

ISSN 2523-6881

Volumen 2, Número 4 — Enero — Marzo - 2018

Revista de  
Energías  
Renovables

**ECORFAN®**

## **ECORFAN-Perú**

### **Editora en Jefe**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

### **Redactor Principal**

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

### **Asistente Editorial**

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

### **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

### **Editor Ejecutivo**

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

### **Editores de Producción**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

### **Administración Empresarial**

REYES-VILLAO, Angélica. BsC

**Revista de Energías Renovables**, Volumen 2, Número 4, de Enero a Marzo 2018, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Perú. La Raza Av. 1047 No. - Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode:11500. WEB: [www.ecorfan.org/republicofperu](http://www.ecorfan.org/republicofperu), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María, Co-Editor: SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD. ISSN: 2523-6881. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Marzo 2018.

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

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

# **Revista de Energías Renovables**

## **Definición del Research Journal**

### **Objetivos Científicos**

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas Energía solar y sus aplicaciones, Energías renovables y el cambio climático, Impacto ambiental, Plantas hidroeléctricas, Energías renovables contaminantes, Energía eólica, Energía geotérmica en el mundo

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

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

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

Revista de Energías Renovables es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Perú, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de la Energía solar y sus aplicaciones, Energías renovables y el cambio climático, Impacto ambiental, Plantas hidroeléctricas, Energías renovables contaminantes, Energía eólica, Energía geotérmica en el mundo con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

## **Consejo Editorial**

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD  
Oak Ridge National Laboratory

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

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD  
Institute of Technology

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD  
University of La Rochelle

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD  
University of Bristol

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

TELOXA - REYES, Julio. PhD  
Advanced Technology Center

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD  
Universidad Gestalt

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

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

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

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

LAGUNA, Manuel. PhD  
University of Colorado

VAZQUES - NOGUERA, José. PhD  
Universidad Nacional de Asunción

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD  
University of Alberta

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD  
University of Southampton

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

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD  
Universidad de Sevilla

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD  
Universidad Politécnica de Valencia

MARTINEZ - ALVARADO, Luis. PhD  
Universidad Politécnica de Cataluña

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

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD  
University of South Florida

LARA - ROSANO, Felipe. PhD  
Universidad de Aachen

TIRADO - RAMOS, Alfredo. PhD  
University of Amsterdam

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

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

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

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD  
Syracuse University

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD  
University of Texas

VEGA - PINEDA, Javier. PhD  
University of Texas

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

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

RODRÍGUEZ - AGUILAR, Rosa María. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD  
Universidad de Guanajuato

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

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

SERRANO - ARRELLANO, Juan. PhD  
Universidad de Guanajuato

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

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

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

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

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

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD  
Intitut National Polytechnique Toulouse

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

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

OCHOA - CRUZ, Genaro. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **Comité Arbitral**

ESCAMILLA - BOUCHÁN, Imelda. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

LUNA - SOTO, Carlos Vladimir. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

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

OLVERA - MEJÍA, Yair Félix. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

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

GONZÁLEZ - JASSO, Eva. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD  
Universidad Politécnica de Amozoc

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD  
Universidad de Guadalajara

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

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

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

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

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

NÚÑEZ - GONZÁLEZ, Gerardo. PhD  
Universidad Autónoma de Querétaro

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

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

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

TZILI - CRUZ, María Patricia. PhD  
Universidad ETAC

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

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

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

MARTÍNEZ - RAMÍRES, Selene Marisol. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

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

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

JUAREZ - SANTIAGO, Brenda. PhD  
Universidad Internacional Iberoamericana

ENCISO - CONTRERAS, Ernesto. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

ARCEO - OLAGUE, José Guadalupe. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

CHÁVEZ - GUZMÁN, Carlos Alberto. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **Cesión de Derechos**

El envío de un Artículo a Revista de Energías Renovables emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

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

## **Declaración de Autoría**

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

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

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

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor del Artículo.

## **Detección de Plagio**

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

## **Proceso de Arbitraje**

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

## **Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación**

### **Área del Conocimiento**

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Energía solar y sus aplicaciones, Energías renovables y el cambio climático, Impacto ambiental, Plantas hidroeléctricas, Energías renovables contaminantes, Energía eólica, Energía geotérmica en el mundo y a otros temas vinculados a las Ingeniería y Tecnología.

## **Presentación del Contenido**

Como primer artículo presentamos, *Desarrollo de un prototipo solar para el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de electro-floculación*, por SANDOVAL-SALAS, Fabiola, GARCÍA-HERNÁNDEZ, José Angel, MÉNDEZ-CARRETO, Carlos y JIMÉNEZ-ALVAREZ, José Alfredo, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Perote, como segundo artículo presentamos, *Aplicaciones menores de Sistemas Fotovoltaicos*, por CAMPOS-CALDERA, Carla, ALDERETE-ALDERETE, Javier Enrique, MUÑOZ-MARQUEZ, Jesús y RUIZ -IBARRA, Jesús Antonio, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Parral, como tercer artículo presentamos, *Desarrollo de una biocelda fotovoltaica a partir de residuos verdes*, por LAGUNAS-BERNABÉ, Ignacio & LOAARJONA, Jocelyn, por Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec, como cuarto artículo presentamos, *Análisis para la instalación de paneles solares en el laboratorio y centro de cómputo del Instituto Tecnológico de Chihuahua II*, por HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, María Guadalupe, ORTEGA-CHÁVEZ, Laura Antonia, MARTINEZ-CASTELLANOS, María Elena y CARO-ESCUADERO, Iveth Selene, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Chihuahua II.

## Contenido

Artículo	Página
<b>Desarrollo de un prototipo solar para el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de electro-floculación</b> SANDOVAL-SALAS, Fabiola, GARCÍA-HERNÁNDEZ, José Angel, MÉNDEZ-CARRETO, Carlos y JIMÉNEZ-ALVAREZ, José Alfredo <i>Instituto Tecnológico Superior de Perote</i>	1-7
<b>Aplicaciones menores de Sistemas Fotovoltaicos</b> CAMPOS-CALDERA, Carla, ALDERETE-ALDERETE, Javier Enrique, MUÑOZ-MARQUEZ, Jesús y RUIZ -IBARRA, Jesús Antonio <i>Instituto Tecnológico de Parral</i>	8-18
<b>Desarrollo de una biocelda fotovoltaica a partir de residuos verdes</b> LAGUNAS-BERNABÉ, Ignacio & LOA-ARJONA, Jocelyn <i>Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec</i>	19-23
<b>Análisis para la instalación de paneles solares en el laboratorio y centro de cómputo del Instituto Tecnológico de Chihuahua II</b> HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, María Guadalupe, ORTEGA-CHÁVEZ, Laura Antonia, MARTINEZ-CASTELLANOS, María Elena y CARO-ESCUADERO, Iveth Selene <i>Instituto Tecnológico de Chihuahua II</i>	24-31

## Desarrollo de un prototipo solar para el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de electro-floculación

### Development of solar prototype for wastewater treatment using electro-flocculation process

SANDOVAL-SALAS, Fabiola†\*, GARCÍA-HERNÁNDEZ, José Angel, MÉNDEZ-CARRETO, Carlos y JIMÉNEZ-ALVAREZ, José Alfredo

*Instituto Tecnológico Superior de Perote, División de Ingeniería Electromecánica, Subdirección de Posgrado e Investigación*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Fabiola, Sandoval-Salas* / ORC ID: 0000-0001-9267-4974, CVU CONACYT ID: 71814

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *José Angel, García-Hernández* / ORC ID: 0000-0002-5986-7181, CVU CONACYT ID: TNM IT17A558

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Carlos, Méndez-Carreto* / ORC ID: 0000-0002-2897-4435 CVU CONACYT ID: 227409

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *José Alfredo, Jiménez-Álvarez* / ORC ID: 0000-0002-0875-2616 CVU CONACYT ID: TNM IT16D898

Recibido 3 de Febrero, 2018; Aceptado 30 Marzo, 2018

#### Resumen

Las fuentes inagotables de energía, en la actualidad ofrecen un campo extenso para el eficientamiento de procesos convencionales, además de ser amigables para otros procesos de nueva generación como son los electroquímicos. Para generar un proceso electroquímico como el de electro-floculación, se desarrolla un prototipo solar con la cualidad de ser sostenible a partir de energía limpia e inagotable, el mismo prototipo también cuenta con la cualidad de poder suministrar energía al proceso a partir de la red eléctrica convencional de 127 V AC – 60 Hz. El prototipo solar es capaz de regular una tensión desde los 1.25 V DC hasta los 37 V DC, con una corriente constante de hasta 1.5 A. La finalidad es inducir corriente eléctrica a través de una serie de electrodos de un material conductor a aguas residuales para su posterior análisis mediante procesos químicos como la DQO (Demanda Química de Oxígeno) y los niveles de absorbancia con el uso de diferentes instrumentos de laboratorio.

#### Electro-Floculación, Electroquímico, Prototipo

#### Abstract

The inexhaustible sources of energy currently offer an extensive field for the efficiency of conventional processes, in addition to being friendly to other processes of new generation such as electrochemicals. To generate an electrochemical process such as electro-flocculation, a solar prototype is developed with the quality of being sustainable from clean and inexhaustible energy, the same prototype has the quality of being able to supply energy to processes from the conventional electrical network of 127 V AC – 60 Hz. The solar prototype is capable of regulating a voltage from 1.25 V DC to 37 V DC, with a constant current of up to 1.5 A. The purpose is to induce electric current through a series of electrodes from a conductive material to wastewater for further analysis by chemical process such as COD (Chemical Oxygen Demand) and absorbance levels with the use of different laboratory instruments.

#### Electro-Flocculation, Electrochemical, Prototype

**Citación:** SANDOVAL-SALAS, Fabiola, GARCÍA-HERNÁNDEZ, José Ángel, MÉNDEZ-CARRETO, Carlos y JIMÉNEZ-ALVAREZ, José Alfredo. Desarrollo de un prototipo solar para el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de electro-floculación. *Revista de Energías Renovables* 2018. 2-4:1-7

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: [investiga.itspe@gmail.com](mailto:investiga.itspe@gmail.com))

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## 1. Introducción

La disponibilidad del agua depende no solo de la cantidad, sino también de su calidad. Aunque haya agua, si está contaminada y se encuentra en una condición tal que sea no acorde con el uso que se le quiere dar, su empleo se limita (Cabildo *et al.*, 2008). Actualmente, los avances científicos y tecnológicos han repercutido en el desarrollo de técnicas analíticas y procesos capaces de identificar y de remover una amplia lista de componentes, a tal grado que es posible hacer agua “potable” mediante la depuración del agua residual.

Queda aún mucho por lograr en términos del mejoramiento de la calidad y la distribución de la cantidad, tanto en el Tercer Mundo como en los países desarrollados, en aspectos que pueden ser similares o muy diferentes. Los retos actuales abarcan desde el suministro de agua microbiológicamente aceptable, mediante el empleo de procesos sencillos (como cloración) hasta el desarrollo de sofisticados métodos de control para remover contaminantes complejos de daño a largo plazo, e incluso, de efectos poco conocidos (Cisneros, 2001).

El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partícula en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad del agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará (Cabildo *et al.*, 2008).

El objetivo de depurar un agua residual se logra mediante la integración de operaciones (físicas) y procesos (químicos y biológicos) unitarios, que serán seleccionados en función de las características del agua residual a tratar y de la calidad deseada del agua tratada. Por otro lado, los requerimientos de insumos, tales como energía eléctrica y reactivos químicos, se darán en función de las tecnologías seleccionadas para integrar el sistema de tratamiento, y por ende, el costo de operación dependerá también de ello (Cabildo *et al.*, 2008). Los tratamientos fisicoquímicos y biológicos, los primeros como su nombre lo indica, hacen uso de procesos físicos (uso de la gravedad, filtración por retención física, atracción electrostática, etc.) y de procesos químicos (coagulación, absorción, oxidación, precipitación, etc.) (Cabildo *et al.*, 2008; Díaz, 2014).

El segundo tipo involucra la degradación o transformación del material orgánico por medio de microorganismos. Dentro de los sistemas biológicos existen los sistemas aerobios (requieren oxígeno molecular disuelto) y los anaerobios (funcionan sin oxígeno). Un rubro aparte merece los sistemas naturales construidos, los cuales aprovechan las transformaciones que se llevan a cabo en el medio natural, solamente que en estas unidades se busca incrementar su capacidad de tratamiento en unidades de proceso controladas. Tal es el caso de los humedales artificiales o el tratamiento mediante descargas directas a suelo (Noyola *et al.*, 2013; Sahu & Chaudhari, 2015).

La ingeniería Electroquímica es una disciplina científica y tecnológica que tiene como objeto de estudio del diseño y la operación de los equipos y procesos en los que se produce interconversión entre energía química y eléctrica (Díaz, 2014; Taborda *et al.*, 2011). Los primeros años de vida de la ingeniería electroquímica han coincidido con una mayor sensibilización social hacia la conservación del medio ambiente. Así, las legislaciones de los distintos países comenzaron a poner límites al vertido de residuos, lo que conllevó la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías de tratamiento de vertidos, más eficaces en cuanto a resultados y a costos (Díaz, 2014).

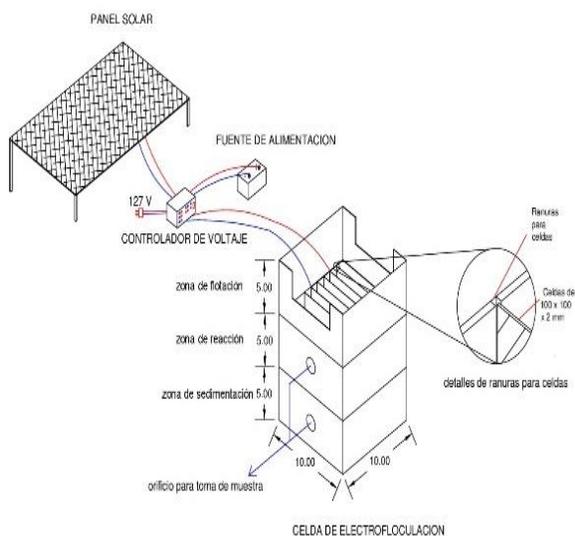
De este modo, comenzaron a estudiarse las primeras aplicaciones medioambientales de la ingeniería electroquímica, en las que se utilizaban estas tecnologías para el tratamiento de efluentes líquidos, gaseosos y de suelos. Los procesos electroquímicos de remediación ambiental presentan una serie de ventajas respecto a las tecnologías no electroquímicas, con las que entran en competencia. Los procesos electroquímicos, es importante resaltar que no es cierta la idea generalizada entre los técnicos y los industriales de que se trata de una tecnología cara (Díaz, 2014).

El objetivo fue diseñar y construir un equipo de electrooxidación para tratamiento de agua residual, el cual considera un dispositivo controlador de corriente, un sistema de captación de energía solar mediante un panel fotovoltaico, una batería, un sistema de descarga de corriente, y electrodos.

En el diseño y construcción del dispositivo controlador de corriente para el tratamiento de aguas residuales por electrooxidación se empleó como suministro de energía un panel solar, una batería de 12V, una toma de corriente a 127 VAC y distintos dispositivos electrónicos pasivos y activos, así como software de diseño y simulación, además de instrumentos de medición.

## 2. Descripción del equipo

El equipo cuenta con un suministro de energía a través de un panel fotovoltaico, una conexión a 127 VAC, un dispositivo controlador de carga y descarga de corriente, además de una celda de floculación que se divide en tres partes, zona de flotación, zona de reacción y una zona de sedimentación. Dentro de la zona de reacción es donde colocamos los electrodos de material conductor. La conexión de los distintos elementos se puede mostrar dentro de la *figura 1*. Así mismo se puede observar las dimensiones de la celda de floculación.



**Figura 1** Diagrama de equipo de electrooxidación

Fuente: *Elaboración Propia*

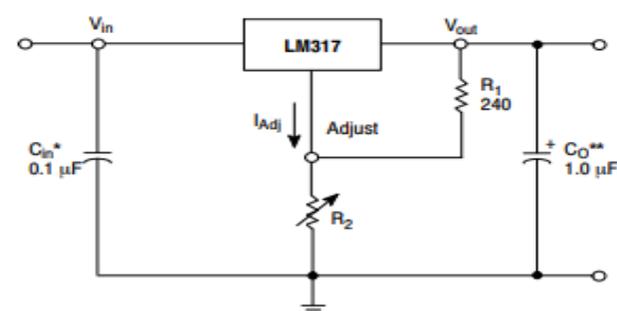
### Diseño del dispositivo controlador de carga y descarga para el proceso de electrooxidación

Las fuentes de energía eléctrica primarias habituales son la red eléctrica y las baterías (acumuladores recargables y pilas). La red eléctrica ofrece una tensión alterna (sinusoidal) de amplitud y frecuencia constantes: 230 V (eficaces) y 50 Hz en la Europa continental, 127 V (eficaces) y 60 Hz en América (Areny, 2006).

Tomando en cuenta las fuentes de energía, que en este caso son la red eléctrica y una fuente renovable para la captación de energía solar a través de un panel fotovoltaico, tales fuentes de energía suministrarán la corriente necesaria a un acumulador de 12 VDC.

El diseño del controlador de corriente todo está a cargo de un regulador de voltaje variable que es el LM317 (Semiconductors, 2006). Se requieren voltajes regulados que sean variables para fuentes de laboratorio, voltajes que no estén disponibles como reguladores estándar de voltaje fijo, un voltaje ajustable de mucha precisión y ofrecer a los usuarios que desean tener gran cantidad de un tipo de regulador de circuito integrado para obtener varios voltajes regulados de salida (Coughlin & Driscoll, 1999). Están disponibles reguladores de voltaje en configuraciones que permiten al usuario establecer el voltaje de salida a un valor regulado deseado. El LM317, por ejemplo se puede operar con el voltaje de salida regulado a cualquier valor dentro del intervalo de 1.25 V a 37 V (Boylestad & Nashelsky, 2003).

Este regulador de voltaje requiere solo dos resistencias externas para establecer el voltaje de salida. La *figura 2* muestra cómo se puede ajustar el voltaje de salida regulado de un LM317.



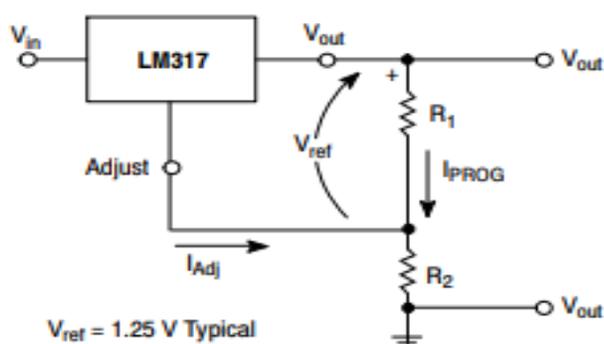
**Figura 2** Aplicación estándar

Fuente (Semiconductors, 2006)

El LM317 es un regulador flotante de 3 terminales. En operación, el LM317 desarrolla y mantiene un valor nominal de 1.25 V de referencia ( $V_{ref}$ ) entre sus terminales de salida y ajuste. Esta tensión de referencia se convierte en una corriente de programación (IPROG) por  $R_1$  (vea la *figura 3*), y esta corriente constante fluye a través de  $R_2$  a tierra. La tensión de salida regulada está dada por:

$$V_{out} = V_{ref} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{Adj} R_2 \quad (1)$$

Como la corriente del terminal de ajuste ( $I_{Adj}$ ) representa un término de error en la ecuación, el LM317 fue diseñado para controlar  $I_{Adj}$  menores de  $100\mu A$  y mantenerlo constante. Esto impone el requisito de una corriente de carga mínima. Si la corriente de carga es menor que este mínimo, la tensión de salida aumentara



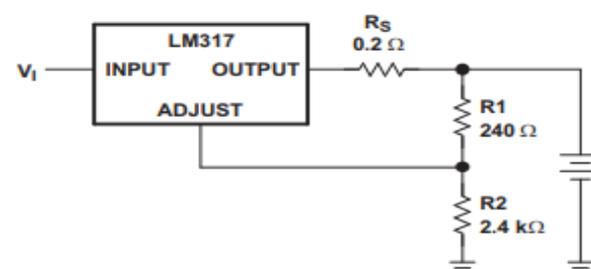
**Figura 3** Configuración básica del circuito

Fuente: (Semiconductors, 2006)

El LM317 es capaz de proporcionar una regulación de carga extremadamente buena, pero se requieren algunas precauciones para obtener un rendimiento máximo. Para un mejor rendimiento, la resistencia de programación ( $R1$ ) debe conectarse lo más cerca posible del regulador para minimizar las caídas de línea que aparecen efectivamente en serie con la referencia, degradando así la regulación. El extremo de tierra de  $R2$  puede ser devuelto cerca de la tierra de carga para proporcionar detección de tierra remota y mejorar la regulación de la carga (Semiconductors, 2006).

Normalmente, no se necesitan condensadores a menos que el dispositivo este situado a más de 6 pulgadas de los condensadores del filtro de entrada, en cuyo caso se necesita una derivación de entrada. Se puede agregar un condensador de salida opcional para mejorar la respuesta transitoria. El terminal de ajuste puede ser desviado para lograr relaciones de rechazo de ondulación muy altas que son difíciles de lograr con los reguladores de 3 terminales estándar. El regulador de voltaje LM317 según la configuración deseada con diferentes elementos, ya sean pasivos o discretos puede proporcionar aplicaciones de utilidad, mejorando de esta manera a los reguladores fijos de tres terminales. Además, hace un regulador de conmutación ajustable especialmente simple, un regulador de salida programable o conectando una resistencia fija entre el pasador de ajuste y salida, el LM317 se puede usar como un regulador de corriente de precisión.

Una de las configuraciones del LM317 es un regulador de corriente de precisión, con lo cual podemos utilizar dicha configuración para así diseñar y suministrar una corriente constante a una batería. La resistencia en serie limita la salida de corriente del LM317, lo que minimiza el daño a la batería (Instruments, 2004). Véase figura 4.



**Figura 4** Circuito cargador de batería

Fuente: (Instruments, 2004)

$$V_{OUT} = 1.25V \left( \frac{R2}{R1+1} \right) \quad (2)$$

$$I_{OUT}(short) = \frac{1.25V}{RS} \quad (3)$$

$$Output\ impedance = RS \left( \frac{R2}{R1 + 1} \right) \quad (4)$$

### 3. Pruebas electrónicas del dispositivo controlador de carga y descarga para el proceso de electrooxidación

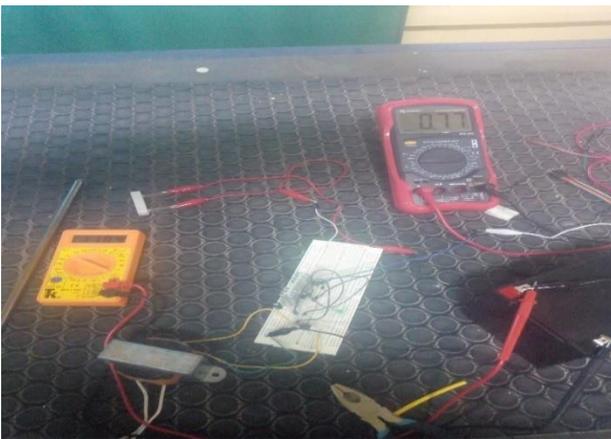
Las configuraciones del regulador de voltaje LM317 se montaron en una protoboard para verificar el correcto funcionamiento de los circuitos, tanto como el circuito que controla la carga de nuestra batería, así como el regulador de tensión que regula la corriente dentro de la celda de floculación en la zona de reacción.

Se realizaron las conexiones necesarias para montar el panel fotovoltaico de 20 watts el cual genera 100 watts hora por día con un voltaje máximo de salida de 17.4 V con una corriente de 0.87 A al circuito controlador de carga y verificar la corriente que suministrara a una batería sellada de ácido-plomo de 12 VCC de 12 Ah que soporta hasta 300 °C con un peso nominal de 3,93 kg. Además se verifico la corriente suministrada a partir de la red eléctrica de 127 VAC. Las mediciones de tensión y corriente fueron medidas con un multímetro digital marca Steren® modelo MUL-270 (precisión en CD de  $\pm 0.5\%$ , resolución de  $0.1\mu A$  para pequeñas corrientes y amplio rango de medición en corriente 20 A). Como se puede observar en las figuras 5 y 6.



**Figura 5** Conexión del panel fotovoltaico al controlador de carga

Fuente: Elaboración Propia

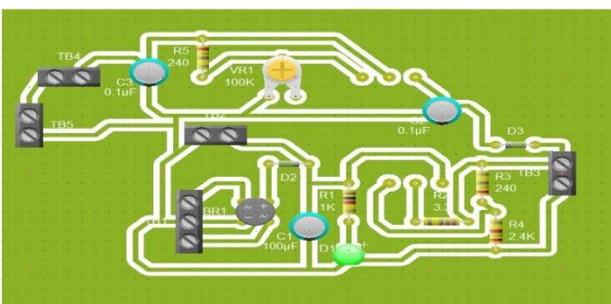


**Figura 6** Conexión a la red eléctrica al dispositivo controlador de carga

Fuente: Elaboración Propia

### Montaje de los dispositivos electrónicos en la placa de circuito impreso

Una vez que se realizaron las pruebas al controlador de carga y el correcto funcionamiento de este, se montaron los circuitos dentro de una placa PCB (Printed Circuit Board). Dentro de la placa de circuito impreso se montaron todos los componentes necesarios. La placa se realizó en el software de LIVEWIRE®. En dicha placa se puede observar la distribución de los diferentes dispositivos electrónicos en el layout real world. Figura 7.



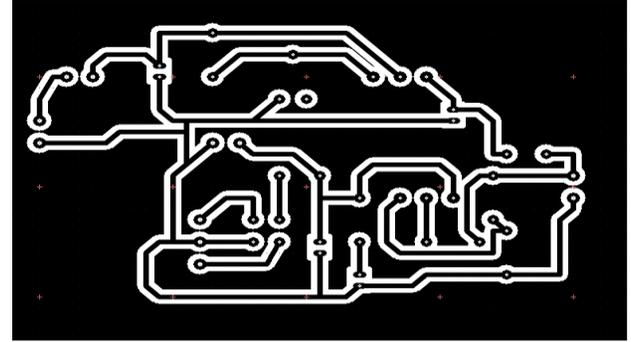
**Figura 7** Real world layout.

Fuente: Elaboración Propia

ISSN: 2523-6881

ECORFAN® Todos los derechos reservados

El layout con el que se trabaja para la técnica de planchado en placa fenólica tiene que ser de tipo atwork, tal layout también fue realizado mediante el software de LIVEWIRE®. Como se puede apreciar en la figura 8, así se muestran las pistas y conexiones entre los diferentes dispositivos electrónicos.



**Figura 8** Layout Atwork.

Fuente: Elaboración Propia

## 4. Pruebas de operación del equipo

### Metodología

Las muestras de aguas que se utilizaron para la evaluación del funcionamiento del equipo se colectaron del efluente proveniente de la colonia Libertad, municipio de Perote. Se tomaron en recipientes contenedores con capacidad de 1L. Se consideraron tres diferentes separaciones entre los electrodos: 10 mm, 20 mm y 30 mm.

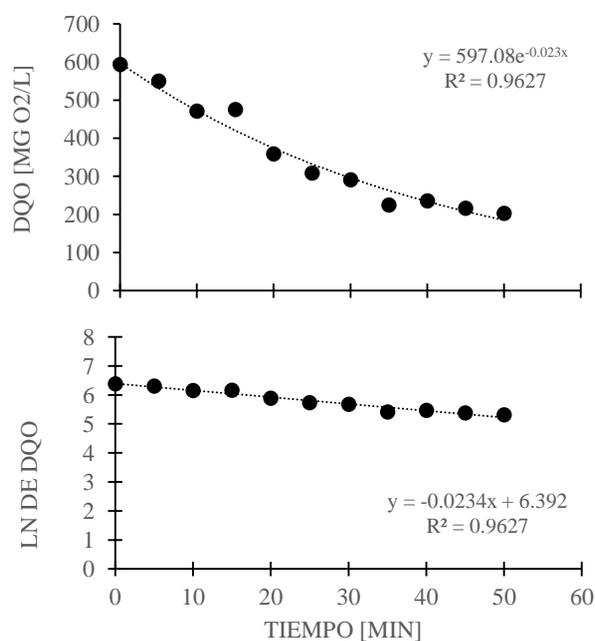
Las pruebas se realizaron durante 50 min y se tomaron muestras a intervalos de 5 min. Como variable de respuesta se determinó la concentración de DQO lo cual constituye un método analítico habitual para la determinación de materia orgánica biodegradable y no biodegradable en aguas residuales, mediante el método HACH 8000.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), se utiliza para medir la cantidad de oxígeno equivalente en la materia orgánica que puede ser oxidada, y se expresa en mg de O<sub>2</sub> que se requiere para oxidar la materia orgánica de 1 litro de agua (Cabildo *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2017).

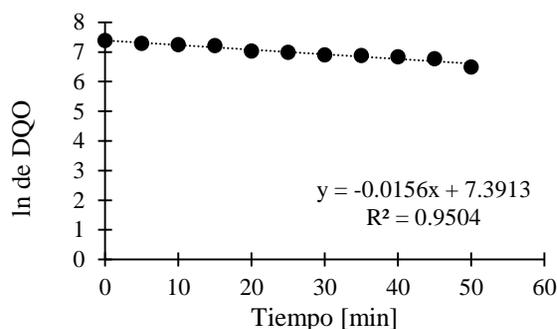
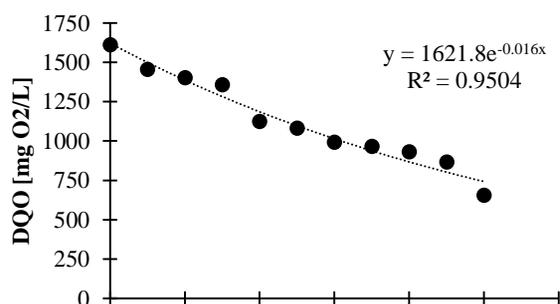
La DQO se determinó en un equipo HACH DRB200 (certificaciones de cumplimiento CE, cTUVus, tasa de calentamiento de 20 a 150 °C en 10 minutos, rango de temperatura 37-165 °C (99-329 °F), estabilidad de temperatura de  $\pm 2$  °C, requerimiento de voltaje 115 V AC, 50-60 Hz) de acuerdo a las instrucciones del fabricante y se leyó la absorbancia en un Espectrofotómetro JENWAY 6305 (Longitud de Onda: rango de 198 a 1000 nm, resolución de 1nm, exactitud de  $\pm 2$  nm, Fotometría: absorban cia de -0.300 a 1.999 A, resolución de 0.1 %T, 0.001 A ) a 620 nm.

## 5. Resultados de las pruebas de operación

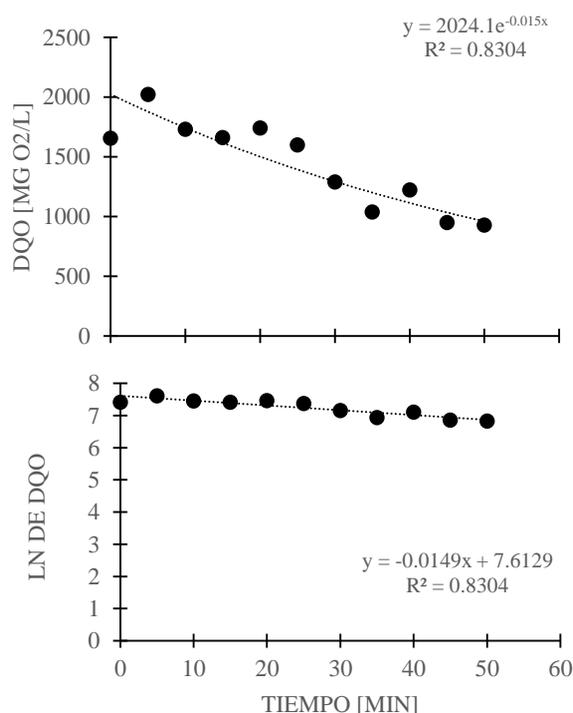
Los resultados de la operación de las pruebas electrónicas del dispositivo se observan en Gráficos 1, 2 y 3, para cada apertura de los orificios en los electrodos de 10, 20 y 30 mm, respectivamente.



**Gráfico 1** Cinética de remoción de DQO y cálculo de velocidad para apertura entre electrodos de 10 mm  
Fuente: Elaboración Propia



**Gráfico 2** Cinética de remoción de DQO y cálculo de velocidad para apertura entre electrodos de 20 mm  
Fuente: Elaboración Propia



**Gráfico 3** Cinética de remoción de DQO y cálculo de velocidad para apertura entre electrodos de 30 mm  
Fuente: Elaboración Propia

En las pruebas de ejecución del equipo se encontró que la remoción de la DQO del agua residual tiene un comportamiento logarítmico. A diferentes separaciones entre los electrodos se tienen diferentes velocidades de remoción, como se muestra en la Tabla 1.

Apertura	Velocidad	% de remoción
10 mm	$y = -0.0234x + 6.392$	65.81%
20 mm	$y = -0.0156x + 7.3913$	59.36%
30 mm	$y = -0.0149x + 7.6129$	44.01%

**Tabla 1** Comparativo de apertura de electrodos, velocidad y porcentaje de remoción  
Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a lo reportado en la literatura, Garay and Gómez (2016) encontraron que la utilización de cargas eléctricas (15 V) reduce hasta en un 97.57% la Demanda Química de Oxígeno, Sahu and Chaudhari (2015), consiguieron reducir en un 84% la concentración de DQO; por otra parte Yang *et al.* (2017), reportaron una remoción del 75.34% con el método electroquímico en el tratamiento de aguas residuales, lo que tiene relación con lo que se reportó en el presente estudio.

## Conclusiones

El diseño del prototipo solar puede regular una tensión desde 1.25 V DC hasta 37 V DC, con corriente constante de 1.5 A. En cuanto al comportamiento de la DQO se puede observar que a menor separación entre los electrodos se tiene una mayor velocidad de remoción. Esto se explica porque la resistencia de carga disminuye y la corriente suministrada por el equipo aumenta. Un proceso contrario a una mayor apertura, donde, la velocidad de remoción disminuye, ya que, la resistencia de carga se vuelve mayor y la corriente suministrada por el equipo disminuye. En lo que refiere al manejo del equipo, es ligero, portable por sus dimensiones y de fácil manejo para el usuario.

## Referencias

Areny, R. P. (2006). *Instrumentos electrónicos básicos*: Marcombo. 8426713904. 317 pp.

Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2003). *Electrónica, Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*: Pearson Educación. 9702604362. 1020 pp.

Cabildo, M. M. P., Vallespi, V. R. M. C., Cornago, R. M. P., Escolástico, L. C., Esteban, S. S., Farrán, M. M. Á., . . . Sanz, d. C. D. (2008). *Reciclado Y Tratamiento de Residuos*: UNED. 9788436260069. 393 pp.

Cisneros, B. J. (2001). *Contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: LIMUSA SA. Id. 29443. 926 pp.

Coughlin, R. F., & Driscoll, F. F. (1999). *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*: Pearson Educación. 9701702670. 538 pp.

Díaz, C. E. B. (2014). *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales*. México: Reverté. 8429179186. 317 pp.

Garay, M. B., & Gómez, O. T. (2016). Remoción de colorantes de efluente sintético de industria textil aplicando tecnología avanzada. *Revista Industrial Data*, 19(2), 91-95.

Instruments, T. (2004). LM117/LM317A/LM317-N 3-Terminal Adjustable Regulator. *LM317 datasheet*, May.

Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. M., & Güereca, L. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales: Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. México: Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y IDRC. 9786070248221. 140 pp.

Sahu, O., & Chaudhari, P. (2015). Electrochemical treatment of sugar industry wastewater: COD and color removal. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 739, 122-129.

Semiconductors, O. (2006). LM317, 1.5 A Adjustable Output, Positive Voltage Regulator: USA.

Taborda, G., Zuluaga, V., Palomá, L., & González, J. P. P. (2011). Aplicación de métodos electroquímicos en la remoción de materia orgánica en los jugos producto del beneficio del fique: alternativa biotecnológica para mitigar la contaminación en los afluentes hídricos. *Nova*, 9(16), 166-169.

Yang, M., Jing, B., Chen, W., Li, Q., & Yin, X. (2017). Experimental Study on COD Composition and Electrochemical Degradation of Wastewater in Offshore Oilfields. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 64(1), 73-79.

## Aplicaciones menores de Sistemas Fotovoltaicos

### Minor Applications of Photovoltaic Systems

CAMPOS-CALDERA, Carla†\*, ALDERETE-ALDERETE, Javier Enrique, MUÑOZ-MARQUEZ, Jesús y RUIZ -IBARRA, Jesús Antonio

*Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Parral*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Carla Campos-Caldera* / ORC ID:0000-0001-6115-9320, Researcher ID Thomson:S-2523-2018, arXiv Author ID: ccampos, CVU-CONACYTID:172324

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Javier Enrique, Alderete-Alderete* / ORC ID: 0000-0002-1401-3776, Researcher ID Thomson:S-2929-2018, arXiv Author ID: jalderete

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Jesús, Muñoz-Marquez* / ORC ID:0000-0001-7373-89X, Researcher ID Thomson:S-2911-2018, arXiv Author ID: jmunoz57

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Jesús Antonio, Ruiz-Ibarra* / ORC ID:0000-0002-2755-2812, Researcher ID Thomson:S-2919-2018, arXiv Author ID: jaruiz18

Recibido 3 de Febrero, 2018; Aceptado 30 Marzo, 2018

#### Resumen

Las energías renovables representan hoy en día la única alternativa viable de sustentabilidad en la generación continua de energía a nivel mundial. Remontándonos a la historia, la evolución tecnológica y el crecimiento de sociedades, cada vez más demandantes, han hecho que las energías presentes - hidrocarburos y carbono - sean insuficientes para abastecer los quehaceres diarios de la humanidad. En referencia a lo antes expuesto ha surgido el enfoque crucial por normar y condicionar el uso de los recursos naturales (presentes en todos los niveles jerárquicos de nuestra sociedad), mencionando que no es hasta el año 2000 que se considera seriamente producir energías limpias como medida cautelar. El presente trabajo está dedicado en mostrar la aplicación de al menos una de las formas de las energías limpias. La principal contribución que se reportará en este artículo será un suministro eléctrico alternativo al tradicional (CFE) para el funcionamiento de un aula de educación a distancia y una isla solar.

**Fotovoltaico, Energía Limpia, Isla Solar**

#### Abstract

Renewable energies represent nowadays the only viable alternative of sustainability in the continuous generation of energy worldwide. Going back to history, the technological evolution and the growth of societies, increasingly demanding, have made the present energies - hydrocarbons and carbon -, insufficient to supply the daily tasks of humanity. On the basis of the above, the crucial approach has emerged for regulating and conditioning the use of natural resources (present in all hierarchical levels of our society), mentioning that it is not until the year 2000 that clean energy is seriously considered as a preventive measure. The present work is dedicated to show the application of at least one of the forms of clean energy. The main contribution reported in this article will be an alternative electric power supply to the traditional one (CFE) for the operation of a distance education classroom and a solar island.

**Photovoltaic, Clean Energy, Solar Island**

**Citación:** CAMPOS-CALDERA, Carla, ALDERETE-ALDERETE, Javier Enrique, MUÑOZ-MARQUEZ, Jesús y RUIZ -IBARRA, Jesús Antonio. Aplicaciones menores de Sistemas Fotovoltaicos. Revista de Energías Renovables 2018. 2-4:8-18

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ccampos@itparral.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El presente trabajo tiene la intención de mostrar el análisis y diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía de un aula tipo dedicada para la educación a distancia y una isla solar en la que se conectarán dispositivos móviles menores (laptops, celulares) en la ciudad Hidalgo del Parral Chihuahua.

El desarrollo de la investigación pretende visualizar que es posible la generación de energía fotovoltaica en las diversas zonas geográficas de nuestro país, comenzando con la premisa de que la mayor parte del territorio Mexicano recibe en promedio una radiación global media diaria de 5 KWh/m<sup>2</sup>.

En contraste a lo antes expuesto, podemos afirmar que las hidroeléctricas (suministro convencional de energía en la zona norte del país) no es el único medio de generación de energía, demostrándose un crecimiento exponencial de energía fotovoltaica en México de 2005 a la fecha (Caldera, 2018).

Las secciones que conforman este trabajo son 6, los conceptos básicos para el entendimiento de la teoría que plantea este documento se abordan en la primer sección, el diseño del sistema fotovoltaico (SF) para el aula a distancia y la isla solar se presenta en la segunda sección, las características técnicas de los componentes seleccionados de nuestro SF son tabulados en la tercer sección, el monitoreo del sistema se reporta en la cuarta sección, seguida de una quinta sección que presenta agradecimientos, las secciones del artículo finalizan con conclusiones y trabajos a futuro.

## Conceptos Básicos

En esta sección se definen muchos de los términos mencionados a lo largo del artículo, conceptualizamos la diferencia entre celda y paneles o módulos solares así como cada uno de los elementos necesarios en un sistema fotovoltaico conectado a la red. Los 2 principales componentes para la producción de energía eléctrica en los sistemas fotovoltaicos son las celdas solares y el astro rey, el sol.

Una celda solar es un dispositivo formado de elementos semiconductores que al incidirse luz sobre su unión pn, los fotones absorbidos a la frecuencia adecuada transfieren una energía que es recuperada por colectores ubicados al final de los semiconductores, comercialmente las celdas fotovoltaicas que se comercializan tienen un rendimiento máximo del 15% (T=25°C) por una radiación incidente 1KW/m<sup>2</sup> y una tensión máxima de 0.58V con materiales como el silicio monocristalino, policristalino y arseniuro de galio o bien películas fotovoltaicas de silicio amorfo, telurio de cadmio y desileniuro de cobre.

El conjunto de celdas solares dentro de un arreglo matricial establece lo que comúnmente denominamos módulos o paneles solares cuyo estándar en el mercado tiene entre 30, 36, 60 o hasta 90 celdas en serie cuyos voltajes nominales van desde los 12V hasta los 36V.

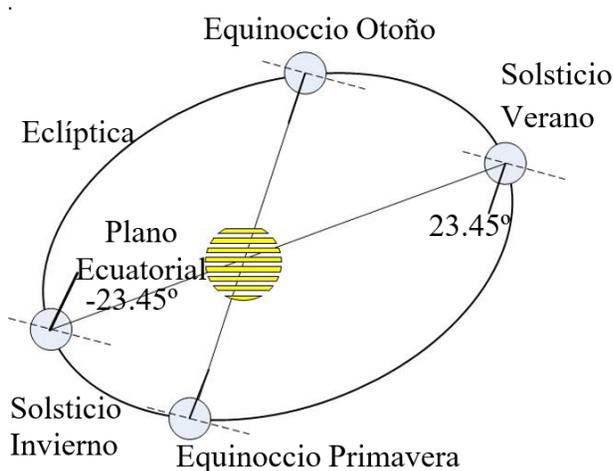
El sol es la principal fuente de energía de nuestro planeta tierra, siendo su característica de radiación (se puede dividir en directa, difusa y reflejada) la que impacta en las aplicaciones fotovoltaicas, la integral del espectro de la radiación solar recibe el nombre de irradiancia y es un dato característico de la energía que el sol puede proporcionar, respecto a esto, la cantidad de energía por unidad de tiempo y superficie (constante solar) que incide en la cima de la atmósfera terrestre es  $G=1353\text{W/m}^2$ .

La constante  $G$  se ve atenuada por la propia atmósfera, masas de aire (tener en cuenta que una masa de aire es nombrada zenit), la superficie de la tierra, altura, latitud, condiciones climáticas (Escobedo, 2017) y los ángulos de incidencia de los rayos solares, hacen que  $G$  se normalice a un valor de  $G=1000\text{W/m}^2$ .

La incidencia de los rayos solares depende de la posición y la geometría que éste guarda respecto de la tierra (a lo largo del día y del año), es por ello que se explicaran conceptos como declinación del sol  $\delta$ , posición solar (latitud  $\phi$ , longitud  $\lambda$ , ángulo horario  $\omega$ ), la altura solar  $\alpha$ , ángulo azimutal  $\gamma$  y zenital  $\theta_z$  (Ibañez *et al*, 2005), (Pericas, 2017), (Oropeza, 2015). La declinación solar es el ángulo que forma el plano de la eclíptica con el plano del ecuador (Ibañez *et al*, 2005).

El plano de la eclíptica es la órbita que describe el movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol (trayectoria elíptica). Siendo que el eje de rotación de la tierra siempre forma un ángulo de  $23.45^\circ$  con la perpendicular al plano de la eclíptica.

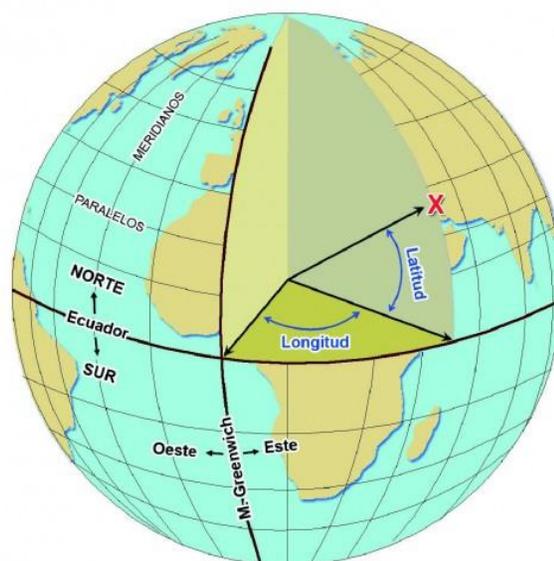
El ángulo de declinación varía a lo largo del año entre  $23.45^\circ$  (solsticio de verano) y  $-23.45^\circ$  (solsticio de invierno). En (Pericas, 2017) la declinación se define como el ángulo formado por la línea que une los centros de la tierra y el Sol (dirección de la radiación directa) y el plano ecuatorial.



**Figura 1** Declinación Solar  
Fuente: *Elaboración Propia*

La posición de un punto en la tierra se determina por la latitud y longitud, el ángulo formado por la dirección radial y el plano ecuatorial es la latitud  $\phi$  y la longitud es el ángulo formado por el plano meridional local y el plano meridional de Greenwich, figura 2.

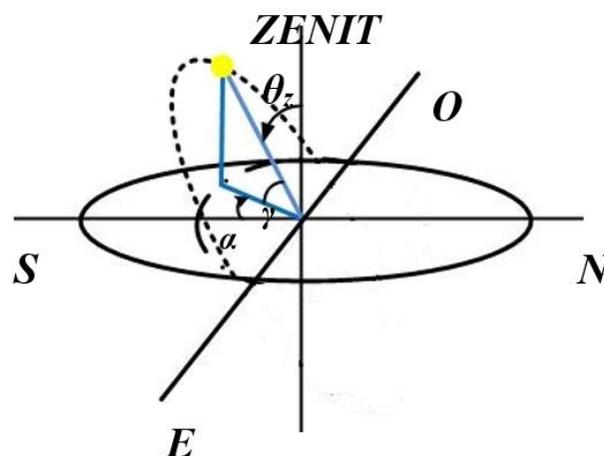
El ángulo horario es equivalente a dar la hora solar local, se define 0 al mediodía solar e incrementa de  $15^\circ$  en  $15^\circ$  por cada hora que falta para llegar al mediodía. La altura solar es el ángulo formado por la dirección Sol – Tierra y el plano horizontal correspondiente al emplazamiento considerado ( $\alpha$  en Figura 3).



**Figura 2** Posición solar  
Fuente: *Google*

El ángulo azimutal (en figura 3,  $\gamma$ ) es el ángulo formado por la proyección de la dirección Sol-Tierra sobre el plano horizontal local y la dirección sur, es positiva cuando se abre hacia el este y negativo cuando se abre hacia el oeste (Pericas, 2017).

La definición del ángulo zenital se facilita si imaginamos un observador en la tierra y marcamos sobre él una línea vertical, entonces el ángulo formado entre esta línea vertical y los rayos solares es el ángulo zenital ( $\theta_z$ , figura 3).



**Figura 3** Altura solar, ángulo azimutal y ángulo zenital  
Fuente: *Elaboración Propia*

No menos importante en los sistemas fotovoltaicos son las protecciones de los circuitos eléctricos, hablamos específicamente de interruptores termomagnéticos.

Los cuales al circular una corriente a través de su elemento bimetálico o electroimán que excede la corriente nominal al cual fue calibrado, interrumpe el paso de corriente en el circuito.

### Diseño del sistema Fotovoltaico

En (Pericas, 2017) se establece que para la determinación del número de paneles solares se necesita conocer las horas solares pico y la potencia máxima que abastecerán los módulos solares. La potencia que deberán suministrar los paneles solares para el aula a distancia se desglosa en la tabla 1. Las horas solares pico  $h_{sp}$  necesarias para el cálculo del número de paneles  $n_m$  se obtienen a partir de la media de irradiación solar sobre una superficie inclinada en relación a la irradiancia estándar de referencia  $1000 \text{ W/m}^2$  que el sol abastece, formula (1).

$$h_{sp} = \frac{G_t}{G} \quad (1)$$

Siendo  $G_t$  la media diaria mensual de radiación solar sobre una superficie inclinada (orientada al sur  $\gamma = 0$ , con la inclinación de los paneles  $s = 27^\circ$ ). En (Pericas, 2017) se definen un procedimiento que permite determinar  $G_t$  a partir del conjunto de ecuaciones (2) y (3).

$$\bar{R} = (1 - f_m) \cdot \bar{R}_b + f_m \cdot f_d + \rho \cdot f_r \quad (2)$$

$$\bar{G}_t = \bar{R} \cdot \bar{G}_h \quad (3)$$

En (2)  $\bar{R}$  es el factor de proporcionalidad entre las dos medias mensuales de radiación,  $f_m$  es la fracción entre las medias mensuales de la radiación total difusa y radiación total,  $\bar{R}_b$  es la transmitancia de la atmósfera,  $f_d$  y  $f_r$  son factores de la incidencia de los rayos solares, siendo  $f_d$  radiación difusa y  $f_r$  radiación reflectiva. La  $\bar{G}_h$ , depende de la ubicación en dónde se instalarán los paneles solares (vea figura 4), es la media mensual de radiación diaria sobre una superficie horizontal y se obtiene en la página de la Nasa (NASA, 2018) proporcionando  $\phi$  y  $\lambda$  de la región. La  $h_{sp}$  que se usará en (5) es el promedio anual de las horas pico del año 2017, el valor de  $h_{sp}$  - calculado en Excel aplicando (1) a (3) figuras 17 y 18 del Apéndice- corresponde al valor de  $\bar{G}_t$  cuando es expresada en  $\text{KWh/m}^2\text{dia}$ .

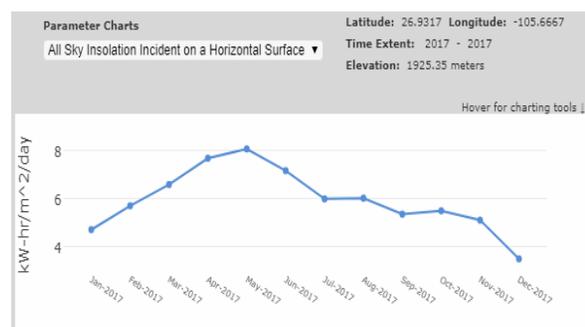


Figura 4 Valores  $\bar{G}_h$

Fuente: NASA

La determinación del número de paneles solares  $n_m$  del SF necesarios para abastecer las cargas del aula a distancia (Tabla 1) necesitan el cálculo de  $E_s$  (formula 4), la potencia máxima nominal del panel solar  $P_{max}$  y las horas solares pico.

$$E_s = \frac{E_{dc}}{f_r} = \frac{4284 \text{Wh/dia}}{0.75} = 5712 \text{Wh/dia} \quad (4)$$

En (4),  $E_s$  indica la energía necesaria que los paneles solares deben suministrar,  $E_{dc}$  la energía de la carga,  $f_r$  un factor de rendimiento del sistema fotovoltaico, en nuestro caso decidimos que fuera igual a 0.75 (Pericas, 2017), algunos fabricantes dentro de la literatura han asignado a  $f_r$  valores comprendidos entre 0.85 y 0.9 (85% a 90% de eficiencia).

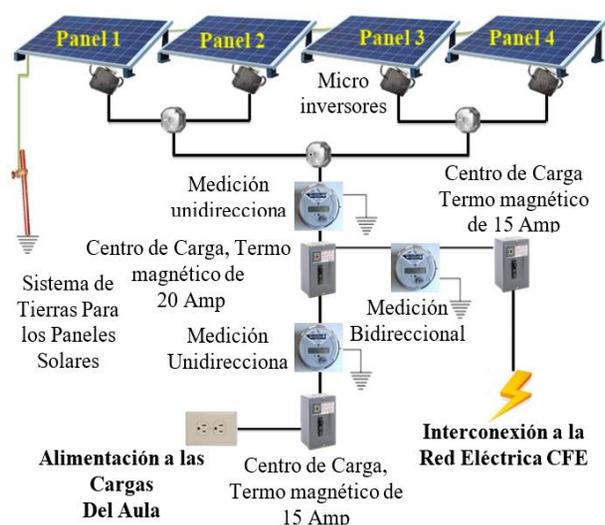
$$n_m = \frac{E_{dn}}{(P_{max})(h_{sp})} = \frac{5712 \text{Wh/dia}}{(250 \text{W})(6.56 \text{h})} = 3.48 \quad (5)$$

Equipo	#	Potencia (W)	Tiempo Operación	Consumo (Wh)
Laptop	1	120	8	960
Proyector	1	200	8	1600
Bocinas	1	63.5	8	508
Lámparas ahorradoras	2	44	8	352
Ventilador	1	90	8	720
Modem	1	18	8	144
Consumo Total		579.5		4284

Tabla 1 Cargas del aula de Educación a distancia.

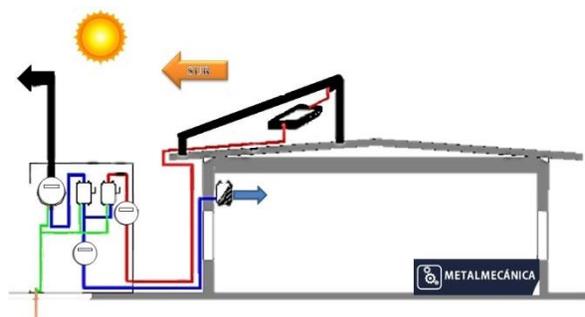
Fuente: Elaboración Propia

En las figura 5, se muestra las conexión del sistema fotovoltaico del aula a distancia, apreciándose 4 paneles solares en arreglo en paralelo con un microinversor encargado de transformar la tensión de CD entregada por los paneles a una señal de CA de 127V y una frecuencia de 60 Hz.



**Figura 5** Conexión del sistema Fotovoltaico del aula a distancia

Fuente: *Elaboración Propia*

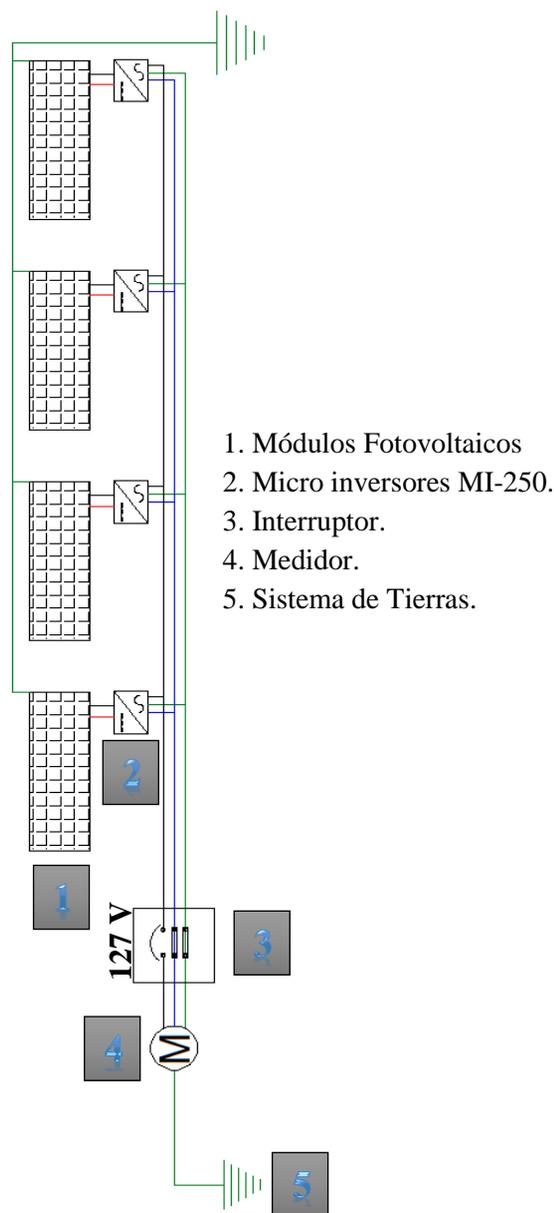


**Figura 6** Esquemático de la instalación fotovoltaica

Fuente: *Elaboración Propia*

En figuras 5 y 6, los 4 micro-inversores se encuentran conectados en paralelo, mediante un alimentador (con cable de 3x10 AWG uso rudo) la energía se lleva al aula de educación a distancia dónde se localizan un medidor de energía, medio de interrupción y protección, en la figura 7, se aprecia el digrama unifilar (conexión monofásica).

Al interior del aula se cuenta con una segunda medición y protección para conectar la carga (Tabla 1); además de interconectarse el SF a un medidor bidireccional de energía que con su protección adecuada une la red de baja tensión al centro de carga de la alimentación tradicional del aula (CFE).



**Figura 7** Diagrama unifilar para un sistema monofásico

Fuente: *Elaboración Propia*

El sistema fotovoltaico debe cumplir las protecciones contra alto voltaje, bajo voltaje, frecuencia, sobrecorriente y una protección denominada anti-isla que CFE exige en sus especificaciones, esta última con el fin de que si la energía de la red de CFE se interrumpe no se inyecte energía por parte del SF, es por ello que los microinversores poseen una protección integrada –diodo- que al no recibir voltaje de la red CFE desconectan los paneles solares para evitar esa inyección de energía a la red que pudiera provocar un accidente.

Las cargas establecidas para la isla solar considera la conexión de 4 equipos móviles menores (EMM) cuya máxima exigencia sería el trabajo de 2 laptops y 2 celulares en un lapso de 8 horas, con este dato la carga demandada por la isla sería de 2,208 W, por tanto aplicando (6) el número de módulos se calcula en (7).

$$E_{dn} = \frac{1200Wh / dia}{fr} = \frac{2208Wh / dia}{0.75}$$

$$E_{dn} = 2944Wh / dia \quad (6)$$

$$n_m = \frac{2944Wh / dia}{(250W)(6.56h)} = 1.795 \quad (7)$$

Obtenido el número de paneles para los SF, el microinversor que cada panel solar utilizará se selecciona considerando la máxima potencia del panel  $P_{max}$  y su voltaje de operación óptimo  $V_{mpp}$  (Tabla 3), las características técnicas de ambos componentes se detallan en la sección 3. En este punto sólo resta estimar los conductores y las protecciones de nuestro SF.

La selección de un conductor puede realizarse por 2 procedimientos, el primero (básico) es el cálculo por ampacidad, el segundo es por caída de tensión, prácticamente se recomienda utilizar los dos métodos para asegurar que el calibre del conductor sea el correcto. En este estudio, se presenta primero el cálculo por ampacidad y enseguida por caída de tensión.

Los conductores por Ampacidad del SF – conectado como circuito monofásico de 127V a 10A, con una potencia de 1000W con canalización CONDUIT PVC – se obtienen de acuerdo a la norma NOM-001-SEDE 2012 Tabla 310-15(b)(16) de (DOF 2012). El calibre seleccionado según la norma (figura 14 del Anexo 1) es el 14 AWG con aislantes THW-LS (se escoge este aislante por ser comercial) con una  $I=20A$  (valor mínimo en la figura 14, Anexo 1), esta corriente abastecerá fácilmente la  $I_D$  demanda del circuito FV.

Sin embargo, tendremos que verificar que ni la temperatura ni la cantidad de cables afecten el rendimiento del calibre seleccionado, por ello se verifican los factores de corrección por temperatura  $f_{ct}$  y por agrupación (cantidad de cables en el conductor).

La  $I_D$  se puede calcular (si es que no sea desea emplear la  $I=20A$  consultada en la tabla de la figura 14, Anexo 1) como se indica en (CCEEA, 2017), ecuación (8), en donde  $I_{SC}$  es la corriente de corto circuito del panel.

$$I_D = I_{SC} \times 1.25 \times 1.25 \quad (8)$$

La determinación de  $f_{ct}$  se hace consultando la temperatura a la que opera nuestro SF (30 °C) en la tabla 310-(15b)(16)(a)(figura 15 del Anexo 1) y se aprecia que el valor de corrección asignado por la norma es  $f_{ct}=0.94$  si la temperatura ambiente oscila entre 31°C y 35°C.

La canalización del circuito monofásico del SF sólo lleva 3 conductores de corriente (fase, neutro y tierra) con 1 sólo cable activo, por lo que el factor de corrección  $f_c$  será la unidad,  $f_c=1$ , es decir, no se percibe disminución de capacidad en nuestros conductores, estos trabajarán al 100%.

Los factores de corrección antes definidos permiten determinar la corriente real  $I_R$  que el calibre seleccionado podrá manejar, aplicando la ecuación (9) se puede afirmar que el calibre seleccionado es ideal puesto que puede alimentar un circuito que consuma hasta 18.8A.

$$I_R = I \cdot f_{ct} \cdot f_c \quad (9)$$

El método por caída de tensión utiliza la fórmula (10) para circuitos monofásicos (Monterrey, 2013) y la tabla de impedancias (DOF, 2012).

$$AV = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot Z}{V_0} \cdot 100 \quad (10)$$

En (10),  $\Delta V$  es el porcentaje de caída de tensión,  $L$  la longitud del circuito expresada en Km,  $I$  corriente nominal,  $Z$  impedancia y  $V_0$  el voltaje de la línea a neutro. Nuestro SF tiene una  $L=15m$ ,  $I=7.4A$ ,  $Z=9.2\Omega/Km$  (el valor  $Z$  se aprecia en la tabla de la figura 16 (Anexo 1) a partir del calibre 14 AWG) por lo que sustituyendo estos datos en (10), la caída de tensión es de 1.61%, valor mínimo comparado al 5% máximo permisible desde la acometida hasta el punto más lejano del circuito derivado (para el cálculo se consideró la distancia de 15 metros desde la acometida hasta el punto más lejano de nuestro circuito).

Por tanto la selección del calibre 14 AWG es la correcta, por recomendación del fabricante es aceptable incluso un calibre 12 AWG, por experiencia práctica se coloca el calibre 10 AWG.

Las protecciones del circuito fueron interruptores termo magnéticos, el cálculo de su capacidad toma en cuenta un voltaje  $V = 127$  Volts, con potencia  $P = 1000$  Watts y factor de potencia  $f_p=0.9$  para el SF, por lo tanto aplicando la formula (11), tenemos una  $I_p$  de protección que tiene un valor de 8.75A.

$$I_p = \frac{P}{V \cdot f_p} \quad (11)$$

Al valor calculado de  $I_p$  se le aumenta un 25% por motivos de seguridad, por lo que al multiplicar  $I_p$  por 1.25 su valor final es de 10.93A, este valor es la base de la  $I$  que nuestro interruptor termomagnético debe soportar.

Comercialmente, los termomagnéticos se encuentran en valores de 10, 15 y 20 A, según la  $I_p$  calculada se elige el valor próximo superior, esto nos arroja un termo magnético de 15 A, similar al que se muestra en la imagen.



**Figura 8** Interruptor termomagnético

Fuente: Google

### Características Técnicas del sistema.

En la sección *Diseño del sistema fotovoltaico* se establecen la cantidad de módulos solares para abastecer la carga del aula a distancia y la isla solar, por optimización de rendimiento, los paneles tienen una  $P_{max}$  de 250 W.

El modelo de los paneles es IUSASOL y cumplen los requisitos normativos de IEC y UL, los microinversores son de la misma marca puesto que sus características mecánicas y eléctricas (Tablas 2, 3 y 4) se ajustaron a los requisitos técnicos y de presupuesto establecidos para nuestro proyecto.

En la tabla 2, los 4 paneles operan bajo un rango de temperatura  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+80^{\circ}\text{C}$ , ante un sistema de voltaje máximo 1000V (IEC)/600VDC(UL) con rango máximo de fusible en serie de 15A y una tolerancia en potencia del +3%. Los módulos se van ubicar en la ciudad de Hidalgo del Parral Chihuahua, México, geográficamente se localiza a una latitud norte de  $26.93167^{\circ}$  y a una longitud oeste de  $-105.40$ , Figura 8.

Los paneles solares basan su orientación (PLACE, 1984), (Del Sol, 2008) en la ubicación geográfica de la región Hidalgo del Parral Chihuahua la cual se encuentra a una latitud  $\phi=26.93^{\circ}$  al norte del ecuador, por lo que la captación más óptima de los rayos solares se logrará guiando los paneles al sur.

La inclinación de los módulos depende de la altura solar, el ángulo zenital, la latitud de nuestra zona geográfica y la declinación  $\delta$ , como ya se afirmó en la sección II tomamos la practicidad de colocar los paneles en un rango de  $\pm 10^{\circ}$  en referencia a la latitud de nuestra región.

Físicamente la herramienta SunSeeker facilitó la ubicación sur necesaria para nuestros paneles y su elevación se logró mediante una herramienta de nivel que puede fácilmente descargarse en cualquier celular figura 10 y 11.



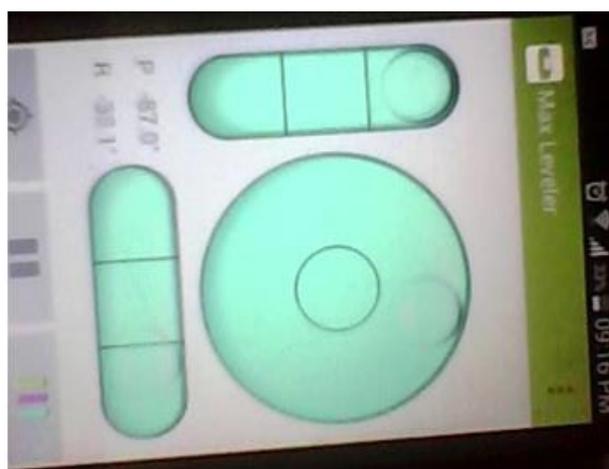
**Figura 9** Hidalgo del Parral Chihuahua

Fuente: © Google Maps



**Figura 10** Herramienta SunSeeker

Fuente: ©Google



**Figura 11** Herramienta Max Leveler

Tipo de celda	Policristalina
Arreglo de la celda	60 (6 x 10)
Dimensiones	1668x 982 x 46.2 mm (largo, ancho, alto)
Peso	19 Kg (44.1 Lb)
Cubierta Frontal	Vidrio Alta transmisividad texturado y templado de 3.2 mm
Material del marco	Aleación de aluminio (6063) anodizado, con toma de tierra.
Encapsulante	Eva, Back Sheet, Field Resistent a la interperie.

**Tabla 2** Características mecánicas de los paneles

Fuente: Elaboración Propia

	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 4
Potencia máxima nominal ( $P_{max}$ ) [W]	250	250	250	250
Voltaje de operación óptimo ( $V_{mpp}$ ) [V]	30.42	30.42	30.14	28.93
Corriente de operación óptima ( $I_{mpp}$ ) [A]	8.44	8.34	8.33	8.8
Voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) [V]	38.33	37.84	37.74	37.75
Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ) [A]	8.94	8.93	8.95	9.53

**Tabla 3** Características Eléctricas de los paneles

Fuente: Elaboración Propia

Potencia Máxima de Entrada	250W
Tensión de Entrada	25-40 VCC
Frecuencia Nominal	60 HZ
Tensión Nominal de Salida	127 VCA

**Tabla 4** Características Eléctricas del inversor MI-01-250

Fuente: Elaboración Propia

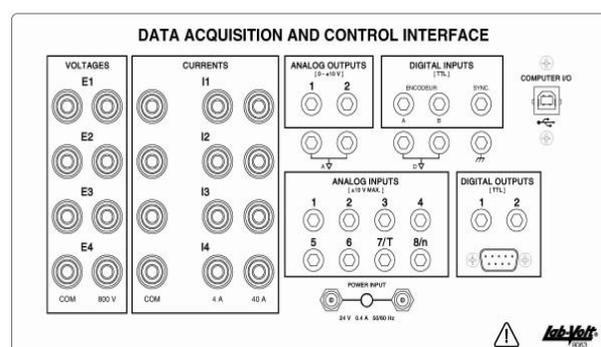
## Monitoreo del Sistema

El SF posee 3 medidores, 1 de ellos bidireccional, que permiten verificar en todo instante las características de energía generada (paneles solares), los otros 2 medidores son unidireccionales y registran la energía demandada (Cargas Tabla 1) e inyectada (en la red de la Escuela, CFE).

Los datos reflejados por nuestros medidores en cierto modo son validados por el modulo de adquisición 9063 de la compañía LabVolt.

El sistema adquirente de LabVolt consta de 4 entradas de alto voltaje, 2 salidas análogas, 8 entradas análogas, 3 entradas digitales y 9 salidas digitales (figura 12) que permiten analizar y monitorear voltaje, corriente, potencia, frecuencia además de analizar armónicos y graficar espectros de frecuencias (Lab-Volt Ltd., 2009).

Las terminales utilizadas del modulo 9063 para nuestro proyecto fueron las entradas de alto voltaje cuyos rangos de medición oscila entre 80 – 800V, 4 – 40A, potencia en W y energía en Wh, almacenando así la información de energía de nuestro sistema fotovoltaico.



**Figura 12** Panel Frontal del módulo 9063

Fuente: Lab-Volt Ltd

El módulo 9063 a través de su interfaz LVDAC-EMS refleja los datos de energía de nuestro sistema, figura 13 y 14.



Figura 13 Interfaz LabVolt  
Fuente: Lab-Volt Ltd

Los datos visualizados por la interfaz LVDAC-EMS comprueba que en menos 2 horas se llegó a producir 1000 W (figura 13) durante un día de monitoreo en que las condiciones climáticas no eran muy favorables (día nublado), en un día con condiciones óptimas y una no tan alta exigencia de las cargas, la mayor parte de la energía generada se inyecta a la red, la cantidad máxima de energía que los paneles generaron por hora fue 558Wh.



Figura 14 Interfaz LabVolt, día óptimo  
Fuente: Lab-Volt Ltd

Es importante mantener las condiciones óptimas de la instalación del SF afin de que la producción energética no vea afectado su rendimiento (Sandoval, 2018).

Anexo 1

Tamaño o Designación	Temperatura nominal del conductor (véase Tabla 310-13)	60 °C			75 °C			90 °C		
		TIPOS	TIPOS	TIPOS	TIPOS	TIPOS	TIPOS	TIPOS	TIPOS	
mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil	TW*, CCE, TWD-JV	RHW*, THHW*, THW*, TT, USE	MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THHW-L, XHHW*, XHHW-2, USE-2 FEP*, FEPB*	UF*	RHW*, XHHW*	RHW-2, XHHW-2, DRS			
		Cobre			Aluminio					
0,824	18	---	---	14	---	---	---	---	---	---
1,31	16	---	---	18	---	---	---	---	---	---
2,08	14	---	20*	20*	---	---	---	---	---	---
3,31	12	---	25*	25*	---	---	---	---	---	---
5,26	10	---	30	35*	---	---	---	---	---	---
8,37	8	---	40	50	---	---	---	---	---	---
13,3	6	55	65	75	40	50	60	---	---	---

Figura 15 Tabla 310-(15b) (16) Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores asilados para 0 a 2000V nominales y 60° C a 90 ° C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrado, para una temperatura de 30 ° C Fuente: DOF 2012

Temperatura ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30 °C, multiplicar la anterior capacidad de conducción de corriente por el correspondiente factor de los siguientes								
21-25	1,08	1,00	1,05	1,04	1,00	1,08	1,00	1,05	1,04
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
31-35	0,91	0,91	0,94	0,96	0,96	0,91	0,94	0,94	0,96
36-40	0,82	0,82	0,88	0,91	0,91	0,82	0,88	0,88	0,91
41-45	0,71	0,71	0,82	0,87	0,87	0,71	0,82	0,82	0,87
46-50	0,58	0,58	0,75	0,82	0,82	0,58	0,75	0,75	0,82
51-55	0,41	0,41	0,67	0,76	0,76	0,41	0,67	0,67	0,76
56-60	---	---	0,58	0,71	0,71	---	0,58	0,58	0,71
61-70	---	---	0,33	0,58	0,58	---	0,33	0,33	0,58
71-80	---	---	---	0,41	0,41	---	---	---	0,41

Figura 16 Tabla 310-(15b)(16) Factores de corrección Fuente: DOF 2012

Tamaño o Designación AWG / kcmil	RESISTENCIA ELECTRICA CA, REACTANCIA INDUCTIVA E IMPEDANCIA PARA CABLES DE 600 V, OPERANDO A 75° C EN UN SISTEMA TRIFASICO A 60 HZ: 3 CABLES UNIPOLARES EN UN MISMO DUCTO (CONTINUACIÓN)		
	Ω/km, al neutro		
	*Impedancia Z de conductores de Cobre		
	Factor de potencia = 0,9*		
	Ducto de PVC	Conduit de aluminio	Conduit de acero
14	9,2	9,2	9,3
12	6,0	6,0	6,0
10	3,6	3,6	3,6
8	2,4	2,4	2,4
6	1,5	1,5	1,5
4	0,98	0,98	1,0
3	0,81	0,81	0,82
2	0,63	0,65	0,67
1	0,51	0,54	0,55
1/0	0,42	0,45	0,43
2/0	0,36	0,36	0,37
3/0	0,29	0,30	0,31
4/0	0,24	0,26	0,26
250	0,21	0,23	0,23
300	0,19	0,20	0,21

Figura 17 Tabla 310-(15b) (16) Impedancias Fuente: DOF 2012

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															

Figura 18 Pantalla de Cálculos de irradiación

Fuente: Elaboración Propia

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
3									
4	ghtransversolectra	kt	fac	Rb	fd	fr	R	Gmedia	Gtdia kWh/m2dia
5	35202384.9	0.7388145	0.18048008	1.5436867	0.9455033	0.0544967	1.4575252	24.556384	6.821217796
6	36858229.64	0.751545	0.16823974	1.3546859			1.3076438	26.738701	7.427417031
7	37517354.25	0.7319479	0.18689716	1.1610328			1.1425497	27.023585	7.506551344
8	36411376.94	0.7489188	0.17080275	0.9875838			1.002195	27.672609	7.686835897
9	34388071.2	0.7351692	0.18390231	0.8712797			0.9067283	26.309627	7.308229697
10	33108768.63	0.6387351	0.26444281	0.8215902			0.8761568	22.552277	6.264521425
11	33533214.33		0.54055	0.33843679	0.8434013		0.899755	19.337535	5.371537554
12	35307082.67	0.5725297	0.31415351	0.9358497			0.9606811	20.750712	5.764086647
13	36843481.16	0.5668283	0.31843634	1.0883849			1.0646849	20.429173	5.674770348
14	36854477.11	0.6880243	0.22531612	1.2876689			1.2323722	24.267873	6.741075771
15	35474316.38	0.7687671	0.15091188	1.4912231			1.4306662	26.164024	7.267784435
16	34488176.09	0.5793285	0.30906238	1.604045			1.4223132	17.716333	4.921203679
17							promedio:		6.562935969

Figura 19 Horas solares pico en Excel

Fuente: Elaboración Propia

## Agradecimientos

En esta sección reconocemos al Tecnológico Nacional de México y al campus Instituto Tecnológico de Parral por financiar el desarrollo y publicación de la presente investigación. El sustento teórico de este documento en gran medida se lo agradecemos a la Universitat Politècnica de Catalunya a través del programa Experto en Energía Renovables.

## Conclusiones y trabajos a futuro

Este artículo presenta los elementos teóricos necesarios para llevar a cabo la instalación física de un sistema fotovoltaico para un aula a distancia y una isla solar que alimentó a dispositivos móviles menores.

Ante los resultados mencionados en la sección **Monitoreo del Sistema** se demuestra que es posible la implementación de sistemas con fuentes de energías alternas a los esquemas tradicionales (CFE) y que incluso una aplicación menor es capaz de inyectar una buena cantidad de energía a la red cuando la demanda del sistema no se encuentra al máximo.

A futuro queda elaborar sistemas híbridos fotovoltaicos como en (Ricalde, 2015) de mayor producción de energía que contrasten su generación contra la inversión económica que a corto y largo plazo un usuario doméstico e industrial puedan amortizar, pero algo claro podemos mencionar al respecto, la energía solar es una de las tantas energías limpias cuyo impacto real se producirá cuando el subsidio del gobierno ya no este presente, siendo una de las alternativas viables de sustentabilidad (García, 2017) energética.

## Referencias

Caldera, E. (2018). La industria Eléctrica y las Energías Renovables. *Revista de Energías Renovables*, Vol. 4(34), 5-12.

CCEEA. (Abril 2017). Energía Solar Fotovoltaica (Sistemas Autónomos). *Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas*. Torreón, México.

Del Sol, N. &. (2008). Energía Renovable y no Renovable. *Revista tecnica de la empresa de telecomunicaciones*. Cuba.

DOF. (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012: Instalaciones Eléctricas. Ciudad de México.

Escobedo, J., González, M., Reynoso, L. y Alarcón, M. (2017). Cuantificación de la incidencia de radiación ultravioleta (UV-A, UV-B) en Durango México. *Revista de Energías Renovables ECORFAN*. Vol. 1(2), 23-30.

García, J., Bautista, M.E., Hernández, A. y Ramírez, C. R. (2017). Generación de energía sustentable, por medio de una celda de combustible microbiana. Caso de estudio: Marismas de Altamira, Tamaulipa y Pueblo Viejo, Veracruz. *Revista de Energías Renovables ECORFAN*, Vol 1(2), 1-11.

Ibañez, M., Rosell, J.R., y Urrutia, J.I. (2005). *Tecnología Solar*. Madrid España:Mundiprensa.

Lab-Volt Ltd. (2009). Data Acquisition and Control System LVDAC-EMS User Guide.

Recuperado de:

[http://web.csulb.edu/~lrodrig/testEquip/labvolt/Data\\_Acquisition\\_and\\_Control\\_System\\_LVDA\\_C-EMS.pdf](http://web.csulb.edu/~lrodrig/testEquip/labvolt/Data_Acquisition_and_Control_System_LVDA_C-EMS.pdf)

Monterrey, V. (2013). *Manual del Electricista*. San Nicolas de los Garza, N.L.

NASA (2018). *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources*. Recuperado de: <https://power.larc.nasa.gov/>

Organización Latinoamericana de Energía & Programa Latinoamericano de Cooperación Energética (PLACE). (1984). *Manual de Solarimetría y Evaluación Energético Solar*. Quito. Recuperado de: [biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0268.pdf](http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0268.pdf)

Oropeza, I. (2015). *Programa de Posicionamiento Solar SOLARTIUH v1.0 Desarrollo para el diseño del Control Solar en Edificios*. XXXIX Semana Nacional de Energía Solar, Campeche, México.

Pericas, R. (Septiembre – Noviembre 2017). Módulo 1 Tema 1: Recursos Energéticos. *Manual de Energías Renovables de la Universitat Politècnica de Catalunya*. Barcelona España.

Pericas, R. (Septiembre – Noviembre 2017). Módulo 2 Tema 1: Energía Solar Térmica. *Manual de Energías Renovables de la Universitat Politècnica de Catalunya*. Barcelona España.

Ricalde, L., Kaul, J., Cantún, K., Rivadeneyra, G. (2015). *Optimización en el dimensionamiento de un sistema híbrido fotovoltaico-eólico-batería bajo condiciones del recurso eólico para la ciudad de Mérida y el puerto chelem, Yucatán México*. XXXIX Semana Nacional de Energía Solar, Campeche, México

Sandoval, B. (2018). Ganancia de producción de un sistema fotovoltaico interconectado posterior a su mantenimiento. *Revista de Energías Renovables ECORFAN*, Vol. 4(34). 6-9.

## Desarrollo de una biocelda fotovoltaica a partir de residuos verdes

### Development of a photovoltaic biocell from green waste

LAGUNAS-BERNABÉ, Ignacio†\* & LOA-ARJONA, Jocelyn

*Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec, División de Ingeniería Química*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Ignacio, Lagunas-Bernabé* / ORC ID: 0000-0001-6018-6079, Researcher ID Thomson: I-2780-2018, CVU CONACYT ID: 97810

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Jocelyn, Loa-Arjona* / ORC ID: 0000-0002-7224-9791, Researcher ID Thomson: H-1072-2018, CVU CONACYT ID: 904417

Recibido 10 de Febrero, 2018; Aceptado 30 Marzo, 2018

#### Resumen

Diversidad de investigaciones está enfocados en la búsqueda de fuentes alternativas de energía sustentable, ya que las formas tradicionales de producción de energía tienen un impacto negativo sobre el medio ambiente. La fotosíntesis es un proceso de suma importancia para la biosfera porque convierte la energía de la radiación solar en energía química que puede ser usada por todas las formas de vida. El presente proyecto tiene como finalidad generar energía fotovoltaica, empleando como receptor de fotones la clorofila del *Pennisetum clandestinum* (pasto común), simulando la fotosíntesis, se aprovecha el flujo de electrones derivado, para generar energía eléctrica. Se evaluó la generación de electricidad de la biocelda a través de diseños estadísticos experimentales básicos, teniendo como variables de respuesta el voltaje e intensidad de corriente. Se logró generar una intensidad de corriente de  $0.022 \pm 0.008$  mA y  $3.85 \pm 0.15$  mV de energía durante 10 hrs fase luminosa natural. Actualmente se está diseñando una biocelda a escala piloto con un amplificador o convertidor de voltaje/corriente, para aumentar la capacidad generadora de electricidad.

#### Biocelda, Fotosíntesis, Energía Eléctrica

#### Abstract

A diversity of research is focused on the search for alternative sources of sustainable energy, since traditional forms of energy production have a negative impact on the environment. Photosynthesis is a very important process for the biosphere because it converts the energy of solar radiation into chemical energy that can be used by all forms of life. The purpose of this project is to generate photovoltaic energy, using the chlorophyll of *Pennisetum clandestinum* (common grass) as a photon receiver, simulating photosynthesis, using the derived electron flow to generate electrical energy. The generation of electricity from the biocell was evaluated through basic experimental statistical designs, with the voltage and current intensity as response variables. It was possible to generate a current intensity of  $0.022 \pm 0.008$  mA and  $3.85 \pm 0.15$  mV of energy during 10 hrs natural light phase. A pilot-scale biocell is currently being designed with an amplifier or voltage / current converter to increase the electricity generating capacity.

#### Biocell, Photosynthesis, Electrical Energy

**Citación:** LAGUNAS-BERNABÉ, Ignacio & LOA-ARJONA, Jocelyn. Desarrollo de una biocelda fotovoltaica a partir de residuos verdes. Revista de Energías Renovables 2018. 2-4:19-23.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: lagunas.ix07@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

En la actualidad, una gran diversidad de proyectos está encaminados en la búsqueda de fuentes alternativas de energía sustentable, cada vez menos dependientes de las fuentes tradicionales (p.e. petróleo), ya que estas últimas formas de producción de energía tienen un impacto negativo sobre el medio ambiente. El presente proyecto presenta una propuesta de generar energía fotovoltaica por medio de extractos de clorofila del pasto común (*Pennisetum clandestinum*), pigmento relacionado con la fotosíntesis.

La fotosíntesis es un proceso de suma importancia para la biosfera, porque convierte la energía de la radiación solar en energía química que puede ser usada por todas las formas de vida. La fotosíntesis comprende dos reacciones globales diferenciadas. En la primera se realiza la transducción de energía, y en la segunda la reducción y fijación del carbono (Oster *et.al.* 1964; Kartini *et.al.* 2015).

Los pigmentos fotosintéticos son los únicos que tienen la capacidad de absorber la energía de la luz solar y hacerla disponible para el aparato fotosintético. Los cloroplastos de las plantas superiores contienen siempre varios pigmentos tales como la clorofila “a”, clorofila “b”, algunas xantofilas y carotinas.

El organismo vegetal ha desarrollado un sistema para capturar un fotón de luz y utilizar la energía para elevar el nivel energético de un electrón determinado que posteriormente regresa a su nivel basal. Es posible romper las células vegetales en fracciones con una solución amortiguadora (pH 6.5), con lo que se liberan de los cloroplastos los sub-organelos llamados grana, los cuales aún son capaces de llevar a cabo la fotosíntesis, siendo esta situación la que se aprovechara para obtener energía eléctrica (Hope y Sariciftci, 2004).

Una celda solar fotovoltaica es un dispositivo que convierte la energía de la luz del sol en energía eléctrica en forma directa, sin la necesidad de piezas móviles o algún tipo de combustión.

El efecto fotovoltaico, es decir, convertir la luz solar en electricidad se produce en materiales conocidos como semiconductores, las cuales son materiales cuya conductividad puede ser modificada, y además generar una corriente eléctrica con cargas negativas, positivas o ambas (Antohe *et.al.* 1996).

Al incidir los rayos del sol en un semiconductor, algunos de los electrones de la banda de valencia absorben energía de los fotones y pasan a la banda de conducción donde pueden ser llevados fácilmente a un circuito externo generando por tanto una corriente electrónica. Al dejar su lugar los electrones, provocan en el material “huecos”, considerados como una partícula de signo positivo, los cuales también se “mueven” como una corriente en sentido opuesto a la electrónica. Este movimiento se asemeja al desplazamiento de una burbuja en el agua.

Para que los electrones y huecos generados por la luz solar no se recombinen dentro del semiconductor se debe contar con un campo eléctrico interno, en cuyo sentido se moverán los electrones. Este campo eléctrico es producido en general por una juntura similar a la del diodo semiconductor (Zhang y Angelidaki, 2012).

La mayoría de las celdas solares del siglo XXI utilizaban sílice muy refinada para convertir la luz solar en electricidad utilizable. Desafortunadamente, el uso y el refinamiento de sílice en celdas solares tienen potenciales riesgos ambientales y para la salud. En 1991, se creó la primera celda sensibilizada por colorantes orgánicos, con una eficiencia de conversión de energía del 10%. Fue inventada por Michael Graetzel (Suiza), y fue construida con materiales de bajo costo a partir de un proceso de fabricación muy simple.

Gracias al químico Michael Graetzel, actualmente muchos países lideran las investigaciones de este método energético como Alemania y España que son los más destacados. Cada vez más se obtienen mejores resultados tanto en eficiencia como en costo. Sin embargo, con estos resultados positivos aun no son suficientes para ponerse por encima de las celdas tradicionales.

Una característica especial de estas celdas, es que contienen además de las nanopartículas de los óxidos respectivos, unos electrodos y un colorante en el interior de estas estructuras, tipo sándwich. Entre las funciones de este colorante, se encuentran el ser receptor de la luz solar incidida en las celdas y, al excitarse, proporciona los electrones los cuales serán transportados a los electrodos, y de esta manera, lograr la producción de energía (Wang y Kitao, 2012).

De esta manera, se aprovechará el proceso fotosintético del *Pennisetum clandestinum*, dentro de una biocelda, ya que el flujo de electrones que se generen en el proceso bioquímico serán colectados en un sistema de electrodos (ánodo y cátodo), y se evaluará su eficiencia energética para proponer una alternativa de fabricación de celdas solares fotovoltaicas con pigmento orgánico.

## Metodología

### 1. Obtención de extracto crudo de clorofila

Se empleó como materia prima residuos de pasto común (*Pennisetum clandestinum*), proveniente de la poda de los jardines del Tecnológico de Jilotepec (Estado de México, Méx.). Se retiraron restos vegetales ajenos al pasto, posteriormente por cada 100 grs de pasto se adicionó 100 ml de solución amortiguadora TRIZMA pH 7.2 (mezcla 1:1 de TRIZMA base y TRIZMA HCl, Sigma-Aldrich, Méx.) a 4°C, y se procedió a homogeneizar en una licuadora doméstica, se filtró la mezcla con papel filtro Whatman número 40, y se guardó en envases de polietileno oscuro a 4° C. La mezcla se mantuvo estable por 30 días bajo estas condiciones.

### 2. Identificación de clorofila en el extracto crudo

Para confirmar la presencia de clorofila y determinar el tipo de ésta, se realizó una curva de absorbancia de 200 a 800 nm con intervalos de 30 nm, empleando un espectrofotómetro UV-Visible (VELAB modelo VE-5100UV, E.U.), el extracto crudo se diluyó a razón 1:10 v/v, se realizaron las lecturas en una celda de cuarzo de 1 cm de ancho. Como referencia se empleó clorofila A patrón (Sigma-Aldrich, Méx.) preparado como una solución 0.5 mM solución amortiguadora TRIZMA pH 7.2 (Martín y Castañeda, 2016).

### 3. Efecto de la cantidad de extracto de clorofila en la generación de corriente eléctrica

Para evaluar el posible efecto de la cantidad de extracto de clorofila en el voltaje e intensidad de corriente, se realizaron mezclas extracto clorofila/agua fisiológica, siendo como volumen total de 200 mL cada tratamiento. Se considera como agua fisiológica una solución de NaCl al 0.9% m/v. (Tabla 1).

Experimento	Extracto de clorofila (mL)	Solución NaCl 0.9 % (mL)
1	50	150
2	100	100
3	150	50
4	200	0

**Tabla 1** Relación de mezclas para evaluar voltaje y corriente eléctrica

Fuente Elaboración Propia

### 4. Desarrollo de prototipo de biocelda fotovoltaica

Se armó un dispositivo tipo celda electrolítica basado en la biocelda de Lefebvre y colaboradores (2011), con dos recipientes conectados con puente de agar salina (Agar-KCl 1%), en un primer vaso de precipitados de 250 mL. se colocaron 200 mL. del extracto de clorofila conforme a los experimentos de la Tabla 1, y se conectó un electrodo de grafito; en el segundo vaso (que servirá para completar la celda electrolítica) con 200 mL. de solución de ZnSO<sub>4</sub> se colocó un electrodo de zinc (Figura 1). Para poder aumentar el voltaje, se conectaron de dos a cinco pares de celdas conectados en serie. Se midió el voltaje en mV y la intensidad de corriente en mA, empleando un multímetro Extech®. Se realizaron mediciones cada hora en un lapso de 10 horas efectivas luz natural por 3 días consecutivos.



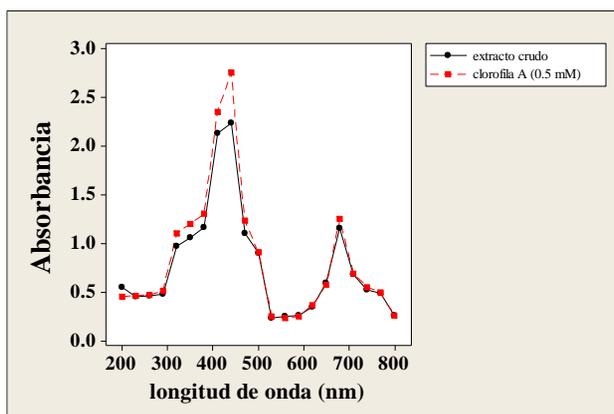
**Figura 1** Prototipo de celda eléctrica con extracto de clorofila y una solución de ZnCl<sub>2</sub>

Fuente: Elaboración Propia

## Resultados

### 1. Identificación de clorofila en el extracto crudo

Al desarrollar y graficar los datos generados de la curva de absorbancia, se determinó la presencia de clorofila A, puesto que coincidió con la curva de absorbancia de la clorofila A patrón (Gráfico 1). Esto coincide con los trabajos de Milenkovic *et.al.*(2012) y Martín-Castañeda (2016), confirmando las dos zonas del espectro visible que absorbe la clorofila: de 400 a 500 nm y de 600 a 700 nm.



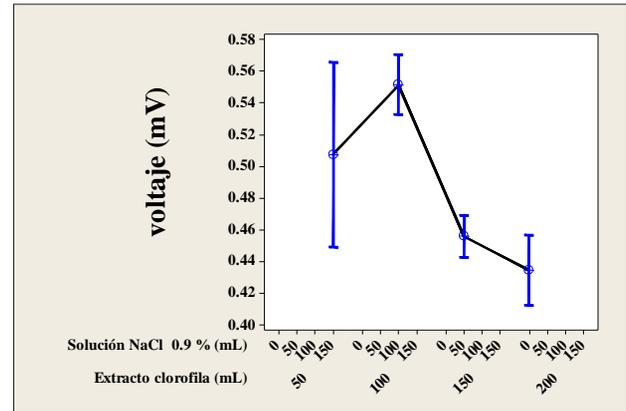
**Gráfico 1** Curva de absorbancia del extracto de clorofila de pasto común y clorofila A patrón

Fuente: Elaboración Propia

### 2. Efecto de la cantidad de extracto de clorofila en la generación de corriente eléctrica

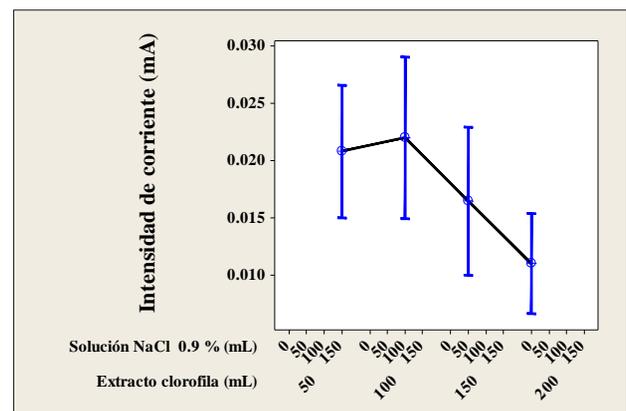
La finalidad de este experimento fue evaluar si existe variación de voltaje y corriente eléctrica al variar la cantidad de extracto de clorofila en dilución con la solución de NaCl al 0.9 % m/v, en el Gráfico 2 se aprecia que en voltaje, hay diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ) entre 100 ml contra 150 y 200 ml de extracto clorofila, sin embargo no hay diferencias significativas para intensidad de corriente (Gráfico 3).

Comparando las medias del Gráfico 2, se decide emplear la cantidad de 100 ml de extracto por cada 200 mL de volumen total de celda fotovoltaica, es decir al 50% v/v, esto debido a que registró un voltaje promedio de 0.55 mV.



**Gráfico 2** Generación de voltaje (mV) según cantidad del extracto de clorofila.

Fuente: Elaboración Propia



**Gráfico 3** Generación de corriente eléctrica (mA) según cantidad del extracto de clorofila

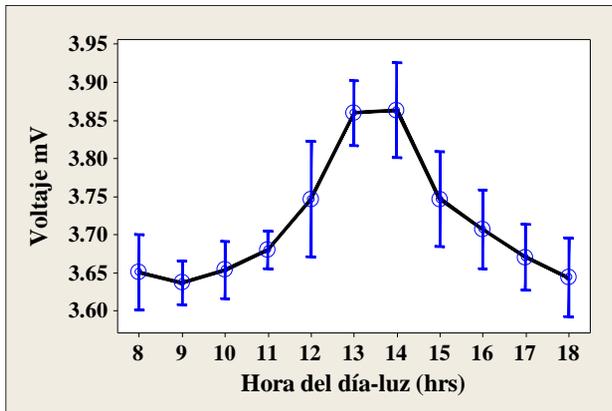
Fuente: Elaboración Propia

Es posible que en la mezcla extracto de clorofila: solución NaCl 0.9%, (100:100 mL), la clorofila y los organelos presente en el extracto, estén en las condiciones fisiológica ideales para llevar a cabo la absorción de energía luminosa, la función del electrodo de gráfico es atraer los electrones generados en el proceso de absorción de fotones de la luz natural, los cuales con bioprocesados con los cloroplastos del extracto verde del *Pennisetum clandestinum* (Wang y Kitao, 2012; Kartini *et.al.* 2015).

### 3. Desarrollo de prototipo de biocelda fotovoltaica

Se determinó que, al conectar hasta 5 celdas fotovoltaicas en serie, aumentaba el voltaje, aunque la intensidad de corriente se mantenía con valores alrededor de  $0.022 \pm 0.008$  mA. Para evaluar la generación de voltaje durante un periodo de horas consideradas de mayor exposición a la luz natural, se decidió exponer el sistema de celdas fotovoltaicas a la luz de día durante 10 horas efectivas de luz (de 8 hrs a 18 hrs) por tres días consecutivos.

Se puede apreciar en el Gráfico 4 que, durante la fase luminosa solar, se tiene un máximo de  $3.85 \pm 0.15$  mV principalmente en las horas de máxima exposición solar (de 12 a 15 hrs).



**Gráfico 4** Comportamiento del voltaje (mV) en un sistema de 5 celdas fotovoltaicas durante 10 horas-luz natural.

Fuente: Elaboración Propia

### Agradecimiento

Se agradece al PRODEP-SEP por el financiamiento otorgado al proyecto general *Tecnologías para el aprovechamiento de residuos agroindustriales y remediación del agua*, en la Convocatoria 2017 “Apoyo para el Fortalecimiento de Cuerpos Académicos”.

### Conclusiones

Se determina que es viable la construcción de fotoceldas voltaicas del tipo orgánico, en la literatura se encuentra que este tipo de investigaciones están en proceso, principalmente existen prototipos miniatura con placas de vidrio, pero emplean electrodos difícilmente accesibles.

La presente propuesta utiliza materiales que son fáciles de conseguir y económicos, al momento se ha logrado generar un voltaje en promedio de 3.5 mV, y se está en proceso de aumentar la intensidad de corriente al menos hasta 500 mA, para ello se está diseñando un amplificador de corriente (convertidor de voltaje). Además, se está trabajando en un rediseño de las fotoceldas voltaicas para darle mayor viabilidad económica.

### Referencias

- Antohe, S., Tugulea, L., Gheorghe, V., Ruxandra, V., Caplanus, I. and Ion, I. (1996). Electrical and photovoltaic properties of TO/Chlorophyll PyP/Al p-n junction cells, *Phys. Stat. Sol.*, 153(5), 581-588.
- Hoppe, H. and Sariciftci, N. (2004). Organic solar cells: An overview, *J. Mater. Res.*, 19 (4), 1924- 1945.
- Kartini, I., Dwitasari, L., Wahyuningsih, T.D., Wang, L. (2015). The sensitization of xanthophylls-chlorophyllin mixtures on titania solar cells. *Internat. J. Sci. Eng.* 8, (2), 109-114.
- Lefebvre, O., Uzabiaga, A., Chang, I.S., Kim, B.H., Ng, H.Y. (2011). Microbial fuel cells for energy self-sufficient domestic wastewater treatment- a review and discussion from energetic consideration. *Appl Microbiol Biotechnol*, 89(2), 259-70.
- Martín, J.F., Castañeda, J.G. (2016). Análisis de la clorofila de *Spinacia oleracea* y cuantificación de albúmina de espagueti utilizando espectrofotometría. *UGCiencia*. (22), 99-109.
- Milenković, S. M., Zvezdanović, J. B., Anđelković, T. D., and Marković, D. Z. (2012). The Identification of Chlorophyll and Its Derivatives in the Pigment Mixtures: HPLC-Chromatography, Visible and Mass Spectroscopy Studies. *Adv. Tech.* 1(1), 16-24.
- Rossi, M., Matteocci, F., Di Carlo, A., Forni, C. (2017). Chlorophylls and xanthophylls of crop plants as dyes for Dye-Sensitized solar cells. *J. Plant Sci Phytopathol.*, (1), 521-565.
- Oster, G., Broyde, S. B., and Bellin, J. S. (1964). Spectral Properties of Chlorophyllin a. *J. Am. Chem. Soc.* (86), 1309- 1313.
- Wang, X.F., Kitao, O. (2012). Natural chlorophyll-related porphyrins and chlorins for dye-sensitized solar cells. *Molecules*, (17), 4484-4497.
- Zhang Y., Angelidaki I. (2012). Self-stacked submersible microbial fuel cell (SSMFC) for improved remote power generation from lake sediments. *Biosensors and Bioelectronics* 35(1), 265-270.

## Análisis para la instalación de paneles solares en el laboratorio y centro de cómputo del Instituto Tecnológico de Chihuahua II

## Analysis for the installation of solar panels in the laboratory and computer center of the Instituto Tecnológico de Chihuahua II

HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, María Guadalupe\*†, ORTEGA-CHÁVEZ, Laura Antonia, MARTINEZ-CASTELLANOS, María Elena y CARO-ESCUADERO, Iveth Selene

*Instituto Tecnológico de Chihuahua II / Tecnológico Nacional de México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *María Guadalupe, Hernández-Rodríguez* / ORC ID: 0000-0001-7278-7699, Researcher ID Thomson: I-6541-2018

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Laura Antonia, Ortega-Chávez* / ORC ID: 0000-0001-7860-1277

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *María Elena, Martínez Castellanos* / ORC ID: 0000-0002-5777-0482

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Iveth Selene, Caro-Escudero* / ORC ID: 0000-0002-3611-2309

Recibido 10 de Febrero, 2018; Aceptado 30 Marzo, 2018

### Resumen

En el presente artículo se aborda el análisis que actualmente se realiza en el Instituto Tecnológico de Chihuahua II (ITCHII), para un uso eficiente de la energía eléctrica mediante la instalación de paneles solares que suministren energía al área del laboratorio de cómputo. El ITCHII, establece en su política ambiental el compromiso de orientar sus actividades del Proceso Educativo, hacia el respeto del medio ambiente y uso racional de los recursos, mediante el SGA, conforme a la norma ISO 14001. Actualmente el ITCHII se encuentra en proceso de certificación en el SGen conforme a la norma ISO 50001, para lograr la mejora sostenida y continua del desempeño energético en la Institución. La eficacia de la implementación de este proyecto estará definida por el logro de los resultados planeados, los cuales establecen una reducción en los consumos de energía eléctrica.

**Paneles Solares, Energía Eléctrica, Eficiencia**

### Abstract

In the present article the analysis that is currently carried out in the Technological Institute of Chihuahua II (ITCHII) is addressed, for an efficient use of the electrical energy by means of the installation of solar panels that supply energy to the area of the computer lab. The ITCHII establishes in its environmental policy the commitment to guide its activities of the Educational Process, towards respect for the environment and rational use of resources, through the SGA, in accordance with the ISO 14001 standard. Currently, the ITCHII is in the process of certification in the SGen in accordance with the ISO 50001 standard, to achieve sustained and continuous improvement of energy performance in the Institution. The effectiveness of the implementation of this project will be defined by the achievement of the planned results, which establish a reduction in the consumption of electricity.

**Solar Panels, Electric Power, Efficiency**

**Citación:** HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, María Guadalupe, ORTEGA-CHÁVEZ, Laura Antonia, MARTINEZ-CASTELLANOS, María Elena y CARO-ESCUADERO, Iveth Selene. Análisis para la instalación de paneles solares en el laboratorio y centro de cómputo del Instituto Tecnológico de Chihuahua II. Revista de Energías Renovables. 2018. 2-4: 24-31.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: maria.hernandez@itchihuahuaii.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

© ECORFAN-Perú

**Introducción**

El ahorro de energía eléctrica es un elemento fundamental para el aprovechamiento de los recursos energéticos; ahorrar equivale a disminuir el consumo de combustibles en la generación de electricidad evitando también la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera. En México la mayor parte de la generación de electricidad se realiza a través de la quema de combustibles fósiles como lo son el petróleo, el carbón y el gas natural, impactando de manera importante en el medio ambiente.

El cambio climático está ocurriendo por la presencia de los gases de efecto invernadero (GEI), derivada de las actividades humanas que alteran la composición química, así como por la variabilidad climática atribuible a causas naturales (IPCC, 2014), lo que ha producido un aumento promedio aproximado de un grado Celsius en el último siglo, una elevación de aproximadamente 17 cm en el nivel del mar, pérdida de la biodiversidad marina, reducción de la captura de dióxido de carbono y disminución de la cobertura de hielo en los casquetes polares; efectos que repercuten en el hábitat de los asentamientos humanos y de los animales y vegetales.

En 2010 la contribución de las emisiones de los GEI del sector energético mexicano representó el 67.3%, 503,817.6 gigagramos de bióxido de carbono equivalentes (Gg de CO<sub>2</sub> eq) (Inventario Nacional de Emisiones de Gases de efecto invernadero 2010), y la generación de energía eléctrica contribuyó con 115,537.4 Gg de CO<sub>2</sub> eq. (INECC, 2013), debido a que el 79 % de la electricidad en México se produce con el uso de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas y carbo eléctricas (SENER, 2015).

El uso de energías renovables, como la energía solar fotovoltaica, disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> (Iranoust, 2016; Ren et al., 2016), mejora el medio ambiente, incrementa la calidad del aire y mejora la salud pública (Wiser et al., 2016); además de reducir las emisiones de GEI, mitiga los efectos del cambio climático (Ould-Amrouche et al., 2010; Breyer et al., 2015, Moran y Natarajan, 2015), y su uso es una opción económica y ecológicamente factible (Breyer et al., 2015).

[www.ecorfan.org/republicoferu](http://www.ecorfan.org/republicoferu)

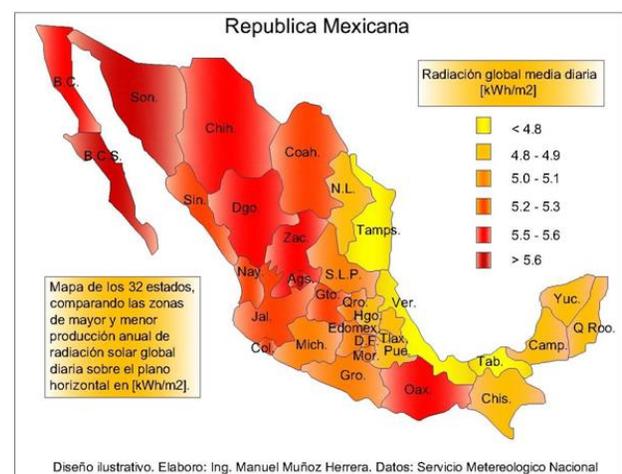
En la actualidad, se presta cada vez más atención al desarrollo sostenible, y el uso de la energía fotovoltaica se considera como un indicador de sostenibilidad de las ciudades (Kýlkýs, 2016).

La Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica establece que México, además de ubicarse dentro del cinturón solar, tiene un alto potencial fotovoltaico, y está dentro de los cinco mejores países del mundo con mayor atractivo para esta energía renovable (Aleman-Nava et al., 2014).

El objetivo de este estudio es determinar la factibilidad y fiabilidad de intalar un Sistema fotovoltaico de interconexión a CFE en el laboratorio y centro de computo del Instituto Tecnológico de Chihuahua II, como parte de las estrategias del SGA y SGen para mejorar el desempeño energético y respetar el medio ambiente mediante la reducción de GEI.

**Marco Teorico**

De acuerdo a datos de Proméxico, México es una de las 5 naciones con mayor atractivo para invertir en energía solar, esto es debido a la privilegiada ubicación geográfica del país, la cual goza de grandes cantidades de hora sol en distintas regiones de su extensión y ser el mayor productor de paneles en América Latina. La radiación solar de México se muestra en la figura 1.

**Figura 1** Radiación solar global diaria de México

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Chihuahua es uno de los estados importantes en el aprovechamiento de la energía solar. Actualmente el estado se ubica como el líder nacional en el uso de paneles solares para residencias y cuenta con proyectos importantes relacionados con este tema:

- Central solar a cargo de Border Solar Norte.
- Parque solar Fátima.
- Parque solar Santa Bárbara.
- Construcción de plantas solares Ascensión 1 y 2.
- Los Santos solares 1 y 2.

Al igual que otros estados del norte de México, Chihuahua, sus ciudades y municipios están aprovechando la radiación solar que sus habitantes reciben todos los días (POISE 2011-2025).

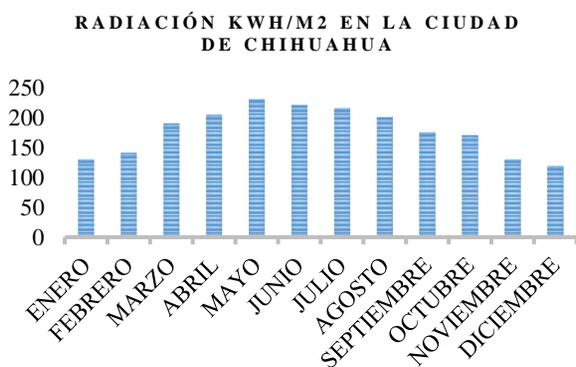
El municipio de Chihuahua se encuentra en las coordenadas geográficas de 28° 40' latitud norte y 106° 06' longitud oeste, con una altura de 1,495 metros sobre el nivel del mar.

La irradiación solar promedio en kwh/m2-Día en cada uno de los meses en la ciudad de Chihuahua, se presenta en la siguiente tabla:

Mes											
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.4	6.4	6.5	6.8	6.8	6	5.2

**Tabla 1** Irradiación solar en en la ciudad de Chihuahua en Kwh/m2-Día

Fuente: Reportes de insolación de México. Southwest Technology Development Institute, NMSU



**Gráfico 1** Radiación difusa y radiación global en Kwh/m<sup>2</sup> en la ciudad de Chihuahua

Fuente: METEONORM 2017

## Materiales y Métodos

### Origen de los datos.

Los datos fueron proporcionados por el departamento del Sistema de Gestión Ambiental del área de control operacional del consumo de energía eléctrica del Instituto Tecnológico de Chihuahua II.

La población bajo estudio fue el Laboratorio y Centro de Computo del Instituto Tecnológico de Chihuahua II, debido a que es una de las áreas de mayor consumo de energía eléctrica.

La siguiente tabla muestra el inventario de equipo que se tiene en el laboratorio y centro de cómputo del Instituto Tecnológico de Chihuahua II, las horas promedio de operación, el consumo de energía eléctrica (EE) por aparato en W/hr y consumo total por día en Kw/hr.

Equipo	Número de aparatos	Horas promedio de operación	Consumo de ee por aparato en w/hr	Total de consumo de ee por día en kw/hr
Computadoras	173	10	200	346
Cañones	6	10	300	18
Minisplits	17	10	3500	595
Telefonía:				
1 cerebro y dos extensiones	3	24	216	15.552
Internet:				
Switch	5	24	60	7.2
Firewall	1	24	60	1.44
Convertidores de red-fibra optica	10	24	6	1.44
Servidores centro de computo	3	24	1320	95.04
Servidores laboratorio	4	24	1212	116.352
Impresora laboratorio de computo	1	10	1440	14.4
Impresora jefatura centro computo	1	4	1000	4
Laptops	12	10	74.154	8.89848
Refrigeradores	2	24	96	4.608
Aire centro de computo	2	24	1850	88.8
Aire soporte técnico	1	10	73.2	0.732
Dispensador de agua	2	24	420	20.16
Cafetera	1	4	350	1.4
Microondas	2	4	1200	9.6
Lamparas 116x4	464	10	39	180.96
Total				1529.58248

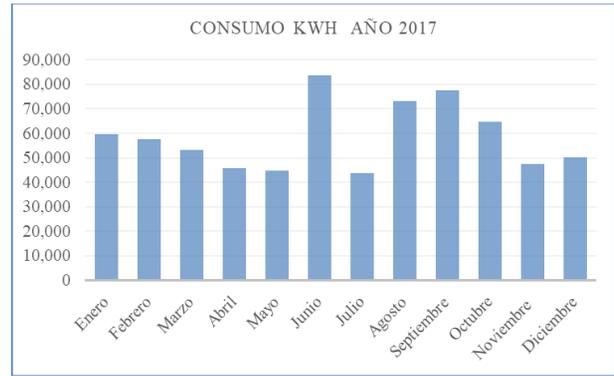
**Tabla 2** Inventario de equipo en el laboratorio y centro de computo del ITCHII

Fuente: Elaboración Propia

El Instituto Tecnológico de Chihuahua II cuenta con un total de tres medidores de enegía, los cuales miden el consumo energético de diferentes áreas.

Clave del medidor	Edificios
<b>Y574M8</b>	Administrativo Cienicas Básicas Vinculación, Idiomas Desarrollo Académico Sistemas, Industrial Biblioteca Taller de Industrial Edificios B, D, E, F, G Cafetería Laboratorio y centro de computo
<b>579AJ8</b>	Edificios M,O y R
<b>579AJ8</b>	Edificios M,O y R

**Tabla 3** Medidores de energía y edificios del ITCHII  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Gráfico 2** Consumos del medidor Y574M8 en el año 2017  
Fuente: *Elaboración Propia*

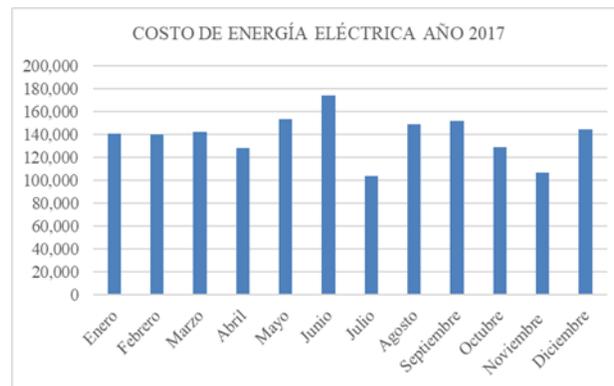
El gráfico 3 muestra los consumos de energía eléctrica en el año 2017 del medidor Y574M8 para la tarifa OM.

**Figura 2** Recibo del medidor Y574M8  
Fuente: *CFE*

La figura 2 muestra un recibo del medidor Y574M8, el cual mide el consumo de la mayor área del ITCHII, dentro de la cual se encuentran el laboratorio y centro de cómputo. En la tabla 4 se muestra el consumo y costo de la energía eléctrica del medidor Y574M8 durante el año 2017, mientras que en el gráfico 2 se muestran los consumos del mismo.

No.	Mes	Consumo (kwh)	Costo de la EE
1	Enero	59,544	140,942
2	Febrero	57,552	139,955
3	Marzo	53,304	142,046
4	Abril	45,840	128,203
5	Mayo	44,712	153,569
6	Junio	83,664	174,023
7	Julio	43,752	103,633
8	Agosto	73,320	148,985
9	Septiembre	77,712	151,862
10	Octubre	64,824	129,219
11	Noviembre	47,616	106,588
12	Diciembre	50,112	144,536

**Tabla 4** Consumos del medidor Y574M8 en el año 2017  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Gráfico 3** Costos del medidor Y574M8 en el año 2017  
Fuente: *Elaboración Propia*

La estimación de acuerdo al consumo histórico disponible para el laboratorio y centro de cómputo se muestra en la tabla 5.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
33,232	33,232	33,232	33,232	33,232	33,232	33,232	33,232	33,232	33,232	33,232	33,232	
Promedio mensual							33,232					
Promedio anual							398,784					

**Tabla 5** Consumo estimado para el laboratorio y centro de computo  
Fuente: *Elaboración Propia*

Como parte de las actividades que se realizan en el ITCHII para mejorar la eficiencia energética esta el monitoreo realizado por alumnos como parte de las actividades del departamento de Desarrollo Académico en su área del Sistema de Gestión Ambiental para otorgar créditos complementarios.

El monitoreo consiste en pasar por los edificios y apagar las luces, minisplits y aire acondicionado cuando no se está impartiendo clase, o si los salones se encuentran vacíos, e ir registrando dichas incidencias en la hoja de reporte.

Otra de las actividades que se realiza es el levantamiento e inventario de equipo consumidor de energía eléctrica, como lo son los minisplit, computadoras, laptop, luminarias, etc., para identificar equipo obsoleto y realizar el mantenimiento y los cambios necesarios.

También se realizan programas de sensibilización a el personal y alumnos, con respecto al apagado de equipo que no se utiliza, y aprovechamiento de iluminación natural.

### Recomendaciones

La instalación de paneles solares en el ITCHII es una alternativa para reducir los altos costo por consumo de energía eléctrica y mejorar la eficiencia energética. En la figura 3 se muestra los edificios recomendados para la instalación de los de los paneles solares.

Los paneles solares producen energía limpia sin emitir gases de efecto invernadero, con lo cual se reduce el impacto en el cambio climático, motivo por el cual son altamente recomendables, además de dar una mejor imagen como institución, aumentado con ello su competitividad.



**Figura 3** Vista aérea del ITCHII

Fuente: Google Map

Actualmente, la Ley de Cambio Climático del Estado de Chihuahua apoya y promueve el uso de energías renovables, y la Ley de la Industria Eléctrica Mexicana ha establecido metas para promover el desarrollo sostenible de la industria eléctrica mediante el uso de energías limpias con la adquisición de certificados de energía limpia.

La reforma energética mexicana se considera una reforma verde, ya que facilitará las inversiones privadas en el desarrollo y despliegue tecnológico, adoptando energías menos contaminantes como la energía solar.

### Resultados

Se simuló computacionalmente en el software TRNSYS® la producción de electricidad del sistema fotovoltaico policristalino. Para estimar el recurso solar se utilizó el modelo de radiación propuesto por Pérez et al. (1990). Las especificaciones del módulo fotovoltaico monocristalino son las siguientes:

- Tipo de celda: Policristalina
- Dimensiones de la celda: 156 mm x 156 mm
- Número de celdas: 72 (6x12)
- Dimensiones del módulo: 1956mm x 992mm x 145mm.

En el análisis efectuado se encontró que entre el acimut 50 (Sureste) y el acimut 310 (Suroeste) y los ángulos de inclinación entre 5° y 50° se alcanza una irradiación superior a los 2,075 kWh/m<sup>2</sup>/año. En relación a las horas solares pico anual, se obtienen hasta más de 6 horas pico en la zona de entre 25° y 35° de inclinación y +/-10° de acimut.

El mayor recurso solar es de 2,234.44 kWh/m<sup>2</sup>/año y se alcanza con un ángulo de inclinación de 28° con un acimut perpendicular a la línea del Ecuador.

Para un kWp instalado, la generación de energía eléctrica óptima es de 2,216.10 kWh/año, también con una configuración de 28° de inclinación y un acimut perpendicular a la línea del Ecuador.

De acuerdo a la carga que se maneja en el laboratorio y centro de cómputo de ITCHII, y a el análisis realizado se contempla 750 paneles solares policristalinos risen 330w, 15 Inversores Fronius PRIMO Lite 15KW, 208/240 VAC, 1 Sistema de Fijacion y Orientacion tipo Unirac para los 750 Paneles y 1 Suministro de Material Electrico e Instalacion de acuerdo a la norma. Gestión de interconexión ante CFE. Las características de este sistema se muestran en la tabla 6.

Características del Sistema Paneles- 231KW		
Potencia del sistema	231,000	Watts
Generación promedio mensual	33,238	KWh
Generación promedio anual	398,856	KWh
Tasa de retorno (TIR)	6	Años
Rendimiento de inversión	24%	Anual
Rendimiento de inversión renta fija	6.80%	Anual
Inversión del sistema fotovoltaico	\$5,190,166	Pesos
Inversión después de impuestos	\$3,633,116	Pesos
Posible cambio inversor - 15 años	\$572,212	Pesos

**Tabla 6** Características del sistema

Fuente: SOLSKEN DE MÉXICO

La siguiente tabla muestra una comparación entre los costos promedio de energía eléctrica.

Costo promedio actual	Monto	Costo promedio con paneles	Monto	Ahorro
<b>Costo mensual promedio</b>	\$39,878.40	Costo mensual promedio	\$7.22	100%
<b>Costo anual promedio</b>	\$478,540.80	Costo anual promedio	\$86.58	100%

**Tabla 7** Costos promedio de energía eléctrica para el laboratorio y centro de cómputo

Fuente: SOLSKEN DE MÉXICO

Se contempla un ahorro mensual promedio de \$39,885.62 y un ahorro promedio anual de \$478,627.38. Posteriormente se realizó un análisis comparativo entre los costos actuales y los costos contemplados para paneles solares, el cual se muestra en la tabla 8.

Indicador	Situación Actual	Situación con Paneles	Unidad	Ahorro obtenido
	Valor	Valor		
Tipo de tarifa	Medio OM	Medio OM	.	Cambio tarifa
Costo anual promedio (valor presente)	\$478,540.80	\$86.58	Pesos	100%
Costo total (valor presente a años)	\$11,963,520	\$2,164.50	Pesos	100%
Costo total (valor futuro a años)	\$34,984,174.99	\$6,329.51	Pesos	100%
Precio KWh Intermedio (valor presente)	\$1.20	\$0.55	Pesos	54%

**Tabla 8** Comparación de costos

Fuente: SOLSKEN DE MÉXICO

La contribución ecológica que se obtendría al instalar paneles solares en el laboratorio y centro de cómputo se muestra en la tabla 9.

Contribución Ecológica		
Emisiones CO2 evitables anuales	150	Toneladas
Emisiones CO2 evitadas totales	3754	Toneladas
Emisiones equivalentes a plantar	6930	Árboles

**Tabla 9** Contribución ecológica

Fuente: SOLSKEN DE MÉXICO

La siguiente tabla muestra el desempeño económico a través de los años una vez instalados los paneles solares, la generación en kw/h que se tendrían por año, el costo de la energía que pagaríamos si no tenemos instalados paneles solares, lo cual representa el ahorro que tendremos por año al instalar los mismos, el costo de la energía con paneles solares, y el ahorro acumulado.

Año	N. Año	Generación (kwh)	Ahorro (Tarifa intermedia)	Costo de Energía sin Paneles	Costo de Energía con paneles	Ahorro acumulado
2018	1	398,856	\$478,627.38	\$478,540.80	\$87	-\$3,154,489
2019	2	396,862	\$516,917.57	\$516,824.06	\$94	-\$2,637,571
2020	3	394,878	\$558,270.98	\$558,169.99	\$101	-\$2,079,300
2021	4	392,904	\$602,932.65	\$602,823.59	\$109	-\$1,476,367
2022	5	390,940	\$651,167.27	\$651,049.48	\$118	-\$825,200
2023	6	388,986	\$703,260.65	\$703,133.43	\$127	-\$121,940
2024	7	387,042	\$759,521.50	\$759,384.11	\$137	\$637,582
2025	8	385,107	\$820,283.22	\$820,134.84	\$148	\$1,457,865
2026	9	383,182	\$885,905.88	\$885,745.62	\$160	\$2,343,771
2027	10	381,267	\$956,778.35	\$956,605.27	\$173	\$3,300,549
2028	11	379,361	\$1,033,320.62	\$1,033,133.70	\$187	\$4,333,870
2029	12	377,465	\$1,115,986.26	\$1,115,784.39	\$202	\$5,449,856
2030	13	375,578	\$1,205,265.17	\$1,205,047.14	\$218	\$6,655,121
2031	14	373,701	\$1,301,686.38	\$1,301,450.91	\$235	\$7,956,808
2032	15	371,833	\$1,405,821.29	\$1,405,566.99	\$254	\$9,362,629
2033	16	369,974	\$1,518,286.99	\$1,518,012.35	\$275	\$10,880,916
2034	17	368,125	\$1,639,749.95	\$1,639,453.33	\$297	\$12,520,666
2035	18	366,285	\$1,770,929.95	\$1,770,609.60	\$320	\$14,291,596
2036	19	364,454	\$1,912,604.34	\$1,912,258.37	\$346	\$16,204,200
2037	20	362,632	\$2,065,612.69	\$2,065,239.04	\$374	\$18,269,813
2038	21	360,819	\$2,230,861.71	\$2,230,458.16	\$404	\$20,500,675
2039	22	359,015	\$2,409,330.64	\$2,408,894.81	\$436	\$22,910,005
2040	23	357,220	\$2,602,077.09	\$2,601,606.40	\$471	\$25,512,083
2041	24	355,434	\$2,810,243.26	\$2,809,734.91	\$508	\$28,322,326
2042	25	353,657	\$3,035,062.72	\$3,034,513.70	\$549	\$31,357,389
			\$34,990,504.51	\$34,984,174.99	6,330	

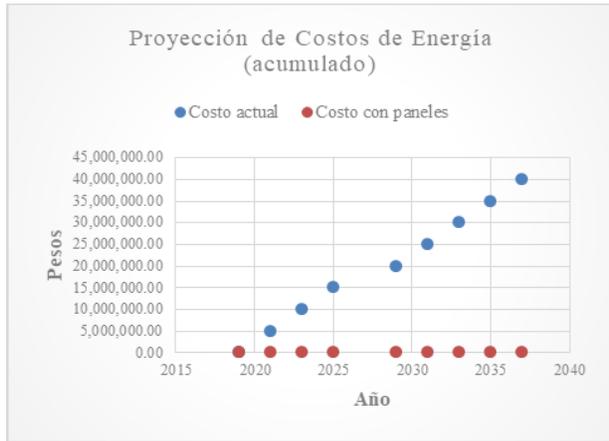
**Tabla 10** Desempeño económico

Fuente: SOLSKEN DE MÉXICO

La tasa de incremento es la histórica promedio de Incremento de CFE en los últimos 13 años.

Fuente: <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/>.

Mientras que la proyección de costos de energía actual vs costos de energía con paneles solares se muestra en la gráfica 4.



**Gráfico 4** Proyección de costos de energía  
Fuente: SOLSKEN DE MÉXICO

Actualmente, la Ley de Cambio Climático del Estado de Chihuahua apoya y promueve el uso de energías renovables, y la Ley de la Industria Eléctrica Mexicana ha establecido metas para promover el desarrollo sostenible de la industria eléctrica mediante el uso de energías limpias con la adquisición de certificados de energía limpia.

La reforma energética mexicana se considera una reforma verde, ya que facilitará las inversiones privadas en el desarrollo y despliegue tecnológico, adoptando energías menos contaminantes como la energía solar.

## Conclusiones

En el análisis realizado se puede observar que de acuerdo a los consumos mensuales promedio de energía eléctrica en el Laboratorio y Centro de Computo del Instituto Tecnológico de Chihuahua II se requiere de una inversión \$6,020,592.22 en la instalación y puesta en servicio de 750 paneles solares, dicha inversión económica alcanza un tiempo de retorno aproximado de 13 años.

Los resultados mostraron además del beneficio económico de invertir en los sistemas fotovoltaicos, la gran contribución ecológica al reducir las emisiones anuales de CO<sub>2</sub>.

Los sistemas fotovoltaicos son una opción importante para disminuir los costos por consumo de energía eléctrica. En los últimos años los precios de estas tecnologías han bajado drásticamente, a la vez de incrementar constantemente su eficiencia.

En los próximos años será cada vez más común ver este tipo de tecnologías instaladas en edificios industriales, de gobierno y la educación, además de residencias de la ciudad de Chihuahua.

## Referencias

INECC (2013), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

INECC (2010), Inventario Nacional de Emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2010. México. Recuperado de: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf\\_inegi\\_public\\_2010.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegi_public_2010.pdf).

INEGI (2015), Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Anuario estadístico y geográfico de Chihuahua 2015.

Recuperado de:

[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2015/702825076191.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2015/702825076191.pdf).

INEGI (2015), Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Continuo de elevación mexicano 3.0 (CEM 3.0), Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx> (accesado el 1/02/2015).

IPCC (2011), Intergovernmental Panel on Climate Change. Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Renewable energy sources and climate change mitigation, Summary for policymakers and technical summary. ISBN 978-92-9169-131-9.

Recuperado de:

[https://www.ipcc.ch/pdf/specialreports/srren/SRREN\\_FD\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/specialreports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf).

SENER (2015), Secretaría de Energía, Sistema de Información Energética (SIE), Sector eléctrico Nacional, Generación bruta de electricidad por estado (megawatt-hora).

Recuperado de:

<http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&subAction=applyOptions>.

SENER (2015), Secretaría de Energía, Sistema de Información Energética (SIE), Generación de energía bruta por tecnología 2015.

Armendariz-Lopez, J. F., (2017). Costo-Beneficio de Sistemas Fotovoltaicos en el Sector Residencial en la Ciudad de Chihuahua, Mexico. Memorias Congreso Internacional de Investigación Científica Multidisciplinaria. 45-57.

POISE (2011-2025) Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico. México, D.F. Comisión Federal de Electricidad.

# Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

---

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

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

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

International Identification of Science - Technology and Innovation

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

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

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

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

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

---

### Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos  
Metodología  
Contribución

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

### Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos  
Metodología  
Contribución

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

---

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

---

---

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del Artículo

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

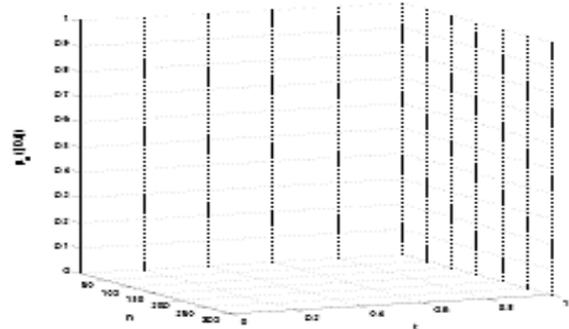
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

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

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

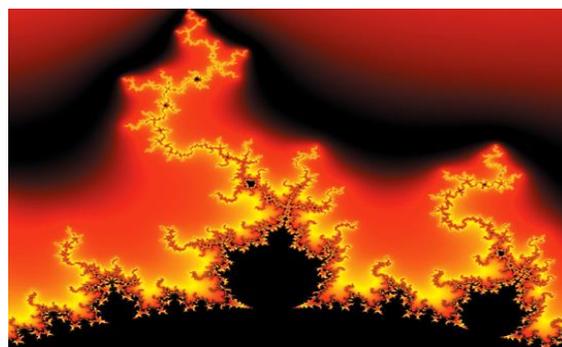
En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

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



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

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.



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

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.


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

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

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

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del artículo. Revista de Energías Renovables. Año (Times New Roman No.8)

## Conclusiones

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

## Referencias

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

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

## Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

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

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

## Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

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

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

## **Reserva a la Política Editorial**

Revista de Energías Renovables se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del Artículo.

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

### **Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución.**

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista de Energías Renovables emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Perú considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

## Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding Perú para su Revista de Energías Renovables, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

## Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

### Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre Artículos enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

### Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio al Artículo el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

### Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter el Artículo a evaluación.

### **Responsabilidades de los Autores**

Los Autores deben garantizar que sus Artículos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Artículos definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del Artículo presentado a arbitraje.

### **Servicios de Información**

#### **Indización - Bases y Repositorios**

RESEARCH GATE (Alemania)  
GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)  
MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)  
HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

#### **Servicios Editoriales:**

Identificación de Citación e Índice H.  
Administración del Formato de Originalidad y Autorización.  
Testeo de Artículo con PLAGSCAN.  
Evaluación de Artículo.  
Emisión de Certificado de Arbitraje.  
Edición de Artículo.  
Maquetación Web.  
Indización y Repositorio  
Traducción.  
Publicación de Obra.  
Certificado de Obra.  
Facturación por Servicio de Edición.

#### **Política Editorial y Administración**

244 - 2 Itzopan Calle. La Florida, Ecatepec Municipio México Estado, 55120 Código postal, MX. Tel: +52 1 55 2024 3918, +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 4640 1298; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org)  
[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**ECORFAN®**

**Editora en Jefe**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

**Redactor Principal**

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

**Asistente Editorial**

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

**Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

**Editor Ejecutivo**

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

**Editores de Producción**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

**Administración Empresarial**

REYES-VILLAGO, Angélica. BsC

**Control de Producción**

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

**Editores Asociados**

OLIVES-MALDONADO, Carlos. MsC

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

CHIATCHOUA, Cesaire. PhD

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

CENTENO-ROA, Ramona. MsC

ZAPATA-MONTES, Nery Javier. PhD

ALAS-SOLA, Gilberto Américo. PhD

MARTÍNEZ-HERRERA, Erick Obed. MsC

ILUNGA-MBUYAMBA, Elisée. MsC

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

**Publicidad y Patrocinio**

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan ),sponsorships@ecorfan.org

**Licencias del Sitio**

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

**Oficinas de Gestión**

244 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre–Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal –Madrid-España.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenue, Salinas I - Santa Elena-Ecuador.

1047 La Raza Avenue -Santa Ana, Cusco-Peru.

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Cameroon.

Southwest Avenue, San Sebastian – León-Nicaragua.

6593 Kinshasa 31 – Republique Démocratique du Congo.

San Quentin Avenue, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 Kilometro, American Highway, House Terra Alta, D7 Mixco Zona 1-Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Captain, CP-2060. Luque City- Paraguay.

Distrito YongHe, Zhongxin, calle 69. Taipei-Taiwán.

# Revista de Energías Renovables

“Desarrollo de un prototipo solar para el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de electro-floculación”

**SANDOVAL-SALAS, Fabiola, GARCÍA-HERNÁNDEZ, José Angel, MÉNDEZ-CARRETO, Carlos y JIMÉNEZ-ALVAREZ, José Alfredo**

*Instituto Tecnológico Superior de Perote*

“Aplicaciones menores de Sistemas Fotovoltaicos”

**CAMPOS-CALDERA, Carla, ALDERETE-ALDERETE, Javier Enrique, MUÑOZ-MARQUEZ, Jesús y RUIZ -IBARRA, Jesús Antonio**

*Instituto Tecnológico de Parral*

“Desarrollo de una biocelda fotovoltaica a partir de residuos verdes”

**LAGUNAS-BERNABÉ, Ignacio & LOA-ARJONA, Jocelyn**

*Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec*

“Análisis para la instalación de paneles solares en el laboratorio y centro de cómputo del Instituto Tecnológico de Chihuahua II”

**HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, María Guadalupe, ORTEGA-CHÁVEZ, Laura Antonia, MARTINEZ-CASTELLANOS, María Elena y CARO-ESCUADERO, Iveth Selene**

*Instituto Tecnológico de Chihuahua II*

