

ISSN 2523-6881

Volumen 2, Número 5 — Abril — Junio - 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-VILLO, Angélica. BsC

**Revista de Energías Renovables**, Volumen 2, Número 5, de Abril a Junio 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 30 de Junio 2018.

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

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del 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 - ÁLVEREZ, Ernesto. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

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

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

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

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

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

## **Cesión de Derechos**

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

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

## **Declaración de Autoría**

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

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

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

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

## **Detección de Plagio**

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

## **Proceso de Arbitraje**

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

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

### **Área del Conocimiento**

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

## **Presentación del Contenido**

Como primer artículo presentamos, *Dimensionamiento, instalación y puesta en marcha del Parque Solar UPAM de 50 kW de potencia*, por FLORES-RAMIREZ, Oscar, HUESCA-LAZCANO, Erick Eduardo, PACHECO-ANGUIANO, Efraín Alejandro y AGUILAR-RAMOS, Juan Manuel, con adscripción en la Universidad Politécnica de Amozoc, como segundo artículo presentamos, *Caracterización y aprovechamiento del potencial energético renovable de afluentes hídricos de ríos y quebradas del departamento de Nariño con el fin de suministrar energía a zonas no interconectadas ZNI*, por MARTÍNEZ- MELO, Omar David, FIERRO-GUERRERO, Anthony, PIAMBA, Tito y GUALGUAN, Andrea, como tercer artículo presentamos, *Potabilización de agua y generación de hidrógeno aplicando energía solar fotovoltaica*, por PAVÓN-SILVA, Thelma B., AGUILAR-VALENCIA, Ana P., ROA-MORALES, Gabriela y NATIVIDAD-RANGEL, Reyna, con adscripción en la UAEMex, como cuarto artículo presentamos, *Obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales residuales de casa habitación del fraccionamiento El Refugio, Tijuana B.C.*, por ALFONSO-ALVAREZ, Juan Antonio, TEÓN-VEGA, Argelia y BALDERAS-LÓPEZ, Silvia María, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Tijuana.

## Contenido

Artículo	Página
<b>Dimensionamiento, instalación y puesta en marcha del Parque Solar UPAM de 50 kW de potencia</b> FLORES-RAMIREZ, Oscar, HUESCA-LAZCANO, Erick Eduardo, PACHECO-ANGUIANO, Efrain Alejandro y AGUILAR-RAMOS, Juan Manuel <i>Universidad Politécnica de Amozoc</i>	1-13
<b>Caracterización y aprovechamiento del potencial energético renovable de afluentes hídricos de ríos y quebradas del departamento de Nariño con el fin de suministrar energía a zonas no interconectadas ZNI</b> MARTÍNEZ- MELO, Omar David, FIERRO-GUERRERO, Anthony, PIAMBA, Tito y GUALGUAN, Andrea	14-21
<b>Potabilización de agua y generación de hidrógeno aplicando energía solar fotovoltaica</b> PAVÓN-SILVA, Thelma B., AGUILAR-VALENCIA, Ana P., ROA-MORALES, Gabriela y NATIVIDAD-RANGEL, Reyna <i>Universidad Autónoma del Estado de México</i>	22-30
<b>Obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales residuales de casa habitación del fraccionamiento El Refugio, Tijuana B.C.</b> ALFONSO-ALVAREZ, Juan Antonio, TEÓN-VEGA, Argelia y BALDERAS-LÓPEZ, Silvia María <i>Universidad Tecnológica de Tijuana</i>	31-40

## Dimensionamiento, instalación y puesta en marcha del Parque Solar UPAM de 50 kW de potencia

### Sizing, installation and commissioning of the UPAM Solar Park with 50 kW of power

FLORES-RAMIREZ, Oscar†\*, HUESCA-LAZCANO, Erick Eduardo, PACHECO-ANGUIANO, Efrain Alejandro y AGUILAR-RAMOS, Juan Manuel

*Universidad Politécnica de Amozoc, Departamento de Ingeniería en Energía*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Oscar, Flores-Ramírez* / ORC ID: 0000-0001-9884-9499, Researcher Thomson ID: E-8242-2018, arXiv Author ID: 429567-444L3Z-UIWFRF, CVU CONACYT ID: 92914

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Erick Eduardo, Huesca-Lazcano* / ORC ID: 0000-0002-0505-8442, Researcher Thomson ID: F-1162-2018, Open ID: 357590366000, CVU CONACYT ID: 223342

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Efrain Alejandro, Pacheco-Anguiano* / ORC ID: 0000-0003-4922-9423, Researcher Thomson ID: F-1120-2018, arXiv Author ID: 430060-Z7KTIT-J97DC4

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Juan Manuel, Aguilar-Ramos* / ORC ID: 000-0003-3367-2893, Researcher Thomson ID: F-1067-2018, arXiv Author ID: 430079-HHKWJL-03TYAM

Recibido 30 de Marzo, 2018; Aceptado 30 Junio, 2018

#### Resumen

En la reforma energética, México estipula el uso de energías renovables de tal forma que para el año 2024 el 35 % de la energía generada debe provenir de fuentes no fósiles, dentro de las cinco energías renovables más utilizadas se encuentra la energía solar, y la más representativa es la solar fotovoltaica, es por eso que instituciones de educación superior como la Universidad Politécnica de Amozoc están apoyando para lograr el objetivo planteado con uso de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red de Comisión Federal de Electricidad, en este trabajo se realiza el dimensionamiento, instalación y puesta en marcha del Parque Solar UPAM, el parque consta de 200 paneles solares de 250W, 5 inversores Fronius IG Plus V 10.0-3 Delta, el sistema fotovoltaico interconectado genera aproximadamente 8.1 MWh mensuales solventando el 60 % del consumo energético de la Universidad Politécnica de Amozoc evitando la emisión de 4.4 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmosfera mensualmente, el retorno de inversión se logra en aproximadamente de 8 años.

**Solar Fotovoltaica, Energía, Sistemas Fotovoltaicos, Inversor**

#### Abstract

In the energy reform, Mexico stipulates the use of renewable energy in such a way that by 2024 the 35% of the energy generated must come from non-fossil sources, within the five most used renewable energies is solar energy, and the solar photovoltaic is more representative, that is why institutions of higher education such as the Universidad Politécnica de Amozoc are supporting to achieve the proposed objective with the use of photovoltaic systems interconnected to the Comisión Federal de Electricidad network, in this work the sizing is carried out, installation and start-up of the UPAM Solar Park, the park consists of 200 of 250W solar panels, 5 Fronius IG Plus V 10.0-3 Delta inverters, the interconnected photovoltaic system generates approximately 8.1 MWh per month, solving 60% of the energy consumption of the Universidad Politécnica de Amozoc avoiding the emission of 4.4 tons of CO<sub>2</sub> into the atmosphere monthly, and The return on investment is achieved in approximately 8 years.

**Solar Photovoltaic, Energy, Photovoltaic Systems, Inverter**

**Citación:** FLORES-RAMIREZ, Oscar, HUESCA-LAZCANO, Erick Eduardo, PACHECO-ANGUIANO, Efrain Alejandro y AGUILAR-RAMOS, Juan Manuel. Dimensionamiento, instalación y puesta en marcha del Parque Solar UPAM de 50 kW de potencia. Revista de Energías Renovables 2018. 2-5:1-13

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: oscar.flores@upamozoc.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## 1. Introducción

El aprovechamiento de la energía del Sol de manera directa o indirectamente ha sido una constante en la humanidad, la necesidad de emplear nuevos métodos de generación de energía que sean de pequeño o nulo impacto ecológico ha dado como resultado el estudio de los métodos que emplean recursos renovables, uno de ellos es el aprovechamiento de la energía solar que es de elevada calidad energética y de insignificante impacto al ambiente además de ser inagotable a escala humana.

En México se han realizado diferentes trabajos relacionados con la puesta a punto de sistemas fotovoltaicos y es uno de los temas de investigación en área de energías de mayor interés. La importancia que tienen los sistemas fotovoltaicos estriba en los beneficios como son, la reducción del consumo de energía eléctrica producida por combustibles fósiles que contaminan al medio ambiente es una fuente inagotable de energía, se reduce la dependencia del petróleo y otros combustibles fósiles, bajos costos de mantenimiento.

Son sistemas silenciosos limpios que no afectan el medio ambiente, los paneles solares pueden ser añadidos gradualmente y así incrementar la energía disponible de acuerdo a la demanda. Cabe mencionar que la inversión inicial es significativa, pero su retorno es de corto a mediano plazo, ya que después de recuperar lo invertido, el resto de la energía producida representa utilidad.

En la reforma energética, México estipula el uso de energías renovables de tal forma que para el año 2024 el 35 % de la energía generada debe provenir de fuentes no fósiles, dentro de las cinco energías renovables más utilizadas se encuentra la energía solar, y la más representativa es la solar fotovoltaica, es por eso que instituciones de educación superior como la Universidad Politécnica de Amozoc están apoyando para lograr el objetivo planteado con uso de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red de Comisión Federal de Electricidad.

En este trabajo se realiza el dimensionamiento, instalación y puesta en marcha del Parque Solar UPAM, el parque consta de 200 paneles solares de 250W, 5 inversores Fronius IG Plus V 10.0-3 Delta, el sistema fotovoltaico interconectado genera aproximadamente 8.1 MWh mensuales solventando el 60 % del consumo energético de la Universidad Politécnica de Amozoc evitando la emisión de 4.4 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmosfera mensualmente, el retorno de inversión se logra en aproximadamente de 8 años.

## 2. Estudio del arte

En 2017 nuestro país recibió más de 6 mil 200 millones de dólares de inversión en el rubro de energías renovables, lo que representa un 516 por ciento más que el año 2016. Para lo anterior, se ha fortalecido el marco normativo y regulatorio para dar mayor certeza jurídica a las empresas participantes en este sector. Históricamente en nuestro país la energía hidroeléctrica ha predominado en los últimos años.

Debido al cambio climático y la disminución de este importante recurso, se ha optado por priorizar el agua para el consumo humano y agrícola. Por lo anterior, aún y cuando el vital líquido es uno de los recursos renovables más importantes y limpios para la generación de energía eléctrica, se han dado grandes pasos para impulsar el uso de otras fuentes generadoras de energía como lo es la eólica y la solar.

México tiene grandes recursos solares los cuales se encuentran entre los mejores del mundo, al contar con una irradiación solar diaria anual de entre 4.4 y 6.3 kw/h por metro cuadrado, según la Agencia Internacional de Energía.

A nivel mundial se calcula que para este 2018, en el mundo se alcance una capacidad de 107 Giga Watts mediante la generación de energía solar, y tan solo en México el mercado sea superior a los 3 Giga Watts. Proyecto Piloto Planta Solar Universidad De Alicante en 2007. La instalación solar final está compuesta por 1352 paneles solares de 38.4 W de potencia cada uno, y una potencia pico total de 51 kW.

Esta planta además de alimentar los equipos de investigación de la planta piloto, permite suministrar a vez 26.5 kW de potencia a equipos ubicados en zonas comunes del campus. Bajo condiciones óptimas de clima y radiación presentes en Alicante, este generador solar fotovoltaico es capaz de entregar 77.4 MWh/año, evitando que lleguen a la atmósfera 20.9 toneladas de CO<sub>2</sub>.

En 2010 la Universidad de Antofagasta desarrollo este proyecto que está compuesto por 5 sistemas solares fotovoltaicos de diferentes tamaños, incluyendo entre ellos un sistema conectado a la Red con acumulación en baterías. La totalidad de los sistemas producen anualmente 41.491 kWh con un ahorro de 16.6 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

Sistema Solar Fotovoltaico de la Universidad Autónoma de Occidente. En mayo de 2015 se instaló un sistema fotovoltaico con una cantidad de 188 paneles solares los cuales tendrán una potencia de instalada de 45.12 kWp, equivalente a la producción de la energía que consumen aproximadamente 30 viviendas en un mes. Parque de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, consta de 729 paneles, con una capacidad instalada de 174.1 kWp, genera 25.95 MWh al Mes y se ahorran 206.12 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

### 3. Marco Teórico

#### Radiación solar

La radiación solar la podemos definir como el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas que permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre. La radiación es un parámetro muy importante en el diseño de sistemas solares. Los factores climáticos y el ángulo de posicionamiento del panel con respecto al sol afectan la radiación sobre la superficie de captación.

En zonas de poco sol, ya sea por nubes, neblina u otro factor, la radiación promedio en un periodo de tiempo es menor. En días de invierno los niveles de radiación promedio son considerablemente menores en comparación a los días de verano, esto se da para lugares cuya latitud sea mayor a los 15°. Ramírez E. et. al. (2011).

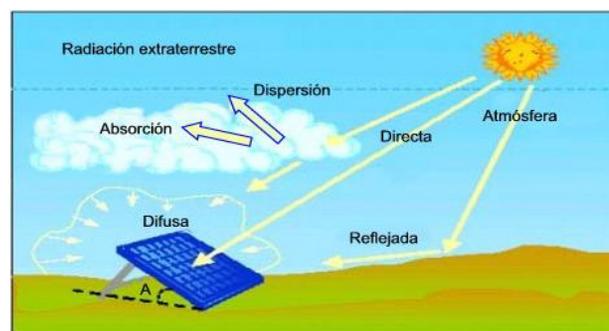
#### Constante solar como fuente de energía

Es la cantidad de energía solar recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de área a la distancia media Tierra-Sol sobre una superficie normal al Sol, que es medida en la parte externa de la atmósfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos del Sol. Esta cantidad es difícil de medir en la superficie de la Tierra debido a los errores que existen para corregir el flujo observado originado por los efectos de la atmósfera. Las medidas tomadas en los satélites eliminan gran parte de esta dificultad pero introducen otras incertidumbres relacionadas con la calibración absoluta. El valor que se le da a la constante es igual a 1,367 w/m<sup>2</sup>, lo que significa que en el borde de la atmósfera, a cada m<sup>2</sup> le llegan 1367 watts de potencia solar, este valor indica la máxima potencia que nos puede llegar del Sol por unidad de superficie. Anguiano J. (2012).

#### Tipos de radiación

**Radiación directa:** Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección, este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

**Radiación difusa:** Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por ésta radiación que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. **Radiación dispersa:** Es aquella radiación reflejada por la superficie terrestre, la cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo, como se muestra en la figura 1. Anguiano J. (2012).



**Figura 1** Tipos de Radiación Solar

Fuente: [www.ecopotencia.com](http://www.ecopotencia.com)

## La radiación solar en las regiones de México con respecto a las diferentes estaciones del año

En México, estos factores tienen gran repercusión en las variaciones de radiación solar que se recibe en el territorio nacional. En la tabla 1 mostramos algunas regiones de interés de la República Mexicana con sus valores de radiación solar según el mes, Domínguez H. (2012).

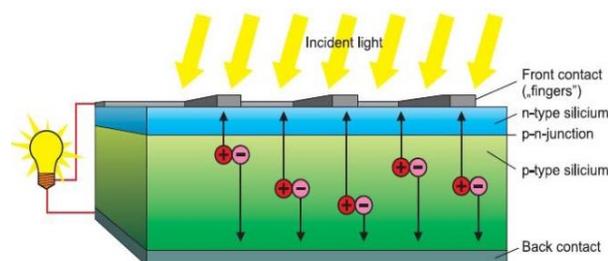
Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Sonora	Hermosillo	4.0	4.6	5.4	6.6	8.3	8.5	6.9	6.6	6.7	6.0	4.7	3.9	6.0
Sonora	Guaymas	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.0	5.6	5.9
Chihuahua	Chihuahua	4.1	4.9	6.0	7.4	8.2	8.1	6.8	6.2	5.7	5.2	4.6	3.8	5.9
SLP	SLP	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6.0	5.5	4.7	4.2	3.7	5.4
Zacatecas	Zacatecas	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	5.8
Guanajuato	Guanajuato	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	5.6
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	5.6
Oaxaca	Salina Cruz	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.8
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4	5.3
Jalisco	Colotlán	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	5.9
Jalisco	Guadalajara	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0	5.6
Durango	Durango	4.4	5.4	6.5	7.0	7.5	6.8	6.0	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	5.7
Baja California	La Paz	4.4	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	5.7
Baja California	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	5.5
Baja California	Mexicali	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	5.5
Querétaro	Querétaro	5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	5.9
Puebla	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4	5.5
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	5.4

**Tabla 1** Radiación solar en lugares selectos de México (datos en kWh/m<sup>2</sup> por día)

Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas

Los sistemas fotovoltaicos (FV) convierten la luz solar directamente en electricidad, mediante el uso de lo que es conocido como “células solares”. Una célula solar está hecha de material semiconductor dispuesto en dos capas: P y N (ver figura 2). Cuando la radiación del sol incide en la célula fotovoltaica en forma de luz solar, la línea de separación entre P y N actúa como un diodo.

Los fotones con suficiente energía que inciden en la célula provocan que los electrones pasen de la capa P a la capa N. Un exceso de electrones se acumula en el lado N mientras que en el lado P se produce un déficit. La diferencia entre la cantidad de electrones es la diferencia de potencial o voltaje, que puede ser usado como una fuente de energía. Con tal de que la luz siga incidiendo en el panel, la diferencia de potencial se mantiene, incluso en días nublados, debido a la radiación difusa de luz.



**Figura 2** Vista general esquemática del proceso en una célula fotovoltaica

Fuente: [www.leonardo-energy.org/espanol](http://www.leonardo-energy.org/espanol)

Normalmente, las células fotovoltaicas se fabrican a partir de silicio monocristalino o policristalino. La eficiencia de las células monocristalinas es significativamente mayor que aquellas de silicio multicristalino o policristalino, como se muestra en la tabla 2.

Tecnología	Película delgada		Oblea cristalina	
	Silicio amorfo	Diseleniuro de Indio y Cobre (CIS)	Multicristalina	Monocristalina
Eficiencia del módulo	6-7%	10-11%	12-14%	13-15%
Área requerida por kWp	15 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	8 m <sup>2</sup>	7 m <sup>2</sup>

**Tabla 2** Tecnología para células FV

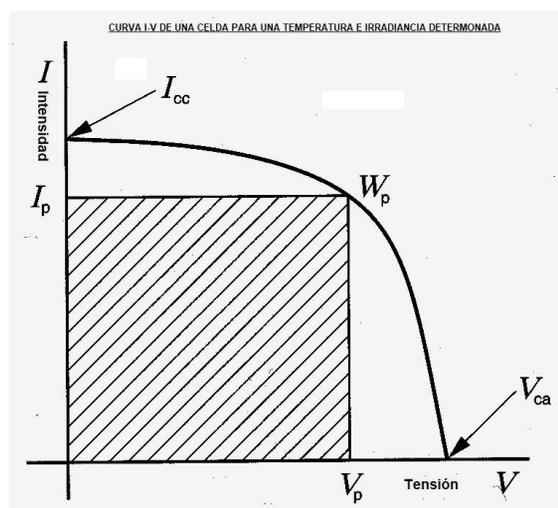
Fuente: [www.leonardo-energy.org/espanol](http://www.leonardo-energy.org/espanol)

## Características eléctricas de un módulo fotovoltaico

El funcionamiento del módulo fotovoltaico se describe en la curva ( $I$  vs  $V$ ) del módulo, para unas condiciones de irradiación y temperatura dadas, la corriente generada por el módulo para cada voltaje de operación, Anguiano J. (2012). Los parámetros del módulo fotovoltaico generalmente vienen especificados en las hojas técnicas de los fabricantes. Los parámetros eléctricos que caracterizan a los módulos fotovoltaicos se describen a continuación:

- **$I_{cc}$  o Corriente de Cortocircuito:** Es la máxima intensidad que un dispositivo fotovoltaico puede entregar sin que tenga conectado a él ninguna carga.
- **$V_{ca}$  o Voltaje a circuito abierto:** Es el voltaje máximo que se registra en los extremos de un módulo fotovoltaico sin permitir que pase corriente alguna entre los bornes del módulo fotovoltaico, esto es a circuito abierto o cuando no está conectado ningún receptor.

- **$W_p$  o Potencia máxima:** Corresponde al máximo valor de potencia eléctrica que puede generar el dispositivo sin que se deteriore.
- **$I_m$  o Intensidad a máxima potencia:** Este valor es utilizado como el valor de intensidad nominal del aparato. Corresponde a la intensidad que entrega el dispositivo cuando trabaja a potencia máxima.
- **$V_p$  o Voltaje máximo del sistema:** Corresponde al máximo valor de tensión que pueden soportar las células fotovoltaicas que componen el panel, como se muestra en la figura 3. Anguiano J. (2012).



**Figura 3** Curva I-V

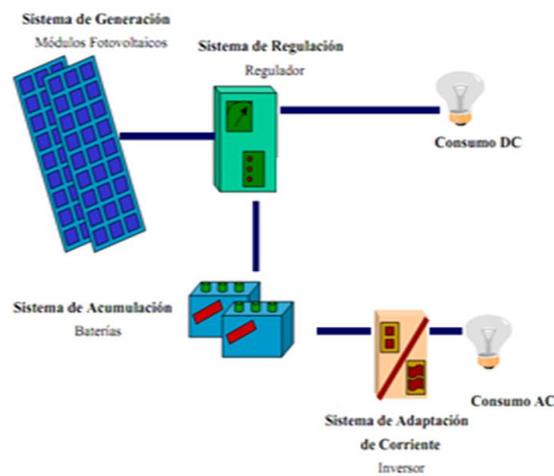
Fuente: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>

#### 4. Sistemas fotovoltaicos

Se define como sistema fotovoltaico el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica. Estos sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías:

##### Instalaciones aisladas de la red eléctrica

En las que la dependencia no posee energía eléctrica de la red convencional y, por tanto, su consumo eléctrico ha de ser proporcionado íntegramente por la instalación solar fotovoltaica, que almacenará la generación eléctrica solar en baterías para su uso cuando sea solicitada, figura 4.

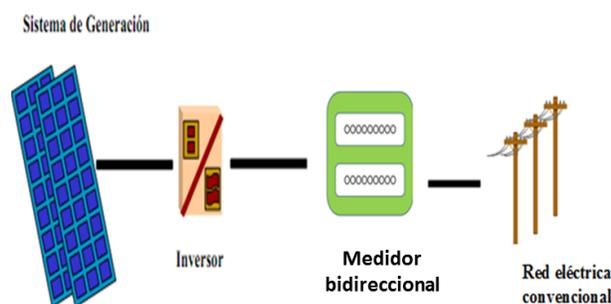


**Figura 4** Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA). Cargas DC y Cargas AC

Fuente: [eliseosebastian.com](http://eliseosebastian.com)

##### Instalaciones conectadas a la red eléctrica convencional

En las que la dependencia posee suministro eléctrico y, por tanto, la generación eléctrica de la instalación solar es destinada, íntegramente, a su venta a la red eléctrica de distribución convencional. Los sistemas conectados a la red son sencillos, sólo requieren instalar los módulos fotovoltaicos, el cableado y el inversor, no precisando del uso de baterías y un medidor bidireccional, figura 5. Castilla (2007).



**Figura 5** Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR)

Fuente: [yabasolar.net](http://yabasolar.net)

La cantidad de energía eléctrica que un sistema fotovoltaico produce depende principalmente de dos factores:

- La cantidad de luz solar incidente;
- La eficiencia del sistema fotovoltaico para convertir esa luz en electricidad.

En la tabla 3 y en la tabla 4 se muestran las características del panel y del inversor que se utilizaron para realizar el parque solar UPAM.

Módulo fotovoltaico marca Solartec		
Modelo	S60MC-250	
Tipo de celda	Monocrystalino	
Número de celdas	60	
Condiciones de medición	SCT	NOCT
Voltaje a circuito abierto (Voc)	37.92 V	35.10 V
Voltaje óptimo de operación (Vmpp)	30.96 V	28.50 V
Corriente a corto circuito (Isc)	8.62 A	6.95 A
Corriente óptima de operación (Impp)	8.07 A	6.36 A
Potencia máxima (Pmax)	250 W	181.6 W
Eficiencia del módulo	15.37 %	
Temperatura de operación	-40 °C a +90 °C	
Dimensiones	1640mm x 992mm	
Peso	20.5 kg	
Área total de 200 paneles	323.37 m <sup>2</sup>	
Carga máxima	2400 Pa	

**Tabla 3** Características de los paneles fotovoltaicos

Fuente: *Elaboración Propia*

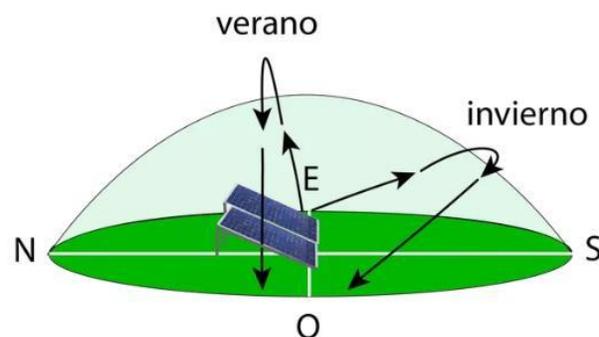
Inversor marca Fronius	
Modelo	Fronius IG Plus V 10.0-3
Potencia recomendada de la instalación fotovoltaica	8500 - 11500 Wp
Gama de tensión MPP	230 - 500 V DC
Máxima tensión de entrada (con 1000 W/m <sup>2</sup> / 14 °C en marcha sin carga)	600 V DC
Tensión de entrada nominal	390 V
Corriente de entrada nominal	27.6 A
Máxima corriente de entrada	46.7 A
Potencia de salida nominal (Pnom)	9995 W
Tensión de red nominal	208 V / 240 V
Margen de tensión de servicio AC	211 - 264 V
Corriente de salida nominal	27.7 A AC
Fases	3
Margen de frecuencia de salida	59.3 - 60.5 Hz
Máximo rendimiento	96.2 %

**Tabla 4** Características de los inversores Fronius

Fuente: *Elaboración Propia*

### Sitio e instalación

La orientación e inclinación son aspectos determinantes en los arreglos fotovoltaicos para su producción eléctrica. Si se establece una orientación hacia el sur geográfico y un ángulo de inclinación igual al ángulo de latitud, se maximiza la producción en términos anuales, como se muestra en la figura 6.



**Figura 6** Trayectoria del sol

Fuente: [mansur-olar.com/wikisolar/orientacion-e-inclinacion/](http://mansur-olar.com/wikisolar/orientacion-e-inclinacion/)

La irradiación se obtuvo con la estación meteorológica instalada en la Universidad Politécnica de Amozoc, los resultados se muestran en la tabla 5.

Mes	Irradiación (kWh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	4.9
Febrero	5.5
Marzo	6.2
Abril	6.4
Mayo	6.1
Junio	5.7
Julio	5.8
Agosto	5.8
Septiembre	5.2
Octubre	5
Noviembre	4.7
Diciembre	4.4
Promedio	5.5

**Tabla 5** Irradiación en la UPAM

Fuente: *Elaboración Propia*

## 5. Metodología

### Descripción del método

Para la realización de este proyecto se siguieron los siguientes pasos:

- Primeramente, se realizó un estudio de la zona en donde se implementó el sistema fotovoltaico, obteniendo datos como la radiación incidente, latitud, variaciones climáticas, etc.;
- Se determinó la demanda energética de la Universidad Politécnica de Amozoc utilizando el recibo de luz para obtener la potencia total requerida para el buen funcionamiento de todos los equipos.

- Posteriormente se calculó el número de paneles necesarios para abastecer ya sea parcial o totalmente la demanda energética, también el número de paneles que deben estar conectados en serie y en paralelo, se determinó el tipo de estructura a utilizar para montar los paneles solares y finalmente, la inclinación óptima que estos deben tener respecto a la latitud del lugar.
- Se dimensionó el inversor, es decir, debemos seleccionar el inversor adecuado a nuestra demanda. Para esto, hacemos uso de la expresión anteriormente mencionada, la cual expresa que la potencia que debe tener nuestro inversor debe ser aproximadamente igual a la potencia que debemos suministrar en CA, es decir, el consumo que debemos satisfacer.
- Posteriormente calculamos el cableado ideal para nuestra instalación, en el cual se debe prestar mucha atención, puesto que, al pasar energía por nuestros cables, siempre existirán pérdidas que se deben a las caídas de tensión que hay en ellos, además, estos deben de cumplir con las Normas Electrotécnicas de Baja Tensión.
- Realizamos el diagrama unifilar necesario para que CFE de alta el parque solar y se ponga en funcionamiento.

## 6. Resultados

En la Tabla 6 se muestran los datos de radiación incidente, latitud, variaciones climáticas, etc.; de la zona en que se encuentra ubicada la Universidad Politécnica de Amozoc.

Datos característicos de la zona	
Coordenadas	Latitud 20° Longitud -98°
Clima	Templado Subhúmedo
Altitud	1795 metros sobre el nivel del mar
Temperatura máxima promedio	28.5°
Promedio de días con lluvia	110 días
Promedio de días nublado al año	80 días
Promedio de días soleados al año	175 días
Hora solar pico $h_{sol}$	5.5 h/día

**Tabla 6** Datos característicos de la zona  
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 7 se muestran los cálculos de la energía consumida por toda la universidad, fueron obtenidos del recibo de luz.

Periodo	Consumo mensual kW/h	Precio Medio \$/kWh	Importe bimestral con IVA(\$)
Jun 17	12216	2.3045	32656.0585
Jul 17	12762	2.4045	35596.0256
Ago 17	12553	1.9783	28806.9758
Sep 17	12876	2.5340	37848.2294
Oct 17	12488	2.2464	32541.5291
Nov 17	12847	2.3543	35084.7995
Dic 17	11961	1.9456	26994.733
Ene 18	12582	2.2341	32606.9575
Feb 18	12,875	2.4340	36351.79
Mar 18	12,565	2.4008	34992.6203
Abr 18	12,394	2.3084	33187.9591
May 18	12,403	2.3088	33217.8138
Jun 18	12,365	2.3085	33111.7389
Total	162,887		432997.2305

**Tabla 7** Potencia total consumida en la Universidad Politecnica de Amozoc  
Fuente: Elaboración Propia

### Cálculos realizados para un sistema fotovoltaico interconectado a red.

El consumo total de la Universidad es  $E_c = 162\,887$  kWh, el promedio mensual es  $13573.9166$  kWh, como solo se requiere abastecer el 60 % del total, entonces tenemos  $8144.3499$  kWh, como necesitamos el consumo diario dividimos  $8144.3499/30 = 271.4783$  kWh/día.

Con este consumo diario y las características de los paneles solares de la tabla 1, obtenemos los módulos totales, como se muestra en la ecuación 1:

$$M = \frac{271478.3Wh}{(250W)(5.44h)} = 199.62 \text{ módulos} \quad (1)$$

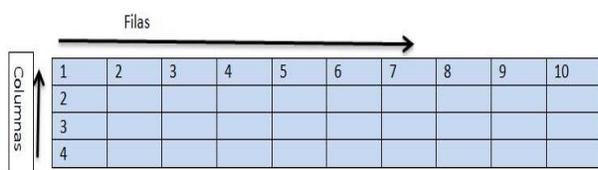
Para obtener los módulos en serie utilizamos los datos del inversor de la Tabla 2 y la ecuación 2:

$$No. \text{ de filas en serie} = \frac{V_{inv}}{V_M} = \frac{(230+500)/2}{37.92} = 9.63 \text{ módulos} \quad (2)$$

Para obtener los arreglos en paralelo utilizamos la ecuación 3:

$$No. \text{ de columnas en paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_M} = \frac{27.6A}{8.06} = 3.42 \text{ módulos} \quad (3)$$

Con las filas y las columnas el arreglo de paneles para un inversor **quedaría** como se muestra en la siguiente figura 7.



**Figura 7** Arreglo de paneles solares

Fuente: *Elaboración Propia*

El número de inversores se obtiene con la ecuación 4:

$$\text{No. de inversores} = \frac{M}{\text{No. de módulos del arreglo}} = \frac{199.96}{40} = 4.99 \text{ inversores} \quad (4)$$

Con los datos obtenidos necesitamos 5 inversores y 200 paneles solares para solventar el 60 % de la energía total que consume la universidad. Para la configuración del sistema se recurrió a la herramienta de cálculo: "Fronius Configuration Tool" que permite una rápida distribución de los elementos, tomando en cuenta sus características y las condiciones de uso, como se muestra en la figura 8.

**Fronius Configuration Tool Beta**

english | español

Favor de seleccionar diferentes parámetros

**Componentes del sistema**

Modelo de inversor: Fronius IG Plus 10.0-3 Delta (208V/240V)

Fabricante de módulo: Solartec

Tipo de módulo: S60MC-250

Condiciones ambientales: °C

Temp. ambiente más caliente: 30°C ... 35°C

Temp. ambiente más fría: -20°C ... -11°C

Información del módulo

Fabricante	Solartec	Corriente de cortocircuito	8.62 A
Módulo	S60MC-250	Tensión en MPP	30.96 V
Tensión de circuito abierto	37.92 V	Tensión de circuito abierto a -10°C	42.51 V
Potencia en MPP	250 Wp	Tensión MPP 50°C	27.68 V
Corriente en MPP	8.07 A		
Tensión MPP 70°C	25.06 V		

**Configuraciones de sistema posibles**

# MÓDULOS	# CADENAS		
	3	4	5
9		8994	11243
10	7495	9994	12492
11	8245	10993	
12	8994	11993	
13	9744		

Favor de presionar una tecla!

- Dimensionado insuficiente
- Configuración óptima!
- Sistema sobre dimensionado

Configuración óptima!

Número de cadenas: 4

Número de módulos por cadena: 10

Corriente máxima de cadena: 8.1 A

Corriente máxima fotovoltaica: 32.3 A

V<sub>oc</sub> max. de acuerdo a NEC: 439 V

**Figura 8** Configuración del sistema fotovoltaico para la universidad

Fuente: *Elaboración Propia*

Finalmente necesitamos 4 cadenas y cada cadena debe tener 10 módulos, es decir, 40 módulos para cada inversor, la configuración final se muestra en la siguiente figura 9.

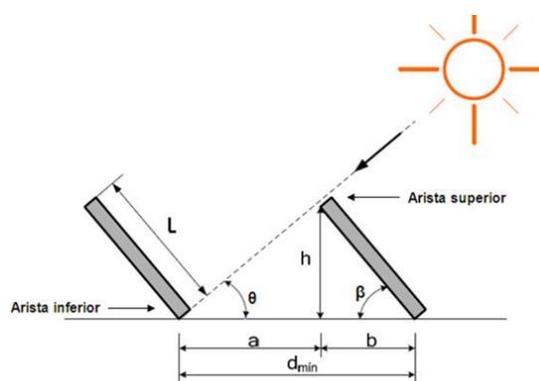


**Figura 9** Configuración general del sistema fotovoltaico

Fuente: *Elaboración propia*

### Distancia mínima entre arreglos

La distancia entre paneles se establece de tal forma que al medio día, la sombra del arista superior del panel se proyecte, como máximo, sobre la arista inferior del panel siguiente, tal y como se observa en la siguiente figura 10.



**Figura 10** Distancia mínima entre aristas de paneles

Fuente: [edii.uclm.es/~arodenas/Solar/componentes.htm](http://edii.uclm.es/~arodenas/Solar/componentes.htm)

Donde:

$d_{min}$ : Distancia mínima entre aristas de paneles para evitar sombras, m.

$L$ : Longitud del panel (columna de módulos en paralelo), m

$h$ : Altura solar al medio día, m.

$\beta$ : Grado de inclinación del panel solar respecto a la horizontal

$\theta$ : Angulo de la sombra respecto a la horizontal

a: Distancia de la arista inferior de un panel a la arista inferior del otro, m.

b: Distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo respecto a la horizontal, m.

Una vez obtenido el grado de inclinación del panel solar que es la latitud de ubicación de la Universidad Politécnica de Amozoc que es de  $20^\circ$  y la longitud del arreglo de paneles (L) que es 3.968 m, se calcula la altura solar al medio día.

$$h = \text{sen}\beta * L = \text{sen}(20^\circ)(3.968\text{m}) = 1.36 \text{ m}$$

Con los mismos datos se calcula la distancia b:

$$b = \text{cos}\beta * L = (\text{cos}20^\circ)(3.968\text{m}) = 3.73 \text{ m}$$

Considerando el ángulo de inclinación del panel y los ángulos rectos que se forman, se complementan los demás ángulos y se determina que el ángulo  $\theta$  es de  $70^\circ$ . Enseguida se calcula la distancia "a", utilizando como dato la altura (h) y el ángulo  $\theta$ .

$$a = \frac{h}{\tan\theta} = \frac{1.36\text{m}}{\tan70^\circ} = 0.49 \text{ m}$$

Por último se suman la distancia "a" más la distancia "b" para obtener la distancia mínima entre aristas de paneles, para evitar la sombra sobre otro arreglo de paneles, esta distancia mínima se muestra en la figura 9.

$$d_{\text{min}} = a + b = 0.49 + 3.73 = 4.22 \text{ m}$$

### Estructura para los paneles solares

La estructura de las placas solares ha de resistir las sobrecargas del viento tal como indica el código técnico de la edificación NBE-AE-88. Para ello, se realiza la suposición del caso más desfavorable para la instalación.

### Sobrecarga por viento

En caso del viento, según normativa, su velocidad puede provocar valores de presión dinámica peligrosos. La presión dinámica depende de la velocidad del viento que está relacionada directamente con la altura de la estructura que sostiene los módulos sobre el terreno.

Según la tabla 5.1 de la NBE-AE-88 (expresada en la tabla 8, del presente proyecto), la velocidad del viento es de 28 m/s y la presión dinámica es de  $50 \text{ kg/m}^2$ .

Presión dinámica del viento			
Altura sobre el terreno (m)		Velocidad del viento (m/s)	Presión dinámica ( $\text{kg/m}^2$ )
Normal	Expuesta		
De 0 a 10	-	28	50
De 11 a 30	-	34	75
De 31 a 100	De 0 a 30	40	100
Mayores de 100	De 31 a 100	45	125
-	Mayores de 100	49	150

**Tabla 8** Presión dinámica del viento (Tabla 5.1 del NBE-AE-88)

Fuente: Código técnico de la edificación NBE-AE-88

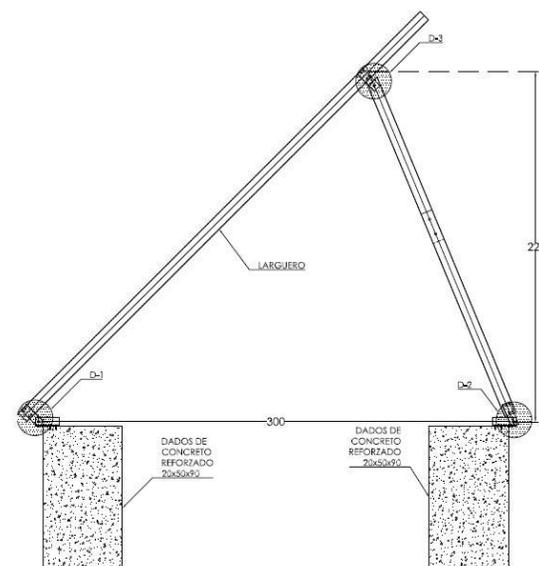
Para observar cómo afecta esta presión a la estructura, se puede hallar la fuerza que ejerce el viento en la estructura, sabiendo que la fuerza del viento atraviesa la superficie de los 4 módulos que forman la estructura con un ángulo de  $20^\circ$  (ángulo de inclinación de los módulos). Ahora ya podemos calcular la fuerza del viento:

$$f_v = wS\text{sen}\beta = 50(6.508)\text{sen}20^\circ = 111\text{kN} = 1.01\text{kN}$$

w = Presión dinámica ( $\text{kg/m}^2$ )

S = Superficie del conjunto de paneles por estructura

$\beta$  = Angulo de inclinación respecto a la horizontal. Por la tanto la estructura diseñada fue de aluminio anodizado para cuatro paneles y debe soportar al menos 1.01 kN de fuerza del viento, figura 11.



**Figura 11** Corte esquemático de la estructura

Fuente: Elaboración Propia

## Diseño de conductores y protecciones del sistema

Cálculo de los conductores:

El sistema tendrá diferentes conductores, dependiendo del sector en consideración:

### Cadenas en serie

Cada cadena de 10 módulos se conectará en serie, por lo que sus parámetros de diseño son los siguientes: (Circuito 1)

- Tensión máxima para las condiciones de temperatura: 413 V.
- Corriente de corto circuito de los módulos solares 8.62 A.
- Corriente máxima del circuito 1:  $8.62 \times 1.25 = 10.78$  A.
- Corriente de diseño del cable:  $8.62 \times 1.25 = 10.78$  A.
- Corriente mínima para diseño de protección =  $1.25 \times 10.78 = 13.48$ .
- Protección de la cadena: Fusible de acción rápida 10x38 mm 600 V, 15 A. (Mayor que 13.48 y menor que 35 A).
- Conductor: Cable tipo fotovoltaico Calibre 10 AWG.
- Capacidad de conducción del cable (ampacidad) = 35 A.
- Longitud del circuito desde los módulos hasta el tablero de protección y conexión en paralelo: 40 m.

Conducción desde tablero de protección y conexión en paralelo hasta Inversor. (Circuito 2).

- Tensión máxima: 413 V.
- Corriente de diseño  $1.25 \times 10.78 \times 4 = 53.9$  A
- Conductor: Cable THW Calibre 6 AWG.
- Capacidad de conducción del cable (ampacidad) = 65 A.
- Protección contra sobrecorriente: 60 A.
- Longitud máxima del circuito desde el tablero de protección y conexión en paralelo hasta el inversor: 86 m

Las pérdidas en los dos tramos mencionados se verifican en la Figura 12.

Se comprueba que son aceptables, ya que la pérdida total en el circuito de corriente continua es de  $0.28\% + 0.96\% = 1.24\%$

CÁLCULO DE LA CAIDA DE TENSIÓN EN CONDUCTOR DE CC. Conductor calibre 10 AWG para cada cadena			CÁLCULO DE LA CAIDA DE TENSIÓN EN CONDUCTOR DE CC. Conductor calibre 6 AWG agrupando a 4 cadenas.		
Tensión de diseño	413.00	V	Tensión de diseño	413.00	V
Corriente de cortocircuito del módulo solar	8.62	A	Corriente de cortocircuito del módulo solar (4 módulos)	34.48	A
Corriente de diseño del cable	13.45	A	Corriente de diseño del cable	53.79	A
Longitud (ida y vuelta)	40.00	m	Longitud (ida y vuelta)	86.00	m
Caída de tensión	0.28%		Caída de tensión	0.96%	
Constante del conductor (cobre)	56.00		Constante del conductor (cobre)	56.00	
Potencia	2500.00	W	Potencia	2500.00	W
Área del Conductor propuesto	5.26	mm <sup>2</sup>	Área del Conductor propuesto	13.30	mm <sup>2</sup>

**Figura 12** Cálculo de la caída de tensión en el circuito de corriente continua

*Fuente: Elaboración Propia*

Conducción desde los inversores hasta el tablero de protección y conexión en paralelo de los inversores.

- Tensión máxima de salida de cada inversor 208 V
- Corriente máxima de salida de cada inversor (por fase) = 27.7 A
- Corriente de circuito de salida del inversor (por fase) = 27.7 A
- Corriente de diseño del conductor:  $27.7 * 1.25 = 34.63$  A
- Conductor: Cable THW Calibre 6 AWG
- Capacidad de conducción del cable (ampacidad) = 65 A
- Protección contra sobrecorriente:  $27.7 \times 1.25 =$  mayor de 35 A y menor de 65A. Se selecciona interruptor termomagnético de 40 A
- Longitud máxima del circuito desde el inversor al tablero de conexión en paralelo de los inversores: 8 m

Conducción desde el tablero de protección y conexión en paralelo de los inversores, hasta el tablero de distribución correspondiente a la enfermería y edificio de laboratorios de la UPAM.

- Tensión 208 V
- Corriente máxima de salida del tablero (por fase) =  $27.7 * 1.25 \times 4 = 173.13$  A
- Corriente de diseño del conductor: 173.13 A
- Conductor: conductores Cable THW Calibre 4 AWG
- Capacidad de conducción del cable (ampacidad) = 85

- Se emplearán dos conductores calibre 4 AWG por fase para facilidad de manejo por flexibilidad del conductor.

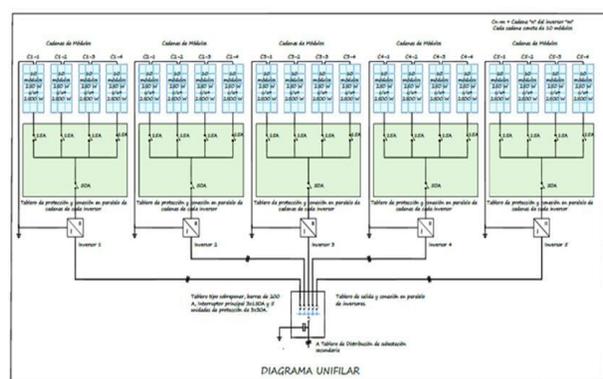
Longitud máxima del circuito desde el inversor al tablero de conexión en paralelo de los inversores: 35 m

Las pérdidas en los dos tramos mencionados se verifican en la Figura 13. Se comprueba que son aceptables, ya que la pérdida total en el circuito de corriente continua es de  $0.18\% + 1.23\% = 1.41\%$ .

CÁLCULO DE LA CAIDA DE TENSIÓN EN CONDUCTOR DESDE INVERSOR HASTA TABLERO PARA CONEXIÓN EN PARALELO DE INVERSORES			CÁLCULO DE LA CAIDA DE TENSIÓN EN CONDUCTOR DESDE TABLERO PARA CONEXIÓN EN PARALELO DE INVERSORES HASTA TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE LABORATORIOS Y ENFERMERÍA		
Tensión de diseño	208.00	V	Tensión de diseño	208.00	V
Corriente de diseño del cable	34.63	A	Corriente de diseño del cable	86.56	A
Longitud	8.00	m	Longitud	35.00	m
Caída de tensión	0.18%		Caída de tensión	1.23%	
Constante del conductor (cobre)	56.00		Constante del conductor (cobre)	56.00	
Potencia	10,000.00	W	Potencia	50,000.00	W
Área del Conductor propuesto	13.30	mm <sup>2</sup>	Área del Conductor propuesto	21.20	mm <sup>2</sup>

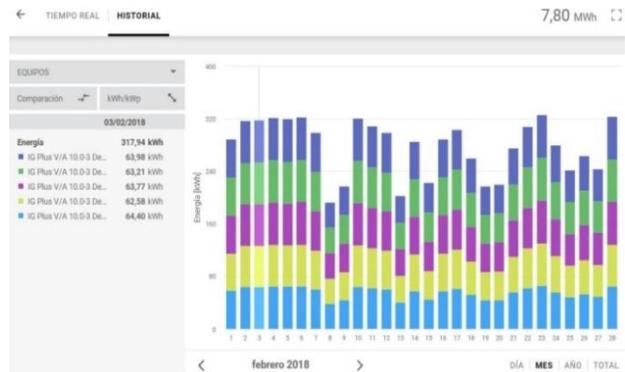
**Figura 13** Caída de tensión en el circuito de corriente alterna  
Fuente: *Elaboración Propia*

En la figura 14 se muestra el diagrama unifilar del parque solar UPAM, el cual es necesario para realizar la interconexión con CFE.

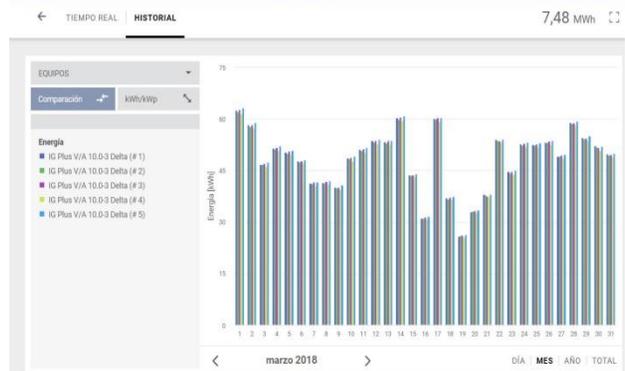


**Figura 14** Diagrama Unifilar del parque solar UPAM  
Fuente: *Elaboración Propia*

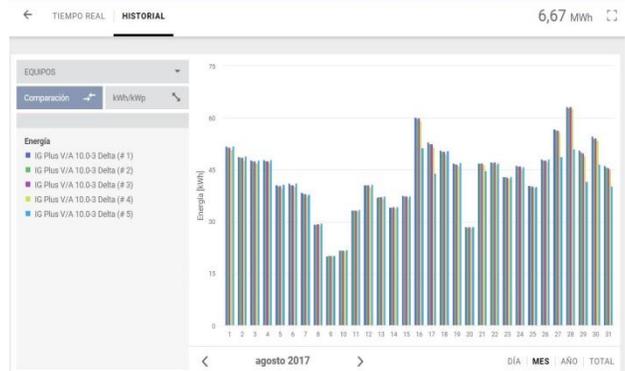
En las gráficas 1, 2, 3, y 4 se muestra la producción generada por el parque solar UPAM, para los meses de febrero 2018, marzo 2018, agosto 2017 y septiembre 2017 respectivamente.



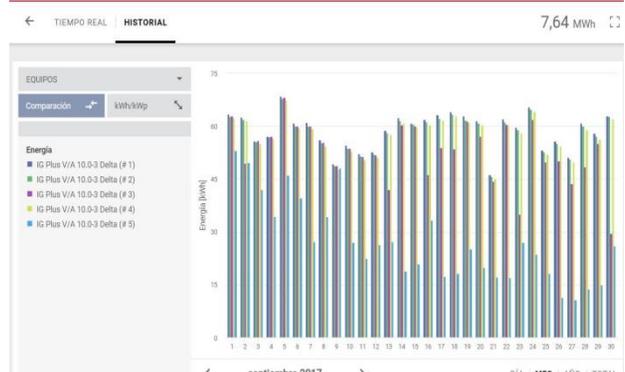
**Gráfica 1** Generación de potencia en el mes de febrero 2018  
Fuente: *solarweb.com*



**Gráfica 2** Generación de potencia en el mes de marzo 2018  
Fuente: *solarweb.com*



**Gráfica 3** Generación de potencia en el mes de agosto 2017  
Fuente: *solarweb.com*



**Gráfica 4** Generación de potencia en el mes de septiembre 2017  
Fuente: *solarweb.com*

En la figura 15 se muestra el parque solar UPAM, compuesto por 200 paneles de 250 W, 5 inversores Fronius de 10 kW.



**Figura 15** Parque solar UPAM

Fuente: Elaboración Propia

## 7. Agradecimiento

A la Universidad Politécnica de Amozoc por el “Apoyo a la Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico” y por gestionar los recursos ante las instancias correspondientes para el financiamiento del proyecto.

## 8. Conclusiones

Se realizó el análisis energético de la Universidad politécnica de Amozoc, y se dimensiono el 60% del consumo total de energía eléctrica, de tal forma que la dimensión del sistema fotovoltaico se realizó con el consumo de 271.4783 kWh/día, el parque está integrado con 200 módulos solares monocristalinos modelo S60MC-250 de 250 W, 5 inversores modelo 10.0-3 delta, con potencia nominal de salida de 9,995 W cada uno, un Sistema de monitoreo y almacenamiento de datos, 50 unidades de estructura de aluminio anodizado, cada unidad soporta 4 módulos solares, y con posibilidad de ajuste estacional en el ángulo de inclinación.

Se realizó la instalación del parque solar con cinco inversores, cada uno de ellos con cuatro cadenas conectadas en paralelo, y cada cadena con 10 módulos conectados en serie, por lo que cada inversor entrega una potencia nominal de 10 kW. Con el parque solar UPAM conectado a la red de CFE se generan aproximadamente 93.6 MWh anuales, esto depende de las condiciones climáticas, con esta energía solventamos el 60 % de la energía que se consume en la universidad, evitando la emisión de aproximadamente 50 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmosfera anuales.

Con esta producción de energía del parque solar se ahorran aproximadamente \$ 234 000 anual, de tal forma que el retorno de inversión se logra entre los 8 y 9 años.

## 9. Referencias

Anguiano J. (2012). Constante solar. P.15 - 17 Impacto de la temperatura de los módulos en la eficiencia de un sistema fotovoltaico conectado a la red. Recuperado de: <http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI16030.pdf>  
Cabanillas, R.E., Munguia, H. (2011). Dust accumulation effect on efficiency of Si photovoltaic modules. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 3.

Campos, F. M. (2012). “Estudio de viabilidad en planta solar fotovoltaica de 500 kW sobre la cubierta de una nave industrial en la ciudad de Sevilla” Proyecto fin de carrera, Universidad de Sevilla.

Canarias, G. D. (2018). *Instalaciones fotovoltaicas*. Obtenido de [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodul e/@random49914e4ed9045/1234263307\\_Guia FotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodul e/@random49914e4ed9045/1234263307_Guia FotovoltaicaGobCan.pdf)

Castilla, J. (2007). Introducción a la energía solar fotovoltaica. Pp: 15-16. Manual del instalador energía fotovoltaica. Gráficas Celarayn, España.

Daniel Almarza, A. G. (marzo de 2017). *Guía de buenas y malas prácticas de instalaciones fotovoltaicas sobre techos. Documento anexo a la*. Obtenido de [http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SEC20 05/ELECTRICIDAD\\_SEC/ERNC/GENERACION\\_DISTRIBUIDA/LINKS\\_Y\\_NOTICIAS/T AB6243717/GU%CDA-DE-BUENAS-Y-MALAS-PR%C1CTICAS-DE-INSTALACIONES-FOTOVOLTAICAS..PDF](http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SEC20 05/ELECTRICIDAD_SEC/ERNC/GENERACION_DISTRIBUIDA/LINKS_Y_NOTICIAS/T AB6243717/GU%CDA-DE-BUENAS-Y-MALAS-PR%C1CTICAS-DE-INSTALACIONES-FOTOVOLTAICAS..PDF)

Domínguez H. (2012). Diseño de un Sistema fotovoltaico. Recuperado de: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/12345678931 5611dominguezgonzalezhector.pdf>

Fletes, N., Paredes, C., Dibene, L. (2016). Eficiencia en la producción de energía de un panel fotovoltaico a diferente inclinación en Nuevo Vallarta, Nayarit. Revista de Aplicaciones de Ingeniería, 3.

Flores, O., González, R., Juárez, V., Huitzil, I. (2016). Análisis comparativo de rendimiento, costo y producción energética entre el sistema aislado e interconectado de la empresa cartón corrugado Puebla S.A. de C.V. *Revista de Aplicaciones de Ingeniería*, 3, 9.

García, M., Marroyo, L., Lorenzo, E., Pérez, M. (2011). Soiling and other optical losses in solar-tracking PV plants in Navarra. *Progr. Photovolt: Res. Appl.* 19 (2), pp. 211–217.

González, R., Jiménez, H., Lagunas, J. (2003). Sistemas fotovoltaicos conectados a la red. *Boletín IIE*, octubre-diciembre del. México.

Hasan, A., Sayigh, A. (1992). The effect of Liqun, L., Zhiqi, L., Chunxia, S.Z.L. (2012). Degraded output characteristic at atmospheric air pollution and economy analysis of PV power system: a case study. *Przeegl. Elektrotech. (Electr. Rev.)* 88 (9A), pp. 281–284.

Martínez J. (2011). Implementación de un Sistema de Celdas Fotovoltaicas para el Alumbrado de Automatización de la Facultad de Ingeniería de UAQ. Recuperado de <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/1227/1/R1000800.pdf>

Mertens, K. (2014). *Photovoltaics Fundamentals, Technology and Practice*. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd

Ramírez E. (2011). Proyecto Ahorro de Energía. Recuperado 20/07/2014 del sitio web <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/33054/1/ramirezrojas.pdf>

Taczo O. (2011). Energía Solar Fotovoltaica. Recuperado del sitio: [http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes\\_Finales\\_Investigacion/Julio\\_2011/IF\\_TACZA\\_CASALLO\\_FIME.PDF](http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Julio_2011/IF_TACZA_CASALLO_FIME.PDF)

Zorrilla, J., Piliouline, M., Carretero, J., Bernaola, P., Carpena, P., Mora, L., Cardona, M. (2011). Analysis of Dust Losses in Photovoltaic Modules. Congreso Mundial de Energías Renovables, Linkpoing, Suecia.

## Caracterización y aprovechamiento del potencial energético renovable de afluentes hídricos de ríos y quebradas del departamento de Nariño con el fin de suministrar energía a zonas no interconectadas ZNI

### Characterization and use of the renewable energy potential of rivers and creeks hydraulic affluents of the Nariño department in order to supply energy to non-interconnected zones ZNI

MARTÍNEZ-MELO, Omar David\*†, FIERRO-GUERRERO, Anthony, PIAMBA, Tito y GUALGUAN, Andrea

*Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, regional Nariño, Centro Internacional de Producción Limpia Lope Grupo de investigación: Lope investigaciones, San Juan de Pasto, Colombia*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Omar, David Martínez-Melo*

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Anthony, Francisco Fierro-Guerrero*

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Anthony, Piamba*

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Andrea- Gualguan*

Recibido 3 de Abril, 2018; Aceptado 30 Junio, 2018

#### Resumen

Las zonas no interconectadas ZNI (IPSE, 2014) en el departamento de Nariño requieren una solución de energización local, que ofrezca un servicio constante y confiable y cuyos costos de generación sean asequibles a las personas que pertenecen a este grupo poblacional. Nariño es uno de los departamentos que posee un gran potencial de fuentes hídricas que pueden ser aprovechados para la generación de energía eléctrica a través de pequeñas centrales hidroeléctricas. El objetivo principal del proyecto consiste en brindar soluciones de conectividad a través del desarrollo de una central mini-hidroeléctrica para suministro de energías representa una alternativa que permita mejorar las condiciones de vida de las personas que habitan en estos sitios; además de contribuir a la disminución del impacto ambiental generado por otros tipos de energías, incentivando el uso eficiente de estos recursos renovables. Con lo anterior, es necesario identificar en primera instancia un modelo metodológico que permita identificar el potencial energético que poseen fuentes hídricas como ríos y quebradas que se encuentran cerca a estas zonas no interconectadas. Se establecen las condiciones para involucrar una etapa de pre-factibilidad para implementarse un sistema hidroeléctrico con el cual se busque abastecer la demanda de energías de estas comunidades, determinando la aplicabilidad de éste tipo de tecnologías y el potencial que estas pueden generar. Se concluye resaltando la importancia de desarrollar de este tipo de tecnologías en nuestra región con el fin de trasladar el conocimiento a la comunidad por medio de su divulgación.

**Energías alternativas, Energía Hidroeléctrica, caracterización potencial Hídrico, desarrollo tecnológico, Diseño y desarrollo de prototipo**

#### Abstract

Non-interconnected ZNI zones in the department of Nariño require a local energization solution that offers a constant and reliable service and whose generation costs are accessible to the people belonging to this population group. Nariño is one of the departments that has a great potential of water resources that can be used for the generation of electricity through small hydroelectric plants. The development of a mini-hydroelectric plant for energy supply represents an alternative that can improve the living conditions of the people who inhabit these areas; besides contributing to the reduction of the environmental impact generated by other types of energies, encouraging the efficient use of these renewable resources. With the above, it is necessary to identify in the first instance a methodological model that allows identifying the energy potential of water sources such as rivers and streams that are close to these non-interconnected areas. The conditions are established to involve a pre-feasibility stage to implement a hydroelectric system with which it seeks to supply the energy demand of these communities, determining the applicability of this type of technologies and the potential that these can generate. It concludes, highlighting the importance of developing this type of technology in our region in order to transfer knowledge to the community through its dissemination.

**Alternative energies, hydroelectric power, potential water characterization, Design and technological development**

**Citación:** MARTÍNEZ- MELO, David, FIERRO-GUERRERO, Anthony, PIAMBA, Tito y GUALGUAN, Andrea. Caracterización y aprovechamiento del potencial energético renovable de afluentes hídricos de ríos y quebradas del departamento de Nariño con el fin de suministrar energía a zonas no interconectadas ZNI. Revista de Energías Renovables 2018. 2-5: 14-21.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: [odmartinezm@sena.edu.co](mailto:odmartinezm@sena.edu.co))

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## 1. Introducción

Según cifras ofrecidas por DANE<sup>1</sup> sobre cobertura de energía eléctrica, Nariño es uno de los departamentos más afectados debido a la falta de suministro de energía eléctrica, ocupando el primer lugar como una de las regiones que más zonas no interconectadas posee con 51447 usuarios de los cuales 8717 de esos usuarios pertenecen a las cabeceras municipales y 42730 usuarios pertenecen al sector rural. El sector rural en nuestra región presenta una gran problemática para abastecerse de un suministro energético, con lo cual, para desarrollar necesidades de alta prioridad, como, por ejemplo, iluminación, cocinar, comunicación, y tareas básicas de los hogares.

La falta de conocimiento sobre nuevas tecnologías acerca de fuentes energéticas renovables, genera un desaprovechamiento de las capacidades y potencial energético que brindan todos los recursos hídricos del departamento.

Actualmente, no existen proyectos que fortalezcan los conocimientos sobre el aprovechamiento de las fuentes hídricas para captar toda la energía requerida para estas zonas, por lo cual desde la formación y la academia se debe empezar a abordar proyectos que brinden soluciones a necesidades locales y/o regionales. Es importante resaltar la necesidad que desde la formación de aprendices del SENA se logre transferir conocimiento de las bondades que los recursos naturales poseen para generar energía eléctrica.

### 1.1. Las ZNI y las energías renovables

Las zonas no interconectadas ZNI en el departamento de Nariño requieren una solución de energización local, que ofrezca un servicio constante y confiable, y cuyos costos de generación sean asequibles a las personas que pertenecen a este grupo poblacional. Debido a la abundancia de fuentes hídricas en estas zonas (Orbes & Vallejo, 2013), la energía eléctrica producida por su potencial cinético representa una alternativa que puede permitir mejorar las condiciones de estas personas.

Además de contribuir a la disminución del impacto ambiental generado por otros tipos de energías, incentivando el uso eficiente de los estos recursos, por ello, es necesario desarrollar un proyecto que permita reconocer las bondades de aprovechar este tipo de recursos.

Según los datos reportados por los operadores de red IPSE y proyecciones del DANE a partir del censo 2005, sobre cobertura de energía eléctrica a 2014, el departamento de Nariño es una de las regiones con el índice más alto con personas que viven en zonas no interconectadas (ZNI) con un total de 51.447 usuarios<sup>2</sup> que podrían beneficiarse por medio de este proyecto.

En la actualidad Nariño cuenta con el componente hidrográfico del Departamento está constituido por las vertientes Pacífica y Amazónica. El recurso hídrico nariñense se manifiesta en ocho cuencas hidrográficas en las cuales se encuentran 20 lagunas y 28 importantes sub-cuencas. A la vertiente Pacífica pertenecen las cuencas de los ríos Patía, Mayo, Juanambú, Guáitara, Mira - Mataje, Iscuandé, y Telembí; a la vertiente Amazónica corresponden las cuencas del Guamuez y San Miguel.

La generación de energía eléctrica gracias a los caudales hídricos, brindan una solución autosustentable, económica y limpia que contribuye a la disminución de la emisión de gases contaminantes o de efecto invernadero y también permite reducir el uso de combustibles fósiles para la generación de esta energía.

La ejecución de este proyecto en el SENA plantea unos objetivos o metas en la cual, el desarrollo e innovación tecnológica apuntan a involucrar alternativas energéticas en nuestra región. Para el Centro Internacional de Producción Limpia LOPE (CIPLL) el aprovecha y miento producción de energía renovable debe involucrar el conocimiento de diversas áreas de estudio, es aquí donde los tecnólogos en áreas ambientales, áreas metalmecánicas y áreas electrónicas son capacitados para minimizar el impacto ambiental y desarrollar productos que disminuyan la huella de carbono.

<sup>1</sup> Datos reportados por los Operadores de red, IPSE, proyecciones DANE a partir del censo 2005, PERS Guajira.

<sup>2</sup> Cobertura de Energía Eléctrica a 2014. Datos reportados por los operadores de red, IPSE, proyecciones DANE a partir del censo 2005, PERS Guajira. Estimaciones a diciembre de 2014, UPME-grupo de cobertura. I

Los aprendices se apropiarán del conocimiento relacionado con el potencial de las fuentes hídricas y en la transformación de energías, es decir, de la conversión de energía potencial cinética a energía eléctrica. Al finalizar su etapa de formación, serán capaces de realizar transferencia de conocimiento a sus predecesores y tendrán la habilidad de aplicar sus conocimientos en el sector productivo, optimizando los procesos o incentivando el emprendimiento en este tipo de procesos tanto para las ZNI como también para el sector agropecuario y viviendas autosustentables.

Como beneficiarios directos del proyecto, en promedio 300 personas, se encuentran los aprendices de los programas de automatización industrial, Diseño e integración de automatismos mecánicos, Agua y Saneamiento, Control ambiental, Diseño de Sistemas Mecánicos, instructores, administrativos y en general todo el centro LOPE.

## 2. Metodología

### 2.1. Descripción metodología de proyectos

#### Método volumétrico para medición de caudales pequeños

El método consiste en tomar el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido. Posteriormente, se divide el volumen en litros entre el tiempo promedio en segundos, obteniéndose el caudal en Litros / segundo (L/s). Caudal = n cantidad de Litros / n cantidad de Segundos promedio

### 2.2 Método de Velocidad por área conocida

Con este método se mide la velocidad del agua superficial que circula en la fuente, tomando el tiempo que demora un objeto flotante en trasladarse de un punto a otro en una sección uniforme. Para ello, se toma una sección de la corriente; se mide el área de la sección, se lanza un objeto que flote en el agua desde el primer punto de control y al paso del cuerpo por dicho punto, se inicia la toma del tiempo que dura el viaje hasta el punto de control corriente abajo. El resultado de la velocidad se ajusta a un factor de 0,8 o 0,9.

**Calculo del área de lecho del rio (m<sup>2</sup>) = Ancho (m) X Profundidad (m)**

**Calculo de la velocidad del recorrido (m/s) = Distancia (m) / tiempo (s)**

**Calculo del caudal del rio m<sup>3</sup>/s = Lecho del rio (Área) X velocidad del recorrido (m/s)**  
(Fundación Solar, 2013)

Con lo anterior, se procedió a analizar 13 afluentes hídricos (quebradas) cercanas al centro de formación con el fin de caracterizar su potencial energético hidrológico así determinar las características y parámetros de diseño del prototipo a desarrollar, a continuación, se muestran los siguientes resultados:



**Figura 1** Aprendices e instructores del centro Internacional de Producción Limpia LOPE, desarrollando la caracterización del potencial hídrico renovable en uno de los ríos de los cuales se obtuvo parámetros importantes en cuanto a identificación de caudal, profundidad y volumen

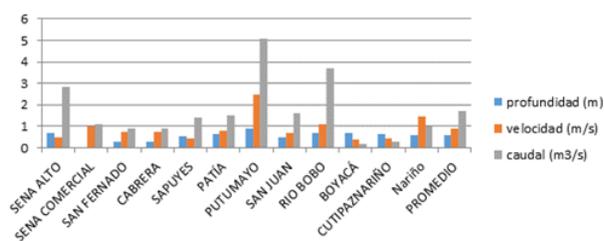
Fuente: *Esta Investigación*

### 2.2. Caracterización y aforo de ríos dentro del centro de formación y aledaños:

Río	profundidad (m)	velocidad (m/s)	caudal (m <sup>3</sup> /s)
Sena Alto	0,673	0,51	2,83
Sena Comercial	0,415	1	1,09
San Fernando	0,283	0,723	0,9
Cabrera	0,283	0,723	0,9
Sapuyes	0,531	0,45	1,4
Patia	0,657	0,8	1,485
Putumayo	0,9	2,5	5,06
San Juan	0,5	0,7	1,6
Río Bobo	0,7	1,08	3,7
Boyaca	0,7	0,38	0,167
Cutipaz	0,65	0,43	0,267
Nariño	0,57	1,47	0,98
<b>Promedio</b>	<b>0,59</b>	<b>0,9</b>	<b>1,7</b>

**Tabla 1** Identificación de características de los ríos, muestra tomada a doce once pertenientes a nuestra región y a un río perteneciente al departamento del Putumayo

Fuente: *Esta Investigación*



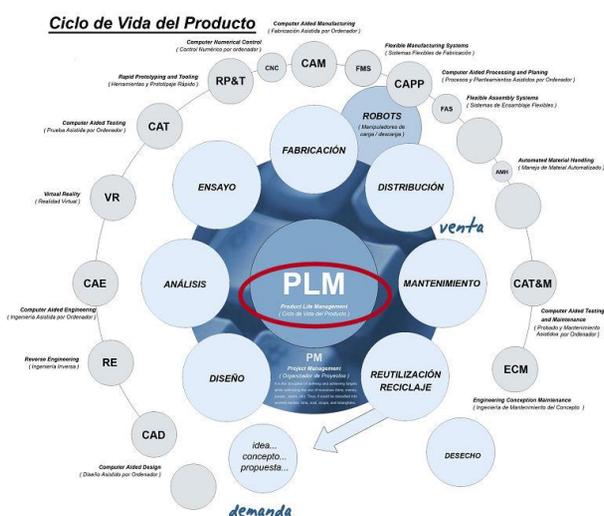
**Gráfica 1** características de los caudales de río relacionada con la profundidad, la velocidad y el caudal promedio de cada uno de los ríos analizados

Fuente: Esta Investigación

### 3. Metodología PLM (Product Lifecycle Management)

El proceso metodológico de trabajo está basado en la metodología de diseño y desarrollo de productos en contexto con la aplicación de la Estrategia PLM para el monitoreo, control, seguimiento y evaluación de las diferentes fases que hacen parte del desarrollo del proyecto.

La administración del Ciclo de Vida del Producto PLM (Product Lifecycle Management) es un término usado para la gestión global del ciclo de vida de un producto, desde su concepción, pasando por su diseño y fabricación hasta su distribución, venta y reciclaje o reutilización. Por tanto, aplicaciones que permiten controlar, desarrollar, innovar, describir y comunicar información acerca de los productos (InnoSupportTransfer – Apoyo a la Innovación en las PYMES , 2007).



**Figura 2** Diagrama aplicación metodológica relacionada con la Administración del Ciclo de Vida del Producto

Fuente: (Arion Data System, 2010)

Una herramienta informática para PLM integra a todas las demás, facilitando el transporte de información entre los distintos sistemas y aplicaciones, coordinando y promoviendo la colaboración entre los distintos departamentos o áreas de una empresa e impulsando la innovación en cualquier fase del ciclo de vida (Arion Data System, 2010). Por lo tanto, se pueden señalar como ventajas:

- Facilita (más rápido, menos errores, menos tiempo de aprendizaje) la comunicación a todos los niveles.
- Favorece los procesos de innovación.
- Puede ahorrar costes de inversión y mantenimiento.
- Simplifica el control de todos los procesos, horizontal y verticalmente en el seno de la empresa, así como en los procesos de externalización.
- Reduce el tiempo de comercialización.

**Las fases inician con la concepción:** definición de variables de la caracterización a estudiar para la eficiencia energética del punto de instalación de captura energética de la mini-central Hidroeléctrica a desarrollar, para ser implementada y probada en uno de los ríos caracterizados el cual se encuentra ubicado dentro de las instalaciones del Centro LOPE.

La segunda actividad es el diseño detallado de la ubicación estratégica de los de la mini-central hidroeléctrica con todos los elementos que la conforman (el generador, elevador de voltaje, regulador, baterías, inversor) para ello, se desarrolló los bocetos y planos detallados del sistema a desarrollarse, planos mecánicos, desarrollo y mecanizado de piezas y desarrollo de acabados.

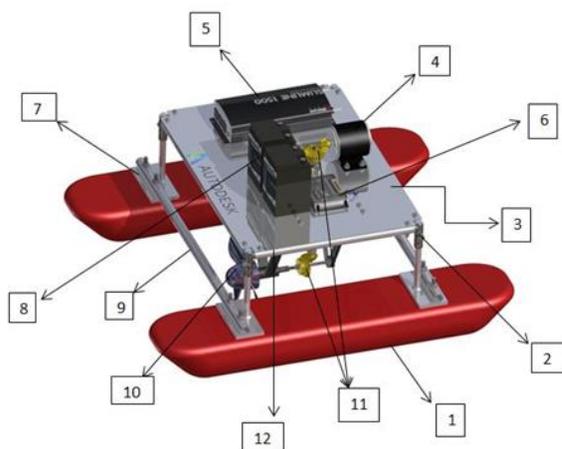
En seguida, vendrá la fase de ensamblaje e Implementación, de los sistemas de anteriormente mencionados con el fin de suplir de energía eléctrica para ser almacenada en las baterías y posteriormente ser consumida por el usuario.

Finalmente, se culmina con la fase de terminación que incluiría la documentación completa de las diferentes fases y el estudio final del proyecto con una verificación de eficiencia de las variables y un seguimiento previo para la obtener una mayor calidad de eficiencia y productividad.



Al establecer contacto con el agua las hélices comienzan a girar transformando en este punto la energía cinética en un movimiento mecánico. Por medio de los engranes ubicados en la parte inferior y la parte superior del prototipo se transmite el movimiento producido a los piñones que se encuentran en la base y estos a la vez lo transmiten al generador eléctrico, el cual alimentará las baterías que a su vez almacenan la energía y la distribuyen a los electrodomésticos que se desea alimentar para su funcionamiento.

A continuación, se procede a identificar el diseño final del prototipo con el fin de describir cada una de sus partes.



**Figura 5** Descripción en detalle de cada uno de los elementos que componen el prototipo de generación de energía de la central mini-hidroeléctrica portátil desarrollada por el equipo de CIPLL del SENA regional Nariño

Fuente: Esta Investigación

### Descripción de la planta mini hidroeléctrica

1. **Flotadores:** Mantienen en equilibrio a toda la estructura en general
2. **Ejes esquineros:** Permiten modificar y graduar la altura de la turbina.
3. **Base:** Su función principal es soportar a el generador, inversor y regulador. Las dimensiones son 68cm de largo por 52 de ancho con un espesor de 3mm.
4. **Generador:** Genera corriente y voltaje.
5. **Inversor:** Convierte la corriente directa a corriente alterna.
6. **Regulador:** Carga las baterías y realiza su desconexión automática cuando ya estén cargadas.
7. **Ejes de elevación:** Permiten el ensamble de flotadores a la estructura y junto con los ejes esquineros permiten modificar la altura de la turbina.

8. **Baterías:** Almacenan la energía producida por el generador.
9. **Ejes de soporte:** Permiten Ensamblar los flotadores generando un equilibrio a todo el sistema.
10. **Turbina:** Aprovecha la energía cinética y la convierte en un movimiento.
11. **Piñones:** Convierten y transportan la energía producida por el generador.
12. **Soporte de la base:** Permite asegurar la base y aportan estabilidad.

### 5. Validación preliminar



**Figura 6** Desarrollo de pruebas de generación y almacenaje de energía en campo real del prototipo de generación de energía de la central mini-hidroeléctrica portátil desarrollada por el equipo de CIPLL del SENA regional Nariño

Fuente: Esta Investigación

### 5.1. Resultados

#### Prueba 1

Teniendo en cuenta el diseño presentado, se procedió a realizar unas pruebas con el fin de demostrar el funcionamiento del prototipo desarrollado, se realizaron dos pruebas en uno de los ríos caracterizados y que se encuentran al interior del centro de formación y se obtuvieron los siguientes resultados:

A un caudal de 2,5 m<sup>3</sup>/s, con una relación de piñones 1: 2 en la turbina y 1:3 en el generador, se obtuvo la producción de 12V sin carga (sin conectar batería) y con carga se obtuvo 8V y una corriente de 2.3 Amperios.

#### Prueba 2

A un caudal de 2,9 m<sup>3</sup>/s, con una relación de piñones 1:2 en la turbina y 1:2 en el generador produjo 8.7 V sin carga y respectivamente con carga 4,9V y una corriente de 2 A

Se concluye que la producción de energía depende de las revoluciones del generador. Para las anteriores pruebas, las revoluciones varían según las relaciones, en la primera prueba las revoluciones fueron aproximadamente de 1000 y en la segunda prueba de 600 revoluciones. Para la producción máxima de potencia, el generador debe llegar a 2800 revoluciones (se estima aproximadamente 12v y 18A).

## 6. Impactos

### 6.1. Social

Dar a conocer a la población rural la importancia de ingresar a programas de formación titulada en el SENA, con el fin de que la comunidad se apropie de las nuevas tecnologías y la innovación de nuevos productos y procesos, motivando a la comunidad a trabajar y desarrollar proyectos para una producción más limpia, reduciendo la migración de campesinos hacia áreas urbanas. Por medio de este proyecto se mejora la calidad de vida de la población de zonas no interconectadas.

### 6.2. Económico

La instalación de las mini centrales hidroeléctricas trae consigo grandiosos beneficios económicos, ya que tiene varios usos: producción energía eléctrica, con el cual se lo puede emplear para uso doméstico, cocción de alimentos, comunicación, calefacción e iluminación, para que de esta manera reduzca significativamente el costo del consumo energético.

### 6.3. Ambiental

El uso de mini hidroeléctricas flotantes, contribuiría en la reducción y mitigación de los problemas asociados a la contaminación generadas por las plantas eléctricas de combustión que utilizan en dichas zonas, de igual forma de mantener un mejor equilibrio ambiental. Ayuda a mitigar los cambios climáticos, la conservación y mantenimiento de la biodiversidad y prevención de la degradación de la tierra.

### 6.4. Tecnológico

Se busca difundir el proyecto para los beneficiarios, en la actualización de programas de formación profesional integral del SENA, además de incentivar a la población que se beneficiará de este proyecto mediante divulgaciones, capacitaciones, asesorías para la construcción de mini centrales hidroeléctricas aplicados a cualquier zona de nuestra región que disponga de afluentes hídricos.

### 6.5. Energético

Producción más limpia de energía eléctrica para zonas (ZNI), que no disponen de esta fuente energética. Se busca generar por medio del aprovechamiento de afluentes hídricos disponibles en la región, energía renovable, que permitirá usarse para diversas actividades supliendo las necesidades que requieren de energía eléctrica.

## 7. Discusión y conclusiones

Se debe acelerar la diversificación energética dentro del centro de formación, ya que la variabilidad y diversidad de fuentes de energías renovables deben ser aprovechadas en sentido tal que toda la comunidad del SENA tenga acceso a tan importante información. Debido a nuestra situación climática y la dependencia de las fuentes hídricas en nuestro medio, se hace necesaria la realización de grandes esfuerzos para gestionar y afrontar los riesgos que generan no ajustarse a la actual coyuntura mundial relacionada con el cambio climático, buscando adaptarse a ellos, por un lado, y paralelamente estudiar y aprovechar el potencial en otras fuentes renovables y alternativas, de tal modo que asegure su abastecimiento en el futuro. Colombia, por su estratégica posición en el trópico y en el sistema montañoso de los Andes, tiene un potencial importante en energías, que en su gran mayoría se pueden identificar y aprovechar de manera práctica dentro de las instalaciones del Centro Internacional de Producción Limpia Lope, tal como lo son la energía hídrica, la energía eólica, la solar fotovoltaica y biomasa, pero debe crear las condiciones para desarrollarlas en firme, lo cual le permitirá mantenerse como una estrategia de aprendizaje transversal y posicionarse además como desarrolladores de energías limpias y de productos con una huella igualmente baja en carbono.

Es necesaria una política que desde el Estado intervenga en forma integral los territorios donde desarrollamos los macro proyectos de impacto regional y nacional, que son la columna vertebral para la competitividad y la sostenibilidad del país.

Y desde luego, se deben impulsar iniciativas que conduzcan a la reducción de emisiones a través de la eficiencia energética y la transferencia y apropiación de tecnologías más limpias y eficientes, entre otras.

## Referencias

Arion Data System. (2010). *PLM, Gestión del Ciclo de Vida del Producto*. Barcelona: ArionData.

Fundación Solar. (2013). *Medición del potencial hidrológico para generación de energía renovable, la experiencia de la fundación solar en Guatemala*. Ciudad de Guatemala: PURE.

InnoSupportTransfer – Apoyo a la Innovación en las PYMES . (2007). *Estrategias de Producción Innovadoras*. InnoSutra.

IPSE. (2014). *Soluciones energéticas para las Zonas No Interconectadas ZNI de Colombia*. Bogotá: MinMinas.

Orbes, J., & Vallejo, W. (2013). *Investigación exploratoria de sistemas de energía eléctrica renovable orientada a la búsqueda de soluciones energéticas en el departamento de Nariño*. Pasto: Universidad de Nariño.

Díaz A., Otálora O. (1992). *Inventario Nacional de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*.

Torres, E. & Et-al. (1997). *Guía de Pequeñas centrales hidroeléctricas INEA*.

Torres, E., & Et-al. (1994). *Grupo de Hidroelectricidad del INEA. Informe final de diseño Minicentral de San Lucas Sur de Bolívar*.

UPME, *costos indicativos de generación eléctrica en Colombia, 2005*

## Potabilización de agua y generación de hidrógeno aplicando energía solar fotovoltaica

### Drinking water purification and hydrogen generation using photovoltaic solar energy

PAVÓN-SILVA, Thelma B.<sup>1\*†</sup>, AGUILAR-VALENCIA, Ana P.<sup>2</sup>, ROA-MORALES, Gabriela<sup>3</sup> y NATIVIDAD-RANGEL, Reyna<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma del Estado de México-Unidad Académica Profesional Acolman

<sup>2</sup> Universidad Autónoma del Estado de México- Facultad de Química

<sup>3</sup> Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEMex-UNAM

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Thelma B, Pavón-Silva* / ORC ID: 0000-0002-3003-9542, CVU CONACYT ID: 120634

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Ana P, Aguilar-Valencia*

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Gabriela, Roa-Morales* / ORC ID: 0000-0001-7355-2568, CVU CONACYT ID: 121592

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Reyna, Natividad-Rangel* / ORC ID: 0000-0001-8978-1066, CVU CONACYT ID: 87755

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

#### Resumen

Se reportan los resultados de mejora de un reactor para la producción de agua potable aplicando energía solar fotovoltaica en directo con la evaluación en la producción de hidrógeno. El reactor electroquímico utiliza electrodos de aluminio y está diseñado de tal manera que al producirse tanto hidrógeno como oxígeno de la electrolisis del agua estos puedan ser separados para tener la cuantificación de hidrógeno así como su pureza, el volumen del reactor empleado fue de 2.5 L, el flujo de trabajo de 250 mL/min, y la duración de las pruebas fue de 5 horas. Así mismo se hace uso de la melanina como catalizador con el fin de aumentar la producción de hidrógeno. La pureza del gas es de 94.6%, detectando oxígeno como contaminante, no se reporta presencia de CO<sub>2</sub> ni CO. Observando el incremento al doble la producción de hidrógeno con el catalizador. A su vez los parámetros obtenidos en el agua tratada (microbiológicos, turbidez, pH, conductividad, Cr) se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normatividad mexicana.

**Tratamiento electroquímico, Electrodos de aluminio, NOM-127-SSA**

#### Abstract

The results of the improvement of a reactor for the production of drinking water are reported by applying photovoltaic solar energy in direct with the evaluation in the production of hydrogen. The electrochemical reactor uses aluminum electrodes and is designed in such a way that when both hydrogen and oxygen are produced from the electrolysis of the water they can be separated to have the quantification of hydrogen as well as its purity, the volume of the reactor used was 2.5 L, the workflow of 250 mL/min, and the duration of the tests was 5 hours. Likewise, melanin is used as a catalyst in order to increase the production of hydrogen. The purity of the gas is 94.6% and the main detected impurity was oxygen, nor CO<sub>2</sub> or CO were observed. By using melanin as a catalyst, the production of hydrogen is almost doubled without detection of other contaminating gases. In turn, the parameters obtained in the treated water (microbiological, turbidity, pH, conductivity, Cr) are within the ranges established by Mexican regulations.

**Electrochemical treatment, aluminum electrodes, NOM-127-SSA**

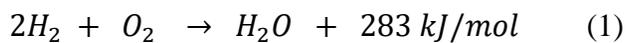
**Citación:** PAVÓN-SILVA, Thelma B., AGUILAR-VALENCIA, Ana P., ROA-MORALES, Gabriela y NATIVIDAD-RANGEL, Reyna. Potabilización de agua y generación de hidrógeno aplicando energía solar fotovoltaica. Revista de Energías Renovables 2018. 2-5: 22-30.

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## 1. Introducción

El proceso mediante el cual se obtiene el Hidrógeno empleando como compuesto principal al agua se conoce como electrolisis, dicho proceso consta de dos electrodos que están conectados a un flujo de energía eléctrica y que se encuentran sumergidos en la solución, el que está conectado al polo positivo es conocido como ánodo y el conectado al polo negativo como cátodo, cada electrodo atrae a los iones opuestos, así el ánodo atrae a los iones negativos y es el lugar donde aparece el oxígeno, mientras que en el cátodo se atraen a los positivos haciendo que el hidrógeno aparezca allí. (Chang y Williams, 2002). Si la formación de agua a partir de hidrógeno y oxígeno es un proceso que libera energía, el proceso inverso (hidrólisis) tiene un costo energético de igual magnitud.



Por ello se ha buscado implementar energías sustentables que sean capaces de suministrar la energía necesaria para el proceso de electrolisis, reduciendo así los grandes costos económicos que dicho proceso implica, ya que el hidrógeno es una de las energías portadoras más prometedoras del futuro.

Trabajos que ha realizado por colaboradores de la Universidad Autónoma del Estado de México, están enfocados al usos de celdas electroquímicas para el tratamiento de agua, ya sea agua residual industrial y generación de agua potable, son diversos (Bailón-Martínez *et al*, 2017, Amado Piña *et al*, 2017, Peralta *et al*, 2013, Pavón-Silva *et al*; 2009, Martín del Campo *et al*, 2014, Torres-Blancas *et al* 2015). La implementación de la energía solar a las celdas electroquímicas se ha explorado en el grupo.

La energía fotovoltaica, consiste en hacer que la luz solar incida sobre la superficie de las celdas solares para ser transformada en energía eléctrica de corriente directa. Esta energía es recogida y conducida hasta un controlador de carga. El controlador tiene la función de enviar toda o parte de esta energía hasta el banco de baterías. La energía almacenada es utilizada para abastecer las cargas durante la noche o en días de baja insolación. Si las cargas a alimentar son de corriente directa, esto puede hacerse directamente desde el arreglo fotovoltaico o desde la batería.

Estas celdas son capaces de generar una corriente a un voltaje determinado, que dependerá de la potencia y dependerá si se colocan en serie o en paralelo y orientadas siempre hacia el sur para conseguir un voltaje adecuado. (Valero *et al.*, 2008; 2011). Se ha demostrado que la electrocoagulación elimina contaminantes complejos en aguas residuales que requieren una combinación de métodos fisicoquímicos y biológicos (Pérez S. *et al*; 2016; Hesham A. *et al*; 2016; Barrera-Díaz, *et al*; 2006). También se ha demostrado que su combinación con otros procesos como la ozonización (Barrera-Díaz, *et al*; 2012) es altamente efectiva para la remediación de aguas residuales de matriz compleja. Sin embargo, la aplicación de electrocoagulación ha sido restringida en cierta medida por el costo que implica el uso de energía eléctrica.

Además, el cambio climático incita a la investigación y desarrollo de nuevas formas de energía renovable (ISES, 2003) como la energía fotovoltaica (PV) (Valero, 2008), cuyas ventajas incluyen su uso gratuito y abundante, recurso renovable, descentralizado, con larga vida útil y bajos costos de mantenimiento y no da como resultado contaminación.

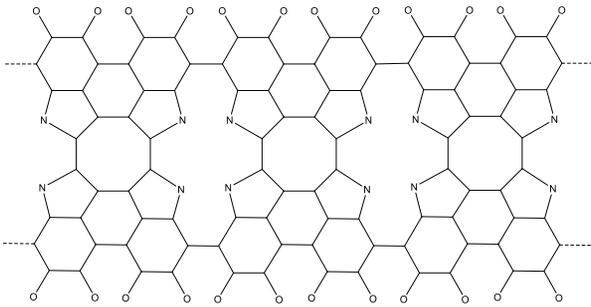
### Melanina como catalizador

La melanina es un polímero café oscuro producido en varios organismos mediante la fermentación oxidativa del nitrógeno contenido en las células o del nitrógeno fenólico libre, es considerada como un fuerte antioxidante además de presentar funciones anti-virales y alta capacidad protectora contra la radiación ultra violeta en organismos vivos (Sun, *et al*. 2016).

El pigmento oscuro ha sido extraído e identificado en diversas fuentes como los hongos, entre ellos *Aspergillus nidulants*, *Agaricus bisporus*, *Hipoxilon archeri Berk* *Auricularia auricula* y *Ophiocordyceps sinensis*, etc. En ellos se encontraron propiedades tanto físicas como químicas: elevado peso molecular, insolubilidad en agua y solventes orgánicos comunes, decoloración en presencia de agentes oxidantes (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y la absorción espectral en solución se encuentra entre el rango visible y ultravioleta (como se observa, la molécula presenta una estructura bastante simétrica, motivo por el que se le atribuye una gran estabilidad, figura 1.

Se cree que las posiciones periféricas de la molécula son las encargadas de atrapar los fotones, lo cual inicia una cascada de electrones hacia los centros de reacción (4N) en donde se genera una diferencia de potencial suficiente como para que el átomo de hidrógeno sea atraído con más fuerza hacia los centros de reacción de la melanina.

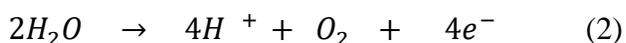
Su peso molecular elevado le permite presentar cientos de miles de centros de reacción contenidos en solo un gramo del compuesto, lo que habla de su gran eficacia para recolectar o absorber la energía que transmiten las radiaciones electromagnéticas, y por ende una gran cantidad de moléculas de agua desdobladas en un tiempo corto.



**Figura 1** Estructura teórica de la melanina  
Fuente: (Solís 2009)

Sin embargo, se ha demostrado que el aumento en las propiedades de transferencia de electrones de la melanina es independiente de la energía de los fotones incidentes, por lo que se ha notado que la melanina tiene la notable capacidad de convertir la radiación de baja energía en una forma más útil de energía. Las observaciones de sus efectos biológicos permiten observar su efecto sobre el agua liberando hidrógeno y oxígeno.

La separación de la molécula de agua por fotopigmentos se denomina fotólisis, representada por la reacción:



Un centro de reacción sólo puede generar una carga positiva o su equivalente oxidante a la vez. Este problema se resuelve por la presencia de 4 átomos de nitrógeno en el centro de reacción de la molécula de melanina, cada uno de los cuales transfiere un solo electrón (Solís 2009).

El Objetivo de este trabajo es evaluar la producción de Hidrógeno (H<sub>2</sub>) por medio del tratamiento electroquímico catalizado con melanina empleando electrodos de Al, acoplado a la utilización de energía fotovoltaica. Dentro de los objetivos particulares están el analizar el comportamiento de la aplicación de la melanina como catalizador en diferentes matrices como proyección para diseñar un reactor en continuo con una producción adecuada de hidrógeno.

## 2. Metodología

### Reactivos Químicos

Sulfato de sodio anhidro de FERMONT, agua destilada y agua desionizada pH=7 (20°C), Melanina sintética SIGMA Life Science, Glutaraldehído SIGMA-ALDRICH, Alginato de sodio SIGMA-ALDRICH, Cloruro de calcio FERMONT, Carboximetilcelulosa SIGMA-ALDRICH.

### Muestras de agua

Las muestras de agua superficial se obtuvieron de una presa ubicada en la comunidad de San Cayetano de Morelos del Estado de México, junto a la autopista Libramiento Ruta de la Independencia de Toluca y en la laguna perteneciente a la comunidad de San Mateo Atenco. El muestreo no se realizó en toda la presa y laguna, se tomaron muestras en el mismo lugar y se recolectaron en garrafones, los cuales fueron trasladados al CCIQS UAEM-UNAM.

### Electrolito soporte

Se utilizó Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.05M) como electrolito soporte se buscó enriquecer de iones las muestras de agua superficial y facilitar la reacción de desprendimiento del hidrógeno, considerando que no es tóxico y se ha utilizado en trabajos previos (Bailón, 2017).

### Pruebas de producción de hidrógeno

Se llevaron a cabo pruebas preliminares ya que se probaron diversos reactores, buscando tanto las mejores condiciones para el tratamiento electroquímico del agua, y para la producción del hidrógeno, así como la recolección de los gases, sobre todo el hidrógeno y la limpieza del sistema. En este documento solo se mencionarán los resultados del último reactor.

## Descripción del Reactor

Consiste en un recipiente de plástico rectangular, transparente con un volumen de 1.7 L, al que se le realizó, en la parte inferior dos orificios a una altura de 1cm, a través de los cuáles se insertaron dos barras de aluminio cuyos extremos sostenían tres electrodos del mismo metal separados  $\frac{1}{2}$  cm c/u. Las dimensiones de los electrodos fueron 2 placas con área de  $24.96 \text{ cm}^2$  y 4 de  $12 \text{ cm}^2$ .

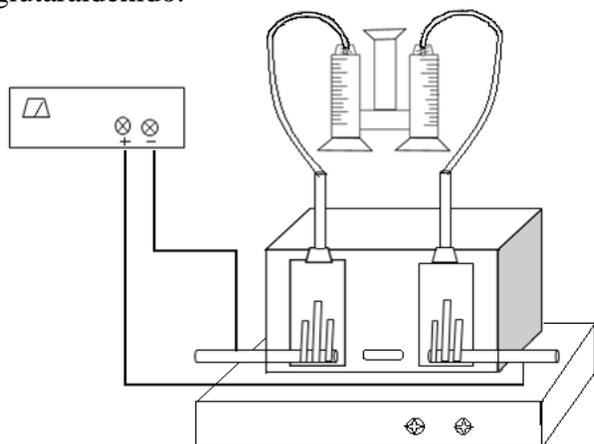
En la tapa se perforaron dos orificios de 0.5 cm de diámetro, a través de los cuales atravesaban dos pequeños cilindros de 1 mL, que se conectaban a los dos recipientes que separaron los electrodos. (Aguilar-Valencia, 2014). Se empleó una parrilla de agitación marca CORNING y para las pruebas preliminares una fuente de poder regulada SEICOM Electrónica y posteriormente el panel fotovoltaico. El dispositivo se muestra en la Figura 2. Debido a que no hay antecedentes al respecto del uso de la melanina las formas de aplicación consideradas fueron las siguientes:

### Adicionada directamente a la solución

Se preparó una solución de concentración conocida de tal manera que se adicionó una concentración fija por prueba y se cuantificó la producción de hidrogeno, comparado con un blanco que es una prueba que no contiene la melanina.

### Fija en glutaraldehído

Para fijar el catalizador se utilizó un portaobjetos, en el cual se adicionará una pequeña capa de glutaraldehído seguida de una capa con concentración establecida de melanina y finalmente sellada con otra capa de glutaraldehído.



**Figura 2** Reactor utilizado

Fuente: Aguilar-Valencia, 2014

## Esferas de alginato-melanina

Para la síntesis de las esferas alginato-melanina se utilizarán 3 soluciones: la primera compuesta por 0.2g de alginato y 7 mL de agua desionizada, esta se deja reposar para humedecer, la segunda integrada por 0.015 mg de melanina con 2.5 mL de agua desionizada y finalmente la solución tres con 0.065 g de  $\text{CaCl}_2$  en 5 mL de agua desionizada. Una vez hidratado el alginato de la solución 1, este se mezcla con la solución 2, dicha solución resultante se introduce en una jeringa y se deja caer gota a gota en la solución 3 con el fin de formar las esferas.

### Esferas de carboximetilcelulosa-alginato-melanina

Para la preparación de estas esferas se utilizaron 3 soluciones: la primera compuesta por 0.2 g de alginato, 0.2 g de carboximetilcelulosa y 10 mL de agua desionizada, se deja reposar para humedecer y formar un gel, la segunda formada nuevamente por 0.015 mg de melanina y 2.5 mL de agua desionizada y finalmente la solución de  $\text{CaCl}_2$  con 0.13 g en 25 mL de agua desionizada. Una vez formado el gel con los dos primeros reactivos se integra la melanina disuelta en agua y finalmente la solución se introduce en una jeringa para dejar caer gota a gota en la solución de  $\text{CaCl}_2$ , y formar las esferas.

### Cuantificación del hidrógeno e impurezas encontradas

Al terminar las pruebas se analizaron las muestras en el cromatógrafo de gases VARIAN CP-3800 donde previamente se establecieron los parámetros del método: temperatura del horno TCD  $230^\circ\text{C}$ , flujo de la columna 0.9 mL/min, presión de la columna 3.5 psi, volumen de inyección 200  $\mu\text{L}$  y tiempo de retención 15 min; para la determinación de la pureza del gas y las impurezas presentes en este, en este caso se midieron estándares de  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}$ .

### Eficiencia de la producción de Hidrógeno en lote empleando la melanina y fuente de poder

Para el cálculo de las eficiencias se utilizó la ecuación 3:

$$\varepsilon = \frac{mQ}{\int_0^t VI dt} 100\% \quad (3)$$

Dado que se utilizó una fuente de corriente directa, el potencial y la corriente en la celda no cambiaron, por lo que la expresión del denominador se simplificó a la ecuación 4:

$$\int_0^t VI dt = VIt \quad (4)$$

Es decir la energía de entrada se calcularía con el producto de la corriente por el potencial y por el tiempo del tratamiento. Q es la energía liberada del hidrógeno y tiene el valor de 141.9 kJ/g. Por lo que restaría encontrar la masa del hidrógeno obtenido en cada caso para poder determinar la eficiencia.

Para estas pruebas preliminares del volumen total del gas se consideró que fuera 100% de hidrógeno, ya que aún no se ha determinado la pureza. La celda operó a presión atmosférica con un valor de 0.7103 atm, para la ciudad de Toluca. Se determinó la cantidad de moles del gas con la ecuación de gas ideal ecuación 5:

$$PV = nRT \quad (5)$$

El volumen V es medido en L, la presión atmosférica es conocida en atm, R es la constante universal de los gases con un valor de 0.082 Latm/mol K, y la temperatura se transforma a grados K. Una vez obtenido el número de moles, se considera que un mol de hidrógeno molecular tiene una masa de 2 gramos. La masa estimada entonces se multiplica por el valor de Q.

### 3. Resultados y Discusión

Los resultados de los parámetros del agua superficial empleada se muestran en la tabla 1.

pH	7.45
Conductividad	366 $\mu$ S/cm
Temperatura	18.7°C
Turbiedad	225.6 FAU
DQO	130 mg/L como O <sub>2</sub>
COT	93.08 ppm C

**Tabla 1** Parámetros del agua superficial  
Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el valor de turbiedad supera el límite permisible por normatividad (NOM-127-SSA1-1994) de 5 unidades nefelométricas (UTN), mientras que el valor de pH se encuentra dentro de los límites establecidos (6.5-8.5).

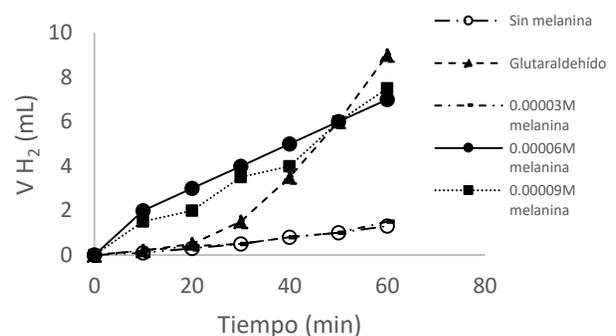
La temperatura es un parámetro físico de suma importancia para los ecosistemas hidráulicos, en este caso no se supera el valor de la temperatura ambiente.

La DQO en aguas superficiales debe ser sumamente baja y es un parámetro a determinar cuando la calidad del agua es incierta, en este caso el valor de 130 mg/L, indica la presencia de una cierta cantidad de materia orgánica e inorgánica susceptible a ser oxidada.

La turbiedad al igual que el parámetro anterior es superior a los límites máximos establecidos por la normatividad, pero son los valores antes de ser tratada el agua, como también el del Carbono Orgánico Total se encuentra en 93 mg/L.

### Pruebas de producción de hidrógeno

En la gráfica 1, se muestran resultados de pruebas preliminares sin adición de melanina y con adición directa, variando su concentración, observando el comportamiento en la producción de hidrógeno.



**Gráfica 1** Evaluación de la producción de hidrógeno, sin el empleo de melanina, melanina en diferentes concentraciones y fija en glutaraldehído

Fuente: Aguilar-Valencia, 2014

### Medición de los parámetros del agua superficial tratada en lote empleando la melanina y fuente de poder

En la tabla 2, se presentan resultados de los experimentos preliminares al usar la fuente de poder, los experimentos se realizaron por triplicado, obteniéndose los promedios para representarlos en dicha tabla.

En estas pruebas el parámetro de DQO se incrementa con respecto al inicial, por lo que el proceso de uso de la melanina está afectando en las pruebas efectuadas con la melanina en solución y fija en las capas de glutaraldehído, debido a que estos polímeros pasan a formar parte de la solución elevando así la presencia de material que es evaluado en la DQO.

Muestra	Tiempo (min)	DQO	Turbiedad (FTU)	pH	$\Omega$ (mS)	T (°C)
Sin melanina (inicial)	0	73	28	6.35	4.5	16.2
Sin melanina (final)	130	14	4	7.7	2.3	21
3*10 <sup>-5</sup> M melanina (inicial)	0	87.33	29	8.1	7.2	19.2
3*10 <sup>-5</sup> M melanina (final)	170	150.6	9	9.3	7.7	21
6*10 <sup>-5</sup> M melanina (inicial)	0	100.6	18	7.4	5.6	18.7
6*10 <sup>-5</sup> M melanina (final)	170	197.3	9	7.8	7.8	19.6
9*10 <sup>-5</sup> M melanina (inicial)	0	157.3	23	7.6	6.5	18.6
9*10 <sup>-5</sup> M melanina (final)	170	244	13	8	7.6	19.6
2 capas de Glutaraldehído (inicial)	0	130	26	7.5	3.6	18.4
2 capas de Glutaraldehído (final)	170	954	13	8.6	8.2	17
1 capa de Glutaraldehído (inicial)	0	130	23	6.8	2.7	17.8
1 capa de Glutaraldehído (final)	170	884	15	7.8	7.3	18
Esferas de alginato-melanina (inicial)	0	40.39	13	7.0	2.24	18.4
Esferas de alginato-melanina (final)	170	74.84	5	7.4	2.13	21

**Tabla 2** Parámetros fisicoquímicos en la electrocoagulación-producción de hidrógeno 0.05M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 2A, 15V

Fuente: *Elaboración Propia*

A pesar de que la turbidez en las muestras se ve disminuida, solo en las pruebas realizadas sin catalizador y soportado en las esferas de alginato se encuentra por debajo de los límites permisibles. El pH se encuentra dentro de los rangos establecidos en las pruebas sin melanina y con las esferas, mientras que con la melanina en solución y fija en glutaraldehído (2 capas) sobrepasa ya que el intervalo es de 6.5 a 8.5 unidades de pH. El comportamiento se debe a que, mientras mayor sea el tiempo de contacto de la melanina con los electrodos, mayor es la eficiencia, reflejándose en la obtención del gas de interés, pero hace falta el disminuir los parámetros de la norma de agua para consumo humano con el fin de optimizar el proceso.

### Medición de los parámetros del agua superficial tratada en lote empleando la melanina y el dispositivo acoplado al panel solar

Los experimentos realizados corresponden a pruebas con la melanina en solución, esferas de alginato-melanina y esferas de carboximetilcelulosa-alginato-melanina, en estos casos la corriente y voltaje aplicados se mantuvieron de acuerdo a las condiciones climáticas, los resultados se muestran en la Tabla 3. De acuerdo al módulo solar el corriente vario entre 0.9 y 2.24 A, el voltaje de 20.2 a 21.7. Todas las pruebas se corrieron durante 130 minutos.

El parámetro pH, se encuentra dentro de los estándares tanto para las muestras sin el uso de la melanina como para el empleo de las esferas, mostrando un aumento con la melanina en solución (pH = 9.3), así mismo en la turbiedad y DQO sobrepasan los límites permisibles por la normatividad, ya que en dichas pruebas la coloración del agua no disminuyo y por el contrario adopto el color de la melanina, en este caso un tono marrón.

En comparación con los experimentos donde la melanina se encuentra formando esferas con alginato y carboximetilcelulosa, donde los parámetros DQO y turbiedad disminuyeron satisfactoriamente encontrándose por debajo de los límites permisibles por la normatividad.

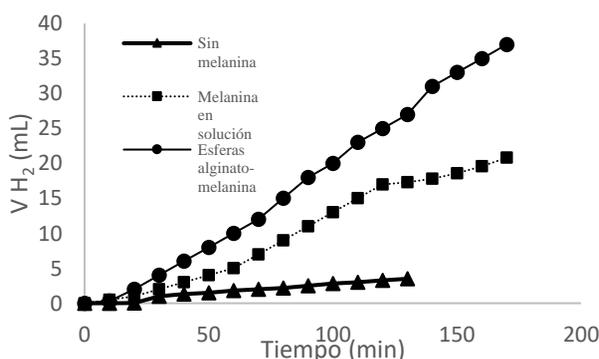
Muestra	DQO	Turbiedad (FTU)	pH	$\Omega$ (mS)	T (°C)
Sin melanina (inicial)	87	12	7.29	7.29	17.4
Sin melanina (final)	14	2	7.73	4.7	18.6
Melanina en solución 0.00006M (inicial)	157.33	25	8.35	3.5	21
Melanina en solución 0.00006M (final)	477.33	13	9.3	7.73	19.2
Esferas alginato-melanina (inicial)	70.4	13	7.23	4.2	18.4
Esferas alginato-melanina (final)	40.4	5	7.42	3.6	20.4
Esferas carboximetilcelulosa-alginato-melanina (inicial)	83	14	6.47	7.4	16
Esferas carboximetilcelulosa-alginato-melanina (final)	47.06	4	7.69	4.6	17.4

**Tabla 3** Parámetros fisicoquímicos en la producción de hidrógeno 0.05M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> acoplados al panel solar

Fuente: *Elaboración Propia*

El tiempo de duración de las pruebas con las esferas de alginato-melanina y carboximetilcelulosa-alginato-melanina varia, esto dependió de la resistencia de las esferas durante el tratamiento electroquímico, lo que les brinda una estabilidad superior que las hace más resistentes al tratamiento y agitación. En la gráfica 2, se representa la evolución de la producción de hidrógeno durante las pruebas realizadas en el agua superficial y la melanina en solución y en forma de esferas, donde se observa que prácticamente se triplica el volumen de hidrógeno generado, considerando una manera más estable de el uso de la melanina, con mayor resistencia al proceso electroquímico aunque si observamos la tabla 3, aunque el valor de la DQO se incrementa no es tan significativo como en el caso de la melalina en solución donde este valor se dispara hasta 477 mg/L. Esto para la melanina trabajada en forma de esferas, observando resultados similares tanto para la de alginato como para la combinación carboximetil celulosa-alginato.

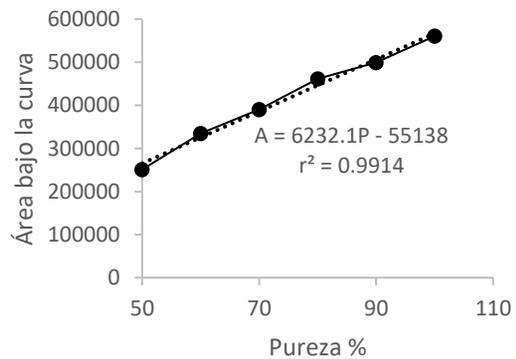
De igual forma que la eficiencia del sistema, las pruebas que denotan mayor producción del gas de interés son: melanina fija en glutaraldehído, seguida de concentraciones de  $9 \cdot 10^{-5}M$  y  $6 \cdot 10^{-5}M$  de melanina respectivamente. Se observa además que en las pruebas donde se emplea una concentración de 0.00006M de melanina el desprendimiento del gas fue mayor a los 10 minutos de iniciar la prueba, en comparación con los demás procedimientos y a pesar de obtener menor volumen del gas en 60 min, este proceso presenta un aumento lineal. Sobre todo estas pruebas preliminares nos sirvieron para probar parte de la hipótesis donde se afirma que la melanina aumenta de forma significativa la producción de hidrógeno durante el tratamiento electroquímico de aguas superficiales.



**Gráfica 2** Evaluación de la producción de hidrógeno sin el empleo de melanina, melanina en solución y fija en esferas de alginato-melanina  
Fuente: Aguilar Valencia, 2014

**Producción de hidrógeno**

En la gráfica 3 se observa la curva de calibración obtenida para determinar la pureza del hidrógeno obtenido en el tratamiento.



**Gráfica 3** Curva de calibración: porcentaje de pureza hidrógeno  
Fuente: Elaboración Propia

De la ecuación de la curva se despeja la pureza (P), quedando:

$$P = \frac{A+55138}{6232.1} \tag{6}$$

Con esta ecuación se calculó la pureza del Hidrógeno obtenido durante el experimento. La tabla 4 muestra los resultados de la pureza del hidrógeno obtenido durante el tratamiento electroquímico del agua superficial.

Tiempo de retención (min)	Área de respuesta	Pureza (%)
0.69	524445.2	92.9
0.71	545413	96.3
0.7	Promedio	94.6

**Tabla 4** Pureza del hidrógeno obtenida con electrodos de Aluminio

**Impurezas presentes en el Hidrógeno**

La impureza que denota el análisis cromatografico de las muestras obtenidas de gas hidrógeno, indican la presencia del oxígeno, ya que se observan picos entre los 3.5 y 4 min, valores muy semejantes al obtenido con el estandar analizado de 3.5 min. Por otra parte no se encontro la presencia tanto de CO<sub>2</sub> como de CO, ya que el tiempo de retencion de los estandares de dichos gases se encuentra a los 9 y 13 min respectivamente, la muestra analizada no present picos en esa zona.

La gráfica de cromatografía de gases muestra los picos de oxígeno teniendo de la muestra la señal aunque mucho más pequeña en el mismo tiempo, no así para dióxido de carbono.

#### 4. Agradecimientos

Se agradece a la Universidad sus instalaciones en el Centro de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM y Facultad de Química.

#### 5. Conclusiones

La situación energética que actualmente se está viviendo y con la infinidad de repercusiones que se tienen como la creciente contaminación, el cambio climático, los conflictos internacionales por el acceso a los recursos y sobre todo el notable agotamiento de los combustibles fósiles, implican la aplicación de nuevas tecnologías energéticas, destacando entre muchas el hidrógeno, aunque aún de manera incipiente para su manejo.

Se confirma el uso de energía solar fotovoltaica para alimentar un reactor electroquímico con producción de agua para consumo humano y cogeneración de hidrógeno, sin embargo en este caso hay que verificar el cumplimiento de la normatividad para agua de consumo humano o bien implementar otra operación unitaria para llegar a este cumplimiento de parámetros de agua de consumo.

Por ello con este proyecto se pretende contribuir a los inicios de la resolución del problema de la creciente demanda de energía, sobre todo en comunidades donde la carencia de agua y energía eléctrica se dan por problemas de ubicación y tamaño de población.

Es necesario aplicar el procedimiento en reactores en continuo donde se espera una mejor eficiencia con las esferas de alginato para la aplicación de la melanina como catalizador, así como hacer el comparativo con otro tipo de catalizadores.

Finalmente contribuye a la disminución de las emisiones de contaminantes por el uso de combustibles fósiles.

#### 6. Referencias

Aguilar-Valencia P. (2014). Aprovechamiento de la electrogeneración de hidrógeno a través de un sistema de tratamiento de agua. Tesis para obtener el título de Licenciada en Química. Pp. 94. Repositorio Institucional UAEM.

Amado-Piña D., Roa-Morales G., Barrera-Díaz C., Balderas-Hernandez P., Romero R., Martín del Campo E. y Natividad R. (2017). Synergic effect of ozonation and electrochemical methods on oxidation and toxicity reduction: Phenol degradation. *Fuel* Volume 198, 15 June pp. 82-90.

Bailón-Martínez A., Pavón-Silva T., Ibañez G. J., Roa-Morales G. . (2017). Simultaneous electrocoagulation of dam water and production of hydrogen. *World Review of Science, Technology and Sust. Development*, 13, No. 3, pp. 1741-2234.

Barrera-Díaz C., Bernal-Martínez L., Natividad R. and Peralta-Hernández J. (2012). Synergy of Electrochemical/O<sub>3</sub> Process with Aluminum Electrodes in Industrial Wastewater Treatment. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 51, 9335-9442

Barrera-Díaz C., Roa-Morales G., Ávila-Córdoba L., Pavón-Silva T., and Bilyeu B., Electrochemical Treatment Applied to Food-Processing Industrial Wastewater, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45(2006) 34-38.

Chang R. & Williams C. (2002). Química General. Séptima edición. Editorial McGraw-Hill. pp 884.  
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2013.12.023>

Hesham Ahmad, Walid K. Lafi, Khaleel Abushgair and Jamal M. Assbeihat. Comparison of Coagulation, Electrocoagulation and Biological Techniques for the Municipal Wastewater Treatment. *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 22 (2016) pp. 11014-11024.

ISES 2003, Transición hacia un futuro basado en las fuentes renovables de energía. Asociación internacional de energía solar. <http://whitepaper.ises.org/ISES-WP-600.pdf>

Martin del Campo E., Romero R., Roa G., Peralta-Reyes E., Espino-Valencia J. Natividad R. (2014). Photo-Fenton oxidation of phenolic compounds catalyzed by iron-PILC. *Fuel* 138 pp. 149–155.

Pavón-Silva T., Pacheco-Salazar V. Sánchez-Meza J., Roa-Morales G., Colín-Cruz A. January (2009). Physicochemical and Biological Combined Treatment Applied to a Food Industry Wastewater for Reuse *Journal of Environmental Science and Health, part A*. 44 pp. 108-115.

Peralta E., Natividad R., Roa G., Marin R., Romero R. and Pavón T. (2013). A comparative study on the electrochemical production of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> between BDD and graphite cathodes. *Sustain. Environ. Res.*, 23(4), pp. 259-266.

Pérez S. L., Rodríguez M. O., Reyna S., Sánchez-Salas J. L., Lozada J. D., Quiroz M. A., Bandala E R. Oil refinery wastewater treatment using coupled electrocoagulation and fixed film biological processes. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. Volume 91, February 2016, Pages 53–60

Solis A. (2009). Melanina, la clorofila humana, su papel en el origen de la vida y la posibilidad de que sea la tan buscada materia oscura (dark matter) en el universo. *Editorial Mundi Comunicaciones, S.A. de C.V.* pp 21-25

Sun S. Zhang X. Shiwei S. Liaoyuan Z. Shan S. & Zhu H. (2016). Production of natural melanin by *Auricularia auricula* and study on its molecular structure. *Food Chemistry* 190. Pp. 801–807.

Torres-Blancas T., Roa-Morales G., Barrera-Díaz C., Ureña-Núñez F., Cruz-Olivares J., Balderas-Hernandez P., and Natividad R. (2015). Ozonation of Indigo Carmine Enhanced by Fe/Pimenta dioica L. Merrill Particles *International Journal of Photoenergy* Volume 2015, 9 p.

Valero D., Juan M. Ortiz, Vicente García, Eduardo Expósito †, Vicente Montiel, Antonio Aldaz. (2011) Electrocoagulation of wastewater from almond industry. *Chemosphere* 84. pp. 1290–1295.

Valero D., V. García-García, E. Expósito, A. Aldaz, V. Montiel, (2013). Electrochemical. Treatment of wastewater from almond industry using dsa-type anodes: direct connection to a pv generator, *Separation and Purification Technology*.

## Obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales residuales de casa habitación del fraccionamiento El Refugio, Tijuana B.C.

## Obtaining biodiesel from residual vegetable oil gathered in the neighborhood El Refugio, Tijuana B. C.

ALFONSO-ALVAREZ, Juan Antonio\*†, TEÓN-VEGA, Argelia y BALDERAS-LÓPEZ, Silvia María

*Universidad Tecnológica de Tijuana, Dirección de Tecnología Ambiental y Energías Renovables, Km. 10 Carretera libre Tijuana – Tecate. El refugio Quintas Campestre. CP. 22253, Tijuana Baja California, México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Juan Antonio, Alfonso-Álvarez / ORC ID: 0000-0002-3925-1662, Researcher ID Thomson: H-8445-2018, CVU CONACYT ID: 412788

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Argelia, Teón-Vega / ORC ID: 0000-0003-2274-6367, Researcher ID Thomson: U-9411-2018, CVU CONACYT ID: 412627

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Silvia María, Balderas-López / ORC ID: 0000-0003-0434-5893, Researcher ID Thomson: U-9534-2018, CVU CONACYT ID: 273260

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

### Resumen

Este trabajo de investigación está enfocado en realizar un estudio de la viabilidad para obtener biodiesel a partir de aceite vegetal residual recolectado en el fraccionamiento El Refugio, Tijuana B.C. Como primer paso se estableció un plan piloto de recolección de aceite residual, posteriormente se realizó el pretratamiento al aceite para eliminar impurezas que influyen en la obtención de biodiesel. Al aceite limpio y seco se le determinó sus propiedades físicoquímicas con la finalidad de verificar si era posible utilizarlo para la producción de biodiesel. Dado que el índice de acidez se encontraba por debajo del 2% se decidió utilizar catálisis básica, con una relación molar alcohol/aceite 6:1, en una concentración de catalizador de 1% con respecto al aceite y un rango de temperatura de 30 a 60°C, finalmente se llevó a cabo la purificación del biodiesel. Se determinó que se pueden recolectar 978 litros por semana con una eficiencia en la producción por encima del 90%, por lo que se puede indicar que la obtención de biocombustible a partir de aceites vegetales residuales es una alternativa viable en una región del país donde no se pueden cultivar especies para dicho fin.

### Recolección de Aceite, Pretratamiento y Biodiesel

### Abstract

This research is focused in realizing a study of the viability to obtain biodiesel from residual vegetable oil gathered in the neighborhood El Refugio, Tijuana B. C. As the first step established a pilot plan to gather the residual oil's, later the pretreatment was carried out to remove oil impurities which influence the obtaining the biodiesel. The physicochemical properties of the clean and dry oil were determined to verify if it could be used in production biodiesel. The acidity index was below 2%, so it was decided to use basic catalysis with a molar ratio alcohol / oil 6:1, in a concentration of catalyst of 1 % with regard to the oil and a temperature range of 30 to 60°C. Finally, the purification of the biodiesel was realized. It was determined that 978 liters per week can be collected with an efficiency in production above 90%, so it can be indicated that obtaining biofuel from residual vegetable oils is a viable alternative in a region of the country where you can not grow species for that purpose.

### Oil Collection, Pretreatment and Biodiesel

**Citación:** ALFONSO-ALVAREZ, Juan Antonio, TEÓN-VEGA, Argelia y BALDERAS-LÓPEZ, Silvia María. Obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales residuales de casa habitación del fraccionamiento El Refugio, Tijuana B.C. Revista de Energías Renovables. 2018. 2-5: 31-40.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: juan.alfonso@uttijuana.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## 1. Introducción

En los últimos años ha incrementado la búsqueda de combustibles alternativos para el transporte, en particular los que utilizan motores de combustión interna, debido a que la quema de combustibles fósiles utilizados hoy en día genera emisiones de gases de efecto invernadero tales como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) hacia la atmósfera, además de producir óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>).

La importancia de los bioenergéticos, es decir, combustibles obtenidos a partir de biomasa como aceites vegetales, residuos agrícolas, caña de azúcar, soja, entre otros, radica en encontrar un sustituto eficiente de la gasolina y el diésel en un mediano y largo plazo debido al agotamiento de los combustibles fósiles.

Un sustituto adecuado para el diésel es el biodiesel, un combustible producido a partir de aceites vegetales y animales, ya sean puros o residuales. La importancia de utilizar biodiesel en los motores de combustión interna se debe a que tiene un impacto positivo en el cuidado del ambiente, ya que se tiene una reducción total neta en la emisión de SO<sub>x</sub> debido a que el biodiesel no contiene azufre, 50% en promedio en la emisión de hollín, 30% en promedio en CO, 30% en la emisión de hidrocarburos (HC) y un 13% de aldehídos y compuestos poliaromáticos, y algunos autores reportan disminución de NO<sub>x</sub> (Piloto, 2010).

Por estas razones la obtención de combustibles alternativos ha recobrado un interés económico, social y ambiental a nivel mundial, mediante la búsqueda de técnicas sustentables que permitan la obtención de biocombustibles a bajo costo y con parámetros de calidad aceptables por la comunidad mundial. Debido a la búsqueda de estas técnicas surge este proyecto de investigación por la necesidad existente de buscar alternativas energéticas capaces de sustituir o minimizar el consumo de combustibles fósiles.

## 2. Problemática

Actualmente en la ciudad de Tijuana no existe un programa para la recolección de aceites vegetales residuales en casa habitación, lo cual genera un problema de contaminación, en el agua residual al ser vertidos al drenaje de la ciudad, y en suelo, cuando la población dispone el aceite como un residuo sólido urbano.

Estos residuos que no tienen ningún valor agregado pueden ser aprovechados mediante su conversión a biodiesel, generando una alternativa energética para la sustitución de combustibles fósiles, considerando que actualmente existe escasez de petróleo y sus derivados.

## 3. Justificación

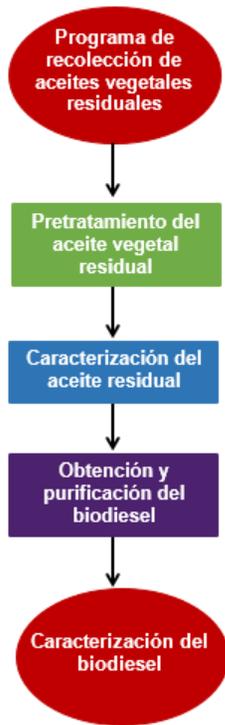
En Baja California el potencial de biomasa proveniente de cultivos es bajo, como consecuencia de las características desérticas de la región y la escasez de terrenos productivos para el cultivo energético. Debido a estos inconvenientes para conseguir biomasa que permita la obtención de bioenergéticos, la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales residuales tiene un gran campo para la investigación y aplicación como alternativa energética.

Además, puede generar un impacto económico y social debido a la creación de empleos, y no menos importante, la disminución de impacto ambiental al reducir el vertido en agua y suelo del aceite vegetal residual, aprovechando un residuo como materia prima.

Asimismo, en este proyecto se estandarizó una metodología adaptada a la conversión en biodiesel de los aceites usados generados en casa-habitación, iniciando en el fraccionamiento El Refugio como prueba piloto, y considerando su posible extensión al resto de la ciudad.

## 4. Metodología

La obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales residuales de casa habitación del fraccionamiento El Refugio, Tijuana B.C., se desarrolló en cinco etapas, tal como se muestra en el diagrama de la figura 1.



**Figura 1** Diagrama de proceso para la producción de biodiesel

Fuente: *Elaboración Propia*

#### 4.1 Programa de recolección de aceites vegetales residuales

Para llevar a cabo el plan de recolección, el primer paso consistió en delimitar la zona de estudio. Para este proyecto se seleccionó el fraccionamiento El Refugio Quintas Campestre, debido a la cercanía con la Universidad Tecnológica de Tijuana. En la figura 2, se muestra la delimitación de la zona de estudio.



**Figura 2** Mapa de identificación del área de estudio

Fuente: *Elaboración Propia*

Establecido el lugar de estudio se procedió a realizar un conteo físico de las casas de la zona encontrando que el fraccionamiento cuenta con un total de 1920 casas y que por cada 10 casas 2 se encuentran deshabitadas, por lo que el número total de casas potenciales para realizar un plan de recolección de aceites fue de 1536.

Posteriormente se determinó el tamaño de muestra para realizar la encuesta que permitiera conocer los parámetros importantes y establecer un plan piloto de recolección. El número de muestra se determinó con base en la norma NMX-AA-061-1985 "Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales- Determinación de la Generación". Se determinó un total de 345 casas a encuestar. El área a encuestar se dividió en cuadrantes para tener un mejor control sobre la distribución del territorio y las casas (ver figura 3). Cada cuadrante agrupa un total de 12 casas.



**Figura 3** Población estratificada

Fuente: *Elaboración Propia*

El siguiente paso consistió en la elaboración de la encuesta a aplicar, considerando: el gasto en la compra de aceite comestible, el tipo de aceite que usan, si hay reúso del aceite, la disposición final del mismo, la donación de aceite, entre otros.

Posteriormente, se aplicó la encuesta a las 345 casas seleccionadas, y así definir un programa de recolección. Para la selección de las casas a encuestar se utilizó la técnica de números aleatorios mediante el programa Microsoft Office Excel.

Para finalizar esta etapa, la recolección de aceite se llevó a cabo mediante la implementación de un plan piloto de recolección, considerando 50 casas a partir de los resultados de la encuesta, aquellos habitantes que estaban dispuestos a participar en el plan de recolección. El plan consistió en proporcionar un recipiente con una capacidad de 500 ml a cada una de las casas, para que depositará el aceite residual. La recolección se realizó de forma semanal y se dejaba un recipiente limpio para la siguiente muestra.

#### 4.2 Pretratamiento del aceite vegetal residual

Una vez recolectado el aceite se sometió a un pre-tratamiento físico para eliminar los sólidos suspendidos y sustancias químicas que pueden afectar el proceso de transesterificación, (Barriga 2011). Se procedió a realizar una filtración del aceite con una malla metálica número ASTM E-11 del 18 de 1 mm de apertura, posteriormente se filtró con una malla número 140 de 106 micrómetros y finalmente con un filtro Whatman grado 40 de 8 micras.

El aceite filtrado se sometió a un proceso de lavado con agua destilada a 70°C para eliminar impurezas químicas comúnmente llamadas gomas (Lafont, Páez, & Torres, 2011). Por cada 150 ml de aceite se utilizaron 50 ml de agua. La mezcla agua aceite se separó con la ayuda de embudos de separación con capacidad de 500 y 1000 ml, y se realizaron de 2 a 3 lavados. El aceite lavado y libre de goma, se sometió a un proceso térmico durante dos horas a una temperatura aproximada de 110°C en un horno de aire seco para eliminar la humedad que pudiera estar presente en el aceite como consecuencia del proceso de lavado.

#### 4.3 Caracterización del aceite

Una vez realizado el pre-tratamiento con la finalidad de obtener el aceite limpio y seco. Se procedió a determinar las propiedades físicas y químicas del aceite, y tomar decisiones respecto al tipo de proceso que se debe utilizar para obtener el mayor rendimiento posible en la producción de biodiesel (Parawira, 2010). La caracterización del aceite se realizó haciendo referencia a las normas mexicanas utilizadas para la caracterización de aceites vegetales y animales. En la tabla 1, se muestran los parámetros determinados y la norma mexicana de referencia utilizada.

Determinación	Norma Mexicana	Método
Contenido de humedad	NMX-F-211-SCFI-2006	Gravimétrico
Contenido de Jabón	NMX-F-492-SCFI-2009	Volumétrico
Densidad relativa	NMX-F-075-SCFI-2012	Gravimétrico (picnómetro)
Índice de acidez	NMX-F-101-2012	Volumétrico (KOH)
Materia insaponificable	NMX-K-306-SCFI-2006	Separación y volumétrico (NaOH)
Índice de saponificación	NMX-F-174-2006	Volumétrico (KOH)

**Tabla 1** Parámetros determinados al aceite  
Fuente: *Elaboración Propia*

#### 4.4 Obtención y purificación del biodiesel

Para realizar la obtención del biodiesel se utilizó reactor de laboratorio constituido por una plancha calefactora con agitación magnética y regulador de temperatura, un matraz de dos bocas esmerilado de 24/40 sumergido en un baño de agua, en una de las bocas se coloca un termómetro y en la otra un refrigerante para evitar la pérdida de metanol, como consecuencia de la evaporación.

La obtención de biodiesel se realizó mediante el proceso de transesterificación, el cual consiste en llevar a cabo una reacción entre el aceite usado de cocina con el metanol en presencia de un catalizador básico (KOH, NaOH, etc.), (Demirbas, 2009), debido a que el índice de ácidos grasos es relativamente bajo, menor al 1%. También se evaluó la transesterificación para una relación Alcohol/aceite 6:1, ya que varios autores como Veljkovic y Sharma (2008) mencionan que es la relación óptima.

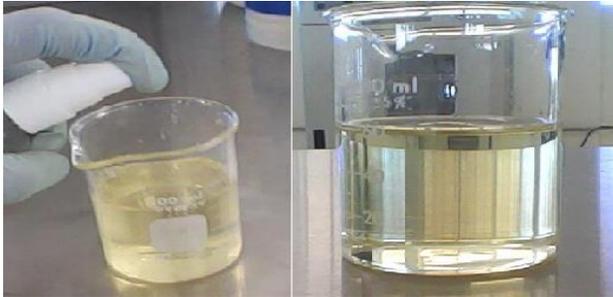
Se realizaron corridas experimentales en un rango de temperatura de 30 a 60°C, al mismo tiempo se trabajó con una agitación de 600 rpm tomando como referencia los resultados reportados por Meher (2006). El tiempo elegido para cada corrida experimental fue de una hora. Se determinó utilizar el catalizador al 1% con respecto a la cantidad de aceite. Para cada corrida experimental se utilizaron 250 ml de aceite pre-tratado y se realizaron 3 réplicas. En la tabla 2, se presentan las condiciones experimentales utilizadas para realizar los ensayos.

Relación molar, metanol: aceite	Catalizador (1%)	Agitación	Tiempo de reacción	Temperatura (°C)			
				30	40	50	60
6:1	NaOH	600 rpm	60 min.				
	KOH						

**Tabla 2** Condiciones experimentales  
Fuente: *Elaboración Propia*

Una vez establecidas las condiciones óptimas de operación, se procedió a la obtención del biodiesel, para su posteriormente análisis de las características físicas y químicas.

En primer lugar se realizó la separación de la capa más ligera de la glicerina. Posteriormente los esteres metílicos se sometieron a un proceso de lavado con agua destilada por medio de atomización para eliminar restos de jabón, alcohol y catalizador hasta obtener una apariencia cristalina (ver figura 4).



**Figura 4** Lavado de biodiesel  
Fuente: *Elaboración Propia*

Una vez realizado el lavado, el biodiesel se sometió a un proceso térmico en un horno de aire caliente, con la finalidad de eliminar el material volátil y agua que afectan el proceso de combustión del biocombustible.

La temperatura utilizada para asegurar la eliminación de humedad fue de 110°C en un periodo máximo de 4 horas hasta que no se notará la generación de burbujas en el fondo del recipiente.

El último paso realizado para la purificación del biodiesel consistió en filtrar el biodiesel con un filtro Whatman del número 40 con la ayuda de alto vacío para acelerar el proceso de filtrado, tal como se muestra en la figura 5.



**Figura 5** Filtrado de biodiesel  
Fuente: *Elaboración Propia*

## 4.5 Caracterización del biodiesel

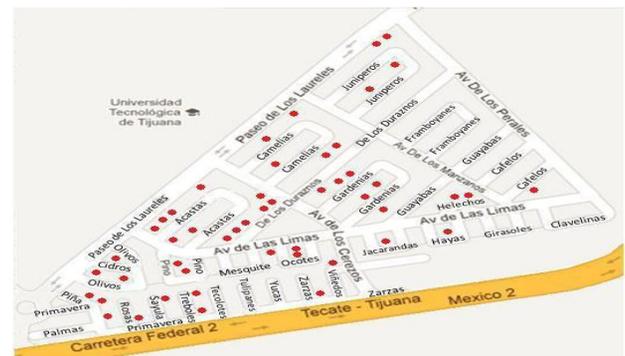
Para llevar a cabo la caracterización del biodiesel se decidió realizar las pruebas de Agua y sedimentos (% v/v), densidad a 15°C (g/mL), Número ácido (mg KOH/g muestra), ceniza (% peso) y viscosidad cinemática a 20°C (mm<sup>2</sup>/s) de acuerdo con los métodos indicados por la *American Society for Testing and Materials* (Sociedad Americana para pruebas y materiales, 2007) y sugeridos por Haupt, considerando los materiales con los que se contaba en el laboratorio.

## 5. Resultados

A continuación, se muestran los resultados para cada una de las 5 etapas llevadas a cabo para la obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal residual recolectado del fraccionamiento El Refugio.

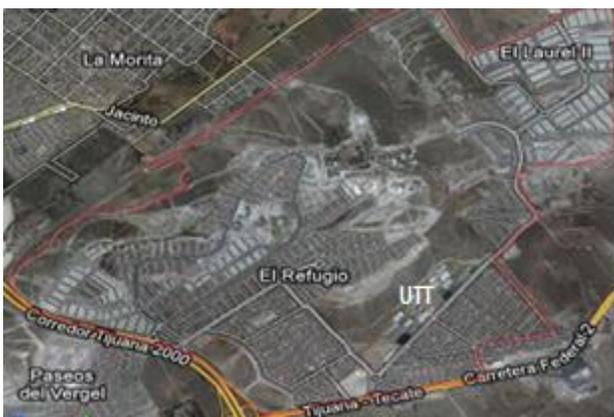
### 5.1 Etapa 1. Establecimiento del programa de recolección de aceites vegetales residuales

Se llevó a cabo el plan piloto de recolección de aceites residuales en casa-habitación en el fraccionamiento El Refugio Quintas Campestres. Seleccionando 50 casas dispuestas a cooperar con la donación de aceites, considerando los resultados de la encuesta aplicada. En la figura 6, se puede apreciar la ubicación de estos hogares.



**Figura 6** Mapa de ubicación de casas en el plan piloto  
Fuente: *Elaboración Propia*

Mediante la aplicación de este plan de recolección se determinó que se pueden recolectar 4.758 litros de aceite a la semana por cada 50 casas. Si el plan se hace extensivo a las 1,536 casas se pueden recolectar 146.16 litros a la semana y 584 litros al mes, y si el programa se hace extensivo a todos los fraccionamientos que colindan con la Universidad Tecnológica de Tijuana, El Refugio, Fraccionamiento quintas campestre el refugio, Palmillas, Laurel, Laurel II y Lomas del refugio (ver figura 7), con un total de 10,146 casas (INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010) se pueden recolectar 965.49 litros de aceite a la semana ó 3,861.96 litros al mes.

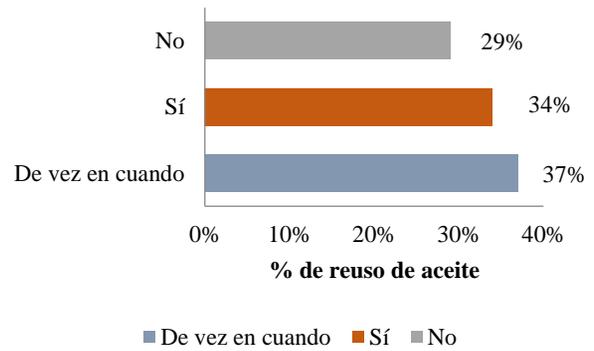


**Figura 7** Fraccionamientos colindantes con UTT  
Fuente: *Elaboración Propia*

A partir de los datos recolectados de la encuesta se encontró que en promedio una familia está integrada por 4 personas, y que destinan \$24.14 M.N, del gasto semanal para comprar aceite comestible.

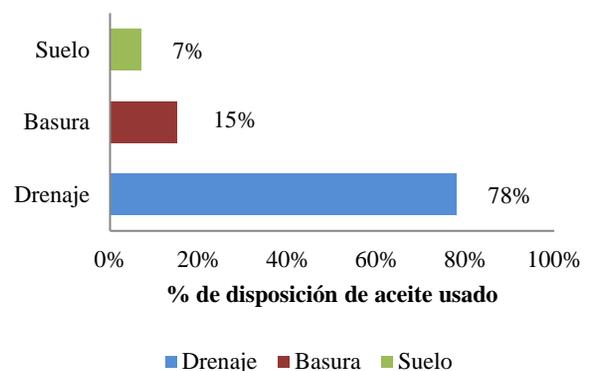
Los tipos de aceite vegetal más usados por la población es a base de girasol y representa el 65.2 %. Quienes cocinan en su mayoría son las mujeres en un 81% y los hombres en un 19%, y por lo tanto son las encargadas de dar la disposición final del aceite usado.

El análisis de los resultados de la encuesta también muestran que el 34% de la población no reutiliza el aceite para volver a cocinar, mientras que el 37% lo utiliza de vez en cuando, y 29% lo utiliza 2 veces en promedio (ver gráfica 1). Esta información es de suma importancia, ya que nos indica que el aceite vegetal residual que se utilizará para la obtención de biodiesel tendrá un bajo contenido de ácidos grasos libres, dado que no es muy reutilizado.



**Gráfica 1** Uso de aceite por la población encuestada  
Fuente: *Elaboración Propia*

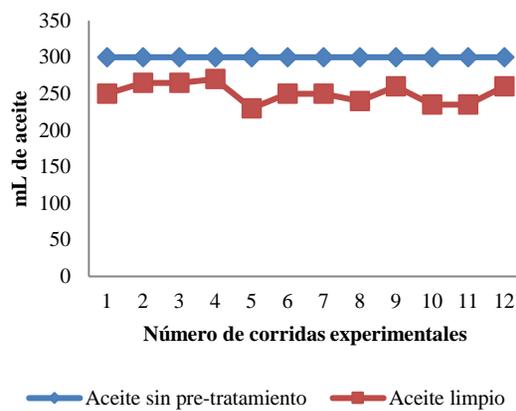
En cuanto a la disposición final del aceite el 78% de la población encuestada desecha el aceite residual en el drenaje contribuyendo a una mayor contaminación del agua. El 15% lo guarda en una bolsa o recipiente y lo deposita en la basura, mientras que el 7% lo deposita en el suelo, estos datos se pueden apreciar en la gráfica 2. Asimismo se encontró que el 31% de la población encuestada está dispuesta a donar el aceite utilizado en sus cocinas, mientras que el 34% no están dispuestos a donar su aceite y el 35% se encuentran indecisos.



**Gráfica 2** Disposición de aceite residual  
Fuente: *Elaboración propia*

### 5.2 Etapa 2 Pretratamiento del aceite vegetal residual

Con respecto al pretratamiento del aceite se determinó que por cada 3.6 L de aceite procesado se recuperan 3.01 L de aceite limpio y seco en promedio. Obteniendo un 83% de recuperación, en la gráfica 3 se muestran 12 corridas realizadas cada una con una entrada de 300 mL



**Gráfica 3** Resultados del pretratamiento de aceite  
Fuente: *Elaboración Propia*

### 5.3 Etapa 3. Caracterización de aceite

En total se determinaron seis parámetros para establecer si el aceite cuenta con las condiciones requeridas para ser utilizado como materia prima para la producción de biodiesel, dentro de estos parámetros se encuentran humedad, densidad, índice de acidez, contenido de jabón, índice de saponificación e índice de yodo. En la tabla 3, se muestra el valor promedio obtenido de las tres réplicas realizadas de cada uno de los parámetros determinados. Además se incluye un comparativo con Pedro Nel Bejumbea (2003), que hace referencia a los parámetros establecidos para el aceite de girasol, ya que es el aceite de mayor presencia en el aceite usado, de acuerdo con la encuesta realizada.

Parámetro	Norma de referencia	Resultado	Autor de referencia (Bejumbea, 2003)
Humedad	NMX-F-211-SCFI-2006	0.0039%	–
Densidad relativa	NMX-F-075-SCFI-2012	0.9207	0.917
Índice de acidez	NMX-F-101-2006	0.9786	< 2%
% ácidos grasos libres	NMX-F-101-2006	0.45%	0.5%
Contenido de jabón	NMX-F-492-SCFI-2009	0 %	–
Índice de saponificación	NMX-F-174-2006	99.484 mg de KOH	190 mg de KOH
Materia insaponificable	NMX-K-306-SCFI-2006	0.258%	<1.5%

**Tabla 3** Resultados de la caracterización del aceite  
Fuente: *Elaboración Propia*

Haciendo un análisis de los datos mostrados en la tabla anterior, el contenido de humedad es relativamente bajo por lo que se puede considerar que no contiene humedad.

Este es un parámetro de suma importancia ya que la presencia de humedad disminuye el rendimiento de la reacción formando jabón con el catalizador. Los jabones son perjudiciales porque contaminan el producto final, y además forman emulsiones muy estables. Por esto, debe asegurarse la menor cantidad de agua posible durante el proceso, lo cual implica un secado del aceite, con mayor exigencia cuando se utiliza aceite residual. Con respecto al índice de acidez y % de ácidos grasos libres, se encuentra por debajo del 1% y 0.5% respectivamente, los valores obtenidos disminuyen la posibilidad de que los ácidos grasos libres reaccionen con el catalizador y como consecuencia disminuya la eficiencia de la reacción de transesterificación.

Dado a que el valor de índice de acidez es menor del 2% (Sharma, Singh, & Upadhyay, 2008), no es necesario realizar un pre-tratamiento ácido y se puede continuar con el proceso de transesterificación básica.

Los resultados obtenidos también muestran que no hay presencia de jabón en el aceite residual lo que indica que es un aceite con buena calidad. El resultado obtenido del índice de saponificación presenta una disminución de casi el 50% en comparación con el índice del aceite de mayor presencia en la materia prima utilizada en este proyecto. Este resultado permite intuir que el rendimiento en la obtención de biodiesel será alto, ya que la posibilidad que se convierta en jabón es baja.

La materia insaponificable se refiere aquella que no son triglicéridos o ácidos grasos libres, más bien conocido como gomas. Comprende una gran variedad de sustancias como: polipéptidos, fosfátidos, lecitina, proteínas, mucilágenos y esteroides. La presencia de estas sustancias trae como consecuencia la formación de sustancias indeseables que pueden ocasionar inconvenientes en los motores (Demirbas, 2009). Dado que el aceite de girasol refinado presenta un valor menor de 1.5%, el valor encontrado se encuentra por debajo de 0.5 %, se puede considerar que el tratamiento aplicado al aceite fue adecuado ya que se redujo considerablemente el porcentaje de materia no saponificable. En general, se puede determinar que el proceso de pre-tratamiento realizado fue efectivo, ya que la mayoría de los parámetros medidos son similares o se encuentran por debajo del valor referenciado para el aceite de mayor presencia en la materia prima (girasol).

También se puede determinar que no es necesario realizar un pre-tratamiento ácido para eliminar ácidos grasos libres, ya que el valor obtenido se encuentra por debajo del 2%.

#### 5.4 Etapa 4 Obtención de Biodiesel y purificación del biodiesel

En la tabla 4 y 5, se presentan los resultados obtenidos en las corridas experimentales, donde se indica la cantidad de aceite y catalizador utilizado, la relación molar alcohol/aceite, la temperatura de trabajo, así como, la cantidad de biodiesel y glicerina obtenida. El cálculo del rendimiento de biodiesel se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento de biodiesel} = \frac{\text{Biodiesel}}{\text{Aceite} + \text{Alcohol}} \times 100 \quad (1)$$

Corrida experimental	Aceite(ml)/catalizador (g)	Relación molar alcohol/aceite	Temperatura (°C)	Biodiesel (ml), purificado	Rendimiento (%)
1	250/2.3	6:1	30	268	85.6
2			40	271	86.5
3			50	273	87.2
4			60	275	87.8

**Tabla 4** Obtención de biodiesel con NaOH

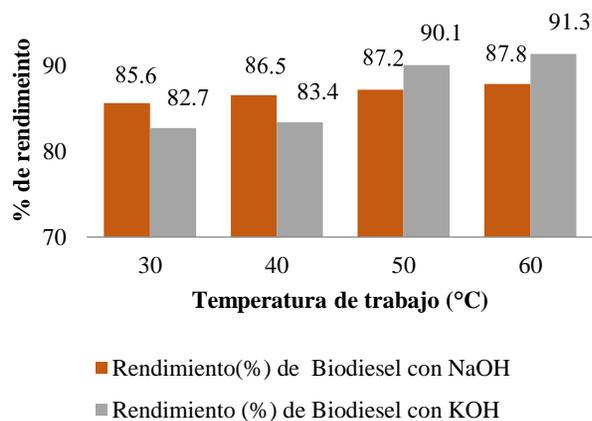
Fuente: *Elaboración Propia*

Corrida experimental	Aceite(ml)/catalizador (g)	Relación molar alcohol/aceite	Temperatura (°C)	Biodiesel (ml), purificado	Rendimiento (%)
1	250/2.3	6:1	30	259	82.7
2			40	261	83.4
3			50	282	90.1
4			60	286	91.3

**Tabla 5** Obtención de biodiesel con KOH

Fuente: *Elaboración propia*

En la gráfica 4, se muestra una comparación de los rendimientos obtenidos en la producción de biodiesel utilizando hidróxido de potasio e hidróxido de sodio.



**Gráfica 4** Comparación de rendimiento con diferente catalizador

Fuente: *Elaboración propia*

Con base en el análisis de los resultados se puede concluir que el catalizador que presenta un mayor rendimiento es el hidróxido de potasio, en comparación con el hidróxido de sodio y que además la capa de glicerina obtenida a partir de la transesterificación con hidróxido de potasio es más cristalina y presenta una menor cantidad de residuos visibles. También se puede concluir que a medida que se aumenta la temperatura aumenta el rendimiento de obtención de biodiesel.

#### 5.5 Etapa 5. Caracterización del biodiesel

Con respecto a la caracterización del biodiesel, todos los parámetros evaluados se encuentran por debajo o dentro del rango del límite máximo permitido indicado en la norma ASTM D 6751, ver tabla 6.

Parámetro	Método de prueba	Límite máximo Permitido	Resultado de la prueba
Agua y sedimentos (% v/v)	ASTM D2709	≤ 0.05	0.010
Densidad a 15°C, g/ml	ASTM D1298	0.860 – 0.900	0.890
Número ácido mgKOH/g muestra	ASTM D664	≤ 0.80	0.400
Ceniza(% peso)	ASTM D482	0.01 máx.	0.009
Viscosidad cinemática a 20°C (mm <sup>2</sup> /s)	ASTM D445	6.5 - 9	6.6

**Tabla 6** Resultados de la caracterización del biodiesel

Fuente: *Elaboración Propia*

#### 6. Agradecimiento

A la Universidad Tecnológica de Tijuana y al centro de investigación de materiales avanzados (CIMAV) por la gestión para desarrollar este proyecto.

## 7. Conclusiones

Considerando la información obtenida en la encuesta aplicada se estableció que los aceites más usados por la población del fraccionamiento El Refugio están elaborados a base de girasol, por lo que el ácido graso de mayor presencia es el ácido oleico. También se determinó que el 29% de la población reutiliza 2 veces en promedio el aceite, considerando este dato se estableció que el aceite no tendrá un elevado índice de acidez, por lo que el proceso que sugirió para la producción de biodiesel fue la transesterificación básica.

Se estableció un programa piloto de recolección para 50 casas el cual consistió en recolectar el aceite en un recipiente con capacidad 500 ml que se recogió cada semana. Mediante este programa piloto se estableció que por cada 50 casas se pueden recolectar 4.758 litros de aceite a la semana, y 146 litros a la semana para la población elegida para el análisis (1536 casas) y 964 litros de aceite a la semana ó 3857.5 litros al mes para toda la población colindante con la Universidad Tecnológica de Tijuana. Con respecto a la caracterización de la materia prima se determinaron 7 parámetros físicos y químicos entre los que destacan la humedad, densidad relativa, % de ácidos grasos libres, índice de acidez, índice de saponificación, contenido de jabón y materia insaponificable. Se determinó que el proceso que se debe utilizar para la obtención del biodiesel es la transesterificación básica debido a que el índice de ácidos grasos libres se encuentra por debajo del 2%.

Asimismo, se determinó que el mayor rendimiento (91.3%) en la reacción de transesterificación se obtiene con una relación molar de 1:6 aceite/alcohol, a una temperatura de 60°C, a 600 rpm y 1% de catalizador (KOH) con respecto al aceite. También se estableció que a medida que aumenta la temperatura el rendimiento de obtención de biodiesel es mayor independientemente del catalizador que se utilice. Como conclusión general se puede establecer que las técnicas seleccionadas y aplicadas para obtener biodiesel a partir de aceites vegetales recolectados en casa habitación del fraccionamiento El Refugio son correctas, ya que se obtienen rendimientos mayores al 90% y un biodiesel que cumple con las normas internacionales para los parámetros evaluados.

## 8. Referencias

Barriga, E. A. (2011). *Diseño de módulo de transesterificación de una planta piloto para producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina*. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Mecánica. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú

Bejumbea, P. N., Agudelo, J. R., & Ríos, L. A. (2009). *Biodiésel: Producción calidad y caracterización*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

Demirbas, A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management*, 14-34.

Economía, S. d. (1985). *NMX-AA-061-1985 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de la Generación*. México: Diario Oficial de la Federación.

Economía, S. D. (24 de Julio de 2006). NMX-F-174-SCFI-2006 Alimentos – aceites y grasas vegetales o animales – determinación del índice de saponificación – Método de prueba. México, D.F.

Economía, S. D. (24 de JULIO de 2009). NMX-F-492-SCFI-2009 Alimentos – aceites y grasas vegetales – determinación de contenido de jabón-método de prueba. México, D.F.

Economía, S. D. (10 de MAYO de 2012). NMX-F-075-SCFI-2012 Alimentos – aceites y grasas vegetales o animales determinación de la densidad relativa – método de prueba. México, D.F.

Economía, S. D. (17 de SEPTIEMBRE de 2012). NMX-F-101-SCFI-2012 Alimentos – aceites y grasas vegetales o animales – determinación de ácidos grasos libres - método de prueba. México, D.F.

Haupt, J., Bockey, D., & Wilharm, T. (Septiembre de 2010). Recommendations for a Mexican biodiesel standard and the infrastructure required for its handling. México, D.F., D.F, México. Obtenido de [www.energia.gob.mx](http://www.energia.gob.mx)

INEGI. (2012). Censo de Población y Vivienda 2010. Tijuana, Baja California, México.

Kusdiana, D., & Saka, S. (2004). Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment. *Bioresour Technol*, 91, 289-295.

Lafont, J. J., Páez, M. S., & Torres, Y. C. (2011). Análisis Químico de Mezclas Biodiesel de Aceite de Cocina Usado y Diesel por Espectroscopia Infrarroja. *Información Tecnológica*, 35- 42.

Medina, J., Camarillo, G., & Ramírez, J. (2011). Meher, L., Dharmagadda, V., & Naik, S. (2006). Optimization of alkali-catalyzed transesterification of *Pongamia pinnata* oil for production of biodiesel. *Bioresour Technol*, 97, 1392-1397.

Parawira, W. (2010). Biodiesel production from *Jatropha curcas*: A review. *Scientific Research and Essays*, 5, 1796-1808.

Piloto, R. (2010). Determinación de la influencia del uso de biodiésel en el funcionamiento de motores diésel. *CENIC Ciencias Químicas*, 41, 57-58.

Secretaría de economía. (2006 de Febrero de 2006). NMX-F-211-SCFI-2006 Alimentos. Aceites y Grasas Vegetales ó Animales- Determinación de humedad o materia Volátil- Método de prueba. México, D.F.

Sharma, Y. C., Singh, B., & Upadhyay, S. N. (2008). Advancements in development and characterization. *ELSEVIER*, 87, 2355–2373.

Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., & Clements, D. (2004). *Biodiesel Production Technology*. Office of Scientific and Technical Information, Department of Energy. National Renewable Energy Laboratory.

# 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

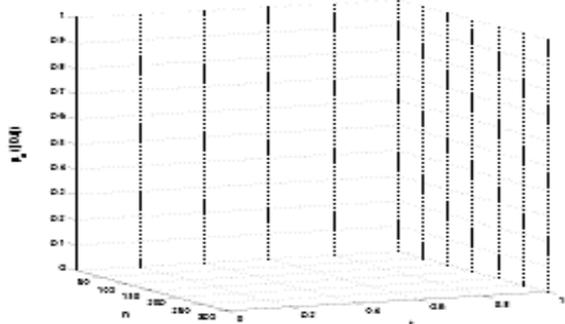
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

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

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

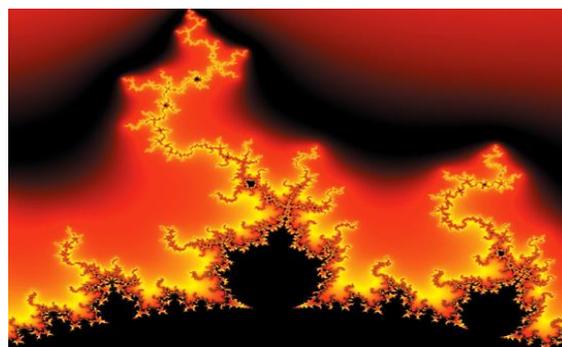
En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[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-VILLAO, Angélica. BsC

**Control de Producción**

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

**Editores Asociados**

OLIVES-MALDONADO, Carlos. MsC

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

CHIATCHOUA, Cesaire. PhD

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

CENTENO-ROA, Ramona. MsC

ZAPATA-MONTES, Nery Javier. PhD

ALAS-SOLA, Gilberto Américo. PhD

MARTÍNEZ-HERRERA, Erick Obed. MsC

ILUNGA-MBUYAMBA, Elisée. MsC

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

**Publicidad y Patrocinio**

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

**Licencias del Sitio**

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

**Oficinas de Gestión**

244 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.

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

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

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenue, Salinas 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

“Dimensionamiento, instalación y puesta en marcha del Parque Solar UPAM de 50 kW de potencia”

**FLORES-RAMIREZ, Oscar, HUESCA-LAZCANO, Erick Eduardo, PACHECO-ANGUIANO, Efrain Alejandro y AGUILAR-RAMOS, Juan Manuel**

*Universidad Politécnica de Amozoc*

“Caracterización y aprovechamiento del potencial energético renovable de afluentes hídricos de ríos y quebradas del departamento de Nariño con el fin de suministrar energía a zonas no interconectadas ZNI”

**MARTÍNEZ- MELO, Omar David, FIERRO-GUERRERO, Anthony, PIAMBA, Tito y GUALGUAN, Andrea**

“Potabilización de agua y generación de hidrógeno aplicando energía solar fotovoltaica”  
**PAVÓN-SILVA, Thelma B., AGUILAR-VALENCIA, Ana P., ROA-MORALES, Gabriela y NATIVIDAD-RANGEL, Reyna**

*Universidad Autónoma del Estado de México*

“Obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales residuales de casa habitación del fraccionamiento El Refugio, Tijuana B.C. ”

**ALFONSO-ALVAREZ, Juan Antonio, TEÓN-VEGA, Argelia y BALDERAS-LÓPEZ, Silvia María**

*Universidad Tecnológica de Tijuana*

