

ISSN 2523-6881

Volumen 2, Número 7 — Octubre — Diciembre - 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 7, de Octubre a Diciembre 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, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María, Co-Editor: SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD. ISSN: 2523-6881. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Diciembre 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, *Diseño y construcción de un pirheliómetro para medición de radiación directa*, por DIBENE-ARRIOLA, Luis, DUARTE-FRANCO, Jorge, GONZALEZ-PALAFOX, Saray y PAREDES-VÁZQUEZ, Cesar, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, como segundo artículo presentamos, *Estudio experimental de desalación de agua de mar utilizando Energía Termosolar*, por CASTILLO-TÉLLEZ-Beatriz, CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita, PILATOWSKY-FIGUEROA, Isaac y RIVERA-GÓMEZ, Franco Wilfrido, con adscripción en Universidad de Guadalajara, Universidad Autónoma de Campeche y la Universidad Nacional Autónoma de México, como tercer artículo presentamos, *Diseño e implementación de un sistema de adquisición de voltaje para celdas de combustible basadas en nopal*, por MALDONADO-RUELAS, Victor Arturo, ORTIZ-MEDINA, Raúl Arturo, APOLLON, Wilgince y SILOS-ESPINO, Héctor, con adscripción en la Universidad Politécnica de Aguascalientes y el Instituto Tecnológico el Llano Aguascalientes, como cuarto artículo presentamos, *Implementación metodológica para la determinación del potencial energético de un sistema fotovoltaico interconectado mediante el monitoreo de perfiles de generación eléctrica basado en series de tiempo*, por VENEGAS-TRUJILLO, Tiberio, ÁNGEL-GONZÁLEZ, Juan Carlos, CONTRERAS-AGUILAR Luis Alberto y CONCHA-SÁNCHEZ, Antonio, con adscripción en Universidad de Colima.

Contenido

Artículo	Página
Diseño y construcción de un pirheliómetro para medición de radiación directa DIBENE-ARRIOLA, Luis, DUARTE-FRANCO, Jorge, GONZALEZ-PALAFIX, Saray y PAREDES-VÁZQUEZ, Cesar <i>Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas</i>	1-12
Estudio experimental de desalación de agua de mar utilizando Energía Termosolar CASTILLO-TÉLLEZ-Beatriz, CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita, PILATOWSKY- FIGUEROA, Isaac y RIVERA-GÓMEZ, Franco Wilfrido <i>Universidad de Guadalajara</i> <i>Universidad Autónoma de Campeche</i> <i>Universidad Nacional Autónoma de México</i>	13-18
Diseño e implementación de un sistema de adquisición de voltaje para celdas de combustible basadas en nopal MALDONADO-RUELAS, Victor Arturo, ORTIZ-MEDINA, Raúl Arturo, APOLLON, Wilgince y SILOS-ESPINO, Héctor <i>Universidad Politécnica de Aguascalientes</i> <i>Instituto Tecnológico el Llano Aguascalientes</i>	19-25
Implementación metodológica para la determinación del potencial energético de un sistema fotovoltaico interconectado mediante el monitoreo de perfiles de generación eléctrica basado en series de tiempo VENEGAS-TRUJILLO, Tiberio, ÁNGEL-GONZÁLEZ, Juan Carlos, CONTRERAS- AGUILAR Luis Alberto y CONCHA-SÁNCHEZ, Antonio <i>Universidad de Colima</i>	26-34

Diseño y construcción de un pirheliómetro para medición de radiación directa

Design and construction of a pyrhelimeter for direct radiation measurement

DIBENE-ARRIOLA, Luis†, DUARTE-FRANCO, Jorge, GONZALEZ-PALAFOX, Saray y PAREDES-VÁZQUEZ, Cesar

Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, División de Ingenierías, Cuerpo Académico de Innovación y Aplicación Tecnológica. Blvd. Nuevo Vallarta no. 65, Col. Nuevo Vallarta, Bahía de Banderas, Nay.

ID 1^{er} Autor: *Luis, Dibene-Arriola*

ID 1^{er} Coautor: *Jorge, Duarte-Franco*

ID 2^{do} Coautor: *Saray, Gonzalez-Palafox*

ID 3^{er} Coautor: *Cesar, Paredes-Vázquez*

Recibido 30 de Julio, 2018; Aceptado 30 Noviembre, 2018

Resumen

El Cuerpo Académico "Innovación y Aplicación Tecnológica", reconocido por PRODEP como UTBB-CA-4, con nivel en formación, recibió en septiembre del año 2016 la aprobación de un recurso económico por la cantidad de \$300,000 pesos para un proyecto denominado "Evaluación integral del recurso solar en Nuevo Vallarta, Nayarit". Dentro de los equipos que se requieren adquirir, está un aparato para medir radiación solar directa denominado pirheliómetro. Sin embargo, al cotizarlo su costo es de aproximadamente \$22,000 dolares, IVA incluido, siendo el seguidor solar la parte más cara con un costo de casi \$18,000 dolares. Debido a lo anterior, resulta casi imposible adquirirlo, por lo que nos estamos dando a la tarea de diseñar y construir un sistema de seguimiento solar y utilizar un piranómetro Kipp & Zonnen CMP-3 con que ya contamos, para construir el pirheliómetro, lo que pensamos costará mucho menos dinero. Además de lo anterior, es un compromiso dentro de dicho proyecto el involucrar a nuestros alumnos, por lo que invitamos a 2 de ellos, de la carrera Ingeniería en energías renovables para que nos apoyen con este proyecto y así coadyuvar en su formación y profesionalización.

Abstract

The Academic Body "Innovation and Technological Application", recognized by PRODEP as UTBB-CA-4, with level in formation, received in September 2016 the approval of an economic resource in the amount of \$ 300,000 pesos for a project called "Comprehensive evaluation of the solar resource in Nuevo Vallarta, Nayarit". Within the equipment that is required to acquire, there is an apparatus for measuring direct solar radiation called a pyrhelimeter. However, when quoted, its cost is approximately \$ 22,000 dollars, including IVA, with the solar tracker being the most expensive part with a cost of almost \$ 18,000 dollars. Due to the above, it is almost impossible to acquire it, so we are taking the task of designing and building a solar tracking system and use a Kipp & Zonnen CMP-3 pyranometer with which we already have, to build the pyrhelimeter, which We think it will cost much less money. In addition to the above, it is a commitment within this project to involve our students, so we invite 3 of them, from the engineering career in renewable energy to support us with this project and thus contribute to their training and professionalization.

Radiation, measurement, pyrhelimeter

Radiación, medición, pirheliómetro

Citación: DIBENE-ARRIOLA, Luis, DUARTE-FRANCO, Jorge, GONZALEZ-PALAFOX, Saray y PAREDES-VÁZQUEZ, Cesar. Diseño y construcción de un pirheliómetro para medición de radiación directa. Revista de Energías Renovables. 2018. 2-7:1-12

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El sol es el centro de gravedad del sistema solar y es el suministro de energía para la tierra. La energía emitida por el sol permite la existencia de la vida en la tierra. El sol emite radiación y parte de ésta alcanza la tierra provocando numerosos efectos directos e indirectos sobre los seres que en ella habitan. Estos efectos pueden ser positivos o negativos, como prevenir el raquitismo o provocarnos cáncer. Se considera que nuestra vida en este planeta sería absolutamente imposible sin la radiación solar.

Ello a través de nuestra comida, el agua que bebemos y el aire que respiramos. También influye en el clima, que es vital en nuestra moderna civilización y su progreso técnico. El poder del sol se aprovecha cada vez más para proporcionar una fuente de energía limpia y renovable sin una huella de carbono o emisiones de gases de efecto invernadero.

La energía solar se puede utilizar para generar electricidad y proporcionar calor. Además, el sol es un importante impulsor de la agricultura y la hidrología. Su espectro se compone principalmente de luz ultra violeta (UV), luz visible e Infrarrojo cercano. Esa radiación atraviesa el espacio en forma de ondas electromagnéticas colimadas hasta llegar a la capa exterior de la atmósfera y permanece prácticamente constante y se le conoce como "Constante Solar" (Vega de Kuyper & Morales, 2015).

El valor de dicha constante utilizado actualmente por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) es de 1367 W / m^2 y se ha mantenido desde 1982; sin embargo, se ha medido por la NASA y su valor en el año 2008 fue de $1360.8 \pm 0.5 \text{ W / m}^2$. Ese valor cambia a lo largo del año de acuerdo a la distancia entre la tierra y el sol en un 6.6% siendo más intensa en enero que en julio, y también cambia hasta un 0,1%, dependiendo de la actividad solar (Rosemann, 2011).

La radiación extraterrestre que procede directamente del Sol, es reflejada al entrar en la atmósfera por la presencia de las nubes, el vapor de agua, etc. y es dispersada por las moléculas de agua, el polvo en suspensión, etc.

Por todo esto la radiación solar que llega a una superficie terrestre procede de tres componentes: Radiación Directa (B): Formada por los rayos colimados procedentes del Sol directamente es decir, que no llegan a ser dispersados. Radiación Difusa (D): Aquella procedente de toda la bóveda celeste excepto la que llega del Sol. Originada por los efectos de dispersión mencionados anteriormente. Radiación Del Albedo (R): Procedente del suelo, debida a la reflexión de parte de la radiación incidente sobre montañas, lagos, edificios, etc. Depende muy directamente de la naturaleza de estos elementos. Esta se obtiene del cociente entre la radiación reflejada y de la incidente sobre una superficie. La suma de estas tres componentes anteriores da lugar a la Radiación Global (G):

$$G = B + D + R \text{ (IDEA, 2018).}$$

Hoy en día, medir la radiación solar es extremadamente importante en muchos campos de aplicación diferentes, como climatología, meteorología, hidrología, predicción de contaminación, energía solar, agricultura y pruebas de materiales. La medición de la radiación solar para la climatología y el pronóstico del tiempo es una parte importante de muchas de las actividades diarias de nuestro mundo, de lo que ya no podemos prescindir. Por ejemplo, los datos obtenidos son esenciales para la aviación.

Durante los últimos años, la medición de la radiación solar también se ha vuelto más y más importante en el campo de las pruebas de materiales, en el que, por ejemplo, la resistencia a la radiación UV de productos y acabados ha pasado a primer plano. La precisión de los datos de radiación solar es fundamental para la industria de la energía solar. En investigación y desarrollo, elegir ubicaciones óptimas y tipos de sistemas, monitoreo de la eficiencia y programación del mantenimiento. Dentro de la atmósfera cerca del suelo, las características temporales y espaciales de los valores de radiación están influenciados por las características de la superficie del suelo. (Rösemann, 2011). Para observaciones de la radiación en la superficie de la Tierra, se definen dos regiones de longitud de onda; radiación de onda corta, de longitudes de onda de 300 nm a 4.000 nm, y radiación de onda larga desde 4.500 nm ($4.5 \mu\text{m}$) a más de $40 \mu\text{m}$.

La radiación de onda corta incluye las bandas de longitud de onda ultravioleta, visible e infrarrojo cercano. Las mediciones terrestres de alta calidad de la radiación solar siempre se realizan utilizando radiómetros con una respuesta espectral plana en un amplio ancho de banda espectral. Esto generalmente se logra usando un detector de "termopila" con un recubrimiento negro que absorbe la radiación entrante, se calienta y convierte el aumento de temperatura en una pequeña señal eléctrica.

Los tipos de piranómetros y pirheliómetros, las especificaciones de rendimiento, los métodos de calibración, etc., han sido definidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Organización Internacional de Normalización (ISO). Los instrumentos que cumplen con las clasificaciones de la OMM e ISO, proporcionan mediciones precisas de la radiación solar en todas las condiciones climáticas.

Dado que el mundo meteorológico y la comunidad científica están utilizando los mismos tipos de instrumentos, los datos se pueden comparar con mediciones de redes y satélites de estaciones meteorológicas y climáticas, en varios lugares e independientemente del tipo de sistema de energía solar. (KIPP & ZONEN, 2018). De acuerdo con (Rösemann, 2011), Los factores más influyentes que afectan la radiación recibida en cualquier ubicación particular son:

- Ubicación en la tierra
- Fecha y hora
- Precipitación (nube, niebla, lluvia, nieve)
- Constricción del horizonte (campo de visión)
- Contaminación del aire (aerosoles y gases)
- Albedo

Debido a los efectos físicos mencionados anteriormente, a veces no es suficiente para muchos campos de aplicación medir simplemente la 'Radiación Global' proveniente de todo el lugar de medición. También puede ser necesario medir la "Radiación Directa" proveniente únicamente del sol y / o la "Radiación Difusa". Los equipos utilizados para medir la radiación solar son los siguientes:

Radiación solar directa

- Sensor: Pirheliómetro
- Rango espectral: 300 nm a 3000 nm
- Campo de visión: <math><5^\circ</math>
- Accesorio necesario: seguidor solar
- Mide la radiación que proviene directamente del sol y su aureola.

El rastreador solar mantiene el pirheliómetro alineado con el sol durante el período de luz diurna. Es un parámetro clave para aplicaciones de energía solar, especialmente de concentración.

Radiación global

- Sensor: Piranómetro
- Rango espectral: 300 nm a 3000 nm
- Campo de visión: 180°
- Accesorio Necesario: Ninguno
- Accesorio opcional: Unidad de ventilación

Es la medida básica para la mayoría de las aplicaciones.

Radiación difusa

- Sensor: Piranómetro
- Rango espectral: 300 nm a 3000 nm
- Campo de visión: 180°

Accesorio necesario: Dispositivo de sombreado; Anillo sombreador o bola sombreadora y Seguidor solar.

Debido a que al Cuerpo Académico "Innovación y Aplicación Tecnológica" reconocido ante PRODEP como UTBB-CA-4, actualmente "En Formación" le fueron aprobados en el año 2016 la cantidad de \$300,000 pesos para su fortalecimiento y a su vez desarrollar un proyecto denominado "Evaluación integral del recurso solar en Nuevo Vallarta, Nayarit", en el cual se requiere conocer; entre otros, el comportamiento de la radiación solar directa, a la par de la radiación global, que ya se está midiendo; tanto horizontal como inclinada 20° hacia el sur, la radiación de albedo y la UV total.

Al cotizar esos instrumentos; el pirheliómetro con su seguidor solar tiene un costo (IVA incluido) de \$21,797.44 dólares, que excede en mucho el monto total aprobado, mientras que el albedómetro cuesta \$5,100 dólares y el radiómetro para radiación UV total la cantidad de \$4,125 dólares. De ese recurso, ya fueron ministrados en septiembre del 2017 \$84,207.27 pesos que se usaron para adquirir una estación meteorológica compacta marca Lufft modelo WS600, y se espera que este año 2018 se entreguen los restantes \$215,792.73 pesos.

Como puede verse, para lograr llevar a buen término dicho proyecto solo se dispone de la cantidad suficiente para adquirir este año el albedómetro y el radiómetro para UV total, pero imposible adquirir el pirheliómetro. Debido a ello, en el UTBB-CA-4 decidimos construir el pirheliómetro aprovechando que tenemos 3 piranómetros Kipp&Zonnen CMP3 y usar uno de ellos para el pirheliómetro y dejar los otros 2 midiendo radiación global horizontal y radiación global inclinada 20° hacia el sur.

Se aprovechó también para involucrar a 2 alumnos de la Ingeniería en Energías Renovables que ofrece la UTBB para que apoyaran en el diseño y construcción del seguidor solar y acoplarle al mismo el piranómetro al cual se le adaptó un tubo con una abertura frontal, con sus anillos de apertura y de una adecuada longitud del tubo de tal forma que se defina un campo de visión de 5° y el ángulo requerido de inclinación de 1°. Las superficies internas están ennegrecidas para evitar reflejos internos. El tubo y el detector de anteojos ópticos están protegidos por un vidrio plano. Lo anterior, de acuerdo con lo especificado por (Rösemann, 2011).

El seguidor solar

Se realizó una búsqueda sobre las bases del tema para después comenzar a proponer un diseño para el seguidor solar. Se tomaron las dimensiones y peso del piranómetro que será montado en la estructura del seguidor para adaptar nuestro diseño en esas condiciones. Para el diseño se recurrió a una lluvia de ideas, donde en su mayoría se aportaban ideas completas para la estructura del seguidor.

Conforme se presentaban los diseños se iban descartando los detalles poco convenientes, al final se hizo una combinación en la estructura con las partes que se consideraban viables y se creía estable la estructura. La idea es que tenga 2 grados de libertad en su movimiento. En las figuras 1 y 2 se muestran los esquemas del diseño del seguidor solar al que finalmente se llegó:

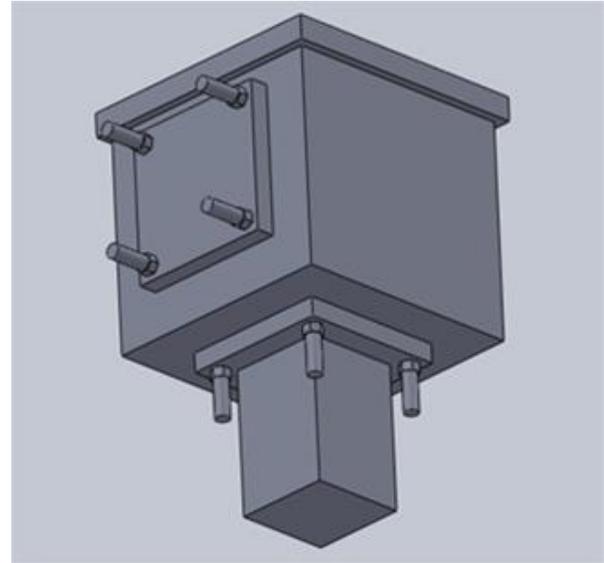


Figura 1 Esquema del seguidor solar. Elaborado con solidworks. Vista isométrica inferior
Fuente: Elaboración Propia

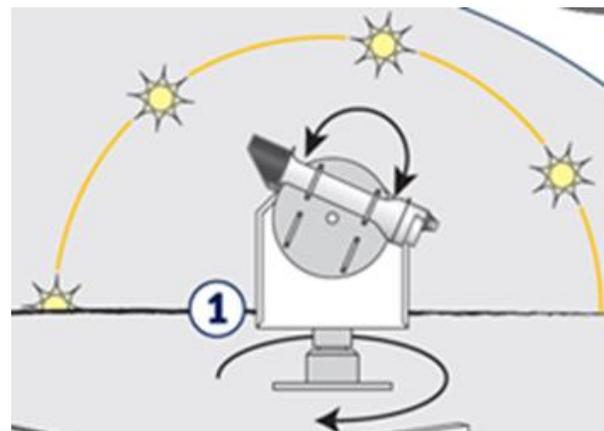


Figura 2 Esquema del seguidor solar mostrando los 2 grados de libertad de movimiento
Fuente: Recuperado de KippZonen_InstructionSheet_Pyrheliometer_CHP1_V16 03

Diagrama de conexión

Se realizó el cableado electrónico como se muestra en la imagen 1 siguiente:

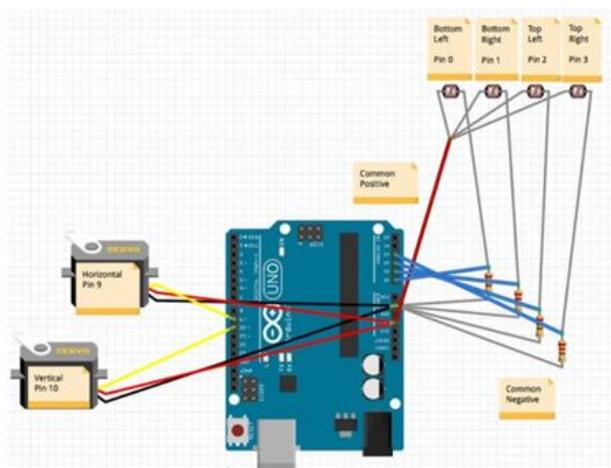


Imagen 1 Diagrama de conexión del cableado electrónico al ARDUINO UNO

Fuente: *Elaboración Propia*

Ya que no se alcanza a apreciar con claridad en la imagen, a continuación se describen los pines a los que van conectadas las 4 “LDRS” y los dos servomotores:

- Pin A0 - LDR1,
- Pin A1 - LDR2,
- Pin A2 - LDR3,
- Pin A3 - LDR4,
- Servo horizontal a pin 9,
- Servo Vertical a pin 10.

La Programación del seguidor Solar

Por medio del Arduino Uno se cargó la programación del seguidor solar, como se muestra en la fotografía 1 siguiente:



Imagen 2 Fotografía del Arduino Uno y Computadora para su programación

Fuente: *Fotografía propia*

El programa que se elaboró se muestra en la siguiente imagen:

```

Esta_es_la_buena
#include <Servo.h> // libreria para los servo motores

// 180 horizontal MAXIMO
Servo horizontal; // declaramos el valor para el servo horizontal
int servoh = 90;

int servohLimitHigh = 180; //limite en posicion superior
int servohLimitLow = 0; //limite para posicion inferior

Servo vertical; // vertical servo
int servov = 90;
int servovLimitHigh = 180;
int servovLimitLow = 0;

int ldrlt = 0; // conexion a las resistencias LDR
int ldrrt = 1;
int ldrl = 2;
int ldrrd = 3;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  horizontal.attach(11); //servo horizontal pin digital 9
  vertical.attach(12); // servo vertical pin digital 10
  horizontal.write(80);
  vertical.write(45);
  delay(3000);
}

void loop()
{
  int lt = analogRead(ldrlt); // top left (superior izquierdo)
  int rt = analogRead(ldrrt); // top right (superior derecho)
  int ld = analogRead(ldrl); // down left (inferior izquierdo)
  int rd = analogRead(ldrrd); // down rigt (inferior derecho)

  int dtime = 20;
  int tol = 100;

  int avt = (lt + rt) / 2; // valor superior maximo
  int avd = (ld + rd) / 2; // valor inferior maximo
  int avl = (lt + ld) / 2; // valor izquierdo maximo
  int avr = (rt + rd) / 2; // valor derecho maximo

  int dvert = avt - avd; // diferencia entre superior e inferior
  int dhoriz = avl - avr; // diferencia entre izquierdo y derecho

  Serial.print(lt); // Imprimir valores de posicion en monitor serial
  Serial.print(" ");
  Serial.print(rt);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(ld);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(rd);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(" ");

  if (lt, rt, ld && rd == false){
    vertical.write(95);
    horizontal.write(79);
    delay(15);
  }

  if (-1*tol > dvert || dvert > tol) // revisar la diferencia para cambiar al angulo vertical
  {
    if (avt > avd)
    {
      servov = ++servov;
      if (servov > servovLimitHigh)
      {
        servov = servovLimitHigh;
      }
    }
    else if (avt < avd)
    {
      servov = --servov;
      if (servov < servovLimitLow)
      {
        servov = servovLimitLow;
      }
    }
    vertical.write(servov);
  }

  if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol) // revisar la diferencia para cambiar al angulo horizontal
  {
    if (avl > avr)
    {

```

```

servoh = --servoh;
if (servoh < servohLimitLow)
{
servoh = servohLimitLow;
}
}
else if (avl < avr)
{
servoh = ++servoh;
if (servoh > servohLimitHigh)
{
servoh = servohLimitHigh;
}
}
else if (avl = avr)
{
}
horizontal.write(servoh);
delay(dtime);
}

```

Imagen 3 Programa que se elaboró para el seguidor solar en el Arduino

Fuente: Elaboración propia

Funcionamiento del Circuito

El funcionamiento general del circuito logra la localización del sol debido al uso de sensores LDR que procesan la señal de cuatro puntos diferentes, los cuales están sincronizados y si alguno marca un estado diferente, se manda una señal al ARDUINO para que este controle los servomotores y se posicione la estructura siempre perpendicular a la incidencia mayor de radiación solar. Específicamente, el seguimiento del sol se realiza por control de lazo cerrado, controlando servomotores a partir de las señales recibidas de los LDR.

La retroalimentación se realiza por medio de los mismos sensores (LDR) y la programación de Arduino, lo que permite detectar el movimiento o giro. El LDR entrega niveles de voltajes proporcionales a la resistencia contra el sol, una vez que los 4 LDR llegan a un estado en el que tienen la misma resistencia, estos son procesados por el Arduino y de esta forma se puede conocer la posición del panel solar necesaria para el movimiento de los servomotores.

Cabe resaltar que el estado de balance de las 4 resistencias tendrá como efecto una posición en la que la carga mecánica reciba radiación directa. En la imagen 4 siguiente se muestra el funcionamiento general del circuito:



Imagen 4 Funcionamiento general del circuito del seguidor solar

Fuente: Elaboración propia

El seguidor podrá estar en operación los 365 días del año siendo alimentado por una batería cargada por paneles solares haciendo así totalmente autónomo el seguimiento de la trayectoria solar del pirheliómetro lo cual representa un costo de operación nulo que nos ayuda a tener un considerable ahorro monetario. La siguiente fotografía muestra como quedó construido el seguidor:



Imagen 5 Fotografía del seguidor que se construyó para el proyecto. Con dos grados de libertad de movimiento

Fuente: Fotografía propia. Julio 2018

Materiales utilizados para construir el seguidor

Los materiales que se utilizaron para construir el seguidor solar así como su respectivo costo se muestran en la tabla 1 siguiente:

Descripción	Cant	Unidad	Precio Unitario	Total
LDRs	4	Piezas	\$ 17.00	\$ 68.00
Cable calibre 12	8	m	\$ 8.00	\$ 64.00
Resistencias de 1 k Ω	4	Piezas	\$ 1.00	\$ 4.00
Servomotores	2	Pieza	\$ 120.00	\$ 240.00
Placa Arduino con su respectivo cable USB	1	Pieza	\$ 650.00	\$ 650.00
Placa fenólica perforada	1	Pieza	\$ 30.00	\$ 30.00
Soldadura para estaño	1	Bote	\$ 30.00	\$ 30.00
Cables macho-macho y hembra-macho	25	Piezas	\$ 3.00	\$ 75.00
Kola loka	3	Tubos	\$ 25.00	\$ 75.00
Placa metálica galvanizada	1	Pieza	\$ 400.00	\$ 400.00
Bases giratorias de 15.5 x 15.5 cm con rodamientos	2	Piezas	\$ 90.00	\$ 180.00
Cuadrado de fierro de 10 x 10 cm y 25 cm de altura	1	Pieza	\$ 30.00	\$ 30.00
Ángulo de 25.4 mm	1	m	\$ 50.00	\$ 50.00
Tornillos de 6.3 mm x 5 cm	16	Piezas	\$ 1.00	\$ 16.00
Rondanas de 13 mm x 6.3 mm	8	Piezas	\$ 1.00	\$ 8.00
Tuercas de 6.3 mm	16	Piezas	\$ 1.00	\$ 16.00
Pijas de 10 mm de longitud x 2 mm	8	Piezas	\$ 1.00	\$ 8.00
Juntas de silicón	1	Pieza	\$ 60.00	\$ 60.00
Abrazaderas sinfín de 75 mm	2	Piezas	\$ 15.00	\$ 30.00
Taquetes de 6 mm x 50 mm Indirectos	8	Piezas	\$ 1.00	\$ 8.00
Total				\$ 2,242.00

Tabla 1 Materiales y su costo, utilizados para construir el seguidor solar

Fuente: *Elaboración Propia*

El Pirheliometro

De acuerdo con (Rösemann, 2011), visto desde la Tierra, el sol tiene un ángulo sólido de aproximadamente 0.5° y, de acuerdo con las recomendaciones de la OMM, se ha determinado un campo de visión de 5° y un ángulo de inclinación de 1° como la configuración óptica para pirheliómetros.

Debido a este ángulo, el sensor detectará no solo la radiación directa sino también parte de la radiación circumsolar. La radiación circumpolar es causada por la difracción de la luz del sol debido a la condición de la atmósfera, principalmente aerosoles, y también está influenciada por la altitud solar.

Es por eso que es necesario estandarizar el ángulo de apertura y otros detalles geométricos para lograr la comparabilidad de los resultados de medición entre diferentes tipos y marcas de pirheliómetros. Los pirheliómetros de campo generalmente tienen una ventana plana de cuarzo para proteger el detector y el tubo de la vista y medir toda la radiación solar de onda corta en el rango de 200 nm a 4.000 nm ($4 \mu\text{m}$). Algunos instrumentos más antiguos pueden tener ventanas de vidrio y, por lo tanto, un rango espectral más restringido. Por lo general, hay alguna forma o escudo de lluvia para proteger la ventana. Una imagen de un pirheliómetro se puede ver en la imagen 6 siguiente:



Imagen 6 Pirheliómetro mostrando protector de la lluvia y de apoyos de alineación

Fuente: (Rösemann, 2011)

Normalmente se instala un pirheliómetro en un sistema de seguimiento solar automático de dos ejes para la medición continua de la irradiancia solar directa como se muestra en la imagen 7 siguiente:



Imagen 7 Pirheliómetro montado en un seguidor solar

Fuente: (Rösemann, 2011)

Los pirheliómetros de campo constan de los siguientes componentes principales, que se muestran en la figura 3 siguiente:

- Elemento sensor termoelectrico
- Tubo
- Ventana protectora
- Anillos de apertura
- Ayudas de alineación

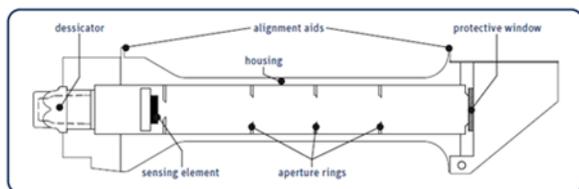


Figura 3 Construcción de un pirheliómetro (Rösemann, 2011)

En los pirheliómetros de campo, la medición se realiza mediante un detector termoelectrico totalmente negro similar al utilizado en piranómetros porque se requiere una gran estabilidad y una absorción de radiación no selectiva en un amplio rango espectral. La abertura frontal, los anillos de apertura y la longitud del tubo están construidos de tal forma que definen un campo de visión de 5° y el ángulo requerido de inclinación de 1° .

Las superficies internas están ennegrecidas para evitar reflejos internos. El tubo y el detector de anteojos ópticos están protegidos por la ventana plana mencionada anteriormente. Los pirheliómetros de mejor rendimiento utilizan una construcción de doble tubo. Esto es similar, en principio, a domos duales en un piranómetro y reduce los efectos del viento y el enfriamiento evaporativo en las mediciones.

Los pirheliómetros y otros instrumentos para la medición de la radiación solar directa deben apuntar de forma precisa y continua al sol. La precisión de puntería debe tener una desviación máxima de 0.5° del eje solar para cumplir con los requisitos de monitoreo de rutina de la OMM. Sin embargo, para fines científicos, se requiere 0.1° . (Rösemann, 2011).

Para determinar el diámetro y longitud del tubo que permita adaptar el piranómetro CMP3 en pirheliómetro, se requieren primero las medidas de dicho piranómetro, que se muestran en la figura siguiente:

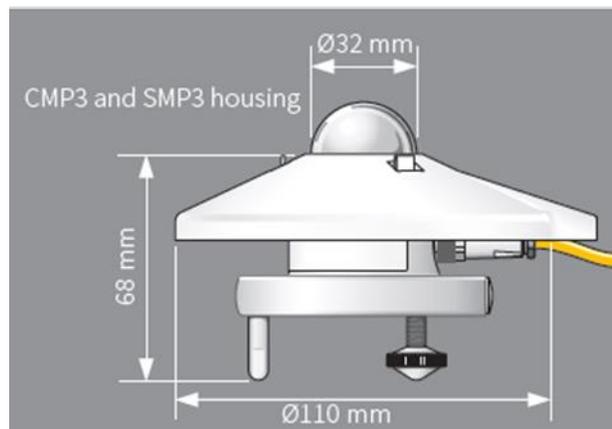


Figura 4 Medidas piranómetro CMP3 (KIPP&ZONEN, 2018)

Las medidas del elemento sensible de color oscuro son de 1" de diámetro, el cual se puede ver en la imagen siguiente:



Imagen 8 Fotografía del Piranómetro CMP3 donde puede verse el domo de 32 mm, el elemento sensor oscuro de 25.4 mm (1") y el tubo de 38 mm
Fotografía propia. Julio 2018

Las medidas estándar del pirheliómetro CHP1 de Kipp&Zonen se muestran en la figura siguiente:

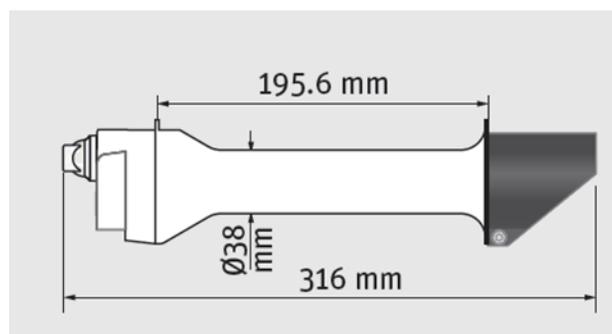


Figura 5 Medidas exteriores de un pirheliómetro Recuperado de: KippZonen_InstructionSheet_Pyrheliometer_CHP1_V16 03 el 15 de Julio de 2018

Estas medidas se respetaron para el proyecto.

Construcción del pirheliómetro

La idea es ajustarse a los criterios de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Organización Internacional de Normalización (ISO), por lo que se conservaron las dimensiones especificadas para el pirheliómetro Kipp&Zonen CHP1, utilizando un tubo de aluminio de 38 mm externos como carcasa externa, otro tubo de 32 mm de diámetro exterior para la carcasa interna y se adaptaron 3 anillos de CPVC de 32 mm de diámetro interior para que los rayos solares lleguen directamente y completamente al elemento sensor del piranómetro.

Se decidió que mejor no se le montara al pirheliómetro la ventana protectora de lluvia (de vidrio), al no encontrar sus especificaciones de la misma en la bibliografía y se optó mejor por conservar el domo transparente del piranómetro. Se cortó el tubo de aluminio de 38 mm de acuerdo a la figura 5 y el tubo de 32 mm con 2 cm menos para que no tocara el domo transparente (ver imágenes 9 y 10 siguientes):



Imagen 9 Fotografía del Piranómetro con su domo y los 2 tubos de aluminio cortados de acuerdo a las medidas de la figura 5

Fotografía propia. Julio 2018



Imagen 10 Fotografía del Piranómetro con los 2 tubos de aluminio y el seguidor al fondo

Fotografía propia. Julio 2018

Asimismo, al tubo de 32 mm se le adaptaron 3 anillos de tubo CPVC de 32 mm de diámetro exterior y 25.4 mm de diámetro interior, de modo que el haz de luz solar pase libremente por el espacio interior en un cilindro de 25.4 mm de diámetro, pero rebote si viene con un ángulo de inclinación mayor a 5°. El interior del tubo y los anillos se pintaron de color negro mate, de acuerdo a las especificaciones de construcción del pirheliómetro. Esto puede verse en la imagen siguiente:

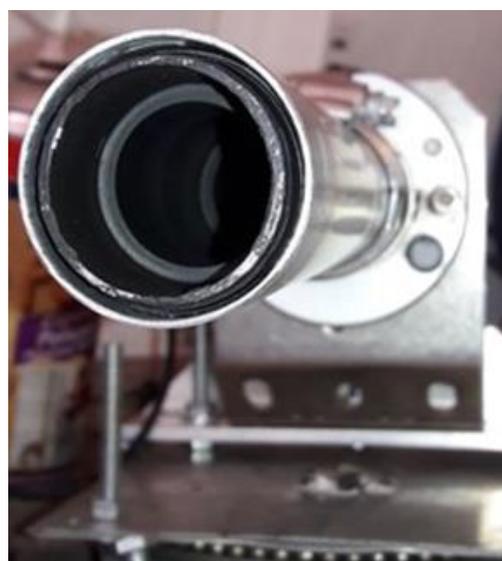


Imagen 11 Fotografía mostrando los detalles de la parte final del pirheliómetro. Se ven los tubos de aluminio de 38 y 32 mm, y el primer anillo de CPVC de 25.4 mm interior, pintados en su interior de negro mate

Fotografía propia. Julio 2018

La imagen 12 muestra el pirheliómetro montado en su base y en el seguidor solar. Asimismo, se aprecia la manera como se fijó al seguidor y el tubo de 38 mm al pirheliómetro



Imagen 12 Fotografía del Pirheliómetro montado en el seguidor solar
Fotografía propia. Julio 2018

La imagen 13 muestra el pirheliómetro con su cubierta protectora de lluvia fijada mediante abrazadera sinfín al tubo.



Imagen 13 Fotografía del detalle de la cubierta protectora del pirheliómetro
Fotografía propia. Julio 2018

La imagen 14 muestra a los alumnos de 9° IER Jorge Duarte y Saray Gonzalez revisando la programación del seguidor solar.



Imagen 14 Fotografía de Jorge y Saray Programando el seguidor solar
Fotografía propia. Julio 2018

La imagen 15 muestra al seguidor solar con el pirheliómetro funcionado. Para ellos se utilizó la luz de un teléfono celular la cual impactaba directamente en los elementos sensores LDR y se movía al celular y el equipo lo seguía con sus dos grados de libertad de movimiento de acuerdo a lo buscado.



Imagen 15 Fotografía del Pirheliómetro funcionando
Fotografía propia. Julio 2018

La imagen 16 muestra el detalle de los sensores LDR montados en el tubo de 38 mm y alineados con dicho tubo para que se siga al sol.

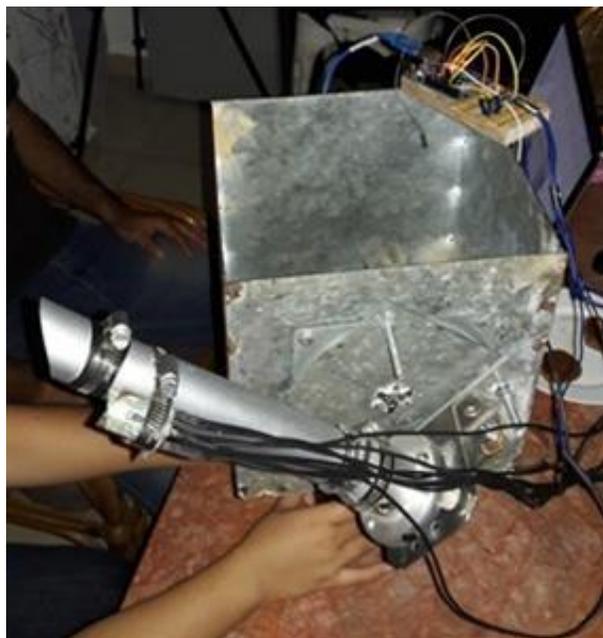


Imagen 16 Fotografía con detalle de los 4 sensores LDR montados en el tubo del pirheliómetro
Fotografía propia. Julio 2018

Materiales y costos de adaptación del piranómetro en pirheliómetro

Debido a que ya se contaba con el piranómetro Kipp&zonen CMP3, su adaptación a pirheliómetro solo implicó un costo aproximado de \$1500 pesos. La tabla 2 muestra los materiales utilizados para ello.

Descripción	Cant	Unidad	Precio Unitario	Total
Tubo Aluminio 38 mm diámetro exterior	1	Pieza	\$500.00	\$500.00
Tubo Aluminio de 32 mm diámetro exterior	1	Pieza	\$480.00	\$480.00
Tubo CPVC de 25.4 mm de diámetro interior	1	m	\$55.00	\$55.00
Abrazadera Sinfin de 38 mm de acero	2	Pieza	\$40.00	\$80.00
Abrazadera Sinfin de 51 mm de acero	1	Pieza	\$60.00	\$60.00
Pintura esmalte negro mate	1	Bote	\$55.00	\$55.00
Pintura esmalte blanca	1	Bote	\$55.00	\$55.00
Tornillo de 6.3 mm x 38 mm	1	Paquete con 4 piezas	\$22.00	\$22.00
Rondana acerada de 6 mm diámetro interior	10	Piezas	\$0.50	\$5.00
Tuerca de 6.3 mm de diámetro	8	Piezas	\$2.50	\$20.00
Indirectos				\$200.00
Total				\$ 1,532.00

Tabla 2 Materiales y sus costos para adaptar el Piranómetro CMP3 en Pirheliómetro
Fuente: Elaboración Propia

Al anterior costo habría que agregar el costo de las horas-hombre destinadas a este proyecto, el cual se muestra en la tabla 3 siguiente, pero que no fueron remuneradas ya que esta es una investigación de interés propio y los gastos fueron ejercidos por los autores de este proyecto.

Acción	Subtotal HH
Revisión de documentos y diseño del seguidor	40
Adquisición de partes para el seguidor	10
Construcción del seguidor	40
Pruebas y ajustes del seguidor	40
Revisión de documentos y diseño del pirheliómetro	40
Adquisición de partes del pirheliómetro	10
Construcción del pirheliómetro	10
Pruebas y ajustes del pirheliómetro en el seguidor	10
Total de horas empleadas	200

Tabla 3 Horas hombre dedicadas al diseño y construcción del seguidor solar y de la adaptación del piranómetro CMP3 en pirheliómetro

Fuente: Elaboración Propia

Resultados

Se elaboró un programa para el seguidor solar, en el Arduino. Se diseñó el circuito electrónico para el seguidor solar, se adquirieron los componentes del mismo y se conectaron.

Se diseñó la caja y la base para construir el seguidor solar, se compraron los componentes y se construyó la misma.

Se adaptó un Piranómetro Kipp&Zonnen CMP3 para que solo reciba radiación solar directa. Esos componentes se adaptaron a la caja del seguidor solar.

Se hicieron pruebas de funcionamiento del seguidor solar, con el pirheliómetro adaptado, el cual trabajó adecuadamente y siguió una fuente de luz.

Conclusiones

Fue posible diseñar, construir y poner en funcionamiento el pirheliómetro montado en un seguidor solar por una fracción del costo original, el cual era de \$21,797.44 dolares (alrededor de \$400,000.00 pesos), pues ocupamos la cantidad de \$3,774.00 pesos en total, y que fueron aportados por los autores del artículo, más unas 200 horas-hombre para terminar este proyecto, de modo que el recurso destinado al Cuerpo Académico “Innovación y aplicación tecnológica” por PRODEP de \$300,000.00 pesos para fortalecer el Cuerpo Académico “Innovación y Aplicación tecnológica” será suficiente para adquirir un albedómetro (CMP6) y un Radiómetro para Radiación UV total. Así tendremos instalados en nuestra estación de monitoreo climático 2 piranómetros CMP3 para medir radiación solar global horizontal e inclinada 20° al sur; 1 pirheliómetro para medir radiación directa; 1 albedómetro y 1 radiómetro para radiación UV total además de la estación meteorológica compacta LUFFT WS 600 que mide precipitación, dirección del viento, velocidad del viento, temperatura del aire, humedad relativa y presión barométrica; todos estos equipos conectados a un datalogger CR-1000 y generando una base de datos sincronizada en el tiempo y que permitirá buscar correlaciones entre los diversos parámetros medidos. Además, se involucró a 2 alumnos de Ingeniería en Energías Renovables.

Recomendaciones

La generación de los datos de radiación directa será motivo de otro artículo, para compararla con los datos de satélite. Ya se tiene un artículo comparando las lecturas de radiación horizontal e inclinada 20° hacia el sur contra datos de satélite.

Agradecimientos

Se agradece a la UTBB por facilitar el piranómetro CMP3 para adaptarlo y convertirlo en pirheliómetro y a los alumnos Jorge Duarte y Saray González Palafox, quienes contribuyeron con el seguidor solar y trabajaron muy duro para su diseño y construcción.

Referencias

- Agenda Internacional de Energia* . (2012). Retrieved 2013 йил 14-October from World Energy Outlook. Resumen ejecutivo. : <http://www.iea.org/publications/freepublication/s/publication/Spanish.pdf>
- Duarte, F. J. (Junio de 2018). Base pirheliometro. Nuevo Vallarta, Nayarit, México.
- DEA, G. (19 de 07 de 2018). *RADIACIÓN SOLAR*. Obtenido de <http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/index.htm>.
- Kalogirou, S. (2009). *Solar energy engineering : processes and systems*. USA: Elsevier.
- KIPP & ZONEN. (20 de Junio de 2018). *Solar Radiation Measurements for Solar Energy Applications*. Obtenido de <http://www.kippzonen.com/Knowledge-Center/Theoretical-info/Solar-Radiation>.
- KIPP&ZONEN. (15 de Julio de 2018). <http://www.kippzonen.es/Product/213/CMP3-Piranometro#.W1kU9NIzbIU>. Obtenido de [KippZonen_Brochure_Pyranometers.pdf](http://www.kippzonen.com/Knowledge-Center/Theoretical-info/Solar-Radiation): file:///C:/Users/User/Downloads/KippZonen_Brochure_Pyranometers.pdf
- Rösemann, R. (2011). *a Guide to Solar Radiation Measurement*. Netherlands: Gengenbach Messtechnik.
- Vega de Kuyper, J. C., & Morales, S. R. (2015). *Fuentes de energía, renovables y no renovables. Aplicaciones*. México, D.F.: Alfaomega.

Estudio experimental de desalación de agua de mar utilizando Energía Termosolar

Experimental study desalination of sea water using Thermosolar Energy

CASTILLO-TÉLLEZ-Beatriz^{1*†}, CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita^{2*}, PILATOWSKY-FIGUEROA, Isaac³ y RIVERA-GÓMEZ, Franco Wilfrido

¹ Universidad de Guadalajara, Centro Universitario del Norte, Colotlán, Jalisco 46200 México

² Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería, 24085 Campeche

³ Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Energías Renovables, Priv. Xochicalco S/N Temixco, Morelos 62580 México

ID 1^{er} Autor: *Beatriz, Castillo-Téllez* / ORC ID: 0000-0003-3747-6320, Researcher ID Thomson: S-2264-2018, CVU CONACYT ID: 210564

ID 1^{er} Coautor: *Margarita, Castillo-Téllez* / ORC ID: 0000-0001-9639-1736, Researcher ID Thomson: S-2283-2018, CVU CONACYT ID: 210428.

ID 2^{do} Coautor: *Isaac, Pilatowsky-Figueroa* / ORC ID: 0000-0002-6492-2456, CVU CONACYT ID: 1407

ID 3^{er} Coautor: *Franco Wilfrido Rivera-Gómez* / ORC ID: 0000-0002-9845-5542, CVU CONACYT ID: 9257

Recibido 30 de Julio, 2018; Aceptado 30 Noviembre, 2018

Resumen

La desalación de agua de mar o salobre, es una tecnología probada desde hace más de 50 años, la cual provee de agua dulce a millones de personas que viven en zonas de escasez hídrica, ya sea para beber o para otros usos, como higiene y hasta agrícola, ayudando a estas comunidades no solo a sobrevivir, sino a lograr su desarrollo económico y ambiental. Desafortunadamente, la desalación comercial actual requiere de una gran cantidad de energía, ya sea calórica o eléctrica. La desalación por congelación puede lograr teóricamente hasta un 70% menos de uso energético que las tecnologías térmicas, con otras ventajas como que no necesita pretratamiento y baja corrosión en el sistema. El presente trabajo muestra los resultados obtenidos durante la experimentación en un prototipo de planta desaladora de agua de mar por congelación, acoplado a un sistema de refrigeración solar, logrando reducir aún más el consumo energético, aumentando la producción de agua dulce por cada unidad energética utilizada. Se presenta un análisis del porcentaje de salinidad obtenido en el agua producida.

Desalación, Refrigeración Solar, Consumo Energético

Abstract

Desalination of seawater or brackish water is a proven technology for more than 50 years, which provides fresh water to millions of people living in areas of water scarcity, whether for drinking or other uses, such as hygiene and even agricultural, helping these communities not only to survive, but to achieve their economic, technological and environmental development. Unfortunately, current commercial desalination requires a large amount of energy, be it caloric or electric. Freezing desalination can theoretically achieve up to 70 % less energy use than thermal technologies, with other advantages such as that it does not need pre-treatment and low corrosion in the system. The present work shows the results obtained during the experimentation in a prototype of desalination plant of sea water by freezing, coupled to a solar cooling system, managing to increase water production for each energy unit used. It is presented an analysis of salt percent obtained in water produced.

Desalination, Solar Cooling, Energy Consumption

Citación: CASTILLO-TÉLLEZ-Beatriz, CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita, PILATOWSKY-FIGUEROA, Isaac y RIVERA-GÓMEZ, Franco Wilfrido. Estudio experimental de desalación de agua de mar utilizando Energía Termosolar. Revista de Energías Renovables 2018. 2-7: 13-18.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: mcastill@uacam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El desabasto hídrico en el planeta y el consumo excesivo de energía son dos problemas que prioritarios para todos los gobiernos y comunidad científica en el mundo. El agua es un elemento insustituible para lograr el desarrollo social, económico y tecnológico. Su escasez es causa de millones de decesos y enfermedades, especialmente de personas en edades temprana, (UNESCO, 2015; water.org, 2018; WWAP, 2003) y por otro lado, el uso excesivo de energía han aumentado las emisiones de GEI, causa principal del cambio climático, representando una serie de amenazas graves para la seguridad humana de las poblaciones existentes y futuras, así como para la integridad y supervivencia de los ecosistemas (Arreguín Cortés, López Pérez, Rodríguez López, & Montero Martínez, 2015; Moss & Unesco., 2012).

Desgraciadamente, el abasto de agua y la producción de energía están fuertemente vinculados, el agua es necesaria para la refrigeración de plantas térmicas y nucleares, la producción de bioenergía o hidroeléctricas, así mismo, el bombeo, transporte y purificación de agua, tal como la desalación, requieren de altos consumos energéticos, (ONU, 2014).

Ante la escasez del agua dulce en el mundo, la desalación de agua, se ha tornado una técnica viable en muchos países desde hace más de 50 años (American Membrane Technology Association (AMTA), 2000; Fischetti, 2007; Youssef, Al-Dadah, & Mahmoud, 2014) y en la actualidad, se desalan alrededor de 44 Mm³ de agua al día, (IDA Desalination, 2017) pero es un proceso con un consumo intensivo de energía (Erlbeck et al., 2017), con un alto impacto ambiental (Guevara & Stabridis, 2008).

La desalación por congelación tiene la ventaja de ser el proceso más eficiente energéticamente hablando, pudiendo ahorrar hasta el 70%, respecto de las técnicas térmicas más utilizadas. (Ahmad & Williams, 2011; Mtombeni, T., Maree, J.P., Zvinowanda, C, 2013), además de otras ventajas, como la baja corrosión, no necesita pretratamientos y su alta tasa de separación. (Johnson, 1979; M.S. Rahman, M. Ahmed, 2007; Mandri et al., 2011).

La desalación por congelación es un proceso natural, dada insolubilidad de las sales en el agua en su forma sólida, de tal manera que durante el proceso de congelación, los iones salinos son expulsados hacia las zonas menos frías. La técnica produce hielo más puro controlando las velocidades de congelación, (congelación progresiva), de tal manera que se permita a los iones salinos “escapar” de la interfase, antes de ser “atrapados” en el hielo (Fujioka, Wang, Dodbiba, & Fujita, 2013). Este enfriamiento progresivo es muy compatible con los sistemas de refrigeración solar, los cuales no utilizan combustibles fósiles y en donde pueden lograrse temperaturas suficientes para congelar el agua de mar o salobre.

Existe un antecedente de una planta de desalación por congelación la cual fue instalada en Arabia Saudita. Consistía en 43,800 m² de colectores solares. Operaba con un ciclo de compresión de vapor con amoniaco, con absorción utilizando bromuro de litio para congelar. La capacidad del sistema era entre 48-178 m³/d con un consumo de energía de 108 kWh/m³ (Khoshaim, 1985), la planta cerró en 1989, dado el poco interés que se tenía entonces por el bajo consumo energético por los bajos costos de hidrocarburos y la menor preocupación de contaminación ambiental de los mismos.

El proceso de congelación de agua de mar puede llevarse a cabo por medio de diferentes tecnologías frigoríficas, utilizando ciclos mecánicos como la compresión de vapores, termomecánico como la eyecto-compresión y por sorción fisicoquímica, utilizando ciclos de absorción líquido-vapor, sólido-vapor (termoquímicos) y adsorción con equilibrios sólido-vapor, permitiendo gran variedad de arreglos con las energías renovables solares, en función del nivel de temperatura requerido, como biomasa, sólidos (madera, residuos agrícolas, etc.), gaseosos (biogás) o líquidos (biodiesel), utilizar los yacimientos geotérmicos y utilizar el calor residual de los flujos geotérmicos como vapor, salmueras, así como el calor contenido en los gases de combustión de escape, vapor de baja presión residual y efluentes térmicos de procesos industriales y finalmente la energía termosolar en sus diferentes tecnologías y niveles de temperatura en un dominio de entre 85 y 200°C, que son los requeridos para la operación de la mayor parte de sistemas de refrigeración termoquímica.

Entre estas tecnologías se encuentran los captadores solares de placa plana, (80 a 90 °C) tubos evacuados (75 y 150 °C) con y sin caloriductos (75 y 95 °C), concentradores parabólicos compuestos (75 y 120 °C) y concentradores de canal parabólica (200 y 300 °C) (Best & Ortega, 1999). En la mayoría de los casos las condiciones de operación dependerán de las propiedades del fluido refrigerante en su relación presión temperatura y en ciertos ciclos también de la concentración (sorci6n).

En las tecnologías anteriores es factible el nivel de congelaci6n, sin embargo en el caso del agua, el sistema tiene que operar a presiones muy reducidas para lograr su congelaci6n. La producci6n industrial de hielo se lleva a cabo en la mayoría de los casos utilizando amoniaco puro en ciclos de compresi6n de vapor, operando a presiones superiores a la presi6n ambiente, ya que su punto de ebullici6n a presi6n normal es de -33 °C, lo que lo hace id6neo para esta aplicaci6n. Muchos de los ciclos de refrigeraci6n t6rmica para la producci6n de hielo, basados en la sorci6n, utilizan al amoniaco como fluido refrigerante, el cual es absorbido en agua, en soluciones acuosas, en sales como el nitrato de litio, en halogenuros de alcalinos y alcalino t6rreos, como cloruros de calcio, estroncio, magnesio, bario, etc., o adsorbido en carbones activos, sίlica gel, zeolitas, etc. (Kim & Infante Ferreira, 2008; Wang & Oliveira, 2006).

En este trabajo, se muestran los resultados experimentales en dos sistemas de refrigeraci6n solar para la desalaci6n de agua de mar por el m6todo de congelaci6n progresiva.

Diseño Experimental

El estudio se llev6 a cabo en la plataforma solar del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Aut6noma de M6xico, localizado a 18°51' LN y 99°14' LO, con clima c6ldo seco, con promedio de 50% de humedad anual y temperaturas m6ximas promedio de 27° C y mίnimas promedio de 16 °C, irradiancia solar promedia de 950 W/m². Las pruebas se realizaron en Temixco, Morelos, con radiaci6n solar m6xima, en julio del 2017.

La experimentaci6n consiste en la preparaci6n sint6tica de agua salada, en la misma proporci6n que contiene el agua de mar (34.5 g/l) pero utilizando, en sustituci6n de las diferentes sales contenidas en agua de mar, cloruro de sodio para simplificar la operaci6n, pero conservar una gran aproximaci6n al comportamiento del agua marina, ya que el NaCl es la principal sal contenida (alrededor del 70%), adem6s de que sus valores de densidad, viscosidad din6mica y calor especίfico tienen valores similares a los del agua de mar, seg6n bibliografίa (Melinder & Ignatowicz, 2015) adem6s de que el equipo de medici6n utilizado muestra solamente las mediciones de dicha sal.

Posteriormente esta soluci6n salina es introducida, de acuerdo con las condiciones de operaci6n de cada sistema de refrigeraci6n solar ya instrumentado para dar seguimiento a las temperaturas y presiones necesarias durante el proceso.

Una vez concluido el proceso, se realizaron mediciones de salinidades de las secciones del hielo formado, asί como del peso de este. Uno de los equipos en los que se experiment6 es un prototipo de un sistema de refrigeraci6n solar termoquímico intermitente de una fase, con cloruro de Bario (como absorbente) y Amoniaco (como refrigerante), (BaCl₂, 8NH₃), con temperaturas de generaci6n entre 54 y 69 °C, donde se obtienen 6.65 L de amoniaco desorbido y llevado al reactor, para evaluar la operaci6n. (Martίnez-Tejeda et al., 2018).

El otro equipo es un sistema de refrigeraci6n solar intermitente que opera con (Nitrato de Litio, como absorbente y Amoniaco como refrigerante (NH₃-LiNO₃), capaz de producir hasta 8 kg de hielo/día. (Huicochea, Rivera, Martίnez, Siqueiros, & Cadenas, 2013).

Resultados

Como puede verse en la Figura 1, en los resultados obtenidos en el equipo de Cloruro de Bario-Amoniaco, las temperaturas mίnimas alcanzadas en el evaporador, lograron bajar la temperatura de la soluci6n salina hasta 1°C, durante un par de horas, por lo que no se logr6 la congelaci6n.

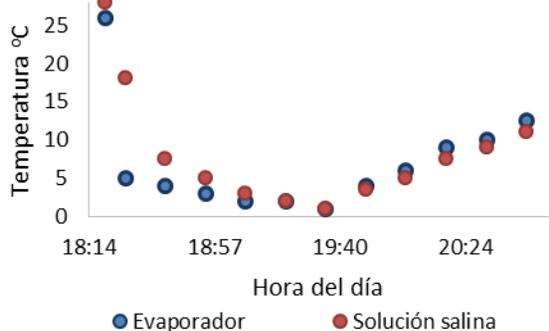


Figura 1 Temperaturas en el evaporador y de la solución salina en refrigerador solar con cloruro de Bario-Amoniaco
Fuente: Elaboración Propia

En los resultados obtenidos en el equipo con Nitrato de Litio-Amoniaco, mostrados en la figura 2 se observa que la temperatura alcanzada es menor a cero durante prácticamente seis horas.

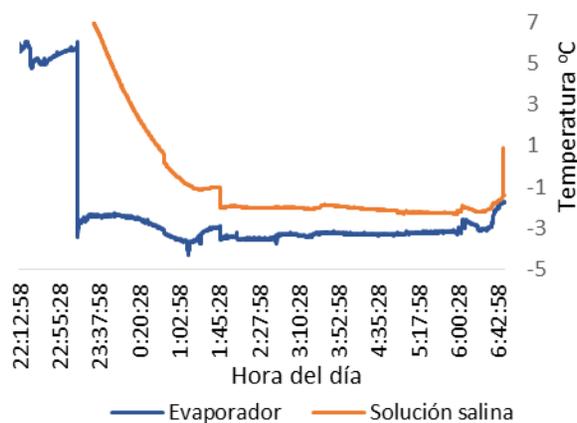


Figura 2 Temperaturas en el evaporador y de la solución salina en refrigerador solar con Nitrato de Litio-Amoniaco
Fuente: Elaboración Propia

Como puede observarse en la Figura 3 , el hielo generado en la cámara frigorífica, a pesar de las bajas temperaturas alcanzadas, no logró congelarse en su totalidad, ya que en el interior de los 16 émbolos que contiene el evaporador, se encontró solución líquida, con una gruesa capa que sí logró congelarse. El total de hielo generado fue aproximadamente un 30% del total introducido, (2.4 kg de solución).

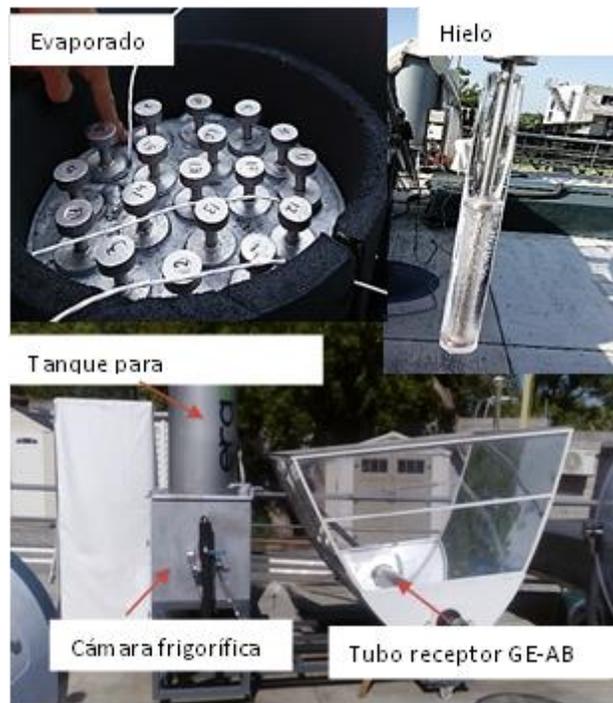


Figura 2 Equipo Nitrato de Litio-Amoniaco y muestra de hielo obtenido
Fuente: Elaboración Propia

El análisis de salinidad de las muestras se muestra en la Figura 4 . Podemos observar una migración salina hacia la parte líquida de hasta un 90% en la muestra 2.

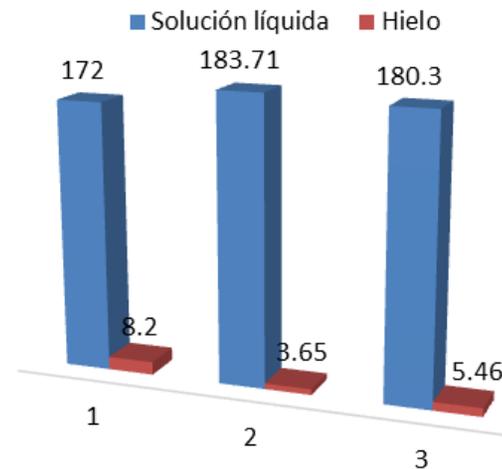


Figura 4 Análisis de salinidad en muestras
Fuente: Elaboración Propia

Discusión

Aun cuando la migración salina se logró en gran porcentaje, la potencia del refrigerador solar que utiliza el Nitrato de Litio-Amoniaco, con el que se obtuvieron mejores resultados, no fue suficiente para congelar 4 litros de solución salina con la concentración similar al agua de mar.

Una de las propiedades coligativas de la solución, es la disminución del punto de congelación al iniciar el proceso de migración salina de la porción que cambia de fase hacia la líquida, formando una salmuera cada vez más concentrada. Si bien, al inicio del proceso, el punto de congelación es de $-1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, éste baja al aumentar la concentración en la salmuera, de tal manera que, por ejemplo, para una salinidad de 40 gr/l , el punto de congelación llega hasta $-2.58\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fofonoff & Millard, 1983).

Conclusiones

Se ha probado un prototipo de desaladora por el método de congelación, utilizando refrigeración solar. Se logró desalar el agua de mar sintética preparada con hasta un 90% de migración salina, sin uso de energías convencionales, mediante un sistema de refrigeración solar intermitente que opera con (Nitrato de Litio, como absorbente y Amoníaco como refrigerante ($\text{NH}_3\text{-LiNO}_3$)).

La potencia del refrigerador solar logró congelar aproximadamente el 30% de la capacidad en volumen que tiene el evaporador, por lo que es necesario modificar las dimensiones del evaporador o bien, generar una mayor cantidad de amoníaco, para prolongar el experimento y lograr menores temperaturas.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo recibido por parte del IER-UNAM, a través del proyecto PAPIIT IG100716: Desalinización del agua de mar por congelación/fusión utilizando un sistema de enfriamiento solar con recuperación de energía y del CeMIE-Sol, fondo sectorial CONACYT-SENER-Sustentabilidad-Energética, Proyecto Estratégico 09: Desarrollo de sistemas de enfriamiento operados con energía solar.

Referencias

Ahmad, M., & Williams, P. (2011). Assessment of desalination technologies for high saline brine applications — Discussion Paper. *Desalination and Water Treatment*, 30(1–3), 22–36. <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.1374>

American Membrane Technology Association (AMTA). (2000). Future of Desalination in the United States. *Desalination*.

Arreguín Cortés, F. I., López Pérez, M., Rodríguez López, O., & Montero Martínez, M. J. (2015). Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México. Retrieved from <http://www.atl.org.mx/atlas-vulnerabilidad-hidrica-cc/>

Best, R., & Ortega, N. (1999). Solar refrigeration and cooling. *Renewable Energy*, 16(1–4), 685–690. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00252-3](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00252-3)

Erlbeck, L., Rädle, M., Nessel, R., Illner, F., Müller, W., Rudolph, K., ... Methner, F. J. (2017). Investigation of the depletion of ions through freeze desalination. *Desalination*, 407, 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.12.009>

Fischetti, M. (2007). Fresh from the sea. *Scientific American*, 297, 118–119. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0907-118>

Fofonoff, N. P., & Millard, R. . J. (1983). Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. *Unesco Technical Papers in Marine Science*.

Fujioka, R., Wang, L. P., Dodbiba, G., & Fujita, T. (2013). Application of progressive freeze-concentration for desalination. *Desalination*, 319, 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.04.005>

Guevara, A., & Stabridis, O. (2008). Desalación mediante el uso de energías renovables: Una reflexión desde la perspectiva económica. In R. Márquez (Ed.), *Biblioteca Jurídica Virtual del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM* (Primera, pp. 1–18). México, D.F.

Huicochea, A., Rivera, W., Martínez, H., Siqueiros, J., & Cadenas, E. (2013). Analysis of the behavior of an experimental absorption heat transformer for water purification for different mass flux rates in the generator. *Applied Thermal Engineering*, 52(1), 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.11.003>

- IDA Desalination. (2017). IDA Desalination Yearbook 2016-2017 (1st ed.). Oxford, UK: Media Analytics Ltd. Retrieved from <https://www.paperturn.com/flipbook/id/global-water-intelligence/ida-desalination-yearbook-2016-2017?pid=NzU7549#/7>
- Johnson, W. E. (1979). Indirect freezing. Desalination, 31(1–3), 417–425. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(00\)88545-8](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)88545-8)
- Khoshaim, B. H. (1985). 200 M3/Day Solar Sea Water Desalination Pilot Plant. Solar and Wind Technology, 2(3–4), 173–182. [https://doi.org/10.1016/0741-983X\(85\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0741-983X(85)90012-8)
- Kim, D. S., & Infante Ferreira, C. a. (2008). Solar refrigeration options - a state-of-the-art review. International Journal of Refrigeration, 31(1), 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2007.07.011>
- M.S. Rahman, M. Ahmed, X. D. C. (2007). Freezing-Melting Process in Liquid Food Concentration. In Handbook of Food Preservation (10th ed., pp. 667–690). New York, NY 10016: CRC Press.
- Mandri, Y., Rich, A., Mangin, D., Abderafi, S., Bebon, C., Semlali, N., ... Bouhaouss, A. (2011). Parametric study of the sweating step in the seawater desalination process by indirect freezing. Desalination, 269(1–3), 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.10.053>
- Martínez-Tejeda, F., Pilatowsky, I., Best, R., Meza-Cruz, O., Gómez, V. H., & Cadenas, E. (2018). Experimental barium chloride-ammonia cooling cycle study at low generation temperatures. Applied Thermal Engineering, 141(June), 751–761. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.06.020>
- Melinder, A., & Ignatowicz, M. (2015). Properties of seawater with ice slurry use in focus. International Journal of Refrigeration, 52, 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.12.022>
- Moss, J., & Unesco. (2012). Energy equity and environmental security. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization. Retrieved from <https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1HKQLnsLqNBY4oXBDDMI3btC9rVRCo6q1>
- Mtombeni, T., Maree, J.P., Zvinowanda, C, M. (2013). Evaluation of the performance of a new freeze desalination technology. Int. J. Environ. Sci. Technol. (2013), (10), 545–550. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0182-7>
- ONU. (2014). Eficiencia en el uso del agua y la energía. Conferencia Anual de ONU Agua En Zaragoza. Preparando El Día Mundial Del Agua 2014. Alianzas Para Mejorar El Acceso, La Eficiencia y La Sostenibilidad Del Agua y La Energía., (66), 1–7.
- UNESCO. (2015). Water for a sustainable world. The United Nations World Water Development Report 2015. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 122.
- Wang, R. Z., & Oliveira, R. G. (2006). Adsorption refrigeration-An efficient way to make good use of waste heat and solar energy. Progress in Energy and Combustion Science, 32(4), 424–458. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2006.01.002>
- water.org. (2018). Key Water + Sanitation Facts |. United States of America.
- WWAP. (2003). Agua para todos, agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Paris, France.
- Youssef, P. G., Al-Dadah, R. K., & Mahmoud, S. M. (2014). Comparative analysis of desalination technologies. Energy Procedia, 61, 2604–2607. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.258>

Diseño e implementación de un sistema de adquisición de voltaje para celdas de combustible basadas en nopal

Design and implementation of a voltage acquisition system for nopal-based fuel cells

MALDONADO-RUELAS, Victor Arturo^{1†*}, ORTIZ-MEDINA, Raúl Arturo¹, APOLLON, Wilgince² y SILOS-ESPINO, Héctor²

¹Universidad Politécnica de Aguascalientes

²Instituto Tecnológico el Llano Aguascalientes

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

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

ID 2^{do} Coautor: Wilgince, Apollon / ORC ID: 0000-0002-3790-3807, Researcher ID Thomson: H-9584-2018, CVU CONACYT ID: 878025

ID 3^{er} Coautor: Héctor, Silos-Espino / ORC ID: 0000-0002-4242-7593, CVU CONACYT ID: 121971

Recibido 10 de Septiembre, 2018; Aceptado 30 Noviembre, 2018

Resumen

Este trabajo presenta el diseño, construcción e implementación de una plataforma de investigación para la adquisición de señales de voltaje en celdas de combustible basadas en plantas endémicas de la región, específicamente el nopal. Para la caracterización e investigación de estas celdas, la medición del voltaje es fundamental para estudiar su comportamiento ante variables como la humedad, el tamaño de la planta, los nutrientes utilizados y las condiciones climatológicas. Las celdas presentan corrientes bajas (micro amperios), implicando un inconveniente para el cual se requiere una instrumentación adecuada, para garantizar que el voltaje medido en la celda sea el voltaje realmente generado. Las ventajas de la plataforma frente a los sistemas comerciales actuales son: la cantidad de canales para medición de voltajes simultáneos, el bajo costo, medición sin importar la polaridad de voltaje y comunicación con otras interfaces para monitorear los voltajes.

Celda de Combustible, Nopal, Adquisición de Voltaje

Abstract

This paper presents the design, construction and implementation of a research platform for acquisition of voltage signals in fuel cells based on endemic plants of the region, specifically the nopal. For the characterization and investigation of these cells, the measurement of the voltage is fundamental to study their behavior before variables such as humidity, the size of the plant, the nutrients used and the weather conditions. The cells present low currents (micro amperes), implying a drawback for which adequate instrumentation is required, to ensure that the measured voltage in the cell is the voltage actually generated. The advantages of the platform compared to commercial systems are: the number of channels for measuring simultaneous voltages, low cost, measurement regardless of voltage polarity and communication with other interfaces to monitor voltages.

Fuel Cell, Nopal, Voltage Acquisition

Citación: MALDONADO-RUELAS, Victor Arturo, ORTIZ-MEDINA, Raúl Arturo, APOLLON, Wilgince y SILOS-ESPINO, Héctor. Diseño e implementación de un sistema de adquisición de voltaje para celdas de combustible basadas en nopal. Revista de Energías Renovables. 2018. 2-7: 19-25.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: victor.maldonado@upa.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

1. Introducción

Las celdas de combustible (CMC) son una prometedora tecnología de producción en energía renovable. En trabajos como (Kamaraj et al, 2012 & Kamaraj et al, 2013) presentan este tipo de invenciones basadas en un sistema bioelectroquímico, que consisten en una de arcilla dividida en una terminal positiva (ánodo) y una terminal negativa (cátodo) colocado en la materia orgánica (rizosfera de nopal) que funciona como combustible oxidable.

La ventaja de este sistema es que utiliza plantas suculentas del semidesierto, las cuales se caracterizan por fijar el CO₂ por el día, que debido a la región absorben grandes cantidades de sol (más de 12 horas por día) y por la noche liberan el O₂ (ahorradoras de energía); además de utilizar muy poca agua para su subsistencia. Sin embargo, una de sus limitantes consiste en la baja potencia de salida, para mejorar la rentabilidad económica.

La importancia de contar con un buen sistema de adquisición, que permita adquirir de manera correcta los valores de voltajes entregados por cada CMC, se vuelve prioridad debido a la poca potencia que entrega cada celda (alrededor de 0.05 miliWatts), con corrientes muy pequeñas (aproximadas a los 50 microAmperes). Esto genera un sistema de muy alta impedancia, que no puede ser adquirido de manera directa por cualquier procesador digital de señales o microcontralor, sin antes realizar una instrumentación adecuada que garantice que los valores corresponden al valor entregado por cada celda.

Trabajos que presentan éste tipo de sistemas de adquisición de baja potencia, se utilizan en áreas para la adquisición de bioseñales (Dubey et al, 2014), utilizando filtros pasa bandas por medio de amplificadores operacionales de alto orden, para evitar cortes de ganancias en magnitud o cambios de fase en señales que varían en el tiempo. Sin embargo, éste trabajo no se aplica en algún sistema físico y las pruebas que se presentan son de laboratorio en condiciones ambientales controladas.

En trabajos como (Wu et al, 2018), se presenta un sistema de adquisición de 16 canales multiplexados (solo se puede monitorear un canal a la vez) para la adquisición de señales de baja potencia, por medio de sistemas digitales de alto costo como son convertidores digitales-analógicos (ADC) de alta resolución (mayor a 10 bits). Este tipo de trabajos, está enfocado en el área médica para el monitoreo de las señales de los pacientes por medio de un sistema de electrodos. Algunos de ellos son (Orguc et al, 2017; Schönle et al, 2017; Wang et al, 2016; Tohidi et al, 2016).

A diferencia de los sistemas de adquisición actuales comerciales o los que se presentan en el desarrollo de la introducción; éste sistema de adquisición diseñado tiene como ventajas:

- Un sistema de bajo costo, utilizando un sistema con amplificadores operacionales de precisión.
- Mayor monitoréo de canales (hasta 32 canales) simultaneos en paralelo.
- Adaptable a cualquier tipo de plataforma digital para el procesamiento de señales.
- Protecciones de sobre voltaje, así como de conexión de cualquier CMC sin importar la polaridad de la misma.
- Guardado de datos constantes para su procesamiento.

La distribución de éste trabajo sera, el diseño del sistema de adquisición en la siguiente sección. La tercera sección presentará el desarrollo físico e implementación del sistema de adquisición. La sección de resultados presentará los datos obtenidos del sistema. La sección de conclusiones abordará el análisis final del trabajo así como trabajo a futuro del mismo.

2. Diseño del Sistema de Adquisición

Partiendo de que la adquisición de voltajes de las celdas son de baja potencia con alta impedancia; se realiza un esquema que acople las impedancias de cada CMC con el sistema de adquisición, para ser leída sin problemas por algún sistema de plataforma digital, de tal forma que se garantice la información y no se pierda o distorcione al acoplar el sistema con la plataforma digital. La Figura 1, presenta un esquema general del sistema de adquisición que se divide en 6 etapas:

1. Acoplador de impedancia de entrada.
2. OFF-SET agregado para suprimir la polaridad de la señal de entrada.
3. Amplificador de ganancia regulable.
4. Limitador de voltaje de salida.
5. Filtro Pasa-Bajos para eliminar ruido de alta frecuencia.
6. Acoplador de impedancia de salida.

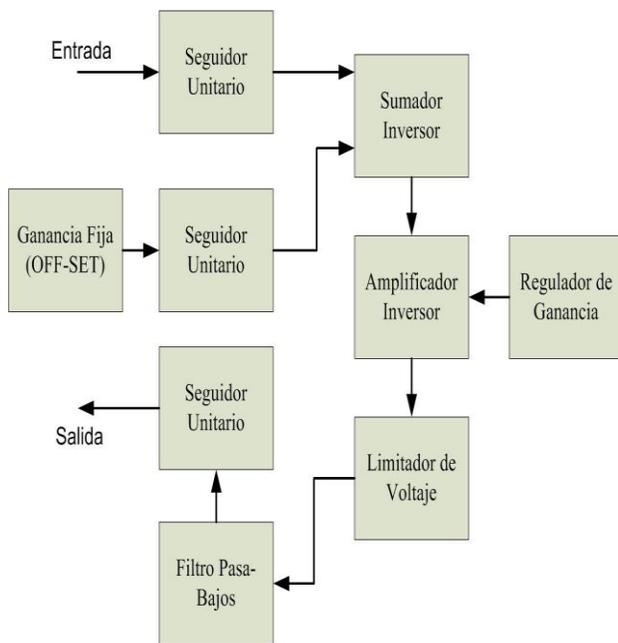


Figura 1 Esquema general del sistema de adquisición de voltaje

Fuente: *Elaboración Propia*

Las configuraciones utilizadas en el esquema general del sistema de adquisición, se referencian en libros de amplificadores operacionales (Franco, 2005; Coughlin & Driscoll, 2006; Aguilar & Vargas, 2018). Se selecciono los circuitos integrados LT1013 y LT1014 como amplificadores operacionales para cada etapa del diseño del sistema de adquisición ya que cuenta con las siguientes características:

- Amplificadores operacionales de precisión e instrumentación, de 2 y 4 amplificadores por integrado respectivamente.
- Rango de voltaje de entrada extendido con respecto a tierra.
- Ruido de voltaje bajo (menor a $1 \mu\text{Vp-p}$)

A diferencia de otros amplificadores de operacionales de precisión e instrumentación como los INA106, INA114 que tienen mayor rango de precisión pero el costo es más elevado (Hasta 5 veces más el precio de un LT1014). Aparte este tipo de amplificador se utiliza para señales del orden de mili o micro Volts.

La ventaja de este sistema es que los voltajes llegan incluso a los Volts por cada CMC, por lo cual los amplificadores seleccionados cumplen de manera correcta a un menor costo.

A.- Acoplador de impedancia de entrada

El voltaje generado por la CMC, se conecta a un seguidor unitario en su configuración no inversora, esto permite acoplar las impedancias que tiene cada celda con los amplificadores sin tener ninguna pérdida en la magnitud de la señal. Sin esta etapa, existirían caídas de tensión al acoplar con otros componentes pasivos como resistencias y capacitores, debido a la poca corriente que genera la propia celda.

B.- OFF-SET agregado para suprimir la polaridad de la señal de entrada

Esta etapa es independiente de la anterior, ya que se realiza un arreglo de resistencia por medio de un divisor de voltaje para tener una referencia fija de corriente directa a 2.5 V. Este valor se escogió de esta manera debido a la plataforma digital que se utiliza para la adquisición de la señal ya instrumentada, ya que su rango de operación es de 0 a 5 V.

Por tanto este valor de referencia corresponde a un valor de entrada al sistema de 0 V; de tal forma que si la celda se conecta de manera polarizada directamente el rango de valores estará de 2.5 a 5 V, y si la celda esta polarizada inversamente el rango de voltajes estará de 2.5 a 0 V. Con esto se garantiza que independientemente de como se conecte la celda, los valores de voltaje estarán dentro del rango permitido por el sistema de adquisición digital garantizando que no se dañe cuando se conecte con polarización inversa la celda.

Esta señal se sumará con el valor de entrada de la etapa anterior por medio de un sumador inversor. Se escoge esta configuración de sumador, ya que no se desea agregar ninguna ganancia a la señal, sino simplemente acoplar la señal de entrada con la señal del OFF-SET; sin embargo con la misma configuración se invertirá el signo de la señal de entrada. No se considera la configuración del sumador no-inversor ya que esta agrega una ganancia mayor a 1 en su función de transferencia.

C.- Amplificador de ganancia regulable

Esta etapa la realiza un amplificador inversor, el cual puede aumentar o disminuir el valor de la entrada dependiendo del valor que se establezca (potenciómetro de precisión de 1 vuelta). Al ser de configuración inversora, también cambiará el signo de la señal de entrada, sin embargo de la etapa anterior quedará con el signo original de la celda, ya que al invertirlo en dos de las etapas queda en condiciones normales.

D.- Limitador de voltaje de salida

Para garantizar que el voltaje de salida no sobrepase el voltaje de entrada en uno de los canales de entrada analógica de cualquier sistema digital, se utiliza una protección por medio de un diodo zener a 5V conectado en polarización inversa. Esto permite cortar el voltaje cuando existen sobre voltajes o voltajes por debajo de -0.7 V (valor de voltaje mínimo para polarizar directamente un diodo de silicio comercial)

E.- Filtro pasa-bajas para eliminar ruido de alta frecuencia.

Se construye un filtro de primer orden por medio de una resistencia y un capacitor, con una frecuencia de corte de 6 KHZ. Debido a la naturaleza del filtro, este empezará a cortar en magnitud 2 décadas anteriores a la frecuencia de corte, es decir a 60 Hz. Ya que el voltaje que se desea de la celda es de corriente continua, cualquier ruido asociado sobre la señal mayor a 60Hz se reducirá, evitando de esta forma generar un rizo de voltaje que llegue a cambiar el valor de salida asociado a lo generado por la celda. Debido al rango de tiempo para tomar una muestra de la CMC, no es necesario tener un filtro de mayor orden, lo cual elevaría el costo del sistema y el tamaño del diseño.

F.- Acoplador de impedancia de salida

Después de todo el tratamiento de la señal por cada celda, es necesario volver acoplar las impedancias del sistema de adquisición con la plataforma digital que se utilizará para guardar los datos. Esta etapa al igual que la etapa inicial es necesaria para garantizar que no existan pérdidas de tensión por la baja corriente que entrega cada celda al conectar directamente en alguno de los canales de entrada ADC de la plataforma digital utilizada.

El sistema de adquisición de voltaje, permite adaptarse sin cambiar su configuración física con cualquier CMC, debido a su ganancia externa que permite calibrar adecuadamente.

3. Implementación física del sistema de adquisición de voltaje

En la sección anterior se presentó el diseño del sistema de adquisición de voltaje, para validar que las etapas seleccionadas cumplen con lo deseado, se simula con el software PROTEUS, ya que este programa permite realizar pruebas de simulación con valores muy reales debido a que se utilizan los mismos componentes que se tienen de manera física y no con componentes ideales, así como también permite realizar el diseño electrónico para realizarlo en físico por medio de una tablilla fenólica. La Figura 2, presenta lo anterior mencionado para 4 canales.

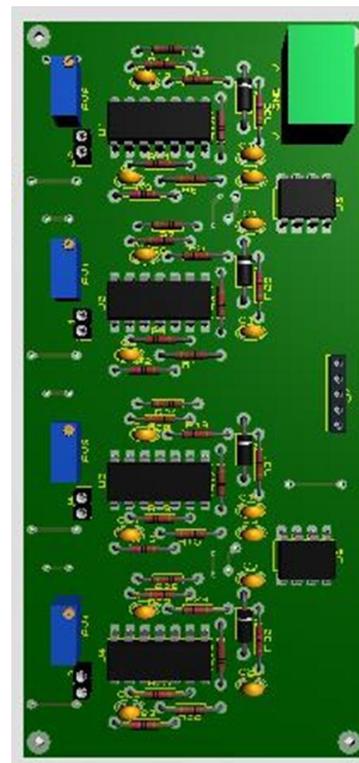


Figura 2 Diseño de tarjeta de adquisición de voltaje en Proteus

Fuente: *Elaboración Propia*

Para el diseño electrónico se tomaron en cuenta consideraciones para que el mismo diseño ayude a la adquisición de los voltajes de manera más confiable, entre las cuales están:

- Plano de tierra que permite eliminar ruidos dispersos que genere rizados de voltaje.

- Capacitores de desacoplo en cada circuito integrado entre los voltajes de alimentación y la tierra.
- Elementos pasivos con tolerancia de 1% (precisión) para garantizar que los valores por cada canal sean lo más similar posibles.

La Figura 3, presenta el sistema físico para 16 canales en paralelo para CMC. La interfaz digital que se utiliza para la adquisición digital de los datos instrumentados es el ATMEGA256 de Arduino, ya que es una plataforma sencilla de utilizar, pero se utiliza principalmente por la cantidad de puertos análogos que tiene, ya que algunas plataformas digitales de señales que tienen mejor procesador tienen pocos puertos análogos en sus versiones comerciales.

Ya que los tiempos de adquisición de muestras por cada celda son alrededor de los 30 segundos, por tanto no es necesario tener un procesador muy elevado, ya que tampoco se utilizan operaciones complejas dentro del software.



Figura 3 Sistema de adquisición de 16 canales
Fuente: Imagen Propia

Los tiempos de adquisición se toman en cuenta debido a que se requiere monitorear por semanas el sistema de las celdas, y la cantidad de datos sería considerable si se grabaran con mayor frecuencia. Los datos con el tiempo establecido por día son de 2880 por cada celda, estos datos están disponibles a cualquier tiempo.

La Figura 4, presenta la implementación física en el Instituto Tecnológico del Llano Aguascalientes, donde se tiene operando el sistema de adquisición de voltaje.



Figura 4 Sistema implementado en el Tenológico del Llano Aguascalientes
Fuente: Imagen Propia

4. Resultados

Inicialmente se presenta los resultados que genera la CMC por si sola, de esta manera se tiene una referencia de medición junto con la conexión para alimentar un termómetro digital que funciona como una carga para la celda y de esa forma medir su voltaje y corriente.

Los valores del voltaje con respecto a la densidad de corriente que se genera en una de las celdas se presentan en la Figura 5.

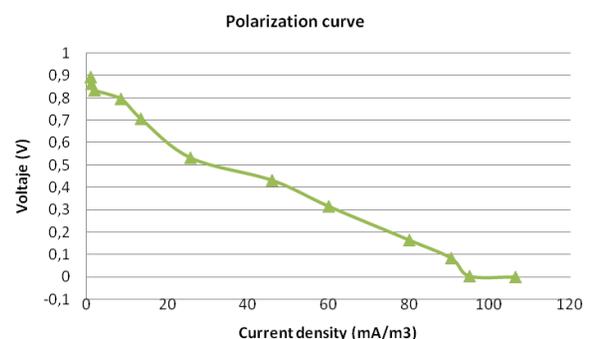


Figura 5 Curva de polarización de una CMC con base de plantas semidesérticas,
Fuente: Elaboración Propia

Los valores de la potencia con respecto a la densidad de corriente que se genera en una de las celdas se presentan en la Figura 6.

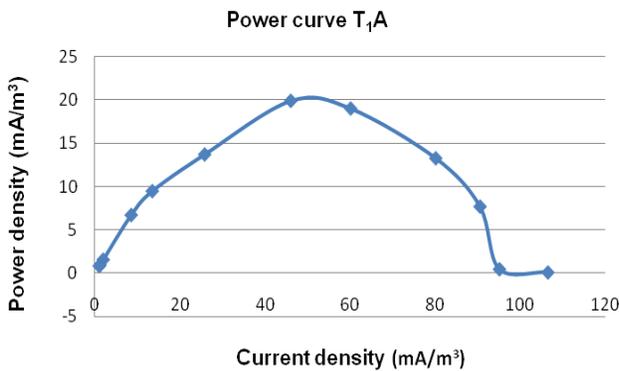


Figura 6 Curva de potencia de una CMC con base de plantas semidesérticas

Fuente: *Elaboración Propia*

Con el experimento de la curva de polarización y la curva de potencia, la celda alcanza una densidad de potencia máxima de 9.41 mW con una densidad de corriente de 100.1 mA cuando se tiene un voltaje de 0.094 V. Con conexiones en paralelo y serie entre celdas se pueden conectar cargas que requieran mayor potencia, como relojes digitales led.

El programa que se utiliza para adquisición de los datos por cada celda, monitorea en línea los valores de las 32 celdas (16 por cada programa y sistema de adquisición), al mismo tiempo permite realizar ajustes por software de ganancias (no sólo por hardware) y ajustar el tiempo de tomas de las muestras de voltajes para cada celda.

Al mismo tiempo permite estar guardando los datos de manera automática y re-escribe los valores que se van actualizando, generando un archivo .txt con la información propiamente acomodada.

La Tabla 1, presenta la información de los primeros 8 canales de un sistema de adquisición de voltajes. Esta prueba que se presenta fue la calibración de 16 celdas conectadas en simultáneo para 20 muestras en un tiempo de 10 minutos de prueba.

Muestra	Voltajes por celdas (V)							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7
1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.7
2	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7
3	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
4	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
5	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
6	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7
10	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8
11	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8
12	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8
13	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8
14	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8
15	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8
16	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8
17	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8
18	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8
19	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8
20	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8

Tabla 1 Datos adquiridos de los primeros 8 canales

Fuente: *Elaboración Propia*

5. Conclusiones

El sistema de adquisición de voltaje para CMC permite obtener los valores de datos que ayudan a saber el comportamiento de las celdas en tiempos prolongados. Esto permite seguir la investigación en esta línea de generación de energías limpias.

El sistema de adquisición de voltaje es una buena opción por su bajo costo y cantidad de canales en paralelo para monitorear sistemas, así como para guardar la información. Como trabajo a futuro se instrumentará la adquisición de corriente y poder generar curvas de polarización de voltaje y la curva de potencia de cada celda.

6. Referencias

Coughlin R. (2006), Amplificadores operacionales y circuitos integrados, PHH.

Dubey R., Kumar A., Pattanaik M. (2014), “Design of low noise low power biopotential tunable amplifier using voltaje controlled pseudo-resistor for biosignal acquisition applications”. 5th International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT), 1-5.

Franco S. (2005), Diseño con amplificadores operacionales y circuitos analógicos, MCGRAW-HILL.

Kamaraj S-K., Solorza O., Vázquez G., Luna J., Poggi H. (2012), "Electrical Stress-Directed Evolution of Biocatalysts Community Sampled from a Sodic-Saline Soil for Microbial Fuel Cells". *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*, 15, 181-186.

Kamaraj S-K., Solorza O., Tapia J., Rinderknecht S., Poggi H. (2013), "Electrochemical and Chemical Enrichment Methods of a Sodic-Saline Inoculum for Microbial Fuel Cells". *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(28), 12600-12609.

Orguc S., Khurana H., Lee H., Chandrakasan A. (2017), "0.3V Ultra-low power sensor Interface for EMG". *IEEE European Solid state Circuits Conference*.

Schönle P., Rovere G., Glaser F., Brun N., Han X., Burger T., Fateh S. (2017), "A multi-sensor and parallel processing SoC for wearable and implantable telemetry system". *IEEE European Solid state Circuits Conference*. 215-218.

Tohidi M., Madsen J., Heck M., Moradi F. (2016), "A low-power analog front-end neural acquisition design for seizure detection". *International Conference on very large scale integration*. 1-6.

Wu C., Liao C., Lee D., Cheng Y., Huang C., Chen J., Hu K., Hsu K. (2018) "An FPGA-Based Quench Detector and Data Acquisition System for Superconducting Insertion Devices". *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 28(3).

Wang K., Qin W., Wang Y., Yi T., Hong Z. (2016) "A 5KS/s 112nW SAR ADC for portable Bio-potential acquisition system". *IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology*, 719-721.

Vargas C. y Aguilar A. (2018), *El amplificador operacional, sus aplicaciones y análisis*, Editorial Digital.

Implementación metodológica para la determinación del potencial energético de un sistema fotovoltaico interconectado mediante el monitoreo de perfiles de generación eléctrica basado en series de tiempo

Methodological implementation for the determination of the energy potential of the interconnected photovoltaic system through the monitoring of electricity generation profiles based on time series

VENEGAS-TRUJILLO, Tiberio†*, ÁNGEL-GONZÁLEZ, Juan Carlos, CONTRERAS-AGUILAR Luis Alberto y CONCHA-SÁNCHEZ, Antonio

Universidad de Colima, campus Coquimatlán, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Km 9 carretera Colima-Coquimatlán, Coquimatlán, Colima, México, C.P. 28400, Tel. 01 (312)316 11 65, Ext. 51451, Ext. Fax 51454.

ID 1^{er} Autor: Tiberio, Venegas-Trujillo / ORC ID: 0000-0001-5212-453X, Researcher ID Thomson: U-8519-2018, arXiv Author ID: 2451039, CVU CONACYT ID: 175554

ID 1^{er} Coautor: Juan Carlos, Ángel-González / ORC ID: 0000-0001-8614-8433, Researcher ID Thomson: U-8570-2018, arXiv Author ID: 2452039

ID 2^{do} Coautor: Luis Alberto, Contreras-Aguilar / ORC ID: 0000-0001-9521-4172, Researcher ID Thomson: U-8528-2018, Open ID: 105859140261217906832, CVU CONACYT ID: 44887

ID 3^{er} Coautor: Antonio, Concha-Sánchez / ORC ID: 0000-0001-9005-3584, Researcher ID Thomson: U-8557-2018, arXiv Author ID: Antonio07, CVU CONACYT ID: 230004

Recibido 10 de Octubre, 2018; Aceptado 15 Diciembre, 2018

Resumen

En este artículo son caracterizados los perfiles de generación de energía eléctrica de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica. Mediante el empleo de una metodología propuesta, los registros históricos en periodos de cada 5 minutos, son analizados con el fin de identificar parámetros relevantes tales como, potencia máxima de generación, energía producida, tiempo de inicio y término del ciclo de generación, cantidad de nubes que pasan sobre el sistema fotovoltaico y el tiempo de duración del efecto que tienen las nubes. A partir de los parámetros determinados, se lleva a cabo una agrupación de los perfiles mediante la técnica de k-medias. También es presentado un análisis comparativo de los perfiles de generación fotovoltaica de manera histórica con el fin de evaluar el potencial que tienen los sistemas fotovoltaicos a partir de registros de generación en sistemas de pequeña escala.

Perfiles de Generación, Sistema Fotovoltaico, Energía Eléctrica

Abstract

In this article, the profiles of electric power generation of a photovoltaic system interconnected to the electric grid are characterized. Using a proposed methodology, the historical records in periods of every 5 minutes are analyzed in order to identify relevant parameters such as, maximum power generation, energy produced, time of beginning and end of the generation cycle, quantity of clouds that pass over the photovoltaic system and the duration of the effect that the clouds have. From the determined parameters, a grouping of the profiles is carried out using the k-means technique in order to evaluate the impact of this technology promises. A comparative analysis of photovoltaic generation profiles in a historical manner is also presented in order to evaluate the potential of photovoltaic systems from generation records in small-scale systems.

Generation Profiles, Photovoltaic System, Electric Energy

Citación: VENEGAS-TRUJILLO, Tiberio, ÁNGEL-GONZÁLEZ, Juan Carlos, CONTRERAS-AGUILAR Luis Alberto y CONCHA-SÁNCHEZ, Antonio. Implementación metodológica para la determinación del potencial energético de un sistema fotovoltaico interconectado mediante el monitoreo de perfiles de generación eléctrica basado en series de tiempo. Revista de Energías Renovables. 2018. 2-7: 26-34.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: tvenegas@uclm)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

1. Introducción

Las fuentes renovables pueden aprovecharse para la producción de energía eléctrica mediante el incremento del empleo de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica. En este tenor, México ha fijado metas a corto y mediano plazo para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Se pretende la participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25% para el año 2018, 30% para el año 2021 y 35% para el año 2024. Con las reformas implementadas en el sector energético se han comenzado a visualizar resultados en la diversificación de fuentes de generación.

En 2016, el 20.31% de la energía eléctrica fue generada con fuentes limpias. Las tecnologías que mostraron mayor crecimiento fueron la eólica, la fotovoltaica y cogeneración eficiente. Con respecto a la energía fotovoltaica, esta tuvo una evolución importante en capacidad instalada, al pasar de 170 MW en 2015 a 389 MW en 2016, lo que representa una adición de 128% a la capacidad existente. Mientras que el crecimiento en generación fotovoltaica paso de 190.26 GWh en 2015 a 214.79 GWh, lo que representa un incremento de 12.89% (Reporte SENER 2016).

Además, la adición de capacidad fotovoltaica instalada ha sido en pequeña y mediana escala para usuarios residenciales y comerciales con servicios en media y baja tensión. No obstante, la generación fotovoltaica presenta importantes retos en sistemas de gran escala al ser interconectados a la red eléctrica, razón por la cual operan bajo esquemas aislados de la red eléctrica, ofreciendo energía en comunidades lejanas donde no se cuenta con el servicio de energía eléctrica.

La búsqueda de soluciones técnicas y operativas de los sistemas fotovoltaicos con la red eléctrica brinda la oportunidad de buscar soluciones que permitan su incorporación al despacho de energía del sistema eléctrico nacional. Por lo que impulsar estudios que caractericen el desempeño de los sistemas fotovoltaicos podría contribuir a una pronta incorporación que esta tecnología promete.

Diversos factores meteorológicos tales como nubosidad, hora del día, radiación solar, temperatura entre otros, provocan que la potencia generada por estos sistemas fluctue a lo largo del tiempo efectivo de generación (Shi, et al 2011, Chicco, et al 2014).

Con la incorporación de técnicas de monitoreo a través de esquemas de comunicación y almacenamiento vía internet, los registros del comportamiento respecto a la generación de energía eléctrica han dado lugar a una gran cantidad de datos históricos de sistemas fotovoltaicos. Estos datos generalmente representan mediciones secuenciales en el tiempo. Con el empleo de la minería de datos en series de tiempo, los registros de perfiles de generación fotovoltaica se convierten en una oportunidad para extraer la mayor cantidad de información significativa (Esling y Agon, 2012).

El manejo de la información registrada como perfiles de generación fotovoltaica requiere un análisis exhaustivo que permita extraer parámetros que representen el comportamiento de dichos sistemas. En este artículo se propone una metodología para identificar la cantidad de nubes, la energía producida, la potencia máxima alcanzada durante el tiempo de operación, así como la duración de las nubes presentes. Mediante el desarrollo de un programa computacional en Matlab®, se han analizado perfiles de generación con intervalos de monitoreo de 5 minutos. El método de agrupamiento k-medias ha sido usado con el fin de administrar en grupos los perfiles de generación a partir de un criterio específico (Hartigan y Wong, 1979). También, cuatro tipos de día han sido propuestos para cuantificar el potencial de los sistemas fotovoltaicos.

2. Monitoreo y registro de parámetros eléctricos

La posibilidad de contar con registros de parámetros de generación de energía en los sistemas fotovoltaicos se ha vuelto una realidad con el desarrollo de aplicaciones computacionales. Dicho avance se debe en gran medida al incremento de la conectividad en internet de dispositivos móviles y de cómputo.

Las compañías dedicadas al desarrollo de tecnología para el aprovechamiento de fuentes renovables, han puesto al servicio de sus clientes plataformas computacionales que ofrecen mantener la conectividad de los sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica y al mismo tiempo al internet con el fin de proveer de información técnica y climatológica del sistema fotovoltaico instalado (LAERFTE (2012), LAERFTE (2012)). Además, se adicionan características de potencia, energía, temperatura ambiente, registro histórico en intervalos de tiempo relativamente cortos, así como la visualización en periodos de tiempo específicos y aquellos determinados por el usuario. Se cuenta también con la opción almacenamiento de parámetros registrados en el tiempo con la posibilidad de descargarse en un formato que puede ser leído por la mayoría de los paquetes computacionales del mercado.

Estas herramientas facilitan los esquemas de monitoreo de parámetros y por ende el desempeño de los sistemas fotovoltaicos. Por lo tanto, se obtiene una gran cantidad de información que puede ser usada para diversos estudios en ingeniería (Aldo et al, 2014, Venegas at al, 2016). El sistema fotovoltaico considerado en el análisis de este artículo de investigación considera la plataforma enphase®, cuyo principio de operación se basa en el empleo de microinversores de pequeña potencia, los cuales son instaladas por cada módulo fotovoltaico, teniéndose por lo tanto la conversión de CD/CA en pequeña escala incrementándose con ello la eficiencia operativa (Enphase, 2018).

Las características de diseño de los microinversores, permiten el monitoreo de parámetros eléctricos tanto en CD como en CA, siendo la potencia y energía preponderantes en la generación de reportes históricos y en tiempo real. Estos parámetros son enviados a través del cable principal de energía del sistema fotovoltaicos y recogidos mediante la estación central de monitoreo llamada envoy. La información recibida es entonces enviada a un servidor central conectado a internet, donde mediante el acceso a la plataforma enphase®, se pueden visualizar las condiciones reales operativas del sistema fotovoltaico. La figura 1 muestra el esquema general de interconexión de los componentes del sistema fotovoltaico empleado en el estudio presentado.

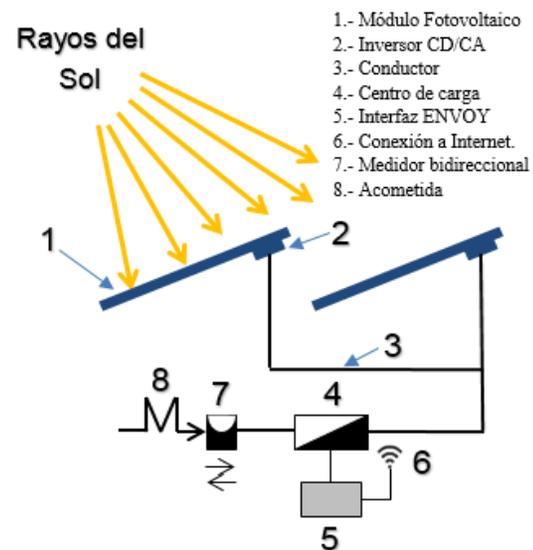


Figura 1 Representación del esquema de un sistema fotovoltaico interconectado

Fuente: *Elaboración Propia*

La capacidad del sistema fotovoltaico estudiado en este artículo es de 2 kWp. Se encuentra conformado por 8 Microinversores Enphase M215, L1741/IEEE1547, FCC Part 15 Class B, 8 Módulos fotovoltaicos Monocristalinos Solartec S60MC 250 W, Equipo de monitoreo Envoy R-NA. No. Serie: 121343014413, Latitud: 19°16'36.11"N y Longitud: 103°42'35.20"O.

3. Parámetros registrados de potencia y energía

A. Potencia eléctrica

Los perfiles de potencia eléctrica del sistema fotovoltaico fueron registrados en intervalos de tiempo de cinco minutos. El periodo de tiempo analizado en este artículo comprende del 1/08/2014 al 16/07/2018, un total de 1429 días registrados a partir de la puesta en operación. Los perfiles de potencia eléctrica para el año 2015, son mostrados en la figura 2.

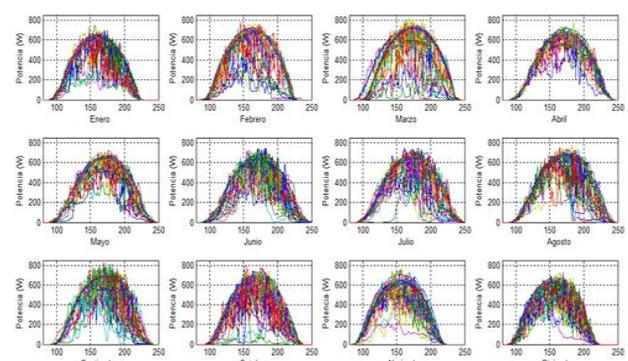


Figura 2 Perfiles de generación mensuales para 2015

Fuente: *Elaboración Propia*

B. Energía producida

La energía eléctrica producida registrada cada día por la interfase del sistema fotovoltaico se muestra en las tablas 1 a 5.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1								10.78	6.64	6.56	9.88	9.58
2								9.78	5.18	5.98	9.52	8.91
3								11.04	4.47	8.59	9.63	9.18
4								8.56	8.86	7.39	8.31	9.08
5								9.42	9.23	10.82	0.66	8.89
6								9.46	10.28	8.10	10.03	8.31
7								10.40	9.96	7.89	10.03	8.87
8								9.92	9.15	9.41	9.25	8.70
9								8.62	6.46	9.65	8.62	7.95
10								11.44	7.32	7.83	3.60	5.96
11								8.08	8.89	8.47	3.23	3.85
12								7.59	7.54	8.70	6.19	6.52
13								6.81	2.95	9.94	10.19	6.65
14								7.65	3.98	10.25	9.32	8.69
15								10.81	9.91	8.05	9.63	8.72
16								5.99	7.65	9.48	9.73	9.12
17								10.57	6.33	8.62	10.17	9.17
18								10.52	5.39	10.01	7.71	9.20
19								8.21	8.92	6.35	6.84	9.14
20								9.44	10.11	5.49	5.98	9.20
21								9.17	10.59	8.26	8.38	7.68
22								8.53	9.91	4.41	8.76	6.52
23								6.44	7.65	9.16	9.69	6.45
24								8.51	6.33	9.49	5.42	8.17
25								9.41	5.39	9.51	8.42	5.65
26								9.56	8.92	10.14	9.85	7.95
27								10.03	10.11	10.06	8.46	7.10
28								9.16	10.59	9.02	7.66	7.40
29								5.28	5.77	9.01	7.99	9.37
30								9.48	7.43	9.98	9.52	9.33
31								6.84		10.51		9.31

Tabla 1 Energía producida a partir de agosto 2014

Fuente: Elaboración Propia

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	9.04	3.93	10.23	11.65	10.86	9.74	10.17	9.84	9.22	7.77	10.19	8.49
2	8.33	4.19	10.03	11.19	9.28	9.78	9.79	7.28	9.68	10.22	7.52	7.63
3	7.31	6.71	10.92	7.94	9.23	8.63	7.87	9.09	7.57	7.67	8.37	7.98
4	4.04	9.89	9.53	10.18	9.89	8.37	7.71	8.28	4.86	3.37	9.87	2.02
5	4.47	7.88	9.77	10.63	10.57	5.46	10.71	9.05	9.15	9.78	8.89	8.60
6	9.06	9.38	10.50	10.99	10.57	10.81	6.57	8.32	6.84	8.84	7.24	8.97
7	8.98	10.34	10.02	10.28	10.11	10.76	5.37	8.05	7.24	8.93	7.91	8.01
8	6.88	10.26	10.63	11.07	10.03	9.77	6.51	8.11	8.19	9.27	8.18	6.20
9	8.37	9.95	7.35	11.00	8.88	7.03	8.88	10.71	9.63	9.64	8.97	4.36
10	9.29	8.89	5.50	10.70	9.35	8.93	9.74	9.38	9.90	8.17	8.53	7.36
11	9.15	9.44	6.28	10.55	9.38	7.30	5.69	10.04	10.28	9.83	8.61	5.25
12	9.17	9.38	11.95	10.27	9.43	6.23	6.42	9.45	10.38	8.86	8.40	3.97
13	5.89	3.67	11.27	9.89	8.89	7.55	4.55	7.15	9.95	8.48	8.22	6.49
14	7.68	3.82	2.91	11.10	9.11	7.57	7.00	10.13	9.33	7.83	9.24	9.82
15	9.46	3.08	2.79	11.12	8.03	5.65	6.21	9.64	7.13	8.42	9.03	9.34
16	9.54	5.75	1.23	11.10	9.62	7.38	9.59	6.84	8.02	8.72	7.21	9.48
17	9.02	9.24	5.16	10.87	9.41	6.14	9.95	5.74	10.54	9.62	6.00	9.37
18	8.60	11.11	10.70	10.87	8.62	9.45	11.12	9.62	9.88	9.20	8.54	8.24
19	8.87	10.95	11.66	10.97	9.00	6.57	5.92	11.05	7.23	8.15	7.06	8.97
20	7.73	10.76	8.72	11.14	9.42	4.76	8.63	11.01	9.17	9.95	7.46	7.30
21	8.73	10.82	11.39	10.97	9.07	9.90	9.24	11.06	10.09	8.85	8.24	7.17
22	9.06	9.76	11.63	10.69	7.75	8.74	8.11	5.75	10.42	4.40	8.33	6.67
23	9.41	10.17	10.17	10.30	8.72	7.56	9.07	8.17	10.07	0.59	8.25	8.45
24	8.09	10.63	11.75	9.63	9.25	10.08	8.82	10.65	10.05	6.34	7.98	8.96
25	4.11	11.02	10.28	10.43	9.27	7.25	10.11	10.57	6.02	9.12	5.75	8.78
26	5.87	11.26	11.76	10.00	10.04	10.20	8.29	8.83	7.57	6.41	2.74	8.86
27	9.04	11.32	10.41	9.14	8.73	9.05	10.68	9.49	8.37	8.79	3.33	7.79
28	8.88	11.47	11.89	8.99	7.77	5.73	8.14	10.59	8.32	7.24	8.86	8.06
29	8.42		11.65	6.42	5.38	8.38	10.61	9.22	8.57	7.54	9.05	5.75
30	6.34		11.21	10.73	5.51	9.48	5.92	8.58	9.22	2.50	7.79	8.12
31	7.27		11.05		7.42		10.34	8.36		5.57		6.81

Tabla 2 Energía producida en 2015.

Fuente: Elaboración Propia

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	8.80	8.65	9.98	11.53	10.63	9.90	10.07	7.99	8.35	7.51	9.92	8.85
2	8.73	8.90	9.56	11.18	10.29	9.96	9.16	9.21	9.20	7.78	9.55	4.04
3	9.11	10.05	9.73	10.63	10.27	10.22	7.59	9.79	9.29	8.51	9.00	5.66
4	5.97	10.01	10.11	9.37	9.97	9.65	8.48	10.77	6.45	8.38	9.16	6.15
5	9.41	9.72	9.75	10.23	9.59	9.10	9.47	9.41	2.92	8.96	9.24	9.50
6	8.37	9.33	9.92	8.40	8.94	7.98	9.29	4.52	11.04	8.87	9.02	9.88
7	9.28	8.32	10.40	10.21	9.68	10.10	10.06	5.81	9.58	6.54	9.23	9.57
8	9.67	8.76	5.72	10.74	8.58	10.14	9.33	8.31	8.26	8.71	7.86	9.47
9	6.80	5.42	7.24	9.91	8.87	10.15	8.83	9.92	9.44	10.00	6.87	9.41
10	9.82	8.48	12.29	10.05	8.87	10.00	7.97	8.22	9.51	10.38	4.67	7.97
11	9.36	9.28	12.08	10.00	8.97	10.02	7.13	8.35	9.76	10.56	3.48	7.86
12	7.50	9.46	11.25	11.05	8.48	5.88	5.74	9.63	9.46	9.89	1.50	8.64
13	4.38	8.82	10.93	11.11	9.90	7.87	10.74	10.70	10.85	7.48	1.89	8.81
14	10.41	8.34	10.83	9.91	8.60	5.68	7.94	8.08	7.74	10.08	7.33	8.72
15	10.40	9.52	9.57	10.34	8.98	7.59	8.06	8.51	9.24	8.68	9.92	8.38
16	7.45	9.40	10.56	8.66	8.06	10.02	6.21	9.54	6.32	10.37	8.48	8.23
17	10.31	8.90	7.52	9.72	10.35	10.96	9.03	6.00	8.65	10.47	9.81	8.42
18	10.33	9.67	9.94	10.32	10.79	9.61	10.03	7.71	7.83	10.51	9.72	7.01
19	10.00	9.24	11.24	8.50	10.69	10.08	8.60	9.87	10.30	9.44	9.72	8.60
20	9.55	8.11	7.80	8.84	10.77	9.81	7.56	10.26	7.62	6.78	9.88	8.17
21	10.24	8.81	8.21	9.13	10.53	4.27	6.69	8.56	7.20	2.57	9.29	8.54
22	9.85	8.41	10.05	7.21	10.21	10.59	6.63	8.27	7.23	9.04	9.27	8.50
23	9.29	9.77	8.61	8.72	9.76	9.61	7.96	8.26	8.18	8.31	7.96	8.51
24	7.37	9.24	11.25	10.11	10.48	9.74	9.03	8.57	10.74	9.81	9.06	8.51
25	7.61	9.06	10.92	8.05	10.20	10.23	9.52	10.20	9.33	7.51	8.92	8.73
26	9.90	9.11	9.29	8.93	9.07	8.01	9.08	8.75	10.09	9.42	8.89	8.81
27	9.14	3.59	10.75	9.28	10.16	6.22	9.67	9.39	7.04	10.41	9.09	8.72
28	7.63	10.19	10.80	9.98	9.12	7.85	9.93	7.76	8.15	10.33	8.67	8.18
29	7.23	10.38	11.21	9.45	9.40	7.94	4.92	9.32	9.61	10.12	8.57	7.75
30	7.80		11.50	8.46	9.84	10.19	9.79	7.81	8.08	10.28	8.96	8.34
31	8.45		11.32		9.93		7.42	11.03		10.05		8.33

Tabla 3 Energía producida en 2016

Fuente: Elaboración Propia

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	8.68	9.12	9.93	11.50	10.62	9.89	10.09	7.69	8.01	5.42	8.60	8.31
2	8.83	9.28	9.52	11.24	10.28	9.96	9.16	8.28	6.41	9.62	9.45	7.98
3	8.63	9.25	9.92	9.90	10.27	10.23	8.42	9.17	7.62	8.95	8.98	8.28
4	8.57	8.74	10.10	10.86	9.96	9.64	8.61	9.28	6.67	6.28	7.26	8.30
5	8.72	8.24	9.75	10.25	9.61	8.44	9.60	8.10	3.95	10.33	8.51	8.06
6	8.85	9.05	9.39	8.48	9.03	8.13	9.31	8.65	7.19	8.31	9.29	7.82
7	8.54	8.74	9.03	10.28	9.67	10.11	10.07	8.30	10.42	8.27	8.29	8.16
8	8.09	8.62	8.95	10.75	8.63	10.12	9.32	8.58	9.98	7.51	9.04	8.69
9	8.78	9.03	9.20	6.76	8.55	10.15	8.81	8.93	9.09	10.11	8.52	7.43
10	8.48	8.74	12.29	9.90	8.61	9.89	6.96	5.74	10.06	8.01	8.12	7.48
11	8.50	8.92	12.08	9.27	8.89	10.03	6.26	7.66	8.20	8.05	8.81	6.14
12	8.75	8.81	9.23	11.10	8.75	5.95	5.75	8.94	9.97	10.51	9.09	8.46
13	8.77	9.24	9.39	11.09	8.52	7.94	10.77	9.03	8.61	9.29	9.06	7.62
14	6.62	9.50	9.03	9.66	8.60	5.70	8.01	6.98	9.01	9.50	9.19	7.07
15	8.45	7.60	9.43	10.35	8.52	7.63	8.02	9.58	9.46	10.67	9.13	7.35
16	8.54	7.17	10.80	8.37	7.93	10.05	7.09	6.76	9.54	10.09	8.99	2.36
17	7.52	11.19	7.39	9.70	10.35	10.96	10.00	10.81	6.20	10.42	8.73	6.96
18	6.20	7.72	9.83	10.30	10.79	9.69	9.95	9.25	11.45	10.03	8.36	8.42
19	8.33	5.25	11.26	9.93	10.68	8.61	8.60	9.96	8.55	9.50	8.68	8.54
20	8.15	11.24	7.83	9.02	10.77	9.20	5.49	9.01	8.40	9.02	8.82	9.17
21	9.13	11.08	8.20	9.50	10.51	4.31	6.07	9.71	3.95	9.03	8.52	8.52
22	9.30	11.12	10.26	9.83	10.16	10.49	8.45	5.78	5.62	9.72	8.70	5.24
23	9.05	11.29	8.81	8.56	9.80	9.63	8.07	7.24	6.20	10.39	8.84	8.82
24	8.89	11.30	11.22	9.16	10.48	9.76	9.27	6.68	4.07	10.63	8.64	8.50
25	9.13	11.10	10.75	8.83	10.20	10.23	9.29	4.03	9.02	10.58	8.71	8.72
26	9.12	11.12	9.24	9.24	9.07	7.36	9.01	9.46	8.41	10.29	8.73	8.02
27	9.25	10.99	10.85	8.65	10.17	6.13	9.62	7.14	7.59	10.34	8.59	8.36
28	9.15	10.78	10.86	5.82	8.88	7.70	10.13	6.83	7.97	9.93	8.60	8.08
29	9.18		11.19	9.65	9.35	8.02	4.93	5.58	7.77	9.51	8.51	7.57
30	8.93		11.45	9.22	9.84	10.12	9.93	1.15	4.73	9.47	8.37	7.99
31	8.23		11.34		9.97		7.48	5.89		8.17		7.55

Además, en esos mismos meses para el año 2018, se presenta la mayor producción del periodo de tiempo analizado. Los colores en las tablas indican la producción de energía, siendo los rojos aquellos donde se produce en mayor cantidad y los verdes en menor proporción. A partir de los registros de perfiles de potencia de generación y energía producida, se lleva a cabo un estudio exhaustivo reportado a continuación.

C. Metodología Implementada

La metodología aquí reportada permite la identificación de diversos parámetros eléctricos y operativos a partir de los perfiles de generación de un sistema fotovoltaico, tal es el caso la cantidad de nubes, duración del paso de las nubes, potencia máxima generada, energía producida, tiempo de inicio y de término de generación, tiempo en que se presenta la potencia máxima (Venegas, et al 2017).

Tabla 4 Energía producida en 2017

Fuente: *Elaboración Propia*

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	8.90	5.40	10.51	10.32	8.80	9.56	9.31					
2	8.88	9.73	9.54	10.53	8.76	10.19	9.46					
3	8.93	7.42	10.39	10.59	8.40	9.23	8.93					
4	8.74	10.00	10.21	10.52	8.98	10.54	9.13					
5	8.96	9.25	10.10	10.49	9.04	9.45	9.52					
6	8.95	9.50	10.47	10.49	7.57	7.52	7.52					
7	8.96	9.76	10.46	10.69	8.53	9.79	6.72					
8	9.10	8.45	10.55	10.71	10.46	9.68	7.19					
9	8.65	3.05	10.55	10.72	10.48	8.78	8.19					
10	8.72	7.42	10.55	10.42	10.86	8.48	8.98					
11	9.19	8.35	10.55	10.24	10.65	3.46	4.16					
12	8.92	9.09	10.55	10.06	10.73	3.42	7.87					
13	8.62	9.94	10.55	10.49	10.48	7.70	10.67					
14	8.56	9.94	10.55	10.53	10.67	10.54	9.86					
15	9.18	8.81	10.56	10.66	10.30	9.13	6.74					
16	9.06	9.55	10.63	9.96	10.18	8.90	6.23					
17	8.89	10.26	10.72	10.16	9.15	6.01						
18	9.26	9.37	9.35	10.08	10.74	6.48						
19	9.09	10.38	10.70	9.66	10.60	3.06						
20	8.74	10.47	10.84	9.60	10.64	6.99						
21	9.43	10.68	10.54	9.62	10.59	6.59						
22	7.93	10.45	10.30	9.26	10.50	10.70						
23	8.77	10.04	10.12	9.31	10.29	10.61						
24	8.26	10.16	10.29	9.60	10.17	7.28						
25	6.48	9.97	10.47	9.76	9.84	8.36						
26	9.72	10.27	10.60	10.01	9.81	10.82						
27	9.47	8.22	10.54	9.97	9.84	8.14						
28	9.67	10.46	9.60	9.89	9.93	9.30						
29	3.16		10.73	9.68	9.23	7.32						
30	3.53		10.66	7.61	9.62	10.63						
31	4.36		10.17		9.39							

Tabla 5 Energía producida hasta el 16 de julio de 2018

Fuente: *Elaboración Propia*

De las tablas 1 a 5, se puede observar que entre los meses de marzo a mayo corresponde la mayor producción de energía, esto corresponde a la temporada de estiaje y la cantidad de nubes se reduce significativamente con respecto al temporal de lluvias.

La metodología se basa en la información registrada tanto para perfiles de generación en los que se cuenta con una gran cantidad de nubes y en los que es escasa, identificándose como días nublados y soleados, respectivamente. Las figuras 3 y 4 muestran los perfiles de generación para los días señalados anteriormente. En la figura 3 puede ser observado el cambio de pendiente en la curva de potencia, el cual se presenta después de alcanzar el valor máximo de generación, para después continuar su descenso hasta la ausencia de rayos de sol sobre el sistema. Este comportamiento puede considerarse a partir de un día soleado sin nubes presentes sobre el sistema fotovoltaico.

Por otro lado, la figura 4 muestra un perfil de generación con depresiones o cambios de pendiente antes de alcanzar la generación máxima, y lo mismo ocurre durante el periodo de disminución en la producción de energía eléctrica. En este caso, el comportamiento registrado en el perfil de generación es considerado como día nublado. Note que el paso de nubes provoca el cambio de pendiente en la curva de generación y donde m_i representa el cambio de pendiente en un tiempo t_i .

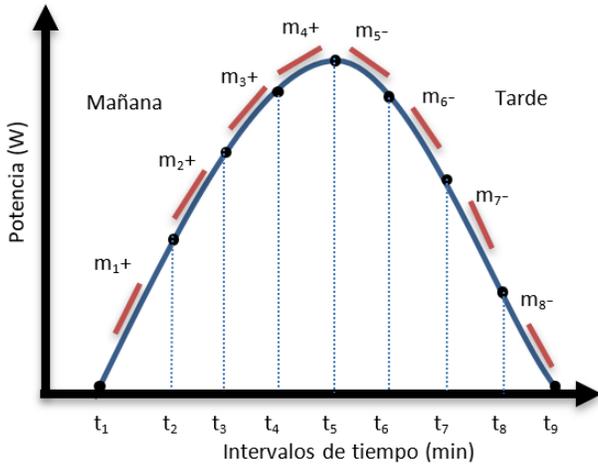


Figura 3 Perfil de generación de un día soleado
Fuente: *Elaboración Propia*

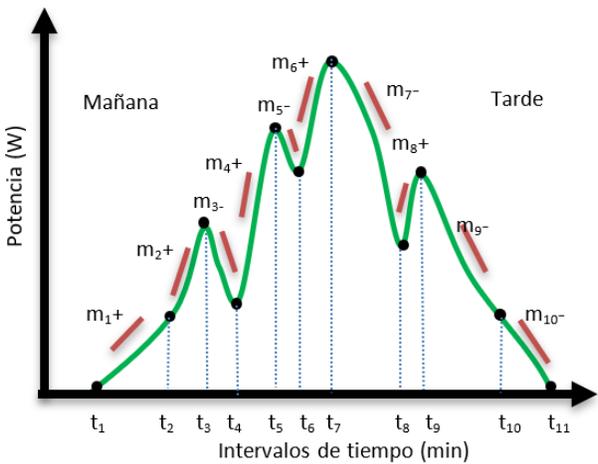


Figura 4 Perfil de generación de un día nublado
Fuente: *Elaboración Propia*

A partir del monitoreo de sistemas fotovoltaicos interconectados es posible identificar una serie de parámetros eléctricos que permiten agrupar los perfiles de generación a partir de criterios tales como cantidad de nubes, duración de nubes, energía producida, potencia máxima de generación, etc. Las ecuaciones (1) a (4) son de dominio público.

A. Cantidad de nubes

La identificación de cantidad de nubes presentes en un perfil cualquiera puede determinarse mediante la cuantificación de cambios de pendiente que se presentan a lo largo del día mediante la siguiente expresión:

$$m_i = \frac{P_{i+1} - P_i}{t_{i+1} - t_i} \quad i=1, 2 \dots i_{max-1} \quad (1)$$

Donde P_i representa la potencia generada.

B. Energía generada

La energía generada puede determinarse mediante la integral definida de la curva del perfil de generación desde un tiempo de inicio hasta un tiempo de término.

$$E = \int_{t_{inicial}}^{t_{final}} P(t) dt \text{ en (kWh)} \quad (2)$$

C. Potencia máxima de generación

La potencia máxima de generación se determina mediante el valor máximo presentado del perfil de generación.

$$P_{max} = \max(P(t)) \text{ en (kW)} \quad (3)$$

D. Duración de la cantidad de nubes

En la determinación de la cantidad de nubes presentes, es posible también cuantificar su duración, esto puede llevarse a cabo con una variable adicional que permita registrar los intervalos de tiempo una vez presentado el cambio de pendiente.

$$t_d = \sum_{t_{inicial}}^{t_{final}} \Delta t_m \text{ para } (m_{t_{i+1}} = m_{t_i}) \quad (4)$$

E. Tiempo de inicio de generación

$T_{inicial}$ Este tiempo es determinado inmediatamente después de que el sistema comienza a registrar el primer valor de potencia diferente de cero cada día.

F. Tiempo de término de generación

T_{final} Este tiempo es determinado como el último valor registrado distinto de cero al término del día.

G. Tiempo en el que se presenta la potencia máxima

T_{max} es este se relaciona directamente cuando se presenta la potencia máxima P_{max} .

5. Resultados Obtenidos

Los resultados aquí descritos son analizados a partir de los parámetros obtenidos con la metodología presentada en la sección anterior. Debido a que la cantidad de datos analizados en periodo comprendido del 1/08/2014 al 16/07/2018, son un total de 1429 días agrupados en 48 meses. Con el fin de mostrar información que permita visualizar el comportamiento de los parámetros descritos en la metodología propuesta, únicamente dos meses son presentados para su análisis.

La selección de los meses se septiembre y octubre de 2017, se debe a que en el mes de septiembre se tienen lluvias de temporal y en el mes de octubre ocurre la conclusión del mismo temporal, en ese sentido, la idea es analizar meses con lluvias y nubosidad y sin ellas. La relación entre la energía producida y la duración de la nubosidad para los meses de septiembre y octubre del 2017, es ejemplificada en las figuras 5 y 6, respectivamente. En ambas figuras puede ser observado que a medida que se incrementa el tiempo de la nubosidad sobre el sistema fotovoltaico, la energía se reduce.

Caso contrario, ocurre el efecto opuesto. En la figura 5, correspondiente al mes de septiembre se puede observar que al día 18, presenta la mayor producción de energía al mismo tiempo fue registrada la menor duración de la nubosidad. Mientras que en la figura 6, correspondiente al mes de octubre los días 24 al 26, presentaron la menor duración de la nubosidad y la mayor producción de energía. Lo anterior concuerda claramente con la propuesta del algoritmo y metodología presentada en la sección anterior.

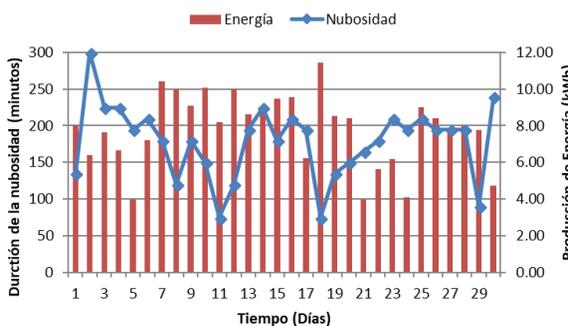


Figura 5 Relación entre la energía y la duración de la nubosidad para el mes de septiembre 2017
Fuente: *Elaboración Propia*

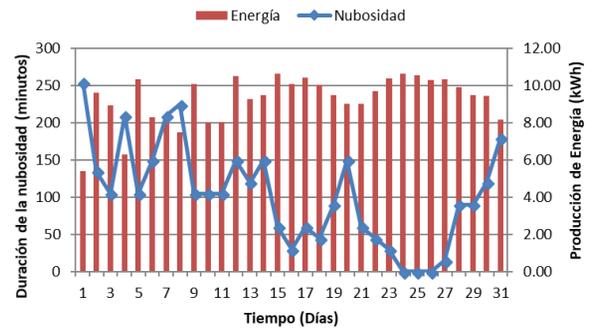


Figura 6 Relación entre la energía y la duración de la nubosidad para el mes de octubre 2017
Fuente: *Elaboración Propia*

Por otro lado, la relación de energía producida y la cantidad de nubes para los meses mencionados anteriormente, es presentada mediante las figuras 7 y 8. En la figura 7, se puede observar que los días 2 y 3 de septiembre la cantidad de nubes registradas fue de diez, la duración de la nubosidad fue mayor para el día 2 y por consiguiente una menor producción de energía. De manera similar, se puede observar en la figura 8, los días 4 y 6 de octubre registraron ocho nubes cada uno de ellos y la duración de la nubosidad fue mayor el día 4, presentándose una menor producción de energía. A partir de estas comparaciones, es posible indicar que la producción de energía en el sistema fotovoltaico depende principalmente de la duración de la nubosidad que se presenta a lo largo del día.

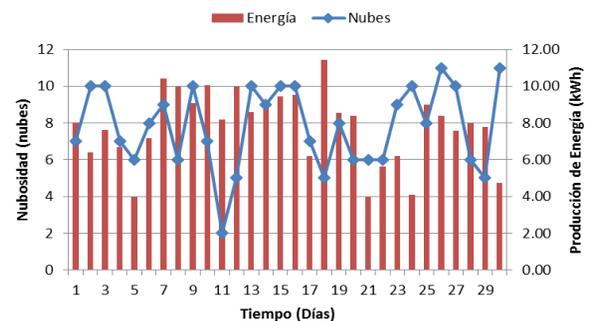


Figura 7 Relación entre la energía y la cantidad de nubes para el mes de septiembre 2017
Fuente: *Elaboración Propia*

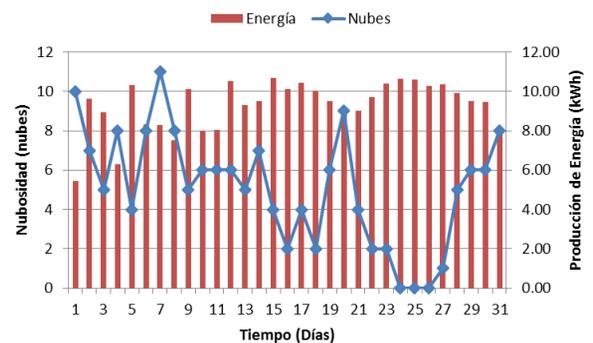


Figura 8 Relación entre la energía y la cantidad de nubes para el mes de octubre 2017
Fuente: *Elaboración Propia*

6. Evaluación Energética

El potencial energético identificado a partir de los perfiles de generación del sistema fotovoltaico, puede resumirse para los años 2015 al 2017 en la tabla 6. La potencia máxima alcanzada tuvo un promedio 1,769 W. Esta potencia se presentó a las 13.9 horas del día, es decir tuvo una alta coincidencia durante el periodo analizado. Por otra parte, la la energía total producida alcanzó los 9,604 kWh, siendo el año 2016 cuando se generó la mayor cantidad. En general la cantidad de nubes registradas fue la misma para la mañana y la tarde, teniéndose una reducción en la cantidad de nubes de manera significativa en el año 2017. También de manera similar, la duración de la nubosidad presento una reducción, registrándose 961, 858 y 659 horas anuales para los años 2015, 2016 y 2017, respectivamente.

Parámetro	2015	2016	2017	Total
Potencia máxima (W)	1,768	1,779	1,759	1,769
Tiempo en que se presenta la potencia máxima (horas)	14.0	14.0	13.9	13.9
Tiempo de inicio de generación (horas)	7.54	7.56	7.46	7.52
Tiempo de término de generación (horas)	19.6	19.6	19.6	19.63
Nubosidad matutina (nubes)	244	235	77	556
Nubosidad vespertina (nubes)	253	219	83	555
Nubosidad total (nubes)	497	453	160	1,111
Producción de energía (kWh)	3,125	3,268	3,211	9,604
Nubosidad (horas)	961	858	659	2,478

Tabla 6 Resumen anual de parámetros históricos
Fuente: *Elaboración Propia*

Con el fin de agrupar los perfiles de generación a partir de la cantidad de nubes, es empleado el método de agrupamiento k-medias, el cual se basa en particionar un grupo de n observaciones en k grupos en el que cada observación pertenece al grupo cuyo valor medio es más cercano (Hartigan y Wong, 1979). El agrupamiento se llevó a cabo de manera mensual para los años 2015 a 2017. Fueron propuestos cuatro tipos e días, soleados, semisoleados, seminublados y nublados. La tabla 7 muestra el rango de nubes calculado para cada agrupamiento y el porcentaje obtenido para cada año analizado. Se puede observar que el porcentaje de días soleado se incrementó en el año 2017. La cantidad de nubes promedio por día fue de 5 para días soleados, 9 para días semisoleados, 14 para días seminublados y 21 para días nublados. El potencial de producción de generación de energía eléctrica mayor puede entonces relacionarse con la cantidad de días soleados y semi-soleados que se presentan a lo largo del año.

Tipo de día	Rango (nubes)	2015	2016	2017
		Días (%)		
Soleado	5	25.75	25.96	30.96
Semi-Soleado	9	29.86	24.32	27.12
Semi-Nublado	14	23.29	31.42	20.55
Nublado	21	21.10	18.30	21.37

Tabla 7 Agrupamiento de los tipos de días.
Fuente: *Elaboración Propia*

La energía eléctrica producida por el tipo de día desde el año de 2015 a 2017 es mostrada en la tabla 8

Tipo de día	2015	2016	2017	2015	2016	2017
	Días (cantidad)			Energía (kWh)		
Soleado	94	95	113	805	848	994
Semi-Soleado	109	89	99	933	795	871
Semi-Nublado	85	115	75	728	1027	660
Nublado	77	67	78	659	598	686
Total	365	365	365	3,125	3,268	3,211

Tabla 8 Energía producida por tipos de día

Para los tres completos reportados en el periodo analizado, se observa que la mayor producción de energía eléctrica es cuando se presentan menos nubes, lo cual corresponde a los días soleados y semi-soleados en la agrupación propuesta en este artículo. El estudio de perfiles de generación de energía eléctrica de sistemas fotovoltaicos en series de tiempo, puede contribuir a la obtención de parámetros que permitan cuantificar el potencial de generación de energía eléctrica.

7. Conclusiones

En este artículo fue aplicada una metodología para la obtención de parámetros de sistemas fotovoltaicos a partir del registro de perfiles de generación fotovoltaica. Los parámetros obtenidos permiten mediante el método de agrupamiento k-medias identificar cuatro tipos de días: Soleados, Semi-soleados, Semi-nublados y Nublados. La cantidad de nubes promedio por día fue de 5 para días soleados, 9 para días semisoleados, 14 para días seminublados y 21 para días nublados. La producción de energía eléctrica se incrementa cuando se presentan menos nubes, lo cual corresponde a los días soleados y semi-soleados del agrupamiento propuesto. Por lo anterior, se puede determinar que la metodología de obtención de parámetros de perfiles de generación fotovoltaica y la aplicación del método de k-medias permite indentificar el potencial que pueden tener los sistemas fotovoltaicos interconectados al sistema eléctrico.

La información reportada, puede ayudar en la toma de decisiones para los ingenieros que se encargan de llevar a cabo estudios sobre el impacto de la generación de energías limpias que los sistemas fotovoltaicos pueden aportar a los usuarios finales.

8. Referencias

Aldo De Sabata, Ioan Luminosu, Dan Mărgineanu, Simona Ilie, Dejan Jovanović, Dejan Krstić (2014). Economics of a Small-Scale, Grid-Connected PV System in Western Romania: an LCoE Analysis. IEEE.

Chicco, G., Cocina, V., & Spertino, F. (2014, September). Characterization of solar irradiance profiles for photovoltaic system studies through data rescaling in time and amplitude. In Power Engineering Conference (UPEC), 2014 49th International Universities (pp. 1-6). IEEE.

Esling, P., & Agon, C. (2012). Time-series data mining. ACM Computing Surveys (CSUR), 45(1), 12.
<https://enlighten.enphaseenergy.com/> (2018)

J. A. Hartigan and M. A. Wong. Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics) Vol. 28, No. 1 (1979), pp. 100-108

Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética. DOF 12-01-2012. México.

Reglamento de la ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética. DOF 30-11-2012. México. Reporte de avance de energías limpias, (2016). Secretaria de Energía, México.

Shi, J., Lee, W. J., Liu, Y., Yang, Y., & Wang, P. (2012). Forecasting power output of photovoltaic systems based on weather classification and support vector machines. IEEE Transactions on Industry Applications, 48(3), 1064-1069.

T. Venegas, L. Contreras-Aguilar, J. Arroyo-Ledesma, R. J. Betancourt, E. Guerrero-Solis, F. Torres-Romero. (2016) "Times Series Power Flow Studies in Electric Networks with PV interconnected Systems". Reunión Internacional de Verano de Potencia y Aplicaciones Industriales. RVP-AI/2016-EDU-20. IEEE Sección México.

Venegas-Trujillo, Tiberio; Contreras Aguilar, Luis; Castillo Topete, Víctor, Concha Sánchez Antonio. "Caracterización de Perfiles de Generación de Energía Eléctrica en Sistemas Fotovoltaicos de Pequeña Escala". Revista de Aplicación Científica y Técnica. 2017,1-1:1-11

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

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

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} Coautor

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

International Identification of Science - Technology and Innovation

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

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

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

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

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

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

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

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

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

Citación: Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista 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]

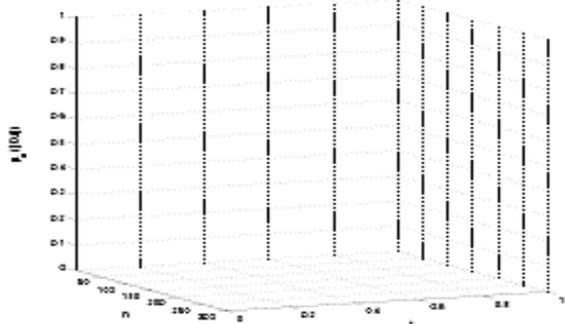


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

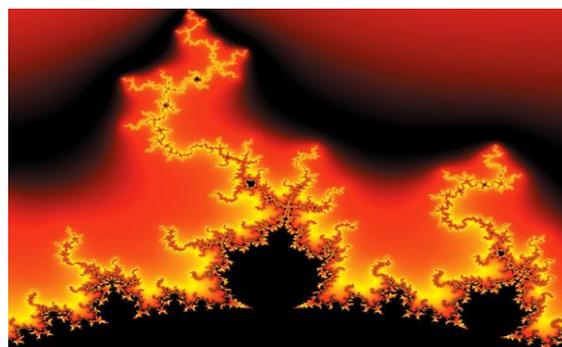


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

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
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

“Diseño y construcción de un pirheliómetro para medición de radiación directa”

DIBENE-ARRIOLA, Luis, DUARTE-FRANCO, Jorge, GONZALEZ-PALAFOX, Saray y PAREDES-VÁZQUEZ, Cesar

Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas

“Estudio experimental de desalación de agua de mar utilizando Energía Termosolar”

CASTILLO-TÉLLEZ-Beatriz, CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita, PILATOWSKY-FIGUEROA, Isaac y RIVERA-GÓMEZ, Franco Wilfrido

Universidad de Guadalajara

Universidad Autónoma de Campeche

Universidad Nacional Autónoma de México

“Diseño e implementación de un sistema de adquisición de voltaje para celdas de combustible basadas en nopal”

MALDONADO-RUELAS, Victor Arturo, ORTIZ-MEDINA, Raúl Arturo, APOLLON, Wilgince y SILOS-ESPINO, Héctor

Universidad Politécnica de Aguascalientes

Instituto Tecnológico el Llano Aguascalientes

“Implementación metodológica para la determinación del potencial energético de un sistema fotovoltaico interconectado mediante el monitoreo de perfiles de generación eléctrica basado en series de tiempo”

VENEGAS-TRUJILLO, Tiberio, ÁNGEL-GONZÁLEZ, Juan Carlos, CONTRERAS-AGUILAR Luis Alberto y CONCHA-SÁNCHEZ, Antonio

Universidad de Colima

