cual integra los componentes para formar un solo material. Un factor importante es el control de la temperatura en el termformado, en la década de los 80's hasta la actualidad se ha implementado el proceso de termformado en la elaboración de diversos productos (empaques, contenedores de comida, partes de automóviles, señalizaciones y anuncios, en la construcción de los muros de las viviendas, equipaje y equipos fotográficos) a partir de pellet de resina; además de reciclar su desperdicio, donde todos los polímeros termoplásticos son adecuados.

El proceso consiste en el calentamiento de laminas de diferentes espesores que se les trasmite calor uniformemente. Este proceso puede ser suministrado por gas con circulación de aire y temperatura o por resistencias eléctricas entre 180°C a 200°C (PLASTIGLAS, 1990).

Los hornos están construidos de placas metálicas, en su interior hay resistencias eléctricas de una determinada potencia eléctrica para el calentamiento de los mismos. Las resistencias pueden ser de tipo "S" o "U", y sus características eléctricas varían de acuerdo a los requerimientos de la planta.

Y finalmente el control de temperatura de termformado es importante para la producción y el cumplimiento con las normas de calidad INEN del producto (INEN, 2010). La calidad dimensional y defectos de acabados en productos son afectados a los amplios rangos de variación de temperatura en el proceso (Jiang & Jiang, 2012).

Los sistemas de las plantas de termformado la mayoría son no lineales. Esto se debe a la forma de las resistencias que podrían producir una irradiación irregular de calor en el horno (Wang, 2012). Además, también interviene la posición del sensor de temperatura y el retardo del sistema de TUMBASEC. C. A.

Por los factores que interviene en el proceso de termformado el sistema se convierte en un sistema complejo, por lo tanto, la mayoría de los sistemas son ON-OFF, debido a que el método es más sencillo de implementar (Jiang & Jiang, 2012)

Las máquinas de procesamiento de plástico en Ecuador utilizan controladores pirométricos, las restantes implementan PLC's las cuales son programadas con controladores de tipo On-Off (Martínez & Moya, 2015)

Como lo menciona Bernard, una alternativa para disminuir el impacto ambiental, es reutilizando los envases multicapa en la elaboración de aglomerados, por lo tanto, se diseñó e implementó un sistema de control de temperatura (SCT) On-Off el proceso de termformado donde se fabrican bloques para la construcción de muros (BCM) a partir de reciclar envases multicapa (contienen 75 % de cartón, 20% de polietileno y 5% de aluminio), los cuales son usados de manera indiscriminada y es inadecuada su disposición final; por lo tanto, se emplea el proceso de separación y reciclaje para la minimización del daño originado (Martínez Barrera, Hernández Zaragoza, López Lara, & Menchaca Campos, 2015), los cuales pueden ser usados para la fabricación de muebles de oficina, ya que está reportado que pueden reemplazar algunos artículos hechos de madera, disminuyendo la tala de madera (Inche Mitma, Vergiú Canto, Mavila Hinojoza, Godoy Martínez, & Chung Pinzás, 2004).

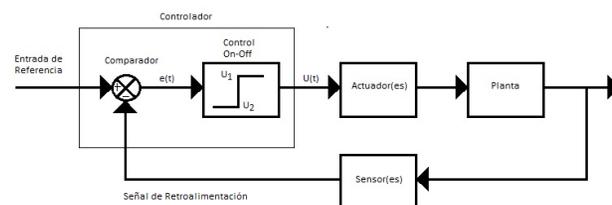
Las etapas del proceso para la fabricación de bloque son: a) Etapa de molienda que consiste generar hojuelas de tamaño de 3mm aproximadamente a partir de las cajas o envases multicapas, esto se realiza con un sistema electromecánico de trituración, después se depositan las hojuelas de los envases multicapa en el interior del molde de geometría de un prisma rectangular, inmediatamente se le trasfiere temperatura al interior del molde a través de resistencias eléctricas; se establece el valor de referencia de temperatura de 170°C a 180°C, donde el sistema de control manipula la temperatura, que se mantenga en el valor deseado, para la producción y el cumplimiento con las normas de calidad (INEN, 2010).

Este proceso se realiza en un periodo de 20 min y finalmente se procede a la etapa de enfriamiento del molde en conjunto con el bloque en un periodo de 20 a 30 min. Finalmente, se extra el bloque resultante. Es por eso, que en este trabajo se reporta el diseño y construcción de un sistema de control cerrado On-Off para el control de temperatura en el proceso de termoformado para la elaboración de bloques multicapas para su posible uso en la industria de la construcción.

### Descripción del método

Para determinar la curva característica de la planta (resistencias eléctricas plana de 200 Watts a 120 Volts), la temperatura depende del tiempo; aplicando diferentes niveles de voltaje de corriente alterna en un periodo de 60 min, partiendo la temperatura ambiental, después se determinaron los valores de las constantes de ganancia ( $K$ ), el tiempo de retardo ( $L$ ) y la constante de tiempo ( $T$ ) de cada una de las curva características de la resistencia eléctrica plana, implementando el método de Ziegler-Nichols, consistió en trazar una recta tangente a la curva característica de la resistencia eléctrica o implementado Matlab (Benjamin, 1996). para obtener la función de transferencia de la planta, ver ecuación 1. Por consiguiente, se diseño e implemento el control On-Off utilizando el microcontrolador ATMEGA 2560 (software y base de datos), la etapa de actuadores esta constituida por optoacopladores, amplificadores y reles; finalmente se implemento el sistema de control On-Off basado en el diagrama de bloques, ver figura 1, donde  $U(t)$  es la señal de salida del controlador y  $e(t)$  es la señal de error y  $U_1$  es un valor máximo y  $U_2$  es igual a cero.

$$\frac{c(s)}{u(s)} = \frac{ke^{Ls}}{Ts+1} \quad (1)$$



**Figura 1** Diagrama de bloques de un controlador On-Off  
Fuente (Ogata, 1998)

El valor de la salida del controlador depende del error entre la señal de referencia y retroalimentación, si el error es mayor a cero la salida del controlador será el valor máximo, en caso contrario; es decir, el error es menor a cero la salida del controlador es un valor mínimo, en relación a la ecuación 2 y 3 (Ogata, 1998).

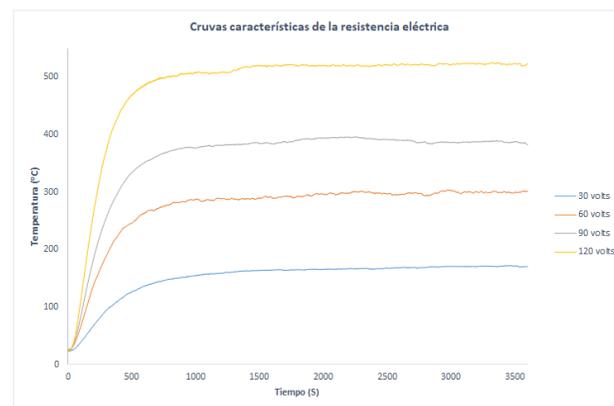
$$U(t) = U_1 \text{ para } e(t) > 0 \quad (2)$$

$$U(t) = U_2 \text{ para } e(t) < 0 \quad (3)$$

Se establecieron los rangos de entrada y salida de cada bloque de la figura 1. Finalmente, se obtuvieron las curvas del comportamiento del sistema a lazo cerrado On-Off, a diferente nivel valores referencia.

### Resultados

En la figura 2, se muestran las curvas características de la planta para cuatro niveles de voltaje de corriente alterna 30, 60, 90 y 120 V<sub>AC</sub>, al incrementar el voltaje de corriente alterna que se aplica a la resistencia eléctrica aumenta la temperatura, y disminuye el tiempo en el que se estabiliza la temperatura así mismo la pendiente aumenta. En la tabla 1, se muestra el valor máximo de temperatura dependiendo de la tensión de corriente alterna suministrado a la planta.



**Figura 2** Curvas características de la resistencia eléctrica  
Fuente: Elaboración Propia

Rangos de Temperatura	
Tensión [V <sub>AC</sub> ]	Temperatura [°C]
30	170
60	300
90	382
120	523

**Tabla 1** Relación del voltaje con temperatura  
Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente se obtienen los valores de la ganancia (*K*), tiempo de retardo (*L*) y constante de tiempo (*T*), de las graficas de la figura 2 (tabla 2). Implementando el método Ziegler-Nichols.

Tensión [V <sub>AC</sub> ]	Valores de la constante		
	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>T</i>
30	5.5699	-30	571.19
60	4.9112	-29.822	407.45
90	4.2288	-30	386.73
120	4.0891	-47.426	321.63

**Tabla 2** Constantes de la función de transferencia de la planta  
Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, la función de transferencia de la planta se determina por la ecuación 1, considerando los valores máximos de tensión y temperatura, se representan en la ecuación 4.

$$\frac{c(s)}{u(s)} = \frac{4.0891e^{-47.426s}}{321.63s+1} \quad (4)$$

En la tabla 3, se muestran los rangos de entrada y salida de cada bloque.

Bloque	Entrada	Salida
Referencia		0-600 [°C]
Error	0-30 [V <sub>DC</sub> ]	0-20 [V <sub>DC</sub> ]
Control On-Off	0-20 [V <sub>DC</sub> ]	0-5 [V <sub>DC</sub> ]
Planta	0-120 [V <sub>AC</sub> ]	0-600 [°C]
Sensor	0-600 [°C]	0-5 [V <sub>DC</sub> ]

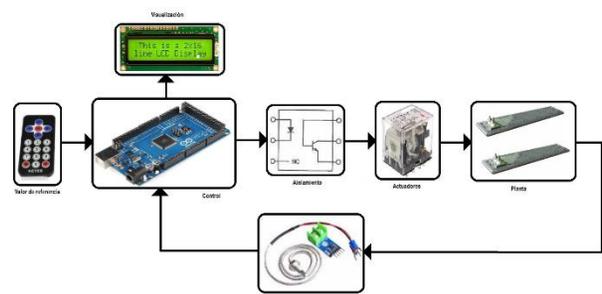
**Tabla 3** Rango de entradas y salidas  
Fuente: Elaboración Propia

Después, se diseño el sistema de control a lazo cerrado On-Off en relación a los rangos de entrada y salida. En la figura 3, se representan las etapas del sistema de control; el valor de referencia es una señal analógica que se introduce a una entrada analógica del microcontrolador ATMEGA 2560, en otras palabras, si el error es mayor a cero la señal de salida del controlador es 5V<sub>DC</sub>, en caso contrario, es decir, el valor del error es menor a cero la salida del controlador es cero, en relación a las ecuaciones 2 y 3 se obtienen:

$$U(t) = U_1 = 5V_{DC} \text{ para } e(t) > 0 \quad (5)$$

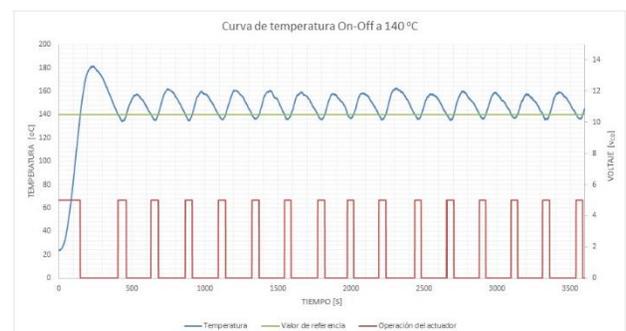
$$U(t) = U_2 = 0V_{DC} \text{ para } e(t) < 0 \quad (6)$$

Cuando el error es mayor a cero se cumple la ecuación 5, se obtiene una señal digital máxima de salida del control On-Off seguidamente se excita a los actuadores e inmediatamente se habilita a la planta que incrementa la temperatura hasta alcanza el valor de referencia y posteriormente se compara constantemente el valor de referencia y retroalimentación, cuando el error es menor a cero la salida del control On-Off conmuta de 5 V<sub>DC</sub> a 0 V<sub>DC</sub>, por lo tanto los actuadores se desenergizan, por consiguiente, la planta no trasmite energía calorífica al molde, consiguientemente se repite el ciclo, ver figura 3.

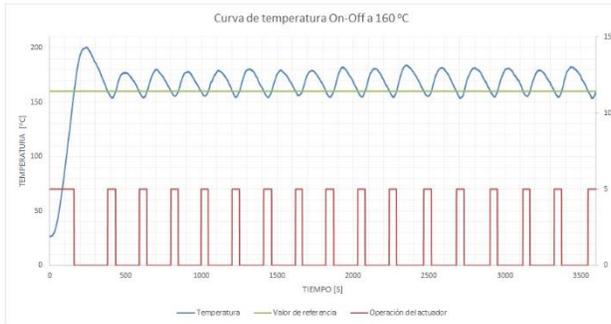


**Figura 3** Sistema de control a lazo cerrado On-Off  
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4 y 5, se muestran las curvas del comportamiento del sistema a lazo cerrado On-Off, donde el valor de referencia es 140 °C y 160 °C. El periodo de tiempo activo es 48 seg y 175seg en el tiempo bajo. Por lo tanto, el periodo de tiempo de oscilación de 223 seg



**Figura 4** Curvas comportamiento del sistema de control On-Off con un valor de referencia 140°C  
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5** Curvas comportamiento del sistema de control On-Off con un valor de referencia 160°C  
Fuente: Elaboración Propia

### Agradecimientos

Al Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán por el apoyo económico y sus instalaciones

### Conclusiones

Se obtuvieron los bolques para la construcción de muro reciclando los envases multicapa, implementando el sistema de control On-Off en el proceso de termofomado, donde se controla la temperatura de las resistencias eléctricas acopladas en cada uno de placas laterales, inferior y superior en el exterior molde, por consecuencia se manipula la temperatura en el interior del molde establecida entre 170 °C a 180 °C en un tiempo de 20 minutos.

Una ventaja del sistema de control, es poder manipular seis resistencias eléctricas de corriente alterna con el sistema de control; aunque no todas las resistencias eléctricas aumentan proporcionalmente la temperatura con respecto al tiempo, considerando las características eléctricas que las resistencias son semejantes.

### Referencias

Benjamin, K. (1996). *Sistemas de Control Automatico*. México: Prentice Hall.

Bernard, J. (1999). *Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible*. México: Pearson.

Inche Mitma, J., Vergiú Canto, J., Mavila Hinojoza, D., Godoy Martínez, M., & Chung Pinzás, A. (2004). Diseño y evaluación de una planta de reciclaje de envases Tetra Pak a pequeña escala. *Industrial Data*, 7-17.

INEN, (2010). *Norma 2542. Tolerancias en dimensiones. Laminas plasticas. Requisitos*. Obtenido de <http://www.normalización.gob.ec>

Jiang, W., & Jiang, X. (2012). Design of an Intelligent Temperature Control System Based on the Fuzzy Self-tuning PID. *Procedia Engineering*, 307-311.

Martínez, L. E., & Moya, F. A. (2015). *Diseño y construcción de una maquina termoformadora de plastico con control automatico para la empresa Miviltech Soluciones Industriales S. A.*

Martínez Barrera, G., Hernández Zaragoza, J. B., López Lara, T., & Menchaca Campos, C. (2015). Reciclaje de Plásticos, Materiales sustentables y reciclados en la construcción. *OmniaScience*, 124.

Ogata, K. (1998). *Ingeniería de Control Moderna*. Prentice Hall.

PLASTIGLAS. (1990). *Manual Técnico TERMOFORMADO*.

Tetra Pak busca aumentar su tasa de reciclaje. (01 de 07 de 2019). *El Economista*. Obtenido de <http://www.economista.com.mx/empresas/Tetra-Pak-busca-aumentar-su-tasa-de-reciclaje-20190107-0100.html>

Wang, S. (2012). Resistance Furnace Temperature System on Fuzzy PID Controller. *Journal of Information & Computational Science*, 2627-2634.

## Modelo predictivo inteligente para la generación de energía eléctrica en un sistema fotovoltaico

### Intelligent forecast model for electrical power generation in a photovoltaic system

ARELLANO-VALMAÑA, Fernando\*†, RUZ-HERNANDEZ, Jose Antonio y PITALÚA-DÍAZ, Nun

*Universidad Autónoma del Carmen – Departamento de Ingeniería y Tecnología*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Fernando, Arellano-Valmaña* / ORC ID: 0000-0003-4799-6354, Researcher ID Thomson: F-8025-2019, CVU CONACYT ID: 669418

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *José Antonio, Ruz-Hernández* / ORC ID: 0000-0001-8332-4980, CVU CONACYT ID: 216374, SNI CONACYT: 41306

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Nun, Pitalúa-Díaz* / ORC ID: 0000-0002-8671-1422, Researcher ID Thomson: G-1230-2019, CVU CONACYT ID: 100050

DOI: 10.35429/JEE.2019.10.3.22.29

Recibido Junio 20, 2019; Aceptado Septiembre 30, 2019

#### Resumen

La energía solar es hoy en día la fuente renovable de mayor recurso mundialmente donde su obtención, a diferencia de muchas otras utilizadas actualmente, no supone ningún daño para el medio ambiente. Administrar satisfactoriamente la demanda de electricidad por sistemas fotovoltaicos requiere una planeación cuidadosa, sin embargo, definir el comportamiento solar e incluso predecir la radiación solar incidente es un proceso completamente estocástico debido a la influencia de variables meteorológicas. Para superar este problema, este trabajo monitorea diversas variables atmosféricas a través de una estación ubicada en la Universidad de Sonora en Hermosillo, México; y registra mediciones en tiempo real cada 5 minutos a lo largo de 6 meses. A partir de los datos obtenidos se presenta el desarrollo de un método computacional aplicando un sistema de inferencia difusa basado en redes neuronales (ANFIS) como técnica inteligente para predecir la potencia eléctrica de un sistema fotovoltaico instalado en el mismo sitio. Es de vital importancia entender la influencia de las variables meteorológicas en el consumo de energía, donde un mejor entendimiento de ellas puede contribuir en una estrategia de mayor utilidad para alcanzar la eficiencia energética para México.

**Sistema fotovoltaico, variables meteorológicas, Sistema de inferencia difusa basado en redes neuronales (ANFIS)**

#### Abstract

Solar energy is currently the most resourceful renewable source worldwide in which its obtainment, unlike many others currently used, does not mean any harm to the environment. To manage satisfactorily the electricity demand of photovoltaic systems a careful planning is required, nonetheless, to set successfully the solar behavior and even more to predict the amount of incident solar radiation is a completely stochastic process due the influence of meteorological variables. To overcome this problem, this study monitors diverse atmospheric variables by using a meteorological station located in the University of Sonora in Hermosillo city, Mexico; and registers real-time measure values every 5 minutes for 6 months. From the data obtained a computational model applying an Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) as intelligent technique is presented in order to forecast the electrical power from a photovoltaic system installed in the same site. It is vital to understand the influence of meteorological variables on energy consumption in which a better understanding of it can contribute to a more useful strategy in meeting energy efficiency goal for Mexico.

**Photovoltaic system, meteorological variables, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)**

**Citación:** ARELLANO-VALMAÑA, Fernando, RUZ-HERNANDEZ, Jose Antonio y PITALÚA-DÍAZ, Nun. Modelo predictivo inteligente para la generación de energía eléctrica en un sistema fotovoltaico. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2019. 3-10: 22-29

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

\*Correspondencia al Autor correo electrónico: (060038@mail.unacar.mx)

## Introducción

La creciente demografía global implica un aumento en la demanda energética, siendo insostenible si sólo se obtiene a través de recursos no renovables, llevando a un encarecimiento de los servicios. La energía solar es actualmente la fuente que mayor recurso tiene mundialmente (Dudley, 2018). El proceso de producción no supone daños al medio y la cantidad de recursos aprovechables supera a cualquier otra energía considerada. (Elshurafa et al., 2018; Philibert, 2011; Rasero, 2011; Wen-Tao et al., 2017).

La forma en que obtienen, transforman y distribuyen la radiación solar son los criterios más importantes por los cuales se caracterizan las tecnologías solares. De igual manera, se consideran las características de los sistemas fotovoltaicos para almacenar la energía generada (Järvelä et al., 2017). Una vez generada la potencia, gracias al uso de paneles solares, se suministra para alimentar la red eléctrica (Awan et al., 2018; Perea-Moreno et al., 2018; Zahedi, 2006).

México es un país con alta incidencia de radiación solar, con gran extensión territorial (dos de los aspectos más importantes en cuanto a generación fotovoltaica) y con estudios en energía solar; sin embargo, actualmente el nivel de investigación se encuentra por debajo de ciertas potencias tales como Alemania, Italia, España, Estados Unidos y China (Awan et al., 2018; Kazem et al., 2016; Wen-Tao et al., 2017; Zahedi, 2006).

Sin lugar a dudas, México tiene mucho potencial en cuanto a energía solar se refiere; si se comparara con Europa, el único país con una notoria incidencia de radiación es España alcanzando valores máximos entre 4.8 y 5.4 kWh/m<sup>2</sup> (ADRASE, 2018). Aun así, México excede a España alcanzando un promedio entre 5.6 y 6.2 kWh/m<sup>2</sup> en la región noroeste, superando incluso a China quien en su mayoría contempla valores de 4.6 kWh/m<sup>2</sup> (Ruz-Hernandez et al., 2019).

Sin embargo, el obtener exitosamente el comportamiento solar e incluso predecir la cantidad radiación solar directa o global incidente, contempla un proceso completamente estocástico.

Para superar este problema, muchos investigadores han optado por emplear métodos inteligentes (Grimaccia et al., 2011; Kashyap et al., 2015) debido a su capacidad de representar procesos lineales y no lineales con precisión, así como de estimar un sistema del cual no se conoce claramente su dinámica interna obteniendo mejores resultados que por métodos puramente estadísticos (Pitalúa-Díaz et al., 2019; Ruz-Hernandez et al., 2019).

Un sistema inteligente es un procedimiento de aprendizaje continuo con el objetivo de generar la salida más cercana posible a la real de referencia. Entre las técnicas más conocidas se encuentra la Red Neuronal Artificial (ANN por sus siglas en inglés), lógica difusa y la Red Adaptable basada en Sistemas de Inferencia Difusa (ANFIS por sus siglas en inglés) (Boyacioglu et al., 2010; Leva et al., 2017; Matich, 2001; Wen-Tao et al., 2017) siendo este último la combinación de los dos primeros, adoptando las fortalezas de cada uno. La parte de la lógica difusa en el ANFIS transforma las ideas, tal cual el cerebro humano las pensaría, en valores medibles de 0 a 1 (Pitalúa et al., 2008) y la parte de la ANN permite el aprendizaje constante del sistema (Chen et al., 2008). Ambas partes trabajan en conjunto para reducir a su mínimo posible el error entre la estimación y los datos reales.

El objetivo de este trabajo es estimar satisfactoriamente la potencia eléctrica de un sistema fotovoltaico (SFV) de 3.1kW ubicado en la ciudad de Hermosillo, Sonora usando las variables meteorológicas del sitio aplicando el ANFIS como técnica inteligente en su modalidad de predictor. La importancia de lograr exitosamente un modelo de estimación satisfactorio es crucial en estudios de precisión o en tareas de administración donde ciertas diferencias entre lo estimado y lo real pueden llevar a problemas económicos o pérdida de información.

Consecuentemente, se tendrá un mejor entendimiento de la energía solar como recurso renovable, así como de las variables meteorológicas involucradas en su generación; contribuyendo al avance científico del área al lograr un modelo SFV mexicano capaz de implementarse en cualquier ubicación.

Se busca que esta aportación logre mejoras en la eficiencia energética y futuros estudios basados en SFV tales como de dimensionamiento local o de controlabilidad y observabilidad.

La sección Introducción expone una breve explicación de los sistemas fotovoltaicos y técnicas inteligentes más comúnmente utilizadas, así como la problemática abordada en este trabajo y su importancia. La sección Metodología explica el concepto y teoría de la técnica inteligente ANFIS; así mismo, detalla el proceso que fue llevado a cabo para la implementación del modelo predictivo inteligente.

La sección Resultados y discusión se compone de los resultados obtenidos al comparar la señal de salida del ANFIS con la real recopilada por la planta; de igual manera, se presenta un análisis del error entre ambas señales y su coeficiente de determinación para evaluar la precisión. La sección Agradecimientos presenta a las instituciones involucradas que apoyaron en este estudio. Finalmente, se presentan las secciones Conclusión y Referencias del trabajo.

## Metodología

### ANFIS

Como bien se mencionó en la Introducción, la técnica inteligente a implementar es un ANFIS el cual combina dos técnicas inteligentes, red neuronal y lógica difusa, para ganar sus fortalezas y superar las debilidades de cada una. La Figura 1 muestra la estructura clásica de un ANFIS el cual consta de 2 entradas  $x_1$  y  $x_2$ , cada una con dos funciones de membresía las cuales convierten los valores de entrada a valores entre 0 y 1 para generar las sentencias o reglas difusas propias de la lógica difusa; estas son simbolizadas por  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$  y  $B_2$  en la Capa 1 y también se le conoce como la capa de la "fuzificación". La Capa 2 consta de nodos redondos u operaciones fijas. La ecuación 1 representa la salida obtenida entre cada dos funciones de membresía donde  $\mu$  es la función de membresía,  $A_i$  es la etiqueta lingüística y  $w_i$  es la salida o fuerza disparo de cada regla difusa o peso (Pitalúa et al., 2008).

$$w_i = \mu_{A_i}(x_1) \times \mu_{B_i}(x_2), \quad i = 1, 2. \quad (1)$$

La Capa 3 consta de la normalización de dichas fuerzas. La Capa 4 involucra ciertos parámetros conocidos como "consecuentes" los cuales permiten la "defuzificación" para generar resultados en el rango de la salida original. Finalmente, la Capa 5 concluye con un promedio de todas las salidas de la Capa 4 para encontrar un único resultado de salida descrito por la ecuación 2, donde  $f_i$  corresponde a la unión de los valores de entrada con los parámetros consecuentes de la Capa 4.

$$\text{Salida total} = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (2)$$

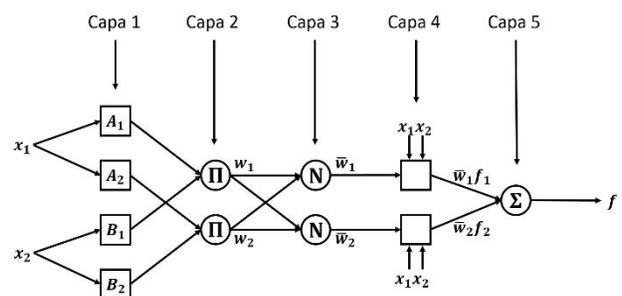


Figura 1 Estructura de un ANFIS

La parte de la red neuronal permite que los pesos y parámetros involucrados se ajusten continuamente a través del proceso de aprendizaje. El aprendizaje o entrenamiento involucrado para este trabajo se conoce como híbrido ya que contempla mínimos cuadrados para estimar el resultado de una capa hacia la siguiente, y la descendencia del gradiente que propaga el error de una capa hacia la anterior para minimizarlo ajustando los parámetros.

Para la descendencia del gradiente la ecuación 3 muestra la llamada función de costo descrita a través de la diferencia entre el valor estimado  $T_{m,p}$  y el real  $O_{m,p}$ , también conocido como el error  $E_p$  entre ambas señales. La descendencia del gradiente contempla derivadas parciales con respecto a  $\alpha$  (parámetro genérico del sistema) como lo demuestra la ecuación 4 y ésta a su vez se basa en la ecuación 5 la cual aplica la razón de aprendizaje representada por  $\eta$  (Jang, 1993).

$$E_p = \sum_{m=1}^L (T_{m,p} - O_{m,p}^L)^2 \quad (3)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial \alpha} = \sum_{p=1}^P \frac{\partial E_p}{\partial \alpha} \quad (4)$$

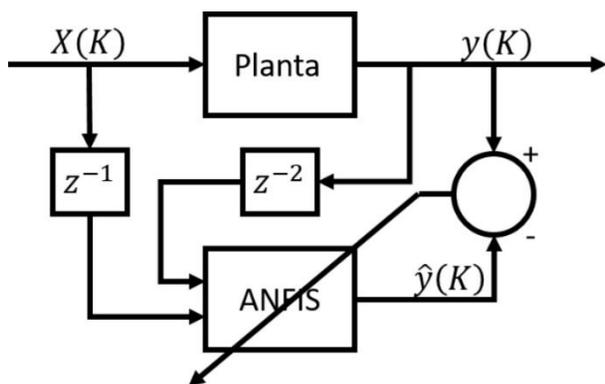
$$\Delta\alpha = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial \alpha} \quad (5)$$

**Modalidad y técnica de entrenamiento**

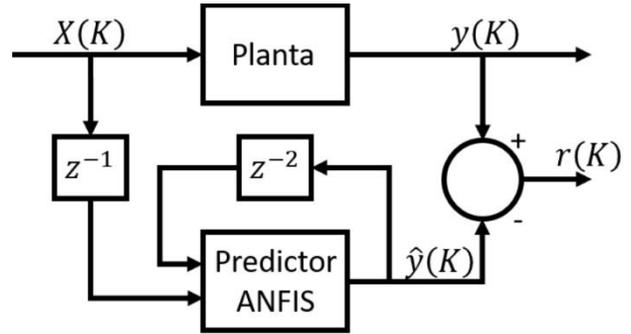
Para la obtención de un modelo ANFIS, cierta cantidad de los datos recabados se usa para lograr el entrenamiento y una vez logrado se prueba la estimación resultante con datos nuevos o frescos. Este trabajo incorpora el sistema inteligente en su modalidad de predictor el cual se describe por la ecuación 6, donde  $K$  representa la muestra considerada actualmente, y es la salida,  $X$  es el vector de variables de entrada y  $\hat{y}$  es la salida estimada. Se puede observar que para encontrar la salida actual se requiere el vector de entrada contemplando la muestra anterior y la salida estimada dos veces anterior.

$$\left. \begin{aligned} y(k) &= f(X(k-1), \hat{y}(k-2)) \\ X(k-1) &= x_1(k-1), \dots, x_i(k-1) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

La Figura 2 representa gráficamente el proceso de entrenamiento de acuerdo a lo mencionado anteriormente. El ANFIS toma las variables de entrada de la planta (sistema fotovoltaico) y considera la muestra anterior, mientras que la salida de la planta también es ingresada como entrada, pero considerando la muestra dos veces anterior. El resultado estimado se compara con la salida real de la planta y el error se utiliza para el entrenamiento del ANFIS. Una vez alcanzado el aprendizaje, se modifica el esquema generando una auto-recursividad (Figura 3) con la finalidad de que la entrada obtenida de la salida de la planta sea recolectada por la misma salida estimada del sistema ANFIS, de esta manera el modelo inteligente sólo depende de las variables meteorológicas como variables externas.



**Figura 2** Esquema de entrenamiento



**Figura 3** Esquema como predictor

Las variables utilizadas para el aprendizaje fueron: radiación solar con 4 funciones de membresía (FM) de tipo triangular, temperatura exterior con 3 FM de tipo gaussiana, humedad con 3 FM de tipo trapezoidal, presión atmosférica con 3 FM de tipo triangular, velocidad del viento con 3 FM de tipo triangular, dirección del viento con 3 FM de tipo triangular, hora del día con 3 FM de tipo triangular y la potencia con 4 FM de tipo gaussiana. Cada variable fue registrada cada 5 minutos durante 6 meses obteniéndose aproximadamente 16,300 datos por variable. La Tabla 1 muestra la simbología utilizada para representar cada variable.

Variable	Simbología
Radiación solar	$x_1$
Dirección del viento	$x_2$
Humedad	$x_3$
Presión atmosférica	$x_4$
Temperatura	$x_5$
Velocidad del viento	$x_6$
Hora del día	$x_7$
Potencia eléctrica	$y$

**Tabla 1** Simbología de las variables del modelo

Finalmente, una vez que el sistema ha sido debidamente entrenado se implementa la recursión de la potencia estimada para la modalidad de predictor, un acotamiento de la señal y condiciones iniciales.

**Consideraciones generales**

Teniendo en cuenta que el entrenamiento necesita de “ $n$ ” iteraciones para aprender, se concluye que el procesador que realizará el entrenamiento debe soportar la cantidad de variables de entrada, la cantidad de datos por variable, la cantidad de funciones de membresía para cada variable y la cantidad de repeticiones que tendrá el ANFIS durante su aprendizaje.

Esto plantea un problema en el tiempo de cómputo necesario para entrenar debido a la cantidad de memoria RAM que el procesador requiere. De acuerdo a lo anterior, se optó por una arquitectura donde las variables de entrada se reparten en 3 primeros ANFIS para su entrenamiento, mientras que un cuarto ANFIS reúne los resultados y entrena con ellos para obtener una sola salida; permitiendo mejorar la estimación final y reducir considerablemente el tiempo de procesamiento. Cada una de las 3 entradas del ANFIS 4 tienen 3 FM de tipo gaussiana. La ecuación 7 describe las funciones implementadas para entrenar cada ANFIS siendo  $s_i$  su respectivo resultado.

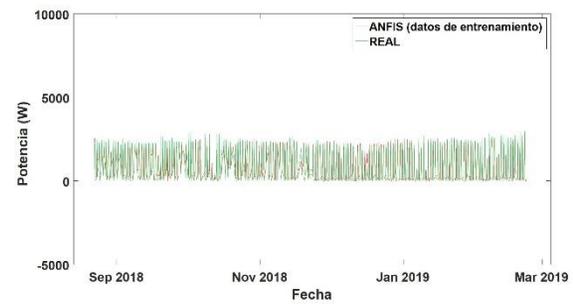
$$\left. \begin{aligned} s_1(K) &= f(x_1(K-1), x_2(K-1), x_3(K-1), y(K)) \\ s_2(K) &= f(x_4(K-1), x_5(K-1), y(K)) \\ s_3(K) &= f(x_6(K-1), x_7(K-1), y(K-2), y(K)) \\ s_4(K) &= f(s_1(K), s_2(K), s_3(K), y(K)) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Debido a que la potencia máxima que puede generar el sistema fotovoltaico real es de 3.1kW y la mínima es de cero, se aplica un acotamiento entre dichos valores para así evitar posibles picos de potencia imposibles físicamente. Las condiciones iniciales son requeridas ya que la potencia como entrada está considerada con un retardo ( $K-2$ ) respecto a las entradas restantes ( $K-1$ ); por lo que, para las dos primeras estimaciones a causa del retardo de segundo orden, el valor de potencia será considerado como el de la planta y consecuentemente se toma en cuenta el generado por la estimación gracias a la recursividad.

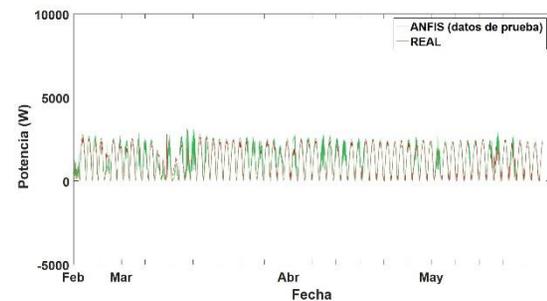
## Resultados y discusión

La Figura 4 muestra la estimación del modelo ANFIS implementado, considerando los datos del entrenamiento, en la cual se aprecia un resultado aceptable; sin embargo, para probar que dicho modelo logra un buen desempeño durante un período de tiempo fuera del de aprendizaje, se utilizaron 3 meses de datos recientes. La cantidad de reglas difusas para cada ANFIS fue de 36, 9, 36 y 27, respectivamente.

La figura 5 muestra un resultado satisfactorio en el cual el comportamiento del sistema neuro-difuso es muy cercano al real, incluso para los días donde la potencia fotovoltaica no fue la ideal, teniendo crestas por debajo del valor promedio y comportamientos estocásticos.



**Figura 4** Comparación entre la potencia real y la estimación del ANFIS para los datos de entrenamiento



**Figura 5** Comparación entre la potencia real y la estimación del ANFIS para los datos frescos

Para poder determinar el grado de satisfacción de los resultados obtenidos fue necesario aplicar un método que indique la cercanía de la estimación obtenida con respecto al comportamiento real. Para esto se empleó el coeficiente de determinación y el análisis del error entre ambas señales utilizando el software MATLAB.

El coeficiente de determinación, basado en el coeficiente de Pearson, está definido como el porcentaje de la variación de los valores de la variable dependiente que pueden ser explicados como cambios en la variable independiente. En otras palabras, un coeficiente de determinación  $R^2=0.23$  simboliza que el 23% de la variable dependiente está ligado a los cambios de la variable independiente (Taylor, 1990). El análisis del error fue realizado aplicando el MAE (Mean Absolute Error o Error Medio Absoluto) y el MAPE (Mean Absolute Percentage Error o Error Porcentual Medio Absoluto) como técnicas de evaluación de precisión por ser de los más utilizados en sistemas inteligentes. MAE y MAPE están descritas por las ecuaciones 8 y 9, respectivamente, donde  $N$  es la cantidad total de muestras,  $s$  es la muestra a considerar,  $P_m$  es el valor de potencia real o medida y  $P_e$  es la potencia estimada por el ANFIS (Dev et al., 2018; Pitalúa-Díaz et al., 2019; Ruz-Hernandez et al., 2019).

A partir de la Figura 6 y Figura 7 claramente se logra apreciar un comportamiento lineal de los datos puntuales (verde) el cual se comprueba con la línea de tendencia (roja) indicando que la estimación del modelo implementado es lineal y directamente proporcional a los valores reales. A su vez, la Tabla 2 detalla los valores obtenidos por cada método evaluado. Es posible observar que los resultados del error mostraron valores bajos estando alrededor del 7% entre ambas señales; y el coeficiente de determinación demostró el buen desempeño del modelo inteligente alcanzando un valor de 0.9742 para los datos frescos, muy cercano al 1.

$$MAE = \frac{\sum_{s=1}^N |P_m - P_e|}{N} \quad (8)$$

$$MAPE_{\%} = \frac{\sum_{s=1}^N \left| \frac{P_m - P_e}{\max(P_m) - \min(P_m)} \right|}{N} \cdot 100 \quad (9)$$

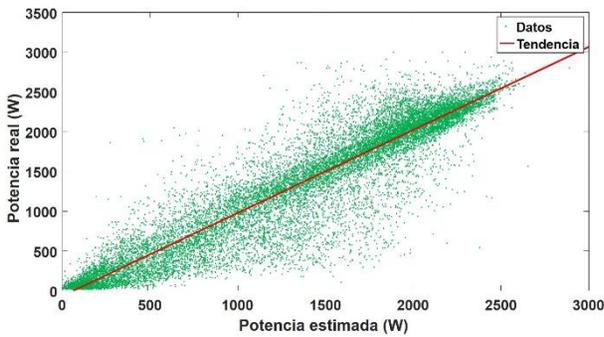


Figura 6 Gráfica de dispersión entre la potencia estimada y la potencia real (datos de entrenamiento)

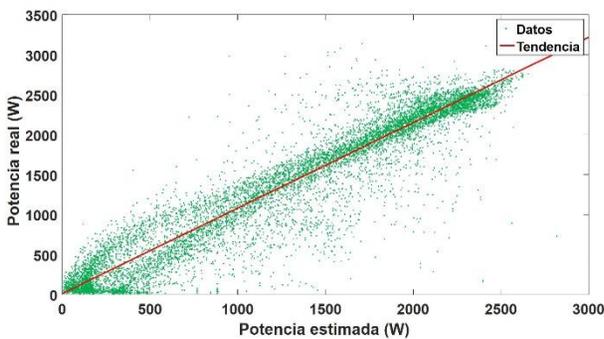


Figura 7 Gráfica de dispersión entre la potencia estimada y la potencia real (datos frescos)

Método	Entrenamiento	Prueba
R <sup>2</sup>	0.9662	0.9742
MAE	207.3163 W	218.6996 W
MAPE	6.9211 %	6.9851 %

Tabla 2 Resultados de valores de precisión

### Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR) y a la Universidad de Sonora (UNISON) por el apoyo para el desarrollo de este trabajo. De igual manera, se reconoce al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo con el programa de beca para maestría y la beca de movilidad 291249.

### Conclusión

Este trabajo demostró que la técnica inteligente ANFIS logra una estimación exitosa de la potencia eléctrica en un SFV al reproducir satisfactoriamente su comportamiento contemplando las variables meteorológicas del sitio, alcanzando un 97.42% para el coeficiente de determinación indicando una alta relación entre la estimación y la lectura real. Así mismo, los errores implementados describieron valores pequeños tanto en unidades de potencia como en porcentaje siendo de 218.6996W y 6.9851%, respectivamente, reforzando la utilidad y ventaja de usar el ANFIS como técnica inteligente.

### Referencias

ADRASE. (2018). Acceso a Datos de Radiación Solar en España. Disponible en <http://www.adrase.com/>

Awan, A., Zubair, M., P., P., Abokhalil, A., Awan, A. B., Zubair, M., ... Abokhalil, A. G. (2018). Solar Energy Resource Analysis and Evaluation of Photovoltaic System Performance in Various Regions of Saudi Arabia. *Sustainability*, 10(4), 1129. <https://doi.org/10.3390/su10041129>

Boyacioglu, M. A., & Avci, D. (2010). An Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS) for the prediction of stock market return: The case of the Istanbul Stock Exchange. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7908–7912. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2010.04.045>

Chen, S. H., Jakeman, A. J., & Norton, J. P. (2008). Artificial Intelligence techniques: An introduction to their use for modelling environmental systems. *Mathematics and Computers in Simulation*, 78(2–3), 379–400. <https://doi.org/10.1016/J.MATCOM.2008.01.028>

- Dev, S., AlSkaif, T., Hossari, M., Godina, R., Louwen, A., & van Sark, W. (2018). Solar Irradiance Forecasting Using Triple Exponential Smoothing. In *2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SEST.2018.8495816>
- Dudley, B. (2018). BP energy outlook 2040. *BP Plc2*. Disponible en <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf>
- Elshurafa, A. M., Albardi, S. R., Bigerna, S., & Bollino, C. A. (2018). Estimating the learning curve of solar PV balance-of-system for over 20 countries: Implications and policy recommendations. *Journal of Cleaner Production*, *196*, 122–134. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.06.016>
- Grimaccia, F., Mussetta, M., & Zich, R. (2011). Neuro-fuzzy predictive model for PV energy production based on weather forecast. In *2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011)* (pp. 2454–2457). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2011.6007687>
- Jang, J.-S. R. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, *23*(3), 665–685. <https://doi.org/10.1109/21.256541>
- Järvelä, M., Valkealahti, S., Järvelä, M., & Valkealahti, S. (2017). Ideal Operation of a Photovoltaic Power Plant Equipped with an Energy Storage System on Electricity Market. *Applied Sciences*, *7*(7), 749. <https://doi.org/10.3390/app7070749>
- Kashyap, Y., Bansal, A., & Sao, A. K. (2015). Solar radiation forecasting with multiple parameters neural networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *49*, 825–835. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.04.077>
- Kazem, H. A., Yousif, J. H., & Chaichan, M. T. (2016). Modeling of daily solar energy system prediction using support vector machine for Oman. *International Journal of Applied Engineering Research*, *11*(20), 10166–10172. Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/Miqdam\\_Chaichan/publication/309618489\\_Modelling\\_of\\_Daily\\_Solar\\_Energy\\_System\\_Prediction\\_using\\_Support\\_Vector\\_Machine\\_for\\_Oman/links/581a227908aeffb294131386/Modelling-of-Daily-Solar-Energy-System-Prediction-using-Suppo](https://www.researchgate.net/profile/Miqdam_Chaichan/publication/309618489_Modelling_of_Daily_Solar_Energy_System_Prediction_using_Support_Vector_Machine_for_Oman/links/581a227908aeffb294131386/Modelling-of-Daily-Solar-Energy-System-Prediction-using-Suppo)
- Leva, S., Dolara, A., Grimaccia, F., Mussetta, M., & Ogliari, E. (2017). Analysis and validation of 24 hours ahead neural network forecasting of photovoltaic output power. *Mathematics and Computers in Simulation*, *131*, 88–100. <https://doi.org/10.1016/J.MATCOM.2015.05.010>
- Matich, D. J. (2001). Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones. *Universidad Tecnológica Nacional de México*. Disponible en <ftp://decsai.ugr.es/pub/usuarios/castro/Material-Redes-Neuronales/Libros/matich-redesneuronales.pdf>
- Perea-Moreno, A.-J., Hernandez-Escobedo, Q., Garrido, J., Verdugo-Diaz, J., Perea-Moreno, A.-J., Hernandez-Escobedo, Q., ... Verdugo-Diaz, J. D. (2018). Stand-Alone Photovoltaic System Assessment in Warmer Urban Areas in Mexico. *Energies*, *11*(2), 284. <https://doi.org/10.3390/en11020284>
- Philibert, C. (2011). *Renewable Energy Technology, Solar Energy Perspectives*. Organisation for Economic Co-operation and Development/International Energy Agency (OECD/IEA), Paris. ISBN: 9264124578.
- Pitalúa-Díaz, N., Arellano-Valmaña, F., Ruz-Hernandez, J. A., Matsumoto, Y., Alazki, H., Herrera-López, E. J., ... Velázquez-Contreras, E. F. (2019). An ANFIS-Based Modeling Comparison Study for Photovoltaic Power at Different Geographical Places in Mexico. *Energies*, *12*(14), 2662. <https://doi.org/10.3390/en12142662>

Pitalúa, N., Penaloza, U. C., Ruz-Hernandez, J. A., & Jimenez, R. L. (2008). *Introducción a los sistemas inteligentes*. Departamento de Editorial Universitaria (UABC), Mexicali, Baja California, Mexico. ISBN: 978-607-7753-47-6.

Rasero, C. M. (2011). Energía solar fotovoltaica. *Energía Solar Fotovoltaica, Situación Actual*. Disponible en <https://static.eoi.es/savia/documents/component/e75553.pdf>

Ruz-Hernandez, J. A., Matsumoto, Y., Arellano-Valmaña, F., Pitalúa-Díaz, N., Cabanillas-López, R. E., Abril-García, J. H., ... Velázquez-Contreras, E. F. (2019). Meteorological Variables' Influence on Electric Power Generation for Photovoltaic Systems Located at Different Geographical Zones in Mexico. *Applied Sciences*, 9(8), 1649. <https://doi.org/10.3390/app9081649>

Taylor, R. (1990). Interpretation of the Correlation Coefficient: A Basic Review. *Journal of Diagnostic Medical Sonography*, 6(1), 35–39. <https://doi.org/10.1177/875647939000600106>

Wen-Tao, Z., Shuai, W., & Xin-Hui, D. (2017). Research of power prediction about photovoltaic power system: Based on BP neural network. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 18(4), 1614–1623. Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/Claudia\\_Moisa/publication/323144140\\_SUSTAINABLE\\_DEVELOPMENT\\_THROUGH\\_CONVERSION\\_TO\\_ORGANIC\\_AGRICULTURE\\_-\\_IMPLICATIONS\\_ON\\_THE\\_FINANCIAL\\_INDICATORS\\_OF\\_FIRMS/links/5c25f7bfa6fdccfc706d4a64/SUSTAINABLE-DEVELOPMENT-THROUGH-C](https://www.researchgate.net/profile/Claudia_Moisa/publication/323144140_SUSTAINABLE_DEVELOPMENT_THROUGH_CONVERSION_TO_ORGANIC_AGRICULTURE_-_IMPLICATIONS_ON_THE_FINANCIAL_INDICATORS_OF_FIRMS/links/5c25f7bfa6fdccfc706d4a64/SUSTAINABLE-DEVELOPMENT-THROUGH-C)

Zahedi, A. (2006). Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems. *Renewable Energy*, 31(5), 711–718. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2005.08.007>

# 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 Ingeniería Eléctrica. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

---

---

\* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Artículo

## Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

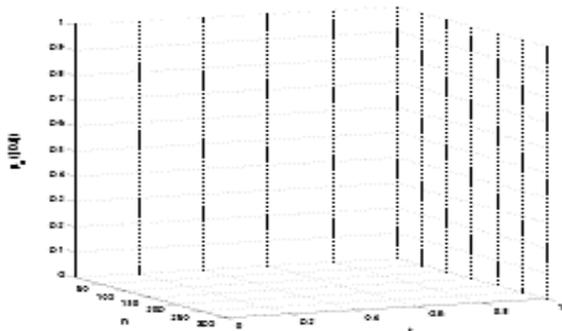
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

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

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

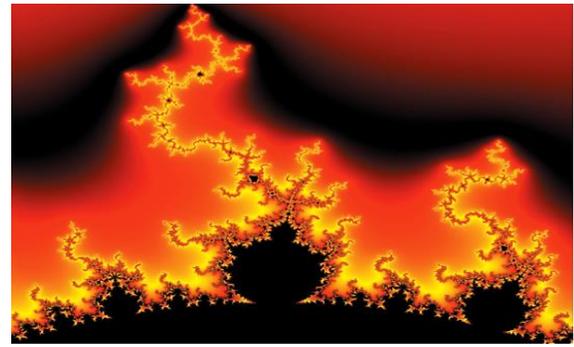
En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]



**Gráfico 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.



**Figura 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.


**Tabla 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

## Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

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

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

## Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

## Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

## Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

## Agradecimiento

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

## Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

## Referencias

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Artículo.

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

## Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

## Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

## **Reserva a la Política Editorial**

Revista de Ingeniería Eléctrica 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 Ingeniería Eléctrica 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 Ingeniería Eléctrica, 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 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**

QUINTANILLA - CÓNDOR, Cerapio. 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 Ingeniería Eléctrica

“Metodología para el dimensionamiento óptimo de sistemas híbridos para la electrificación de comunidades rurales situadas en el Occidente de México utilizando herramientas computacionales de optimización”

**CARRILLO-GÓMEZ, Iván, CORONADO-MENDOZA, Alberto y GONZÁLEZ-GABRIEL, Luis Fernando**

*Universidad de Guadalajara*

“Estudio y diseño del Sistema de Tierra Integral de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche”

**LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco Román, OVANDO-SIERRA, Juan Carlos, CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita y ANDRADE-DURÁN, Juan Edgar**

*Universidad Autónoma de Campeche*

“Sistema de control de temperatura on-off implementado en el proceso de termoformado para elaboración de bloque a partir de envases multicapas”

**ROSALES-DAVALOS, Jaime, ENRIQUEZ-PEREZ, Ma. de los Ángeles, LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto y MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo**

*Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán*

“Modelo predictivo inteligente para la generación de energía eléctrica en un sistema fotovoltaico”

**ARELLANO-VALMAÑA, Fernando, RUZ-HERNANDEZ, Jose Antonio y PITALÚA-DÍAZ, Nun**

*Universidad Autónoma del Carmen*

