

ISSN 2523-2517

Volumen 2, Número 4 Enero – Marzo - 2018

Revista de Ingeniería Eléctrica

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

Control de Producción

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Revista de Ingeniería Eléctrica, Volumen 2, Número 4, de Enero a Marzo 2018, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Perú. La Raza Av. 1047 No. - Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode: 11500. WEB: www.ecorfan.org/republicofperu, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María, Co-Editor: SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD. ISSN: 2523-2517. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Marzo 2018.

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

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

Revista de Ingeniería Eléctrica

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas Electromagnetismo, Fuentes de distribución eléctrica, Innovación en la ingeniería eléctrica, Amplificación de señales, Diseño de motores eléctricos, Ciencias materiales en las plantas eléctricas, Gestión y distribución de energías eléctricas.

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

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

Alcances, Cobertura y Audiencia

Revista de Ingeniería Eléctrica es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Perú, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de la Electromagnetismo, Fuentes de distribución eléctrica, Innovación en la ingeniería eléctrica, Amplificación de señales, Diseño de motores eléctricos, Ciencias materiales en las plantas eléctricas, Gestión y distribución de energías eléctricas con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

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 Ingeniería Eléctrica emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

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 Electromagnetismo, Fuentes de distribución eléctrica, Innovación en la ingeniería eléctrica, Amplificación de señales, Diseño de motores eléctricos, Ciencias materiales en las plantas eléctricas, Gestión y distribución de energías eléctricas y a otros temas vinculados a las Ingeniería y Tecnología.

Presentación del contenido

Como primer artículo presentamos, Diseño de estructura modular para la instalación de un sistema fotovoltaico, por HERNANDEZ-RAMIREZ, Julio Cesar, GARCIA-GÓMEZ, Fidencio Ulises, BOLAÑOS-JIMÉNEZ, Gerardo, GUZMÁN TAPIA, Mauricio y RODRIGUEZ-GUTIERREZ, Jesús Eduardo, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Morelia, como siguiente artículo presentamos, Desarrollo de estructura de servicios de telecomunicaciones y energía eléctrica para comunidades de Yucatán, por HERNÁNDEZ-CASTELLANOS, Germán Felipe, RUIZ-CASTILLO, Luis Manuel y FRANCO LÓPEZ, Aref Jesús, con adscripción en la Universidad Tecnológica del Centro, como siguiente artículo presentamos, Automatización de un sistema de energía híbrido móvil independiente de la red eléctrica, por ESPINOSA-TRUJILLO, María Jesús, MEDINA-CARRIL, Diego Manuel, CERVERA-MORALES, Miguel Leonardo, HERRERA-LUGO, Angélica y VERDE-GÓMEZ, José Ysmael, con adscripción en la Universidad Tecnológica Metropolitana y el Instituto Tecnológico de Cancún, como último artículo presentamos Diseño de un sistema fotomecánico inteligente con dos grados de libertad para la orientación de un panel fotovoltaico que optimice la producción de energía eléctrica, por LÓPEZ-XELO, Hilario, HERNÁNDEZ-MEDINA, José Juan y ROMANO-RODRÍGUEZ, Ma. Natividad.

Contenido

Artículo	Página
Diseño de estructura modular para la instalación de un sistema fotovoltaico HERNANDEZ-RAMIREZ, Julio Cesar, GARCIA-GÓMEZ, Fidencio Ulises, BOLAÑOS-JIMÉNEZ, Gerardo, GUZMÁN TAPIA, Mauricio y RODRIGUEZ- GUTIERREZ, Jesús Eduardo <i>Universidad Tecnológica de Morelia</i>	1-5
Desarrollo de estructura de servicios de telecomunicaciones y energía eléctrica para comunidades de Yucatán HERNÁNDEZ-CASTELLANOS, Germán Felipe, RUIZ-CASTILLO, Luis Manuel y FRANCO LÓPEZ, Aref Jesús <i>Universidad Tecnológica del Centro</i>	6-14
Automatización de un sistema de energía híbrido móvil independiente de la red eléctrica ESPINOSA-TRUJILLO, María Jesús, MEDINA-CARRIL, Diego Manuel, CERVERA- MORALES, Miguel Leonardo, HERRERA-LUGO, Angélica y VERDE-GÓMEZ, José Ysmael <i>Universidad Tecnológica Metropolitana</i> <i>Instituto Tecnológico de Cancún</i>	15-27
Diseño de un sistema fotomecánico inteligente con dos grados de libertad para la orientación de un panel fotovoltaico que optimice la producción de energía eléctrica LÓPEZ-XELO, Hilario, HERNÁNDEZ-MEDINA, José Juan y ROMANO- RODRÍGUEZ, Ma. Natividad	28-34

Diseño de estructura modular para la instalación de un sistema fotovoltaico

Modular structure design for installation of a photovoltaic system

HERNANDEZ-RAMIREZ, Julio Cesar†*, GARCIA-GÓMEZ, Fidencio Ulises, BOLAÑOS-JIMÉNEZ, Gerardo, GUZMÁN TAPIA, Mauricio y RODRIGUEZ-GUTIERREZ, Jesús Eduardo

¹Universidad Tecnológica de Morelia, Unidad de innovación de energías alternativas y procesos industriales UTMOR-CA-07, Mantenimiento Industrial, Av. Vicepresidente Pino Suarez 750 Ciudad Industrial, Morelia, Michoacán, México, C.P. 58200

¹Universidad Tecnológica de Morelia, Av. Vicepresidente Pino Suarez 750 Ciudad Industrial, Morelia, Michoacán, México, C.P. 58200

ID 1^{er} Autor: *Julio Cesar, Hernandez-Ramirez* / **ORC ID:** 0000-0002-6352-1183, **Researcher ID Thomson:** R-3462-2018, **arXiv Author ID:** JulioCeHrz

ID 1^{er} Coautor: *Fidencio Ulises, García-Gómez* / **ORC ID:** 0000-0003-3418-6643, **Researcher ID Thomson:** R-3522-2018, **arXiv Author ID:** UlisesGa

ID 2^{do} Coautor: *Gerardo, Bolaños-Jiménez* / **ORC ID:** 0000-0001-6316-1977, **Researcher ID Thomson:** R-3714-2018, **arXiv Author ID:** Gerardobol

ID 3^{er} Coautor: *Mauricio, Guzmán-Tapia* / **ORC ID:** 0000-0001-8588-0737, **Researcher ID Thomson:** R-3538-2018, **arXiv Author ID:** MauricioGT50

ID 4^{to} Coautor: *Jesús Eduardo, Rodríguez-Gutiérrez* / **ORC ID:** 0000-0001-9240-3568, **Researcher ID Thomson:** R-2910-2018, **arXiv Author ID:** eduardo.rod.gtz

Recibido Enero 27, 2018; Aceptado Marzo 30, 2018

Resumen

En el presente proyecto se plantea el diseño de una estructura modular que soporte un par de paneles solares. Para el diseño de la estructura se tomaron en cuenta parámetros de diseño; como el peso de los paneles, el peso de la propia estructura, el peso de un gabinete que contiene una batería, un inversor y un convertidor, además de la presión del viento, suponiendo una velocidad máxima de 250 km/hr, el cual se considera un huracán intenso, extremadamente destructivo, con índice de peligrosidad severo. Con el objetivo de ofrecer una validación estructural se calculó bajo un factor de seguridad del 200%. En la presente propuesta se usan perfiles tubulares comerciales, lo que permite atender la estética sin descuidar su resistencia. En el diseño planteado, sobresale su modularidad y su fácil montaje, además estará encaminado a ofrecer una manufactura sencilla, una rápida instalación y un mantenimiento económico, lo que lo hace una propuesta ideal para comunidades de difícil acceso. Haciendo uso de software para su validación estructural, se propone un análisis de esfuerzos von Mises y un análisis de deformación total.

Diseño estructural, Modular

Abstract

In the present project the design of a modular structure that supports a pair of solar panels is considered. Design parameters were taken into account for the design of structure; as the weight of panels, the weight of structure itself, the weight of a cabinet containing a battery, an inverter and a converter, in addition to the wind pressure, assuming a maximum speed of 250 km / hr. Which is considered an intense hurricane, extremely destructive, with severe hazard index. In order to offer a structural validation it was calculated under a safety factor of 200%. In the present proposal, commercial tubular profiles are used, which makes it possible to attend to aesthetics without neglecting their resistance. In the proposed design, its modularity and easy assembly stand out, and it will be aimed at offering simple manufacturing, rapid installation and economic maintenance, which makes it an ideal proposal for communities with difficult access. Using software for its structural validation, a von Mises stress analysis and a total deformation analysis are proposed.

Structural design, Proposal, Modular

Citación: HERNANDEZ-RAMIREZ, Julio Cesar, GARCIA-GÓMEZ, Fidencio Ulises, BOLAÑOS-JIMÉNEZ, Gerardo, GUZMÁN TAPIA, Mauricio y RODRIGUEZ-GUTIERREZ, Jesús Eduardo. Diseño de estructura modular para la instalación de un sistema fotovoltaico. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2018. 2-4: 1-5.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (eduardo.rod.gtz@gmail.com)

Introducción

La importancia que puede adquirir la energía no convencional en México se observa, por ejemplo, si consideramos que en el país existen 190 432 localidades con menos de 5 000 habitantes, de las cuales 6.9% (13 140 localidades) no cuentan con energía eléctrica, lo que representa una población aproximada de 2 236 295 personas que carecen de este servicio (INEGI, 2010).

Entre las fuentes de energías renovables, la energía solar es la más importante, debido a su abundancia y sostenibilidad. Independientemente de la intermitencia de la luz solar, la energía solar está ampliamente disponible y completamente libre de costo (Kroposki, B. and DeBlasio, 2000). Los sistemas fotovoltaicos (FV) son sistemas de energía solar que producen electricidad directamente de la luz solar, estos producen energía limpia y confiable sin consumir combustibles fósiles y se puedan usar en una amplia gama de aplicaciones (Castellanos, A y Escobedo, 1980).

Los sistemas de aprovechamiento de la energía solar deben recoger la mayor cantidad posible de energía recibida en un determinado lugar, esta condición exige que la superficie colectora sea, en todo momento, perpendicular a los rayos solares.

En México en el año 2014 se puso en marcha lo que sería el parque solar más grande de América Latina, el Proyecto Aura Solar 1, desarrollado por la empresa Gauss Energía. Se pretendía que Aura Solar generará 82 GWh de energía limpia al año, sobre un terreno de 100 hectáreas. En el mismo año el proyecto Aura solar 1 fue víctima estructural del Huracán Odile (Gauss Energía., 2013; Hernandez, 2016)., considerado como un huracán clasificación IV (Agua-CONAGUA & Del, 2012), en septiembre de este mismo año.

Estos datos climáticos del huracán Odile se tomarán de referencia para la propuesta de diseño.

Este proyecto tiene como objetivos: 1. El diseño de una estructura modular 2. Garantizar su resistencia estructural. 3. El prototipo de un soporte de fácil montaje en comunidades marginadas o de difícil acceso.

Metodología

La inclinación de los paneles es de 20° de la horizontal, lo que permitirá un mayor aprovechamiento de energía, la estructura se compone de dos partes principales, la parte de captación y almacenamiento (un par de celdas y un gabinete donde se encuentra fijo la batería, el convertidos y el inversor) con un peso aproximado de 40 Kg, y la parte estructural; un cuadro de fijación de las celdas, ver Figura 1, un soporte del cuadro con acoplamiento hembra al poste, ver Figura 2, un poste de 1.5 mts de altura, ver Figura 3 y una base de anclaje a tierra con acoplamiento hembra al poste ver Figura 4.

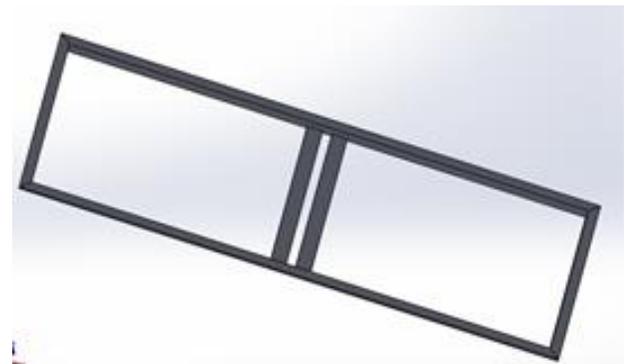


Figura 1 Cuadro de fijación de celdas

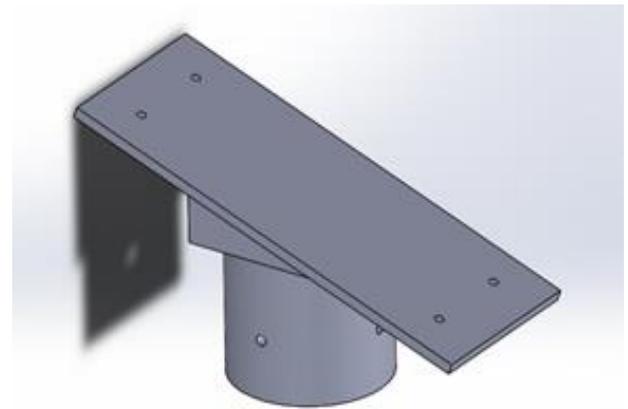


Figura 2 Soporte de cuadro con acoplamiento hembra al poste



Figura 3 Poste tubo

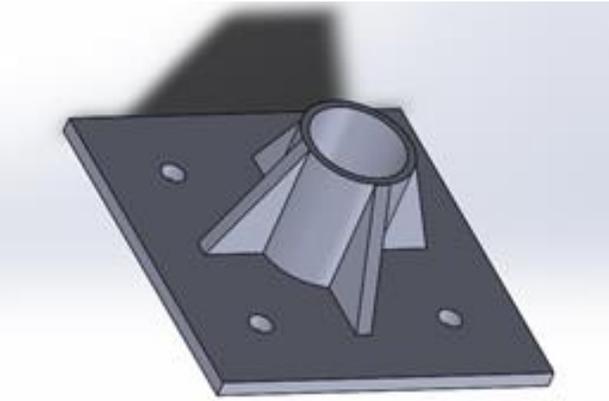


Figura 4 Base de anclaje a tierra con acoplamiento hembra al poste

Montaje

El diseño modular de la estructura permite su fácil montaje en comunidades de difícil acceso, ya que la base de anclaje, se atornilla a una base piramidal para poste de 60x60 (previamente asentada, y nivelada), esta base piramidal tiene 4 guías de $\frac{3}{4}$ " las cuales coinciden con las perforaciones de la placa, esta se atornilla con 4 tuercas de 1" garantizando así su anclaje a tierra. Ya anclada la base se acopla el poste tubo en la base y se sujeta con cuatro tornillos de $\frac{1}{4}$ ", ver Figura 5.

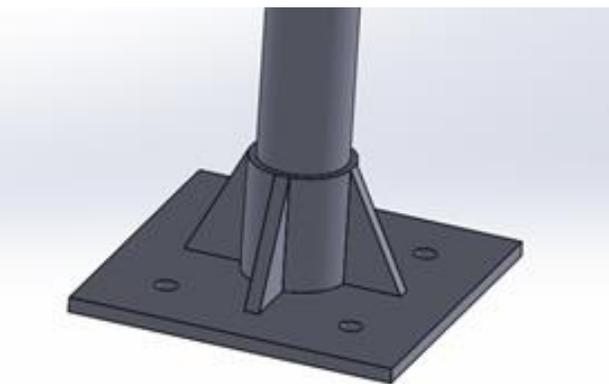


Figura 5 Acoplamiento de base con poste

En la parte superior del poste se acopla el soporte del cuadro al poste atornillándolo con 4 tornillos de $\frac{1}{4}$ ", sobre el soporte se fija el cuadro de fijación de celdas con 4 tornillos de $\frac{1}{4}$ ", a su vez cada celda se fija al cuadro con cuatro tornillos por panel, estos tornillos pueden ser de $\frac{1}{4}$ " o de $\frac{1}{8}$ " según recomiende el fabricante, ver figura 6.

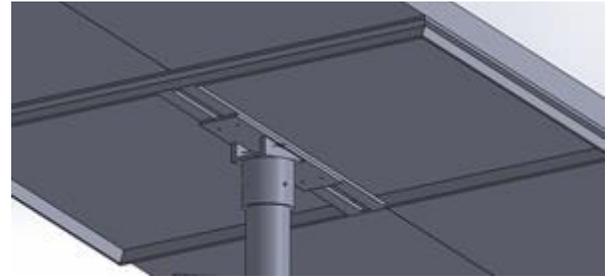


Figura 6 Acoplamiento de celdas en cuadro, el cuadro en soporte, y el soporte en poste

Para el equipo de control y almacenamiento se monta en un gabinete que estará atornillado al poste a 1 metro de altura, los tornillos de fijación son de $\frac{1}{4}$ " o de $\frac{1}{8}$ ", ver figura 7.



Figura 7 Fijación de gabinete con equipo de control y almacenamiento

Análisis Estructural

Para el estudio estructural se tomaron en cuenta dos componentes. El primer componente representa; el peso del gabinete, las celdas y el cuadro de fijación de las celdas sobre la vertical, este componente es coincidente con el poste y se representa en sentido negativo. El segundo componente representa una fuerza sobre la horizontal que equivale a la fuerza del viento, tomando en cuenta una velocidad del viento máxima de 250 Km/hr, equivalente a un huracán clase V, con una densidad de 1.225 kg/m^2 y una constante de resistencia aerodinámica de 1.17, (Caípe Balcazar, Marco Antonio y Celis Pinzón, 2013; Coordinación Nacional de Protección Civil, 2017).

La estructura se fija a tierra en la parte inferior de la base, ver Figura 8.



Figura 8 Estructura fija a tierra

En el estudio estructural una de las componentes se representa en la vertical con 785 N y la componente que ejerce el viento sobre el panel es de 4061 N, al 200%, para su representación se ejerce una presión sobre el modelo, la presión se obtiene al ejercer ambas fuerzas sobre el área del acoplamiento hembra del cuadro y del poste. Con un valor de 31 400 Pa en la vertical y de 162 400 Pa en la horizontal ver Figura 9.

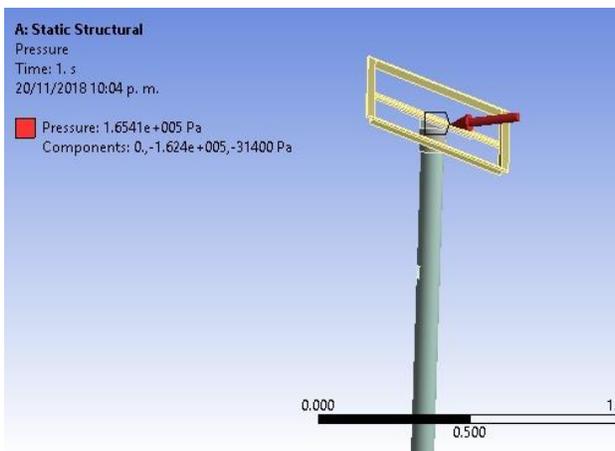


Figura 9 Representación de la presión en las dos componentes de interés

Resultados y Discusión

En la parte del análisis estructural, analizamos la estructura bajo el criterio de tensión máxima von Mises, esta teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión es mayor. El objetivo de este análisis es encontrar el límite de fluencia elástico a tensión, y así esfuerzo cortante por el único esfuerzo de tensión pura. El Método de Elemento Finito (MEF), nos ayuda a validar el diseño propuesto en donde se analizó la estructura en 13 375 nodos en un total de 6 221 elementos, este método de la mano con el análisis de von Mises se convierten en una herramienta poderosa para obtener los resultados esperados.

En los resultados gráficos es posible visualizar el comportamiento de la estructura bajo las dos presiones, se hace un análisis de tensión máxima von Mises, en donde nos detecta la zona vulnerable, aunque los valores obtenidos son seguros, con valores máximos de desplazamiento de 2.05×10^8 Pa, y valores mínimos de 76.84 Pa, ver Figura 10, recordemos que el límite elástico es de 210 Mpa, por lo que esta por de bajo de la resistencia del material.

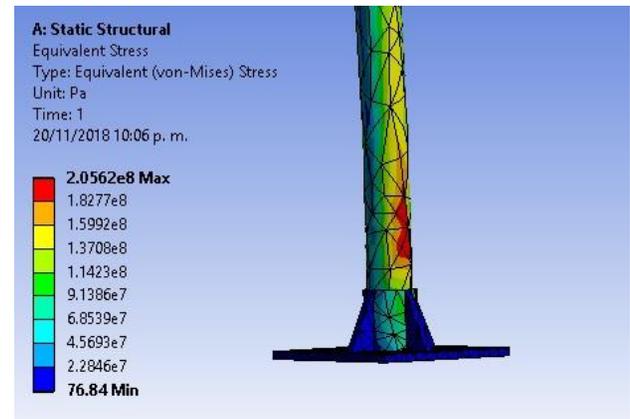


Figura 10 Ubicación de zona de acumulación de tensión máxima von Mises

Con el fin de validar el diseño de una mejor manera, se realiza un análisis de esfuerzos equivalentes bajo la teoría von Mises donde nos resulta un desplazamiento máximo de 0.001 m.

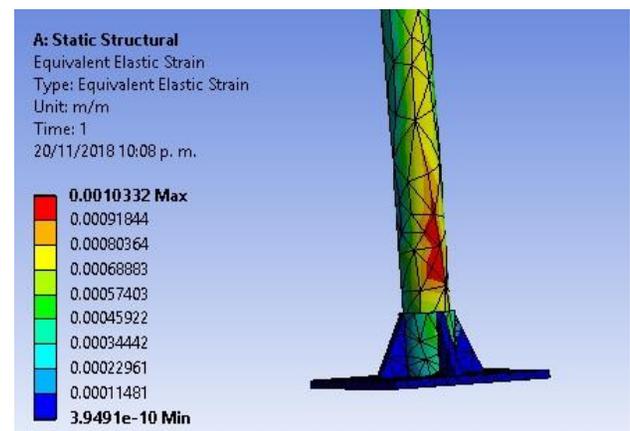


Figura 11 Ubicación de zona de esfuerzos elásticos equivalentes

Por último, analizamos la deformación total ver Figura 12, en donde podemos visualizar que la deformación máxima no afecta a la estructura, teniendo un desplazamiento máximo de 0.02 m, por lo que es aceptable.

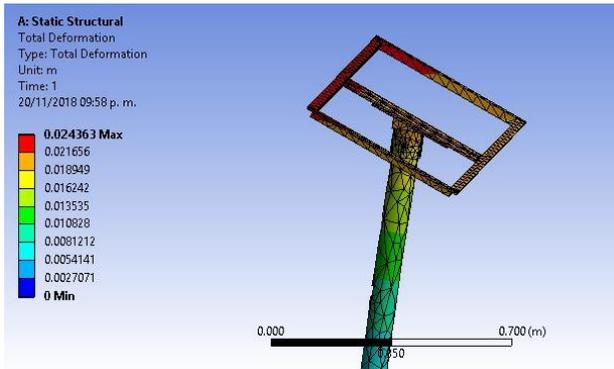


Figura 12 Ubicación de zona de acumulación de deformación total

Agradecimiento

A la empresa CENIT S.A. de C.V.
A la Dirección de la Carrera de Mantenimiento Área Industrial y Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Morelia julio de 2018.

Conclusiones

Las condiciones climáticas que fueron consideradas se asemejan a las que se reportaron en el colapso de algunas estructuras en la instalación solar de Aura Solar en La Paz Baja California Sur, dejando importantes lecciones en cuanto a la necesidad de adecuar la normativa de los diseños de este tipo de estructuras, ofreciendo en este documento una metodología para la simulación de un análisis estructural confiable.

El factor de seguridad sugerido, nivel 2, tiene como fin evitar alguna falla estructural, tomando en cuenta las cargas al 200%, ofreciendo una resistencia real calculada y validada con el Método del Elemento Finito, se realizó una revisión en la normativa vigente, encontrando la norma AISA/TIA/EIA-222, que referencía criterios mínimos necesarios para el diseño de torres y estructuras de acero para antenas, de donde se tomaron algunos datos estructurales importantes para el diseño de esta clase de estructuras fotovoltaicas. El desarrollo de una estructura de este tipo se realizó con el fin de generar un prototipo capaz de evaluarse en el Laboratorio de la Universidad Tecnológica de Morelia para la carrera de Mantenimiento Industrial, buscando mejorar el prototipo para que cumpla con la satisfacción del cliente.

Así mismo, se busca forjar un conocimiento mayor en el campo del diseño de este tipo de estructuras, donde las personas que requieran de su uso tengan a su alcance la visualización de este tipo de prototipos. El prototipo propuesto conserva parámetros dimensionales que permiten su manipulación en cualquier laboratorio de Metal-Mecánica, sus insumos son de fácil acceso, y la manera de montarlo es bastante sencilla.

Referencias

- Agua-CONAGUA, & Del, C. N. (2012). Análisis de las temporadas de huracanes de los años 2009 , 2010 y 2011 en México (2012th ed.). México, D.F.
- Caipe Balcazar, Marco Antonio y Celis Pinzón, A. F. P. universidad javeriana facultad de ingeniería departamento de electrónica bogotá d. c. feberero de 2013. (2013). Diseño de una estructura móvil para un panel solar de 205 w con dos grados de libertad. Pontificia Universidad Javeriana facultad de ingeniería.
- Castellanos, A y Escobedo, M. (1980). La energía solar en México; situación actual y perspectivas. (C. de Ecodesarrollo, Ed.) (1a ed.). México, D.F.
- Coordinación Nacional de Protección Civil, M. (2017). Evaluación de la Seguridad Estructural de Edificios. México, D.F. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/247555/300617_EvaluacionEstructuras_02-Viento.pdf
- Gauss Energia. (2013). Proyecto Aura Solar. Retrieved from <http://www.aurasolar.com.mx/aura-solar-i.html>
- Hernandez, R. (2016). Aura solar: El gran proyecto que ahora está abandonao Title. Retrieved from <https://ccee.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/aura-solar-el-gran-proyecto-que-ahora-esta-abandonado>
- INEGI. (2010). Principales resultados de censo de población y vivienda 2010. México, D.F.
- Kroposki, B. and DeBlasio, R. (2000). Technologies for the new millennium: photovoltaics as a distributed resource. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. <https://doi.org/1798-801>

Desarrollo de estructura de servicios de telecomunicaciones y energía eléctrica para comunidades de Yucatán

Development of structure of telecommunications and electric power services for communities of Yucatán

HERNÁNDEZ-CASTELLANOS, Germán Felipe*†, RUIZ-CASTILLO, Luis Manuel y FRANCO LÓPEZ, Aref Jesús

Universidad Tecnológica del Centro, Carretera Hochtún-Izamal KM 1.5 CP. 97540

ID 1^{er} Autor: *German Felipe Hernandez Castellanos* / ORC ID: 0000-0002-2619-1541, Researcher ID Thomson: S-5912-2018, CVU CONACYT-ID: 898283

ID 1^{er} Coautor: *Luis Manuel Ruiz Castillo* / ORC ID: 0000-0001-9568-8829, Researcher ID Thomson: S-6616-2018, CVU CONACYT-ID: 898763

ID 2^{do} Coautor: *Aref Jesus Franco Lopez* / ORC ID: 0000-0002-0710-3841, Researcher ID Thomson: S-6624-2018, CVU CONACYT-ID: 447822

Recibido Enero 27, 2018; Aceptado Marzo 30, 2018

Resumen

El presente proyecto está diseñado para brindar los servicios de Internet y red eléctrica a tres comunidades del estado de Yucatán. Para entregar los servicios de Internet se diseñó una red WAN y LAN para cada comunidad.

Se realizaron enlaces satelitales para las comunidades de: Izamal, Kimbila, Citilcum, Teya y Tepakán; y enlaces inalámbricos entre las comunidades. La red LAN está diseñada para dar servicios a cinco computadores y una línea telefónica VoIP, estos equipos están conectados a un switch, salen al internet por medio de un Router que se enlaza al proveedor de Internet y telefonía. Se diseñó una red eléctrica utilizando un sistema fotovoltaico para generar energía eléctrica renovable y poder alimentar los equipos de telecomunicaciones, computadoras y dotar de luz eléctrica a la escuela donde se encuentra la infraestructura tecnológica. Mediante un análisis económico se presenta el costo total para la implementación del proyecto, considerando el costo de mantenimiento y el costo de operación.

Energía renovable, Telecomunicaciones, Servicios

Abstract

This project is designed to provide Internet and electricity network services to three communities in the state of Yucatan. In order to deliver Internet services, a WAN and LAN network was designed for each community. Satellite links were made for the communities of: Izamal, Kimbila, Citilcum, Teya and Tepakán; and wireless links between the communities. The LAN network is designed to provide services to five computers and a VoIP telephone line, these devices are connected to a switch, they go to the Internet through a Router that connects to the Internet and telephony provider. An electrical network is designed using a photovoltaic system to generate renewable electric power and to power telecommunications equipment, computers and provide electric light to the school where the technological infrastructure is located. Through an economic analysis, the total cost for the implementation of the project is presented, considering the cost of maintenance and the cost of operation.

Renewable energy, Telecommunications, Services

Citación: HERNÁNDEZ-CASTELLANOS, Germán Felipe†, RUIZ-CASTILLO, Luis Manuel y FRANCO LÓPEZ, Aref Jesús. Desarrollo de estructura de servicios de telecomunicaciones y energía eléctrica para comunidades de Yucatán. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2018. 2-4: 6-14.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (german.hernandez@utcentro.edu.mx)

Introducción

En el Estado de Yucatán existen sectores rurales donde aun la energía eléctrica no ha se encuentra del todo habilitada, esto ha traído consecuencia el subdesarrollo de estos sectores ya que no tiene acceso a los servicios básicos y a la información. A través de este diseño se plantea entregar un kit Tecnológico a las comunidades que presentan un rezago en el servicio de conexión de internet.

El kit tecnológico consta de un sistema de energía renovable, un sistema utilizado para obtener internet y telefonía.

Con estos sistemas tecnológicos, hace que tenga en las comunidades el servicio de electricidad utilizando sistemas de energía fotovoltaica que con esto se pueda energizar los equipos de comunicaciones los cuales proporcionarían el servicio de internet y telefonía VoIP, adicional a esto se entregara el servicio de luz eléctrica en determinados lugares de la comunidad.

Análisis de las comuninades del proyecto

Las cinco comunidades a las cuales están dirigidas este proyecto se encuentran dentro de la región centro del estado de Yucatán, debido a que en estas comunidades se encuentran limitada los servicios de conexión de internet y calidad en la energía eléctrica.

Ubicación geográfica de las comunidades

A continuación, se describe la situación geográfica de cada una de las comunidades del estado de Yucatán:

Izamal

Entre los paralelos 20°45' y 21°01' de latitud norte; los meridianos 88°48' y 89°12' de longitud oeste; altitud entre 0 y 100 m. Colinda al norte con los municipios de Tekantó, Teya, Tepakán y Tekal de Venegas; al este con los municipios de Tekal de Venegas, Tunkás y Sudzal; al sur con los municipios de Sudzal, Kantunil y Hochtún y al oeste con los municipios de Hochtún, Bokobá y Tekantó. Las comunidades de Kimbila y Citilcum son comisarias de Izamal.

Teya

Entre los paralelos 20°59' y 21°08' de latitud norte; los meridianos 88°59' y 89°08' de longitud oeste; altitud entre 0 y 100 m. Colinda al norte con los municipios de Cansahcab y Tepakán; al este con el municipio de Tepakán; al sur con los municipios de Tepakán, Izamal y Tekantó y al oeste con los municipios de Tekantó, Suma y Cansahcab.

Tepakán

Entre los paralelos 20°59' y 21°09' de latitud norte; los meridianos 88°56' y 89°04' de longitud oeste; altitud entre 0 y 100 m. Colinda al norte con los municipios de Teya, Cansahcab y Temax; al este con los municipios de Temax y Tekal de Venegas; al sur con los municipios de Tekal de Venegas, Izamal y Teya y al oeste con los municipios de Teya y Cansahcab.

Con las coordenadas tomadas en cada comunidad ya se les puede ubicar en un mapa geográfico y ver que infraestructura de telecomunicaciones se encuentra cercana a la comunidad para poder llevar la señal de internet. En nuestro caso se utiliza la comunidad de Izamal para realizar el enlace inalámbrico para las comunidades del proyecto para hacer llegar la señal de internet (Figura 1).

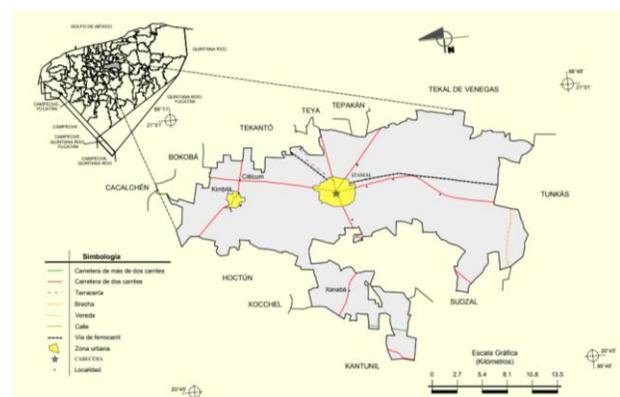


Figura 1 Localización de las comunidades (INEGI, 2009)

Características Tecnológicas

De acuerdo a los datos geográficos obtenidos y la revisión de las tecnologías que se pueden aplicar, en la tabla 1 se encuentran los enlaces inalámbricos que se van a diseñar para poder tomar la señal de de internet y llevarle a la comunidad.

Comunidad 1	Comunidad 2	Distancia (Km)
Izamal	Kimbila	12.7
Izamal	Citilcum	10.9
Izamal	Teya	58.2
Izamal	Tepakan	13.5

Tabla 1 Enlaces y distancias de las comunidades *Fuente: Elaboración Propia*

La red de transporte de servicios se conforma por un enlace WAN que está dividida en dos etapas como se muestra en la figura 2, la primera es un enlace satelital el cual se toma la señal de datos del satélite y se lleva a la comunidad y la segunda etapa es un enlace inalámbrico que va de la comunidad de Izamal a las demás comunidades del proyecto.

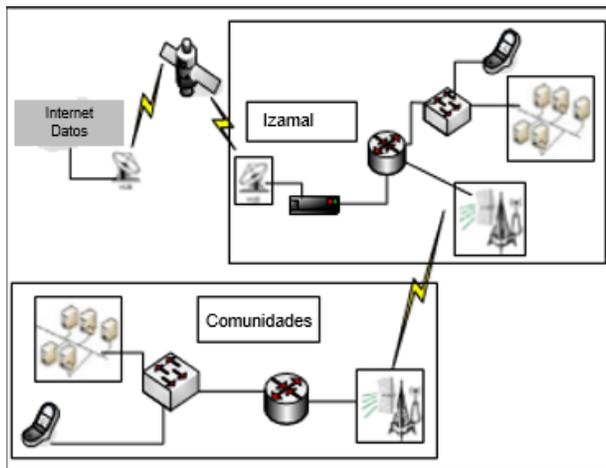


Figura 2 Esquema del diseño de la red de transporte de datos

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al esquema anterior se tiene ya determinado como estaría la red de transporte, para después llevar la señal con los servicios de comunicaciones utilizando un enlace de última milla, que es una red LAN formada por las terminales de usuario que son cinco computadoras y una línea de telefonía VoIP.

Análisis del tráfico de datos

Para determinar el nivel de tráfico que será enviado por la red, se tomará valores de referencia de la información de voz y datos que se transmitirá.

En la tabla 2 se encuentra el ancho de banda necesario para que la VoIP se transmita por Ethernet, dependiendo del codec que se utilice en la codificación se necesita un ancho de banda para la transmisión.

CODEC	Tasa	BW (Kbps)
G 729	8 kbps	28.80
G 723.1	6.4 kbps	27.20
	5.3 kbps	26.13
G 711	64 kbps	74.40
G 726	32 kbps	52.80

Tabla 2 Ancho de banda para VoIP

Fuente: Elaboración Propia

Las aplicaciones típicas que se transmiten como Datos es: Correo Electrónico documentos en Word, Excel, PowerPoint y páginas Web, en la tabla 3 se indica valores referenciales de las aplicaciones típicas que se transmiten por Internet.

Aplicación	Valor referencial
Word	300 KB
Excel	300 KB
Power Point	600 KB
Correo electrónico	100 KB
Páginas Web	180 KB

Tabla 3 Aplicaciones que se transmiten por internet

Fuente: Elaboración Propia

Una página Web debe demorar entre 5 a 10 segundos en descargarse para que tenga calidad de servicio. Un usuario que está abriendo una página Web que pesa un promedio de 180Kb con estos datos y aplicando la ecuación 1 se obtiene la velocidad de transmisión de:

$$V_{transf} = \frac{\text{tamaño página}}{\text{tiempo}} \quad (1)$$

$$V_{transf} = \frac{180 \text{ Kb}}{5s} = 36 \text{ Kbps}$$

Los 36 Kbps es por cada usuario, se tiene 5 computadoras, poniendo en peores condiciones que los cinco usuarios estén abriendo páginas Web, la velocidad de transmisión se multiplica por el número de usuarios como muestra la ecuación 2, para tener la velocidad de transmisión total que debe haber para que haya calidad de servicio.

$$V_{transf} = (V_{transf})(\text{núm usuarios}) \quad (2)$$

$$V_{transf} = (36 \text{ Kbps})(5) = 180 \text{ Kbps}$$

Las centrales telefónicas SIP y las líneas telefónicas utilizan la codificación G.711 para la digitalización de la señal y como se va a transmitir por Ethernet el enlace VoIP ocupará un ancho de banda de 74.4 Kbps.

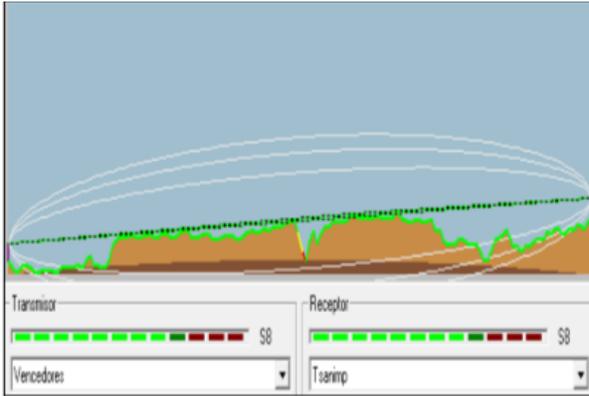


Figura 7 Conexión de Izamal-Tepakán

Fuente: SW Mobile

Una vez determinado los enlaces y su distancia se obtienen las alturas de las antenas para que las zonas de fresnel no choquen con el perfil del terreno. En la tabla 5 se tiene un resumen de los datos del diseño de los enlaces Inalámbricos.

Enlace	Altura antena	Potencia de transmisión
Izamal-Kimbila	7 m	30 mW
Izamal-Citilcum	10 m	464 mW
Izamal-Teya	27.7 m	360 mW
Izamal-Tepakán	19.6 m	112.7 mW

Tabla 5 Datos de enlaces inalámbricos

Fuente Elaboración propia

Especificaciones técnicas de equipos de comunicaciones para el proyecto

Se detallan a continuación las especificaciones técnicas del sistema de comunicaciones diseñado para llevar la señal de internet hacia las comunidades.

Características del sistema

El sistema satelital está compuesto de tres partes la antena parabólica, la unidad ODU y la unidad IDU. La antena parabólica debe ser compuesta de un material de poliéster reforzado con fibra de vidrio, la cual tenga movimientos de 360° y un ajuste fino de $\pm 20^\circ$, la elevación debe ser de 7° a 84° con un ajuste fino continuo.

En la tabla 6 se indica los parámetros de funcionamiento que debe cumplir la antena parabólica.

Parámetros	Característica
Tipo de reflector	Solido
Apertura efectiva	Mínimo: 1.8 m Máximo: 2.4 m
Frecuencia de operación	Uplink: 14,00 – 14,50 GHz Downlink: 11,70 – 12,20 GHz
Polarización	Lineal horizontal, lineal vertical
Ganancia	Uplink: 43dBi @ 14,25 GHz Downlink: 41dBi @ 11,95 GHz
Ancho de haz a 3dB	Uplink: 1,2° @ 14,3 GHz Downlink: 1,5° @ 12,0 GHz
ROE	1,3 como máximo

Tabla 6 Características de una antena satelital

Fuente: Elaboración Propia

La unidad ODU es un equipo donde recibe y transmite la señal satelital, está ubicado en la antena parabólica, en la tabla 7 se encuentra los parámetros que debe tener para transmisión y recepción de la señal.

Parámetros de transmisión	Característica
Banda	14,0 – 14,5 GHz
Compresión	35 / 33 dBm
Frecuencia del osc local	13,05 GHz (banda Ku)
Frecuencia de referencia	10 MHz
Nivel de referencia	-5 a +5 dBm
Ganancia lineal típica	57 dB
Frecuencia intermedia IF	950 – 1450 MHz
Conector IF	Tipo F, 75 Ohmios
Potencia / Tensión	<20 W / 18-28 VDC

Parámetros de recepción	Característica
Banda	10,70 – 12,75 GHz
Frecuencia intermedia	950 – 2150 MHz
Ganancia de conversión	58 – 68 dB
Frecuencia del osc local	9,75 GHz / 10,6 GHz
Ruido (10/100/1000 kHz)	-85/-105/-120 dBc/Hz
Rango de temperatura de operación	-35°C a +55°C
Grado de protección IP	64

Tabla 7 Parámetros de transmisión y receptor ODU

Fuente: Elaboración Propia

La unidad IDU es el modem satelital en la tabla 8 se tiene los parámetros que deben cumplir este equipo.

Parámetros del receptor	Característica
Modulación	Desfase fino de cuadratura (QPSK)
Frecuencia de muestreo	1 – 45 Msps
Corrección de errores	cumple DVB-S 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8

Parámetros del transmisor	Característica
Modulación	Desfase fino de cuadratura (QPSK)
Frecuencia de muestreo	125 – 1200 kpsps

Tabla 8 Parámetros del receptor y transmisión IDU

Fuente: Elaboración Propia

Características del sistema inalámbrico

El sistema inalámbrico está compuesto de los enlaces punto a punto que se realizan para llevar la señal de una comunidad a otra, en la tabla 9 se describe los parámetros que debe cumplir el equipo de radio frecuencia.

Parámetro	Característica
Banda de frecuencia	ISM 2400-2483.5 MHz
Tasa de transmisión	Mínimo 10 Mbps
Distancia	5 – 30 Km
Potencia Isotrópica	Ajustable a 12.0 W
Ancho del canal	20 MHz
Ganancia de antenas	11 dB
Encriptación	DES
Grado de protección IP	64

Tabla 9 Parámetros del equipo inalámbrico

Fuente: Elaboración Propia

Diseño del sistema fotovoltaico

Para realizar un diseño de un sistema fotovoltaico, se debe entender el funcionamiento de cada uno de los elementos que compone un sistema de energía renovable; además de debe conocer los parámetros y características, que los fabricantes de cada componente emiten, los cuales son de utilidad para el diseño.

El sistema de energía fotovoltaico está compuesto de paneles solares, regulador de voltaje, banco de baterías y un inversor de DC/AC, como se muestra en la figura. 8.

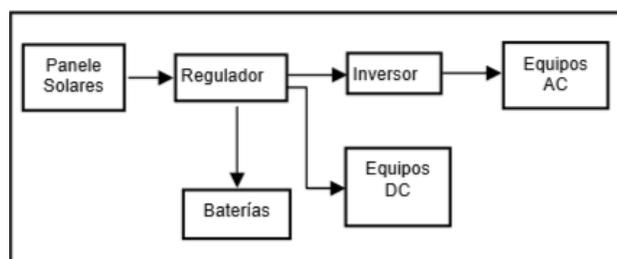


Figura 8 Elementos del sistema fotovoltaico

Fuente: Elaboración Propia

Sistema fotovoltaico

Los paneles están formados de un conjunto de células solares que transforman la energía solar en energía eléctrica, los voltajes que proporcionan son en corriente continua. Los principales parámetros que el fabricante de los paneles solares proporciona, para tomar en cuenta para un diseño son:

- Tensión máxima de potencia (VPmax)
- Intensidad máxima de potencia (IPmax)
- Corriente de cortocircuito (ISC)
- Tensión de circuito abierto (VOC)
- Factor de forma (FF)
- Valores de VPmax y IPmax son menores que ISC y VOC

El cálculo de los paneles solares en serie se hace con la ecuación 3.

$$Nps = \frac{V_n}{V_{Pmax}} \quad (3)$$

El número de paneles solares en paralelo se calcula con la ecuación 4.

$$Npp = \frac{L}{Im * Gdm(\beta) * \eta_g * \eta_b} \quad (4)$$

El total de paneles se calcula con la ecuación 5.

$$Np = Nps * Npp \quad (5)$$

Baterías

Las baterías están formadas de un conjunto de vasos los cuales constan de electrodos de plomo con una disolución electrolítica, las baterías más utilizadas tienen voltajes de 12 o 24 voltios. Los principales parámetros que el fabricante de baterías proporciona para realizar el diseño del sistema fotovoltaico son:

- Tensión nominal VNBata
- Capacidad nominal CNbat
- Profundidad máxima de descarga PDmax
- Capacidad disponible CUBat

Con la ecuación 6 se calcula la capacidad que tiene la batería esta capacidad se da en (Ah).

$$C = \frac{L * d}{P_d} \quad (6)$$

Para calcular el número de baterías en serie y en paralelo se utilizan las ecuaciones 7 y 8.

$$Nbs = \frac{Vns}{Vnb} \quad (7)$$

$$Nbp = \frac{C}{Cn} \quad (8)$$

Con la ecuación 9 se calcula el número total de batería.

$$Nb = Nbp * Nbs \quad (9)$$

Regulador

El regulador cumple algunas funciones en el sistema fotovoltaico, las funciones son estabilizar, mantener el voltaje que entrega las celdas fotovoltaicas, realiza la función de cargador de baterías y realiza el aislamiento de las baterías con los paneles solares. Los principales parámetros del regulador que el fabricante proporciona para poder realizar el diseño son:

- Corriente máxima I_{maxReg}
- Tensión de trabajo V_{NReg}

Para encontrar la corriente máxima del regulador se utiliza la ecuación 10

$$I_{maxreg} = Npp * Icc \quad (10)$$

Inversores

Los inversores son la última etapa del sistema fotovoltaico en esta etapa el voltaje que viene de las baterías se transforma de corriente continua en corriente alterna (DC/AC). Los parámetros del inversor que el fabricante proporciona son:

- Tensión de trabajo V_{Nconv}
- Potencia instantánea P_{Iconv}
- Eficiencia del inversor, el fabricante entrega el rendimiento al 70%

En la tabla 10 se encuentra los valores de potencia de los equipos de telecomunicaciones, la potencia total se tiene que es 306 W, el inversor más cercano que se encuentra en el mercado es de 500W con voltaje nominal de 24V de energía continua de salida con energía de cresta de 1200W.

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total (W)
Computadoras de escritorio	5	50	250
Switch 8 puertos	1	8	8
Router	1	8	8
Enlace inalámbrico	1	9	9
ATA	1	1	1
Modem Vsat	1	30	30
Total		106	306

Tabla 10 Potencia de equipo
Fuente Elaboración propia

Diseño

Existen tres parámetros que se deben obtener para poder realizar un buen diseño del sistema fotovoltaico, los parámetros son: Energía consumida, carga en AC/DC y la incidencia solar. Cada equipo ya sea eléctrico o electrónico va a tener una potencia de consumo, la cual es dada por el fabricante, en la tabla 11 se encuentran los valores obtenidos de potencia en Watt de los equipos de telecomunicaciones, además se encuentra el tiempo de funcionamiento que va a tener el equipo por día, con esto se obtiene la energía de consumo.

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Horas diarias de consumo (h)	Energía consumida Wh/día
Computador	5	50	8	2000
Switch 8 puertos	1	8	8	64
Router	1	8	8	64
Enlace inalámbrico	1	9	8	72
ATA	1	1	8	8
Modem Vsat	1	30	8	240
Energía total consumida (Wh/día)				2448

Tabla 11 Cálculo de energía consumida de equipo de telecomunicaciones

Fuente: Elaboración Propia

Utilizando la ecuación 3 y con los datos obtenidos de energía consumida se puede obtener la carga AC en Ah/día, este valor se obtiene ya que es mejor realizar los cálculos con la carga porque va a ser un valor fijo evitando errores por la variación de voltaje.

$$Lac = \frac{2448 \left(\frac{Wh}{día}\right)}{24 V} = 102 \frac{Ah}{día}$$

La corriente consumida real depende de la eficiencia que tenga el convertidor DC/AC, la eficiencia de convertidor depende de la potencia consumida la mayoría de fabricantes suministra la eficiencia al 70% de su potencia nominal.

Utilizando la Ecuación 4 se calcula la carga real diaria, lo cual es la suma de la carga en DC y la carga en AC dependiendo de la eficiencia del convertidor.

$$L = 0 + \frac{102 Ah/día}{0.7} = 145.71 Ah/día$$

La incidencia solar es la cantidad de luz solar que irradia en la superficie terrestre, esta cantidad es un valor medio de la irradiación global que incide todos los días dividido por el número de días del mes, su unidad de medida es (Gdm (0), en kWh/m²×día). Este dato es proporcionado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Un estudio realizado para el Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER) muestra la irradiación solar de la República Mexicana en el cual sitúa a la Península de Yucatán en nivel promedio de 5.66-6.15 kWh/m²-día, tal como se indica en la figura 9.



Figura 9 Radiación solar diaria promedio anual Fuente: SIGER 2017

Especificaciones técnicas de los equipos del sistema fotovoltaico

En la tabla 12 se encuentra los parámetros y características que deben cumplir cada uno de los equipos que forman el sistema fotovoltaico, para que funcione entregando energía a los equipos de telecomunicaciones con una autonomía de 4 días de radiación solar nula.

Equipos del sistema fotovoltaico	Característica	Cantidad carga equipos
Carga eléctrica	3963 Wh/día	
Paneles solares	V _{np} = 30.3 Vdc I _m = 8.159 A I _{cc} = 8.45 A	11
Baterías	V _{nb} = 12 Vdc C _n = 204 Ah P _d = 0.5	20
Regulador	I _{máxreg} = 59.15 A I _{minreg} = 33.8 A V _{nreg} = 24 Vdc	1
Inversor	Energía continua de 1500W y 24Vdc salida Energía de cresta de 1800W	1

Tabla 12 Requerimientos de sistema eléctrico Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

Las comunidades: Kimbila, Citilcum, Teya y Tepakán, reciben los servicios tomando la señal de la comunidad de Izamal, ya que es posible realizar enlaces inalámbricos entre comunidades, este diseño se adoptó debido a su situación geográfica.

De acuerdo al análisis del tráfico realizado, se determinó que el ancho de banda que debe ser contratado para la transmisión de los servicios de Internet y telefonía es de 256/128 up/down, como mínima capacidad para cada una de las comunidades. Las comunidades del proyecto van a tener un ancho de banda de 512/256 up/down, por lo que no afectaría el compartir su ancho de banda, manteniendo la calidad de servicio en los niveles aceptables, de acuerdo al análisis realizado.

En el diseño del sistema eléctrico se tiene algunos puntos en los cuales el diseñador debe analizar y llegar a un equilibrio, estos puntos son espacio físico y costo. Con respecto al espacio se puede tener mayor cantidad de paneles fotovoltaicos y menos baterías o se puede tener menos paneles fotovoltaicos, pero aumentando el voltaje nominal del sistema, esto implica mayor cantidad de baterías; revisando el análisis de costos se tiene que al aumentar el voltaje nominal baja un 5% el costo total del proyecto así que se toma el diseño con un voltaje nominal de 24V.

En el análisis de selección de tecnologías para este proyecto, se consideró para el acceso: Internet por medio de enlaces satelitales y un sistema inalámbrico; pero al efectuar el análisis de los costos de implementación, los dos sistemas son semejantes, con una pequeña variación del 5% como costo referencial, sin embargo, al realizar el análisis de operación y mantenimiento, en los enlaces satelitales a mediano plazo se incrementa el costo considerablemente, debido al costo por arrendamiento del espacio satelital, el valor del internet es 3 veces superior al que resultaría en un enlace inalámbrico.

Con los diseños presentados se entrega para su implementación en cada comunidad un sistema de comunicaciones que brinda los servicios de: telefonía VoIP e Internet en un centro de cómputo ubicado en la escuela de la comunidad, además se entrega un diseño del sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica, la cual será utilizada en la alimentación de los equipos de cómputo.

Referencias

ALLEGRO MICROSYSTEMS [en línea]. Allegro in the Commonwealth of Massachusetts [USA]. [citado el 10 de 01 de 2018]. Disponible en el sitio Web: <<http://www.allegromicro.com/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-IntegratedConductor-SensorICs.aspx>>.

ARIAS NAVARRO, A. Casa Rural Sostenible. Proyecto final de Carrera de la especialización en electricidad. Barcelona. Universidad de Cataluña. 2009.

ARRIBAS, L. “Electrificación rural con aerogeneradores de pequeña potencia en América Latina”, XVII Simposio Peruano de Energía Solar, Cusco, noviembre de 2010.

DIAZ N. Hedier, y DIEZ C. Fabián. Analisis, Modelado, Simulación y Validacion de un sistema de generacion de energía solar autónomo. Trabajo de grado para Ingeniero Electricista. Universidad Autónoma. Facultad de Ingeniería. 2007. Cali. 121p. Disponible en el sitio Web: <http://bdigital.uao.edu.co/handle/10614/322>

eRENOVABLE [en línea]. Historia de Energias Renovables. 2011. [citado el 19 de enero de 2018]. Disponible en el sitio Web: <http://erenovable.com/2011/04/11/historia-energia-renovable/>

Grupo de Telecomunicaciones Rurales, Pontificia Universidad Católica del Perú, “REDES INALÁMBRICAS PARA ZONAS RURALES”, primera edición, Publicado en Perú Enero del 2008

INEGI, (2009) “Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos”

JUNCA, Marco A, RIAÑO CASTELLANO, Paola A., Teléfono software IP Basado en SIP e implementado en PESQ, Pontificia Universidad Javeriana, Bogota mayo del 2005.

MURCIA, H. R. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus Perspectivas. En: Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá. No.28 (2008); p. 83-89.

SANCHEZ P. Carlos. Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica Aplicados a Viviendas Residenciales en Entorno Urbano. Universidad Internacional de Andalucía. Andalucía. España. 2010. p.1-65. Disponible en el sitio Web: <http://dspace.unia.es/handle/10334/503>

SIGER (2017) Proyecto SIGER disponible en: <https://www.ineel.mx/detalle-de-la-nota.html?id=933>

Tricalcar, Tecnologías Inalámbricas para el desarrollo de América Latina y el Caribe, Primera versión. Julio 2007, consultado en febrero del 2018. Disponible en la URL: http://www.wilac.net/index_pdf.html

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE). (1994). IEEE Guide for the Selectio and Sizing of Batteries for Uninterruptible Power Systems. Nueva York.

Automatización de un sistema de energía híbrido móvil independiente de la red eléctrica

Automation of a stand-alone mobile hybrid system

ESPINOSA-TRUJILLO, María Jesús†*¹, MEDINA-CARRIL, Diego Manuel¹, CERVERA-MORALES, Miguel Leonardo¹, HERRERA-LUGO, Angélica¹ y VERDE-GÓMEZ, José Ysmael²

¹Universidad Tecnológica Metropolitana, Calle 111 por 46 y 48 No.315, Col. Santa Rosa, C.P. 97279, Mérida, Yucatán, México.

²Instituto Tecnológico de Cancún, Av. Kabah km.3, C.P. 77500, Cancún, Q. Roo, México.

ID 1^{er} Autor: *María Jesús Espinosa Trujillo* / ORC ID: 0000-0002-2889-4849, Researcher ID Thomson: T-3632-2018, CVU CONACYT ID: 297283

ID 1^{er} Coautor: *Diego Manuel Medina Carril* / ORC ID: 0000-0002-9583-6091, Researcher ID Thomson: T-5430-2018, CVU CONACYT ID: 297033

ID 2^{do} Coautor: *Miguel Leonardo Cervera Morales* / ORC ID: 0000-0002-1701-2783, Researcher ID Thomson: T-4632-2018, CVU CONACYT ID: 42919

ID 3^{er} Coautor: *Angélica Esther Herrera Lugo* / ORC ID: 0000-0001-8066-8956, Researcher ID Thomson: T-4636-2018, CVU CONACYT ID: 272950

ID 4^{to} Coautor: *José Ysmael Verde Gómez* / ORC ID: 0000-0002-1723-4175, CVU CONACYT-ID: 121030

Recibido Enero 27, 2018; Aceptado Marzo 30, 2018

Resumen

En este trabajo se presenta el proceso para la automatización de un sistema nuevo de energía híbrido móvil (SHM) compuesto de paneles fotovoltaicos, generador eólico, supercondensador y banco de baterías para usarse en Quintana Roo, México. El programa para la automatización tiene como propósito gestionar la energía de las distintas fuentes que conforman el sistema híbrido, con la finalidad de satisfacer la demanda de las cargas conectadas a él, según se requiera. El SHM incluye sensores de voltaje y corriente, relevadores, un sistema de adquisición de datos y un programa desarrollado bajo un ambiente gráfico, que brinda una interface gráfica de usuario amigable. El gestor de la energía dispone de un controlador principal, el cual mediante una serie de lecturas de los parámetros de operación de los distintos componentes en tiempo real y datos meteorológicos obtenidos en tiempo real de internet, toma decisiones para proveer una operación autónoma. El sistema tiene la capacidad de conectar y desconectar las diferentes fuentes de energía y las cargas conectadas a él, dependiendo de la energía disponible y/o la carga demandada. Para comprobar su funcionamiento se realizaron simulaciones en diferentes modos de operación, obteniéndose que el sistema híbrido ejecuta las acciones de control propuestas y opera de forma autónoma.

Instrumentación virtual, sistema híbrido, gestión de la energía.

Abstract

The automation process for a new hybrid mobile power system (HMPS) using photovoltaic panels, wind power generator, supercapacitor and batteries is presented. The HMPS is tested under Caribbean environmental scenarios. The automation system manages the different energy sources of the HMPS in order to meet the demand of the loads connected, which must be fed during the day or night, as needed. The HMPS include voltage and current sensors, relay, data acquisition system and software development in a graphical environment that provide a friendly graphical user interface. The controller system is responsible to the energy management, which through of the real-time operating parameters from the different components and the meteorological internet real-time data, makes decisions to provide autonomous operation. The control system connect and disconnect the power sources and the loadings, depending on the available energy or the total electrical load. Performance tests show that the hybrid system can operate for long periods of time taking the actions necessary to control and operate autonomously.

Virtual Instrumentation, hybrid system, energy management

Citación: ESPINOSA-TRUJILLO, María Jesús, MEDINA-CARRIL, Diego Manuel, CERVERA-MORALES, Miguel Leonardo, HERRERA-LUGO, Angélica y VERDE-GÓMEZ, José Ysmael. Automatización de un sistema de energía híbrido móvil independiente de la red eléctrica. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2018. 2-4: 15-27.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (maria.espinosa@utmropolitana.edu.mx)

Introducción

La crisis energética, la contaminación ambiental y el calentamiento global son temas importantes hoy en día alrededor del mundo. En vista de esto, las fuentes de energía renovable tales como la solar, eólica, hidráulica, biomasa, entre otras, están siendo explotadas cada vez más para satisfacer las necesidades de energía, y son consideradas como posibles soluciones para hacer frente al dilema energético y las preocupaciones ambientales (Zahraee et al., 2016; Hwang et al., 2012; Ma et al., 2014).

En particular, atender la demanda de energía en algunas regiones remotas (p. ej. desarrollo de pueblos, islas y estaciones de señal, etc.) y/o en situaciones en donde se requiera generación de electricidad in situ (p. ej. atender a desastres naturales, hospitales móviles, etc.), es un problema difícil de resolver, ya que en ocasiones no es rentable extender la red eléctrica para cubrirla, por lo que el aprovechamiento de las energías renovables en estos casos, parece ser más prometedor ya que éstas pueden ser abundantes dependiendo de la región geográfica (Jun et al., 2011; Panapakidis et al., 2012).

Las fuentes de energía renovable, así como los sistemas de conversión tales como los paneles fotovoltaicos, aerogeneradores y celdas de combustible prometen ser fuentes de energía sustentables y amigables con el medio ambiente; sin embargo, cuando éstas son usadas de forma individual presentan ciertas deficiencias, debido a que en su mayoría son altamente dependientes de las condiciones climáticas (Dursun y Kilic, 2012; Abedi et al., 2012; Yang et al., 2003).

Para superar este problema, los sistemas de conversión pueden estar integrados con otras fuentes alternativas de potencia o sistemas de almacenamiento, usando topologías híbridas (Kamal et al., 2018; Luna et al., 2012; Vivas et al., 2018). Un sistema de energía híbrido consiste en la combinación de dos o más fuentes de energía, convertidores y/o dispositivos de almacenamiento; sin embargo, para obtener la operación autónoma de dicho sistema, se requiere de una estrategia de manejo de energía, de componentes apropiados y un sistema de control que permitan alcanzar el rendimiento adecuado, superando las deficiencias de cada fuente de energía renovable que lo compone (Lagorse et al., 2010; Fabbri et al., 2010; Hatti et al., 2011).

Debido a su relevancia, una gran diversidad de investigadores alrededor del mundo se ha enfocado en el estudio de los sistemas híbridos. Por ejemplo, Uzunoglu et al., (2009) proponen el diseño y modelado de un sistema híbrido integrado por un sistema fotovoltaico (SFV), pila de combustible (PdC) y supercondensador (SC), para la generación de energía sostenible independiente de la red eléctrica que alimente una micro red de tres casas residenciales; los resultados de simulación en el programa Matlab, demuestran que el sistema exhibe un excelente rendimiento para un día completo, e incluso en largos periodos de tiempo.

Wang et al., (2011) presentan la simulación en Matlab de una novedosa topología de un sistema híbrido compuesto por un SFV, banco de baterías (BB) y SC, independiente de la red eléctrica para alimentar un bus de corriente directa (CD). La estrategia propuesta para la gestión de la energía permite una operación normal del sistema, y asegura que el BB trabaja en un estado óptimo para extender su tiempo de vida útil.

Onar et al., (2008) combinan un generador eólico (GE), SFV, PdC y SC para aplicaciones independientes de la red eléctrica. Los resultados de la simulación desarrollada en Matlab, demostraron que el sistema híbrido propuesto y su estrategia de control exhibieron un excelente desempeño.

Fabbri et al., (2010) analizan la estrategia de control y gestión de la energía de un sistema híbrido compuesto por PdC, GE y SFV para aplicaciones de telecomunicaciones en la isla de Ventotene, Italia. El sistema fue simulado en Matlab, cuyos resultados muestran que la estrategia global de gestión de energía es eficaz y los flujos de energía entre las diferentes fuentes y la demanda de la carga es equilibrada con éxito.

Eroglu et al., (2011) proponen un sistema híbrido independiente de la red eléctrica compuesto por SFV, GE y PdC aplicado en una casa móvil, cuyo sistema de control inteligente de energía fue programado en LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, National Instruments), teniendo como objetivo suministrar energía ininterrumpida.

Stuchlý et al., (2013), desarrollaron un sistema de monitoreo y control remoto de un sistema híbrido, utilizando LabVIEW, compuesto por SFV, GE y BB sobre la plataforma física de una casa residencial independiente de la red eléctrica, demostrando que las fuentes de energía renovables pueden aprovecharse para alimentar la carga de la casa. Pecen y Nayir (2010) implementaron un sistema híbrido compuesto por GE, SFV y BB, utilizando LabVIEW, como banco de pruebas para la educación de estudiantes de Ingeniería Eléctrica, con el fin de proporcionar enseñanza en las áreas de energía renovable para estudiantes y profesores.

Aissou et al., (2015) desarrollaron una estrategia de control de un sistema híbrido utilizando LabVIEW, que integra un SFV, GE y BB. Los resultados mostraron que el sistema propuesto y su estrategia de control son adecuados para una aplicación real, como en un sistema de bombeo de agua en zonas aisladas a la red eléctrica. Zahran et al., (2010) proponen un sistema de monitoreo en LabVIEW para un SFV y BB. El sistema fue probado bajo distintos modos de operación obteniéndose la respuesta esperada y un excelente rendimiento.

Kamal et al., (2016) simulan un sistema híbrido que integra un GE, BB y PdC, utilizando el GE como fuente primaria y utilizando estrategias cuyo objetivo es asegurar la demanda. El desempeño del sistema híbrido se verifica con datos reales de velocidad del viento y variaciones de carga. Los resultados presentados en MATLAB/simulink demuestran que el sistema funciona correctamente, alimentando la demanda, regulando el voltaje y asegurando la estabilidad de la red.

Como se refleja en la literatura, gran variedad de sistemas híbridos han sido propuestos utilizando diferentes componentes, aplicaciones y softwares para su simulación e implementación. En su mayoría ha optado por el software Matlab para su simulación y el LabVIEW para su implementación.

Este trabajo propone la integración de un nuevo sistema híbrido móvil (SHM), aislado de la red eléctrica, compuesto por un SFV, GE, BB y SC. Este SHM será utilizado para casos de desastres naturales o en áreas remotas en Quintana Roo, México.

La estrategia de control para la gestión de la energía del sistema híbrido se propone basándose en los trabajos de Uzunoglu et al., (2009) y Onar et al., (2008). Esta estrategia, a diferencia de las obras mencionadas, incluye un BB con sus parámetros de operación y un subsistema para gestión de cargas independientes operando en un esquema de encendido/apagado para la conexión/desconexión de las cargas. El SHM fue simulado con el gestor de la energía propuesto en el programa Matlab, con un perfil de carga determinado y datos climatológicos de Quintana Roo.

Para la automatización de todo el sistema se utilizó la plataforma de programación gráfica LabVIEW, que permite monitorear y controlar el funcionamiento del sistema en tiempo real. LabVIEW es un lenguaje de programación gráfica de National Instruments, que tiene la capacidad de gestionar diferentes sistemas de adquisición de datos, este programa utiliza iconos en lugar de líneas de texto para crear aplicaciones. Hoy en día este entorno de programación ha sido usado en muchos campos de la ciencia y la ingeniería (Chouder et al., 2013; Capraro et al., 2010).

En este artículo también se plantea el desarrollo de una plataforma integral basada en LabVIEW con herramientas de monitoreo y control automático para el SHM, que a diferencia de los trabajos previamente reportados, incluye un sistema de adquisición de datos climatológicos en tiempo real de una estación meteorológica cuyos datos están publicados en internet. Estos datos son utilizados para obtener la potencia máxima de salida que puede proveer el SFV. Para obtener la potencia de salida del SFV se tomó como base el modelo modificado de dos diodos propuesto por Ishaque et al., (2011), al cual se le integró el sistema de adquisición de datos meteorológicos.

Descripción del sistema híbrido móvil

El SHM desarrollado será utilizado en el Estado de Quintana Roo, la cual es susceptible al impacto de huracanes y cuenta con algunas regiones en las que aún no se encuentra disponible la red eléctrica comercial.

El sistema está preparado para alimentar las cargas que sirven para su autoconsumo (transductores, sistemas de adquisición de datos, iluminación), así como algunas cargas determinadas por los usuarios (p. ej. sistema de telecomunicaciones, bombeo de agua, iluminación, refrigeración, equipo médico menor, computadora, dispositivo de banda ancha, etc.).

El SHM está compuesto por cuatro fuentes de energía: un SFV de 2.4 kW de potencia nominal, que consta de 10 paneles modelo LDK-240D-20 conectados en serie-paralelo con capacidad de 240 W cada uno; un GE modelo WK-750 de 750 W nominales; un módulo de SC Maxwell BMOD0165 de 165 F a 48.6 V y un BB modelo T-105 6V compuesto por 10 baterías, conectadas en serie-paralelo de 6V cada una y corriente de 225 Ah.

Los elementos del SHM fueron seleccionados de acuerdo a los siguientes factores: la carga máxima que será alimentada, el peso de las fuentes de energía y las dimensiones del remolque en el que serán instalados.

Estas fuentes de energía van conectadas a un bus de 24 VCD, a través de convertidores CD/CD; este bus de CD va conectado un inversor CD/CA para obtener un bus de 127 VCA. De esta forma el SHM tiene la capacidad de alimentar cargas de CD y CA, las cuales se pueden conectar en las ocho tomas de corrientes distribuidas en el interior y exterior del remolque, según se requiera.

El sistema también cuenta con un controlador principal para la gestión de la energía, que será el encargado de administrar la potencia de los dos buses, así como de la conexión/desconexión de las cargas y de las fuentes de alimentación en caso de ser necesario. La figura 1 muestra la integración del sistema completo en un diagrama de bloques.

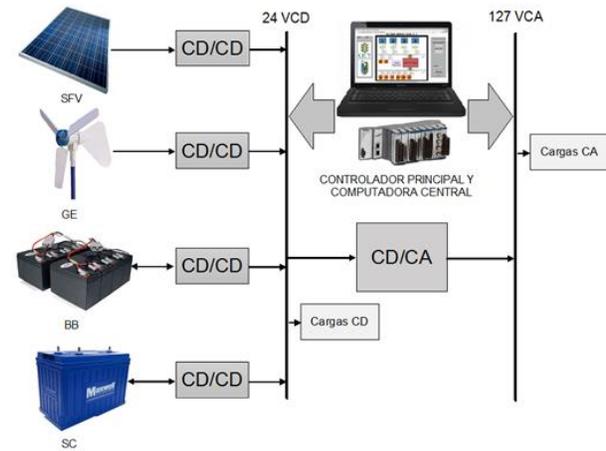


Figura 1 Sistema híbrido móvil

Fuente: *Elaboración Propia*

Gestión de la energía del SHM

Para la integración de las cuatro fuentes y demás elementos que componen el SHM, fue necesario plantear las estrategias de control para la gestión de la energía que rigen el funcionamiento del sistema. El SFV y GE son las principales fuentes de energía del sistema híbrido. La diferencia de potencia entre las fuentes de generación y la demanda de la carga se calcula utilizando la ecuación (1) de balance de potencia:

$$P_{net} = P_{SFV} + P_{GE} - P_C - P_{AC} \quad (1)$$

donde P_{net} es la potencia neta del sistema, P_{SFV} es la potencia generada por el SFV, P_{GE} es la potencia generada por el GE, P_C es la potencia demandada por la carga conectada y P_{AC} es la potencia de autoconsumo para operar el sistema (Hatti et al., 2011; Fabbri et al., 2010).

A partir de las condiciones para el SHM las ecuaciones de balance de potencia de Hatti et al., (2011) y Fabbri et al., (2010), se reescriben en las ecuaciones (2) y (3).

$$P_{SFV} + P_{GE} = P_C + P_{AC} + P_{CSC} + P_{CBB}, \quad P_{net} > 0 \quad (2)$$

$$P_{SFV} + P_{GE} + P_{SC} + P_{BB} = P_C + P_{AC}, \quad P_{net} < 0 \quad (3)$$

donde P_{CSC} es la potencia para cargar el SC y P_{CBB} , la potencia para cargar el BB. Si la potencia generada por el SFV y el GE es mayor que la que se requiere para alimentar la carga conectada al sistema híbrido y la de autoconsumo, el excedente se utilizará para cargar el módulo de SC.

Una vez cargado éste y si aún existiera excedente, entonces se utilizará para cargar el BB. En el caso de que el módulo de SC y el BB estuvieran cargados y hubiera exceso de energía, ésta se puede purgar. Esto se representa en la ecuación (2).

Si la demanda de la carga conectada al sistema híbrido es mayor que la que pueden proveer el SFV y el GE, se completará con el módulo de SC y/o el BB como se puede apreciar en la ecuación (3).

Partiendo de las estrategias de control propuestas anteriormente, se genera el algoritmo del controlador principal para la gestión de la energía del SHM. Este se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 2, en donde las variables de entrada son la potencia de entrada (PEN) y la potencia total demandada (PTD). La PEN consiste en la potencia de salida del sistema fotovoltaico más la potencia de salida del generador eólico. La PTD consiste en la potencia demandada por la carga (PC) más la potencia de autoconsumo (PAC).

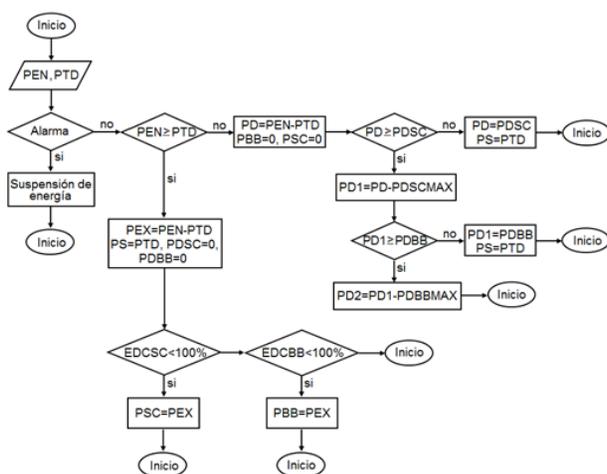


Figura 2 Algoritmo general del controlador principal para la gestión de la energía

Fuente: Elaboración Propia

Al iniciarse, el sistema verifica si existe alguna alarma, de ser así se suspende la energía de todo el sistema hasta que se arregle la falla. De no existir alarmas, se analiza la segunda condición que verifica si la potencia de entrada (PEN) es mayor o igual que la potencia total demandada, de ser mayor existirá una potencia excedente (PEX) y de ser menor existirá una potencia déficit (PD).

De existir potencia excedente se tiene que la potencia excedente es igual a la potencia de entrada menos la potencia total demandada ($PEX = PEN - PTD$), por lo que no se requiere demandarle potencia al banco de baterías (PBB) ni al módulo de SC (PDSC), y la potencia de salida (PS) será limitada a la PTD. Continuando sobre la ruta de la potencia excedente (PEX), se encuentra la tercera condición que verifica si el estado de carga (EDC) del módulo de SC es menor que el 100% de su capacidad, y de ser así, se tendrá que la potencia suministrada al SC (PSC) es igual a la potencia excedente ($PSC = PEX$), lo que indica que la potencia excedente se suministrará al módulo de supercondensadores para cargarlo.

Si el módulo de SC se encuentra al 100% de su capacidad, se analiza la cuarta condición, que verifica si el EDC del banco de baterías se encuentra a menos del 100% de su capacidad, y de ser así, entonces la potencia suministrada al banco de baterías es igual a la potencia excedente ($PBB = PEX$), es decir, la energía excedente se utilizará para cargarlo. En el caso de que el banco de baterías se encuentre a su máxima capacidad, al igual que el SC, la potencia excedente se podrá purgar a través de un elemento resistivo en caso de requerirse, o pudiera no utilizarse y se regresa al inicio del programa para continuar con el algoritmo.

Para la condición dos, en el caso en donde existe potencia déficit, se tiene que ésta es igual a la potencia de entrada menos la potencia total que demanda ($PD = PEN - PTD$), la potencia hacia el banco de supercondensadores es igual a cero ($PSC = 0$) y la potencia hacia el banco de baterías también es igual a cero ($PBB = 0$), ya que al no haber suficiente potencia para alimentar la demanda, no habrá suministro de potencia para cargar el módulo de supercondensadores ni para cargar el banco de baterías. Esto lleva a una quinta condición, en donde se pregunta si la potencia déficit (PD) es mayor o igual a la potencia demandada al módulo de supercondensadores (PDSC).

De darse esta condición, se tendría otra potencia déficit (PD1), que será igual a la potencia déficit (PD) menos la potencia máxima que se le puede demandar al módulo de supercondensadores (PDSCMAX), es decir, $PD1 = PD - PDSCMAX$. En el caso de no darse esta condición se tendría $PD = PDSC$ y $PS = PTD$.

En el caso de que PD1 no sea cubierta, se llega a la sexta condición, por lo que se pregunta si PD1 es mayor o igual que la potencia demandada al banco de baterías (PDBB), en caso de ser afirmativa se utilizaría la potencia máxima que pudiera demandársele al banco de baterías (PDBBMAX), por lo que se tendría una potencia déficit 2 (PD2), que será igual a (PD1) menos la potencia máxima que se le puede demandar al banco de baterías, es decir $PD2 = PD1 - PDBBMAX$. En el caso contrario se tendría $PD1 = PDBB$, por lo que $PS = PTD$, en donde se satisface la demanda de la carga en su totalidad.

Ahora bien, la PTD, puede distribuirse en las seis tomas de corriente de CA y las dos de CD, que funcionarán bajo el esquema de conexión/desconexión mostrado en la figura 3.

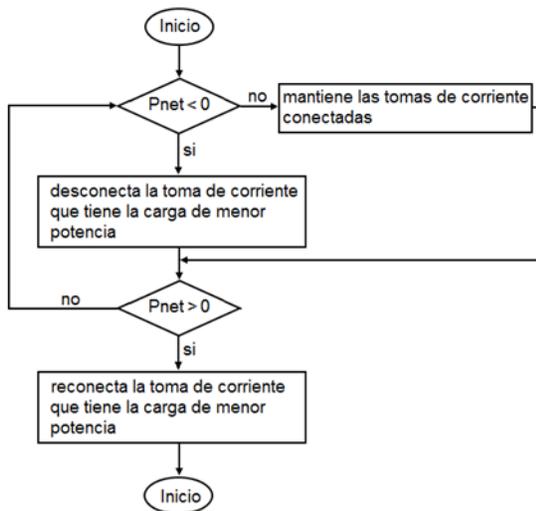


Figura 3 Algoritmo del esquema de conexión/desconexión de las cargas
Fuente: *Elaboración Propia*

En el diagrama anterior (figura 3), cuando se tienen las cargas conectadas, el sistema verifica si existe potencia déficit (es decir si $Pnet < 0$), de ser así el sistema desconecta la toma de corriente con la carga de menor potencia; de ser falso, el sistema mantiene encendidas todas las tomas de corriente conectadas al sistema. En la segunda condición del diagrama, se verifica si existe excedente o $Pnet > 0$, y de ser así, mantiene todas las cargas conectadas; si alguna fue desconectada previamente, el sistema va reconectando la toma de corriente que tenía la carga de menor potencia, y así sucesivamente mientras esta condición se cumpla. Cuando la condición anterior no se cumple, el sistema va desconectando las tomas que tenían conectadas las cargas de menor potencia, hasta que deje de existir déficit.

Descripción del sistema de automatización

El sistema de automatización consta de tres partes principales:

- Módulos de adquisición de datos con valores normalizados.
- Instrumentación: sensores industriales y relevadores.
- Procesador central que incluye el desarrollo de la interfaz gráfica y de control programada en el software LabVIEW.

Módulos de adquisición de datos

Para el control, registro de datos y análisis de los diferentes elementos que componen el SHM se utilizó el controlador integrado en tiempo real NI cRIO-9074, que dispone de un procesador industrial de 400 MHz que ejecuta las aplicaciones programadas en LabVIEW. El chasis cuenta con dos puertos Ethernet 10/100 BASE-T; puerto serial RS232 para conexión a periféricos y de ocho ranuras para conectarle diversos módulos de adquisición de datos. Para su funcionamiento se requirió de la fuente de alimentación NI PS-15 de 24 VDC.

En este proyecto se utilizaron tres módulos de adquisición de señales analógicas NI 9201, de ocho entradas analógicas en el rango de 0 a $\pm 10V$ con velocidad de muestreo de 500 kS/s, y cuatro módulos de relevadores electromecánicos NI 9481 de cuatro canales de 30 VDC (2 A), 60 VDC (1 A), 250 VAC (2 A).

Instrumentación: sensores industriales y relevadores

El sistema contempla medir las corrientes de las cuatro fuentes de energía (SFV, GE, SC y BB), de las cargas conectadas a la tomas de corriente de CD y CA, así como los voltajes del SC, BB y de los buses de 24 VCD y 127 VCA. Para esto se utilizaron sensores con salidas normalizadas, y relevadores cuya señal de control sea compatible con alguno de los buses para su activación. También se consideraron las características técnicas de las hojas de datos de los componentes y la compatibilidad con los módulos de adquisición de señales.

Para medir la corriente del GE y las cargas conectadas a las tomas de corriente de CD, se utilizaron los sensores H970LCA con selector de 0 a 20/40/80 ACD y salida de 0-5 VCD. Para la medición de corriente en el SFV, BB y SC, se utilizaron los sensores H970HCB con selector de 0 a 50/100/200 ACD y salida de 0-10 VCD. Por último, para las cargas conectadas a las tomas de corriente de CA fueron usados los sensores H722LC con selector de 0 a 10/20/40 ADC y salida de 0-5 VCD.

Para medir los voltajes se utilizaron los sensores de voltaje VT-1P monofásico de 127 VCA a 60 Hz con salida de 0-5 VCD para el bus de corriente alterna y para el de corriente directa y voltajes del SC y BB, los sensores MCR-VDC-UI-B-DC con rango de medición de ± 24 a ± 54 VCD con salida de 0-10 VCD. Los relevadores SSR-100 DA con voltaje de control de 3 a 32 VCD fueron usados para las cuatro fuentes de energía, y los relevadores W9AS5A52-24 con voltaje de control de 24 VCD para las cargas de CD y CA.

Para que el SHM empiece a funcionar se requiere iniciarlo manualmente, para esto se utilizaron dos interruptores C32 de 127V a 32A, en paralelo con los relevadores del GE y SFV.

En la figura 4, se muestra el diagrama de la distribución de los transductores de corrientes (A), los transductores de voltaje (V) y relevadores (S) del SHM.

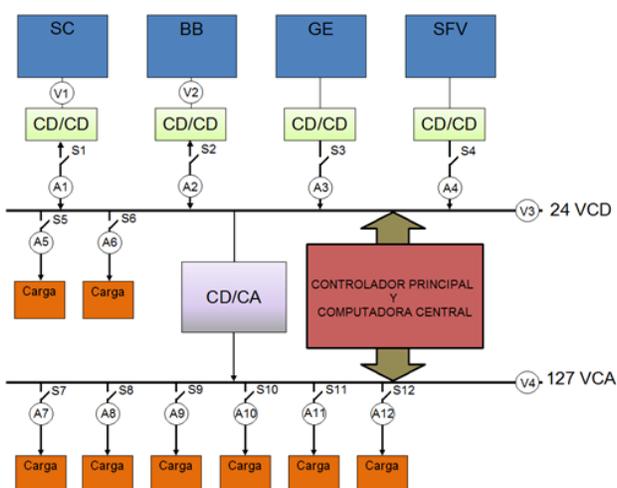


Figura 4 Distribución de transductores y relevadores del SHM

Fuente: Elaboración Propia

Procesador central

El controlador NI cRIO-9074 incluye el uso de un procesador que ejecuta las instrucciones programadas para el funcionamiento autónomo del SHM. El programa se desarrolla en una computadora central de forma que la adquisición de datos se realiza en tiempo real y las acciones de control también. La comunicación entre el controlador con los módulos de adquisición de datos y la computadora se realiza bajo protocolo Ethernet. La computadora utilizada es una laptop con procesador Intel Core i7 de 1.8 Ghz, 8 GB de memoria DDR3 y 1000 GB de disco duro, suficiente para los requerimientos de la aplicación. Para el desarrollo del programa que gestiona la energía y control general del SHM y permite su operación autónoma, se utilizó la instrumentación virtual (VI) de LabVIEW. En este entorno se trabaja con dos ventanas: una en la que se implementa el panel frontal de usuario (ver figura 5) y otra que soporta el nivel de programación (ver figuras de la 7 a la 9).

En la figura 5, se puede observar el panel frontal del SHM. En éste, el usuario cuenta con la opción de seleccionar el tiempo de muestreo deseado, ya sea de 1 segundo, 10 segundos, 30 segundos, 1 minuto, 5 minutos o 10 minutos, también se pueden observar en tiempo real las gráficas de la potencia generada por cada fuente de energía del sistema híbrido, la potencia de las cargas y la potencia total generada.

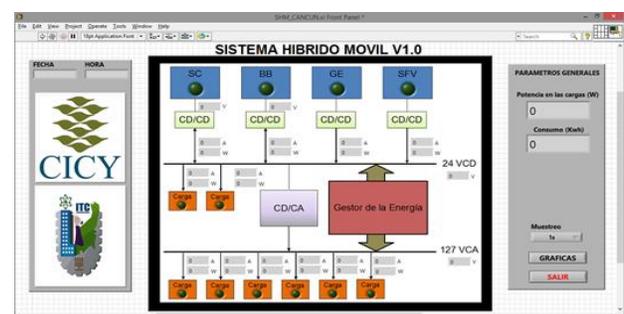


Figura 5 Panel frontal de monitoreo del SHM

Fuente: Elaboración propia desarrollada en LabVIEW

El panel frontal del programa se desarrolló de forma que sea amigable al usuario, utilizando indicadores numéricos e indicadores de tipo led que permitan observar en tiempo real los dispositivos que se encuentran en operación, la fecha y hora actual del sistema, la potencia de las cargas conectadas o potencia demandada, la potencia consumida, el tiempo de muestreo para la toma de lectura de los parámetros de voltaje y corriente, así como las gráficas del sistema y un botón de paro.

En la figura 6 se muestra la pantalla que se despliega al seleccionar el botón de gráficas en el panel frontal. Las gráficas que se muestran son la potencia consumida por las cargas conectadas al SHM, la potencia total generada por las fuentes de energía y las potencias individuales entregadas por el SFV, GE, BB y SC.

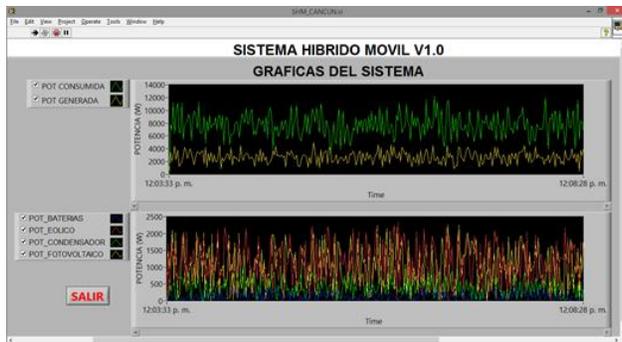


Figura 6 Pantalla de las gráficas del SHM

Fuente: Gráficas obtenidas del programa desarrollado en LabVIEW

Mientras el programa se esté ejecutando, se irá generando un archivo tipo hoja de cálculo (i.e. Microsoft Excel) con la hora, la fecha actual y los valores de las lecturas de los sensores instalados para medir los voltajes de los buses de CD y CA, el voltaje del SC y BB, así como las corrientes del SFV, GE, SC, BB y de las cargas conectadas al sistema híbrido. Con los datos obtenidos en la hoja de cálculo se puede analizar el comportamiento del sistema, obtener la potencia generada por cada componente de forma individual o en conjunto, y graficar los datos que se requieran para su posterior análisis.

En la ventana de programación se desarrolla la lógica o filosofía del funcionamiento del gestor y control general; se programa tomando como base los algoritmos del controlador principal de la figura 2 y del esquema de conexión/desconexión de cargas de la figura 3.

Para iniciar el SHM se requiere habilitar los interruptores manuales de cada fuente de energía renovable y posteriormente el interruptor del controlador. Cuando el controlador está en funcionamiento, pone los relevadores del SFV y GE en encendido.

Al iniciarse el programa del controlador, éste lee todos los parámetros obtenidos de los transductores de corriente y voltaje, los cuales son: voltaje del SC, corriente del SC, voltaje del BB, corriente del BB, corriente del GE, corriente del SFV, voltaje del bus de CD, voltaje del bus de CA, corrientes de las tomas de CD y corrientes de las tomas de CA, de encontrarse discrepancia en los voltajes de los buses, en los dispositivos de almacenamiento o sobrecorrientes, se generará una alarma y suspenderá la operación del sistema, por lo que el problema deberá de ser atendido por el operador o el personal de mantenimiento para poder restablecerlo. Una vez que el programa valida que no hay alarma en el sistema, pasa a la siguiente etapa o condición.

En la figura 8 se muestra la parte del programa para obtener los parámetros medidos a través de los transductores utilizados, tomando en cuenta la resolución de cada transductor para obtener la lectura correcta.

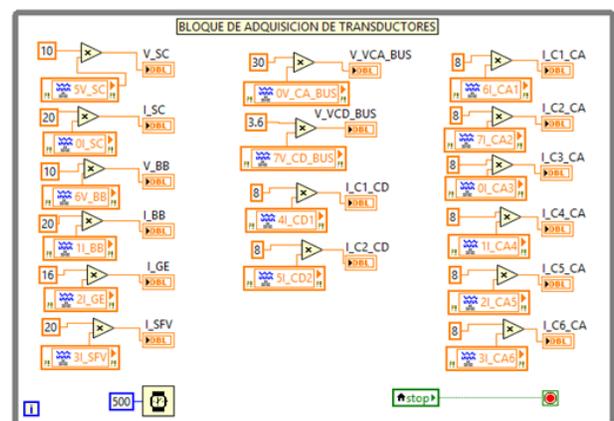


Figura 7 Programación de adquisición de datos de los transductores

Fuente: Elaboración propia desarrollada en LabVIEW

Al comparar la potencia de entrada con la potencia demandada se consideran tres estados de operación: excedente, simple y déficit. A continuación se explican las características de cada uno.

Cuando la potencia de entrada es mayor que la potencia demandada, se considera que existe una potencia excedente (estado excedente). En esta etapa el estado de los relevadores del GE y SFV será de encendido, el de carga y descarga del SC y BB estarán apagados y los relevadores de las tomas de alimentación de CD y CA estarán encendidos.

Cuando existe excedente, se verifica el EDC del SC. Si éste se encuentra en el 25% o menos de su capacidad máxima, el excedente será utilizado para cargarlo hasta el 100%, por lo que el relevador de carga del SC se encontrará en el estado de encendido y el del BB apagado. Si una vez cargado el SC al 100% aún existiera excedente, se verifica el estado de la carga de BB; si éste es menor o igual al 60% de su capacidad máxima, el excedente será utilizado para cargarlo al 100%, por lo que el relevador de carga del BB se encontrará encendido y el del SC apagado.

Si se encontraran cargados al 100% el SC y BB y aún existiera excedente, este será despreciado, siendo el estado de los relevadores de carga del SC y BB de apagados.

Los límites propuestos del EDC del SC y BB evitan que estos tengan sobrecarga y descarga profunda, elevando su tiempo de vida (Dursun y Kilic., 2012; Uzunoglu et al., 2009). En la figura 8 se muestra parte de la programación de la carga del SC y BB.

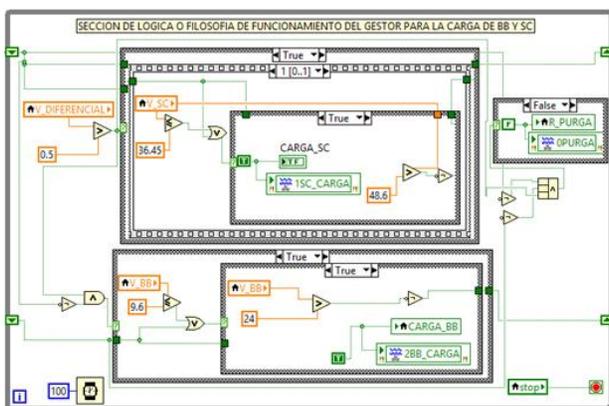


Figura 8 Programación de la carga y descarga del SC y BB

Fuente: Elaboración propia desarrollada en LabVIEW

Cuando no existe excedente o déficit (estado simple) las cargas conectadas son alimentadas únicamente con las fuentes prioritarias de energía (SFV y GE) y el estado de los relevadores del BB y SC es de apagado. En este estado se considera un intervalo de tolerancia de potencia para evitar que de déficit conmute a excedente constantemente y viceversa. Esto se hace determinando que existe potencia excedente cuando la diferencia entre la potencia producida por el sistema y la demandada es de 100W, y se considera déficit si esta es de 50W.

De esta forma en el estado simple la diferencia entre la potencia de las fuentes primarias de energía y la carga no es exactamente cero, y este intervalo puede editarse. Cuando existe déficit de potencia (estado déficit), ésta se intentará cubrir con el SC, siempre y cuando su EDC sea mayor a 25%; de ser así, los relevadores del GE, SFV y SC se encontrarán encendidos al igual que los relevadores de las tomas de corriente utilizadas, el del BB estará apagado. Si aún con el SC no se lograra completar la demanda, se tendría una segunda potencia déficit (PD1), que se cubrirá con el BB, siempre y cuando su EDC sea mayor a 60%. De ser cubierta la demanda, los relevadores del GE, SFV, SC y BB se encontrarán encendidos al igual que los de las tomas de corriente utilizados. De no ser cubierta la PD1, existirá una potencia déficit 2 (PD2) que no podrá ser cubierta por el sistema, por lo que se irán desconectando los relevadores de las tomas de corriente.

El esquema de conexión/desconexión de las tomas de corriente donde se conectan las cargas se programa para que, cuando exista déficit, se desconecte la toma de corriente que contengan la carga de menor potencia de los dos buses. Esto sucederá una y otra vez mientras exista déficit, de forma que el valor de la potencia de la carga que se va desconectando se va guardando en un registro para que, cuando exista excedente, se vayan reconectando primero la de menor potencia hasta la de mayor. Las tomas de corriente CA1 y CD1 se consideran como prioritarias, por ser las últimas en desconectarse sin importar la potencia de la carga conectada a éstas, por lo tanto las cargas vitales deberán de conectarse a ellas. La figura 9 muestra parte del esquema de desconexión de cargas.

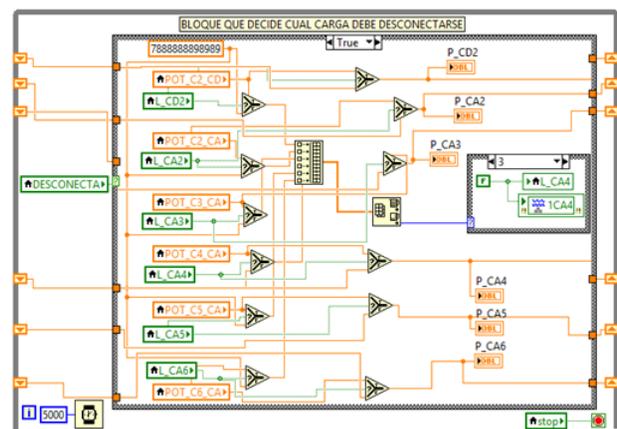


Figura 9 Programación de la desconexión de cargas

Fuente: Elaboración propia desarrollada en LabVIEW

Para apagar el SHM, se sugiere desconectar las cargas del sistema y, si así se desea, esperar que los dispositivos almacenadores se carguen al 100%, para posteriormente desconectar el interruptor del controlador que apagará los relevadores de las cuatro fuentes de energía.

El programa cuenta con un algoritmo para obtener la potencia máxima de salida que pudiera entregar el SFV en determinado momento. Para esto se utilizó el modelo modificado de dos diodos (Ishaque et al., 2011). Este modelo genera una potencia de salida del SFV dependiendo de los valores de temperatura e irradiancia que lea a su entrada. El modelo fue implementado en el programa LabVIEW utilizando la función MATLAB script, que contiene el código del modelo del SFV.

El código del programa fue modificado de manera que pudieran utilizarse los datos de irradiancia y temperatura en tiempo real obtenidos de una estación meteorológica de internet. La potencia de salida del SFV va actualizándose conforme van cambiando los datos de la estación. Esta potencia máxima de salida es la utilizada en las ecuaciones de balance de potencia (1), (2) y (3) del SHM.

Resultados

Se implementó el controlador para la gestión de la energía, así como los sensores y relevadores necesarios para la automatización del SHM (figura 10).



Figura 10 Implementación del controlador para la automatización del SHM
Fuente: Elaboración Propia

Se realizaron pruebas de funcionamiento al SHM en las tres formas de operación: excedente, operación simple y déficit. Cada una de estas formas de operación genera un gran número de combinaciones de estados posibles en los componentes del SHM. En las tablas que a continuación se muestran se indican los estados de los relevadores del generador eólico (GE), del sistema fotovoltaico (SFV), de los relevadores de carga y descarga del súper condensador (CSC y DSC), de los relevadores de carga y descarga del banco de baterías (CBB y DBB), el voltaje del súper condensador (VSC) y del banco de baterías (VBB) y los relevadores de las cargas de corriente alterna (CCA) y corriente directa (CCD).

Cuando el sistema se encuentra en operación excedente, se obtiene la tabla 1 de estados de los relevadores, donde 0 significa apagado y 1 encendido.

En el primer caso el SC y BB se encuentran descargados ya que están en su EDC mínimo permitido, esto se sabe ya que el voltaje del SC es 36.45 V y el del BB es 9.6 V, por lo que el controlador decide cargar el SC. En el segundo caso, el SC está cargado y el BB descargado, por lo que el controlador pone en estado de carga al BB. En el tercer caso, tanto el SC como el BB se encuentran cargados, por lo que sus estados de carga y descarga se encuentran en apagado. Por último, en el cuarto caso el BB está cargado y el SC descargado, por lo que se carga el SC. En todos los casos que se muestran en esta tabla no hay desconexión de cargas de CD y CA, y el GE y SFV permanecen encendidos.

GE	SFV	CSC	DSC	CBB	DBB	VSC	VBB	CCA	CCD
1	1	1	0	0	0	36.45	9.6	1	1
1	1	0	0	1	0	48.6	9.6	1	1
1	1	0	0	0	0	48.6	24	1	1
1	1	1	0	0	0	36.45	24	1	1

Tabla 1 Estados de los relevadores cuando existe potencia excedente

Fuente: Datos obtenidos del programa desarrollado en LabVIEW

La tabla 2 corresponde a los estados de los relevadores cuando no existe excedente o déficit (operación simple). En este modo de operación, en ninguno de los cuatro casos el controlador envía al estado de carga o descarga al SC o al BB, esto sucede indistintamente del EDC en que éstos se encuentren.

Los relevadores de las cargas de CD y CA, GE y SFV se encuentran encendidos y todos los relevadores correspondientes a CSC, DSC, CBB y DBB permanecen apagados.

GE	SFV	CSC	DSC	CBB	DBB	VSC	VBB	CCA	CCD
1	1	0	0	0	0	36.45	9.6	1	1
1	1	0	0	0	0	48.6	9.6	1	1
1	1	0	0	0	0	48.6	24	1	1
1	1	0	0	0	0	36.45	24	1	1

Tabla 2 Estados de los relevadores en operación simple
Fuente: Datos obtenidos del programa desarrollado en LabVIEW

La tabla 3 se obtuvo en pruebas de operación déficit, cuando los relevadores del GE y SFV están encendidos y el BB y SC se encuentran descargados. En esta tabla sólo se muestra el comportamiento de la conexión y desconexión de cargas y se indican los estados de los relevadores de las cargas de las dos tomas de corriente directa (CCD1 y CCD2) y de los relevadores de las cargas de las seis tomas de corriente alterna (CCA1 a CCA6). El programa del controlador inicia con todas las tomas de corriente encendidas (primer caso de la tabla). Al existir déficit, el programa envía a desconexión la carga CA3 (caso 2, debido a que es la de menor potencia); si sigue habiendo déficit, se desconecta la siguiente carga de menor potencia, siendo CA6 (caso 3) y continuando con la CA5 (caso 4), por lo que si el sistema siguiera operando en déficit, las cargas de menor potencia seguirían desconectándose.

CCD1	CCD2	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4	CCA5	CCA6
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	0	1	1	0
1	1	1	1	0	1	0	0

Tabla 3 Estados cuando existe potencia déficit
Fuente: Datos obtenidos del programa desarrollado en LabVIEW

Cuando el sistema está en potencia déficit y pasa al estado de potencia excedente (a partir del caso 4 de la tabla 3), se deben reconectar las cargas como se aprecia en la tabla 4.

CCD1	CCD2	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4	CCA5	CCA6
1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4 Estados cuando existe potencia excedente para reconexión
Fuente: Datos obtenidos del programa desarrollado en LabVIEW

Se puede observar que el controlador va reconectando primero las cargas de menor potencia que fueron desconectadas en el estado de déficit, ya que el programa salva el valor de las cargas desconectadas (caso 1). A continuación el programa lee cual es la siguiente carga que queda de menor potencia para reconectarla (caso 2) y, de continuar habiendo excedente, el controlador seguirá reconectando siguiendo con ese orden (caso 3), hasta que llega un momento en el que todas las cargas permanecen conectadas mientras existe excedente (caso 4).

Ahora bien, cuando existe potencia déficit, y tanto el SC como el BB se encuentran cargados (o a un nivel de mayor que su EDC mínimo permitido), éstos se utilizan para restablecer las cargas. En la tabla 5 se aprecia cómo el controlador pone en estado de descarga al SC y BB.

GE	SFV	CSC	DSC	CBB	DBB	VSC	VBB	CCA	CCD
1	1	0	1	0	0	48.6	24	1	1
1	1	0	0	0	1	36.45	24	1	1
1	1	0	0	0	0	36.45	9.6	0	1

Tabla 5 Estados cuando existe potencia déficit y se completa la demanda con BB y SC
Fuente: Datos obtenidos del programa desarrollado en LabVIEW

En el primer caso, el EDC del supercondensador indica que está cargado al 100%, al igual que el del BB. Debido a que existe un déficit, el controlador pone en modo de descarga al SC, para poder mantener las cargas encendidas. En el segundo caso, el programa del controlador lee que el SC se encuentra descargado y el BB al 100%, entonces envía el BB a descarga para mantener las cargas encendidas. En el tercer caso el SC y BB se encuentran descargados, por lo que los relevadores de descarga de ambos se ponen en apagado, y al seguir existiendo déficit, se entra al esquema de desconexión de la tabla 3.

Conclusiones

En este trabajo se desarrolló el proceso para la automatización de un SHM, con el propósito de gestionar las cuatro fuentes de energía que lo componen, permitiendo al sistema trabajar de forma autónoma.

El programa fue probado bajo diferentes condiciones: en operación excedente realizó las acciones necesarias para cargar el SC y BB dependiendo del EDC en que se encontraran, restableciendo igualmente las cargas que estuvieran desconectadas; en operación simple, que es el estado en el que el SHM no se encuentra en excedente o en déficit, el programa únicamente deja activos al SFV y GE para alimentar a las cargas; en operación déficit el programa desconecta las cargas de menor potencia cuando el SC y BB están descargados, en este mismo modo, si el SC y BB se encuentran en un EDC permitido para apoyar, el sistema los activa en modo de descarga.

Por lo tanto, el funcionamiento automatizado del SHM se comportó de la manera esperada, ya que cumplió con las acciones de control establecidas en el algoritmo del controlador principal y el esquema de gestión de las cargas, permitiéndole una operación autónoma por largos periodos de tiempo.

Por otro lado, el sistema de adquisición de datos meteorológicos de internet presenta una alternativa a la instalación de estaciones meteorológicas o sensores climatológicos, permitiendo incluso utilizar estaciones de diferentes localidades que publiquen su información en dicha red.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Fondo Mixto CONACYT – Gobierno del Estado de Quintana Roo con el proyecto No. QR00-2011-001-174895.

Referencias

Abedi, S., Alimardani, A., Gharehpetian G., Riahy, G., Hosseinian S. (2012). A comprehensive method for optimal power management and design of hybrid RES-based autonomous energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 1577-1587.

Alonso García, M.C., Balenzategui, J. L. (2004). Estimation of photovoltaic module yearly temperature and performance based on Nominal Operation Cell Temperature calculations. *Renewable Energy* 29, 1997–2010.

Capraro, F., Tosetti, S., Vita, F. (2010). Laboratorio virtual y remoto para simular, monitorizar y controlar un sistema de riego por goteo en olivos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial* 7, 73-84.

Chouder, A., Silvestre, S., Taghezout, B., Karatepe, E. (2013). Monitoring, modelling and simulation of PV systems using LabVIEW. *Solar Energy* 91, 337-349.

Dursun E., Kilic O. (2012). Comparative evaluation of different power management strategies of a stand-alone PV/Wind/PEMFC hybrid power system. *Electrical Power and Energy Systems* 34, 81-89.

Eroglu, M., Dursun, E., Sevensan, S., Song, J., Yazici, S. (2011). A mobile renewable house using PV/wind/fuel cell hybrid power system. *International Journal of Hydrogen Energy* 36, 7985-7992.

Fabbri, G., Boccaletti, C., Marques, A. (2010). A hybrid stand alone power system for telecom applications in minor islands. XIX International Conference on Electrical Machines (ICEM). Rome, Italy.

Hatti, M., Meharrar, A., Tioursi, M. (2011). Power management strategy in the alternative energy photovoltaic/PEM fuel cell hybrid system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 5104-5110.

Hwang, J., Chen Y., Kuo J., 2012. The study on the power management system in a fuel cell hybrid vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy* 37, 4476-4489.

Ishaque, K., Salam Z., Syafaruddin. (2011). A comprehensive MATLAB Simulink PV system simulator with partial shading capability based on two-diode model. *Solar Energy* 85, 2217-2227.

Jun, Z., Junfeng L., Jie, W., Ngan, H. (2011). A multi-agent solution to energy management in hybrid renewable energy generation system. *Renewable Energy* 36, 1352-1363.

- Kamal Anoune., Mohsine Bouya., Abdelali Astito., Abdellatif Ben Abdellah.(2018). Sizing methods and optimization techniques for PV-wind based hybrid renewable energy system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 93, 652–673.
- Kamal T., Hassan S. Z., Li Hui., Mumtaz S., Khan L. (2016). Energy management and control of grid-connected wind/fuel cell/battery Hybrid Renewable Energy System. In: *International Conference on Intelligent Systems Engineering (ICISE)*, Islamabad; p. 161–6.
- Lagorse, J., Paire, D., Miraoui, A. (2010). A multi-agent system for energy management of distributed power sources. *Renewable Energy* 35, 174-182.
- Luna-Rubio, R., Trejo-Perea, M., Vargas-Vázquez, D., Ríos-Moreno, G. (2012). Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: a review of methodologies. *Solar Energy* 86, 1077-1088.
- Ma, T., Yang, H., Lu, L. (2014). Solar photovoltaic system modeling and performance prediction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 3, 304-315.
- Onar, O., Uzunoglu, M., Alam, M. (2008). Modeling, control and simulation of an autonomous wind turbine/photovoltaic/fuel cell/ultra-capacitor hybrid power system. *Journal of Power Sources* 185, 1273-1283.
- Panapakidis, I., Sarafianos, D., Alexiadis, M. (2012). Comparative analysis of different grid-independent hybrid power generation system for a residential load. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 551-563.
- Pecen, R., Nayir, A. (2010). Design and implementation of a 12kW Wind-Solar distributed power instrumentation system as an educational testbed for electrical engineering technology students. *Proceedings of the international Symposium Modern Electric Power System (MEPS)*. Wroclaw, Polonia.
- Skoplaki, E., Palyvos, J.A. (2009). Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. *Renewable Energy* 34, 23–29.
- Stuchlý, J., Vramba, J., Misák, S. (2013). Monitoring of hybrid system using Labview. 13 th international conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC). Wroclaw, Polonia.
- Uzunoglu, M., Onar, O., Alam, M. (2009). Modeling, control and simulation of a PV/FC/UC based hybrid power generation system for stand-alone applications. *Renewable Energy* 34, 509-520.
- Vivas, F.J., De las Heras, A., Segura, F., Andújar, J.M. (2018). A review of energy management strategies for renewable hybrid energy systems with hydrogen backup. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, 126–155.
- Wang, Ch., Chen, W., Shao, S., Chen, Z., Zhu, B., Li, H. (2011). Energy management of stand-alone hybrid PV system. *Energy Procedia* 12, 471-479.
- Yang, H., Lu, L., Burnett, J. (2003). Weather data and probability analysis of hybrid photovoltaic-wind power generation systems in Hong Kong. *Renewable Energy* 28, 1813-1824.
- Zahraee S.M., Khalaji Assadi M., Saidur R. (2016). Application of Artificial Intelligence Methods for Hybrid Energy System Optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 66, 617–630.
- Zahran, M., Atia Y., Al-Hussain, A., El-Sayed, I. (2010). *Proceedings of the 12th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modelling & Simulation*. Wisconsin USA.

Diseño de un sistema fotomecánico inteligente con dos grados de libertad para la orientación de un panel fotovoltaico que optimice la producción de energía eléctrica

Design of an intelligent photomechanical system with two degrees of freedom for the orientation of a photovoltaic panel for optimize the production of electrical energy

LÓPEZ-XELO, Hilario†*, HERNÁNDEZ-MEDINA, José Juan y ROMANO-RODRÍGUEZ, Ma. Natividad

ID 1^{er} Autor: *Hilario, López-Xelo* / ORC ID: 0000-0001-6597-6598, CVU CONACYT ID: 732365

ID 1^{er} Coautor: *José Juan, Hernández-Medina* / ORC ID: 0000-0003-4625-2660, CVU CONACYT ID: 5227576

ID 2^{do} Coautor: *Ma. Natividad, Romano-Rodríguez* / ORC ID: 0000-0002-3415-8629, CVU CONACYT ID: 640296

Recibido Mayo 27, 2018; Aceptado Junio 30, 2018

Resumen

En la actualidad existe la imperiosa necesidad de optar por fuentes alternativas de energía a fin de lograr aminorar el impacto negativo de las actividades humanas en el medio ambiente. Una de estas fuentes lo constituyen los paneles solares fotovoltaicos. En este sentido, para que un panel solar produzca de forma óptima energía eléctrica debe estar orientado siempre de manera perpendicular al sol. La mayoría de los paneles instalados no tienen movilidad y están fijos orientados en una sola dirección, lo que ocasiona que solo produzcan energía eléctrica de manera óptima durante un muy breve periodo de tiempo. Ya existen metodologías y dispositivos para orientarlos, pero son caras y no siempre disponibles. En este sentido, lo que se busca en este proyecto, es que se aproveche la tecnología disponible en nuestro medio, de manera económica, así como un control difuso para el seguidor fotomecánico, que permita sincronizar el movimiento aparente del sol y tener un desempeño óptimo sin usar recursos complejos o caros. Este proyecto es bioinspirado en el vegetal "Helianthus Annuus" que presenta heliotropismo para optimizar la fotosíntesis (también llamado girasol, calom, jáquima, maravilla, tlapololote, maíz de teja o acahual).

Energías Alternativas, Sistema Inteligente, Seguidor Solar

Abstract

Nowadays, there is an urgent need to opt for alternative sources of energy in order to reduce the negative impact of human activities on the environment. One of these sources is the photovoltaic solar panels. Accordingly, for a solar panel to optimally produce electrical energy, it must always be oriented perpendicular to the sun. The majority of the installed panels do not have mobility and are fixed, ever oriented in a single direction, which causes that they only produce electrical energy in an optimal way during a very short period of time. There are already methodologies and devices to guide them, but they are expensive and not always available. In this sense, what is sought in this project, is to take advantage of the technology available in our place, economically, as well as a fuzzy control for the photomechanical tracker, which allows to synchronize the apparent movement of the sun and have an optimal performance without using complex or expensive resources. This project is bio-inspired in the vegetable "Helianthus Annuus" that presents heliotropism to optimize the photosynthesis (also called sunflower, and in Mexico known also as "girasol", "jáquima", "maravilla", "tlapololote", "maíz de teja or acahual").

Alternative Energies, Intellygent System, Sun Tracker

Citación: LÓPEZ-XELO, Hilario, HERNÁNDEZ-MEDINA, José Juan y ROMANO-RODRÍGUEZ, Ma. Natividad. Diseño de un sistema fotomecánico inteligente con dos grados de libertad para la orientación de un panel fotovoltaico que optimice la producción de energía eléctrica. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2018. 2-4: 28-34.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (hil_lx@hotmail.com)

Introducción

Las aplicaciones de las celdas FV (fotovoltaicas) son variadas desde usos domésticos, rurales, sistemas autónomos de bombeo de agua y de comunicaciones, sistemas de protección catódica, luces de indicación para tráfico aéreo y ferrocarriles, entre otras. Los paneles FV tienen un punto de operación en el cual producen la máxima potencia de salida. Sin embargo, este punto de operación es variante en función del tiempo y depende del grado de insolación y de la temperatura, de modo que se debe adoptar un sistema rastreador del Sol que optimice la producción de energía eléctrica.

Debido al movimiento aparente del sol, si la celda permaneciera estática no alcanzaría su punto óptimo, sino solamente una vez al día. La energía total producida en un día despejado puede optimizarse hasta en un 35% a 40% más para un colector móvil rastreador, que para un colector estático del mismo tipo. El objetivo es que el dispositivo rastreador garantice que siempre la fotocelda esté orientada hacia el sol de manera perpendicular incluso cuando se nubla. En este sentido, los sistemas de seguimiento solar permiten incrementar su rendimiento, la fiabilidad y permiten reducir costos. Además, al utilizar la energía solar reducirá la demanda de electricidad del sector convencional (Kumar et al, 2015).

Las celdas fotovoltaicas (FV) no aprovechan al máximo la energía solar incidente, de hecho, tienen una eficiencia relativamente baja. Los mejores paneles monocristalinos superan apenas el 20%, aunque el promedio es de 16%. Por su parte, los paneles amorfos apenas superan el 10%. Para los satélites y las naves espaciales se fabrican módulos de arseniuro de galio (GaAs) que alcanzan una eficiencia de 30%. La maximización de la potencia solar obtenida en un panel FV es de especial interés, en virtud de su baja eficiencia (Kharb et al, 2014)

Pero regresando al tema del seguidor solar, para orientar los paneles FV, hay dos propuestas: una de las alternativas es hacer un seguidor que se mueva según un calendario. Para ello, se deben conocer las coordenadas terrestres para saber hacia donde se va a ubicar dicho panel, así como el movimiento aparente con respecto al Sol, por cada fecha durante todo el año. Con esta información se puede orientar al panel FV durante todo el año.

La alternativa aquí propuesta es la de un sistema de energía solar de seguimiento solar de dos ejes utilizando la lógica difusa para controlar el proceso de manera inteligente. Uno de los ejes es necesario para seguir al sol en su recorrido diario aparente de oriente a poniente y el segundo eje para garantizar seguir siempre al sol de forma perpendicular de manera estacional. Por su parte, el programa sirve para controlar la parte mecánica. El hardware o parte mecánica, comprende las celdas solares, un microcontrolador, baterías de plomo-ácido, un motor paso a paso y el circuito de detección de luz (Huang et al, 2016), incluso en condiciones nubosas, lluviosas e imprevistas como un eclipse.

Mercado Objetivo del proyecto

Los sistemas seguidores son una opción viable, en virtud de las relativamente bajas eficiencias de estos sistemas de conversión de energía (Verma et al, 2016). Desde el punto de vista del impacto social, en México existen más de 190 000 poblados con menos de 5,000 habitantes, de las citadas poblaciones alrededor de 7% (13,330 localidades) no cuentan con energía eléctrica, lo que representa una población de más de 2,200,000 personas (INEGI, 2010).

Este sistema debe funcionar durante al menos 10 años, sin grandes gastos ni maniobras, pues sólo requerirá lubricación e inspecciones periódicas. Además, debe soportar la intemperie, sobre todo la lluvia y granizo, así como el viento y la temperatura en un rango de -15 °C a 50°C.

La lógica difusa

La lógica difusa es una teoría de conjuntos, en el que cada elemento tiene un número infinito de grados de pertenencia que oscilan entre cero y uno. En contraste, en los conjuntos tradicionales (también se llaman booleanos o duros) solo se tienen cero o uno (verdadero o falso) como grado de pertenencia. Por ejemplo, en términos de un conjunto duro, una persona, puede pertenecer al conjunto de los altos o de los medianos de estatura, pero de manera exclusiva: la persona es alta o es mediana y no hay más alternativas.

Pero, en los términos de los conjuntos difusos la misma persona puede pertenecer al conjunto de los altos en un 0.7, y a los medianos en 0.4, de una gama de valores entre 0 y 1 (Zadeh, 1965). Observe que la suma no es uno. Lofti Zadeh fue quien propuso esta metodología en 1965 (Huang et al, 2016).

Controlador inteligente por lógica difusa

La lógica difusa permitió diseñar los controladores inteligentes difusos o FLC, por sus siglas en inglés (*Fuzzy Logic Controllers*), capaces de tratar con situaciones ambiguas, complejas o difíciles de modelar matemáticamente. El FLC tiene como herramienta la lingüística más que en un modelo matemático (Aguirre et al, 2018). El diseño del controlador se basa en algunas reglas difusas. Dichas reglas son el compendio del conocimiento de un experto humano en el sistema que se desea controlar.

Dicho experto debe saber cómo se comporta el sistema, de acuerdo a las variables a controlar y cuál es la respuesta a las variaciones: de hecho el sistema depende totalmente de la experiencia del experto (Patel y Shewale, 2015). Este sistema es más exacto, ya que es más fácil y preciso de controlar el ángulo y se ajusta mejor por la características del control debido a las variaciones del ambiente externo (Huang et al, 2016) y la lógica difusa es una excelente opción de control para esta aplicación (Suganthi, 2015). Cada variable representa a un conjunto difuso. El criterio del experto se expresa en términos de dichas variables en reglas empíricas arbitrarias para describir un sistema. Dichas reglas determinan las interacciones entre las variables difusas y se plantean como un silogismo lógico de la forma **si... entonces...** Por ejemplo:

Si hace mucho calor **entonces** enciende a toda intensidad el clima artificial.

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

El FLC se compone de cuatro etapas: la fuzzificación, la base de reglas, el mecanismo de inferencia y la defuzzificación, mismas que a continuación se describen (Usta et al, 2011).

El valor de los conjuntos AM y PM se deben normalizar antes de ser tratados por el FLC y la salida debe ser convertida en un valor duro antes de ser usados por el control y por el motor respectivamente (El-Sayed y Leeb, 2015). Para normalizar se meten los valores en cinco funciones de pertenencia.

Etapa 1: La fuzzificación

La fuzzificación es el proceso que convierte los valores numéricos de entrada en términos de los grados de pertenencia de los miembros de los conjuntos difusos, a través de una función de pertenencia (Aguirre et al, 2018). Como ya se mencionó, dichos valores de pertenencia oscilan entre 0 y 1. Para determinar el rango de valores que pueden tomar las entradas, también llamado universo de discurso, para realizar una representación de estas señales *versus* el voltaje del panel FV para diferentes niveles de irradiación solar (Robles y Hómez, 2011)

Para construir el FLC, el primer paso es definir las funciones de pertenencia para las variables **iluminación en la mañana**, mismas que en este trabajo, se llama **AM** y la **iluminación en la tarde**, que lleva el nombre de **PM**. Los nombres de estas variables fueron elegidas de manera arbitraria y representan la cantidad de luz recibida en la mañana y en la tarde por el módulo FV.

A su vez, la variable AM (iluminación por la mañana), se dividió en los siguientes conjuntos difusos arbitrarios: muy_débil, débil, media, fuerte, muy_fuerte, como lo muestra el Gráfico 1. Un comentario aparte merece el hecho de que los nombres son breves y descriptivos, aunque no se ajustan a las reglas ortográficas.

Las mejores funciones para esta aplicación son las triangulares, le siguen las gaussianas y las de Cauchy, y al final las de tipo campana (Usta et al, 2011). Adicionalmente, las triangulares son las más sensibles, lo que aumenta la velocidad del tiempo de respuesta y reduce los errores. Adicionalmente, la forma de triángulo, es la más fácil de programar (Robles y Hómez, 2011).

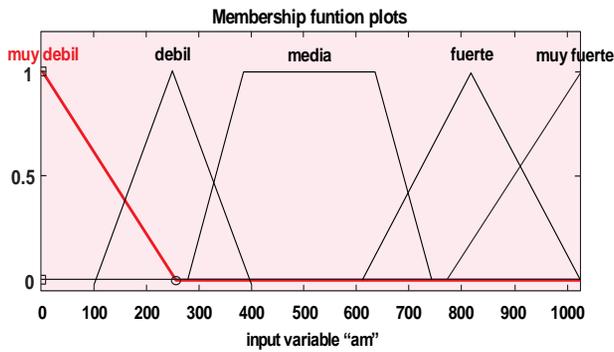


Gráfico 1 Variable de entrada iluminación por la mañana (AM)

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, la variable PM como se muestra en el grafico 2, se dividió en los siguientes conjuntos difusos arbitrarios: muy_débil, débil, media, fuerte, muy_fuerte, como lo muestra la siguiente figura.

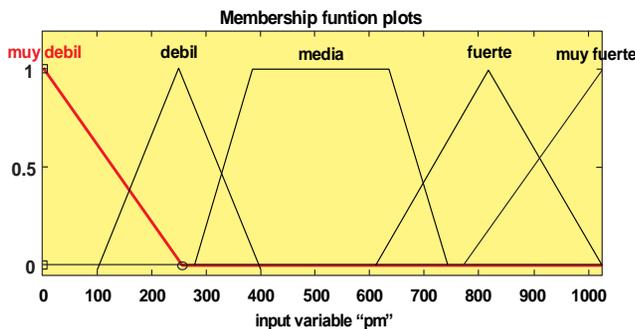


Gráfico 2 Variable de entrada iluminación por la tarde (PM)

Fuente: Elaboración Propia

Respecto a la variable de salida como se muestra en el grafico 3, tiene el nombre de **colocación**, precisamente representa el lugar en el que se va a colocar el panel FV y consta de cinco conjuntos difusos, que tienen los nombres de ext_oriente, oriente, medio, poniente, ext_poniente.

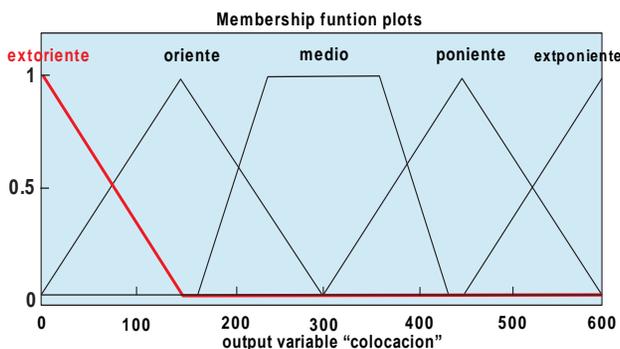


Gráfico 3 Variable de salida iluminación por la tarde (PM)

Fuente: Elaboración Propia

En este sentido, el motor de inferencia difusa proporciona los valores de entrada y define el uso de conjuntos difusos, y se cuantifican las funciones de pertenencia. Estas variables establecen la relación entre la luz recibida y el voltaje que detecta la fotocelda.

Etapa 2: La base de reglas difusas

El segundo paso del diseño del controlador difuso consiste en enumerar todas las reglas relevantes para el sistema. Estas reglas difusas establecen la relación de la corriente de salida de la célula solar con la iluminación del sol (Morales y Espinosa, 2018). Las reglas de control se evalúan mediante un mecanismo de inferencia y se representan como un conjunto de silogismos del tipo SI... ENTONCES... que se representan como una tabla de datos que incluyen la información relacionada al sistema (Robles y Hómez, 2011). Se tienen un total de 25 reglas, mismas que se pueden visualizar en la siguiente tabla.

El tablero de inferencia propuesto representa gráficamente la combinación deseada de entradas/salidas y el comportamiento del algoritmo de control para el sistema (Morales y Espinosa, 2018). El controlador difuso determina a partir de la tabla de reglas qué ajustes se debe hacer a fin de que el ciclo opere de manera adecuada (Abouobaida y Said, 2017).

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

Tabla 1 Las reglas de inferencia del seguidor solar
Fuente: Elaboración Propia

Por ejemplo, si se toma la primera columna, el conjunto de reglas derivadas de la tabla se plantea tomando primero el valor de **AM**, con la conjunción y el valor del conjunto o variable **PM**, con el consecuente obtenido leyendo la intersección entre ambas. A continuación se presentan en forma de silogismo, las dos primeras reglas de la primera columna: Si la iluminación en **am** es muy **débil** y la iluminación **pm** es **muy débil**, entonces la **posición** debe ser **medio**.

Si la iluminación en **am** es muy **débil** y la iluminación pm es **débil**, entonces la **posición** debe ser hacia el **poniente**.

Etapa 3: La inferencia difusa

El tercer paso del diseño del controlador difuso es decidir qué tipo de mecanismo o motor de inferencia difusa se debe utilizar como se muestra en el grafico 4. El mecanismo de inferencia verifica la toma de decisiones al interpretar y aplicar el conocimiento experto empírico. Para este sistema, se considera una relación máximo - mínimo como el método de inferencia difusa. La salida del conjunto difuso se toma como la intersección y el conjunto difuso final será la unión de los conjuntos difusos y así poder determinar su valor de salida para lograr la orientación de los paneles FV.

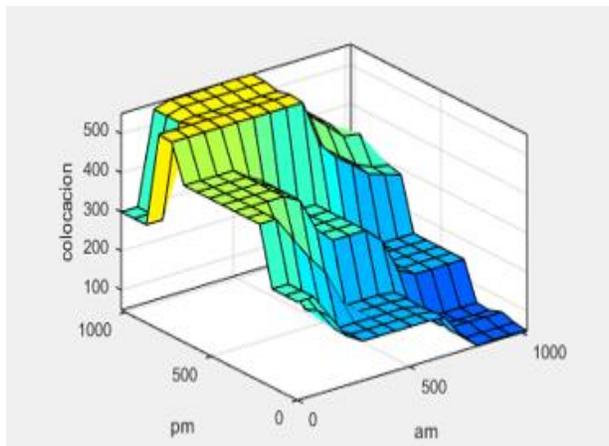


Gráfico 4 Área de control de sistema de interrelación de variables: entrada, AM y PM y variable de salida, COLOCACIÓN
Fuente: Elaboración Propia

Cada regla se evalúa en forma secuencial, de izquierda a derecha; pero todas ellas son tratadas como si fueran evaluadas simultáneamente. Durante la evaluación de reglas tienen lugar dos operaciones lógicas **and** y **or**. La operación difusa **and** se usa para conectar los antecedentes dentro de una misma regla. El operador difuso **and** corresponde a la operación difusa MIN, que sirve para sacar el valor mínimo y la operación difusa **or** que corresponde a MAX, operador que saca el valor máximo. El tratamiento de las reglas sucesivas se realiza mediante la operación difusa **or**. A este procedimiento difuso, AND - OR se le llama razonamiento de tipo Mamdani.

Etapa 4: La defuzzificación

La parte de interfaz de defuzzificación permite que las decisiones del mecanismo de inferencia se concreten en términos de salidas duras (0 ó 1) que definitivamente representen una acción para el sistema. Se puede afirmar que la operación inversa a la fuzzificación es la defuzzificación. De hecho existen diferentes métodos para realizar esta operación (Patel y Shewale, 2015):

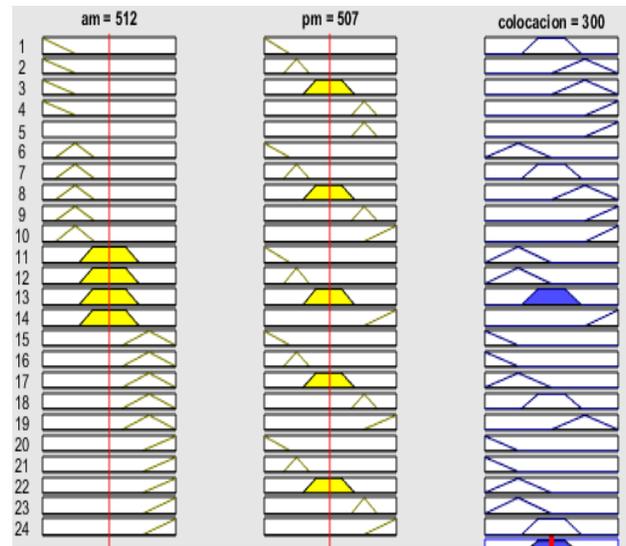


Gráfico 5 Interacción entre conjuntos de entrada, y salida
Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

Se usa un motor paso a paso para hacer girar el panel solar en la dirección del sol. La posición del sol se monitorea por parte del programa difuso con dos elementos de entrada (AM y PM) y un conjunto de salida llamado **posición** (que se traduce en el movimiento del motor paso a paso). El voltaje de cada sensor se convierte a formato digital usando un convertidor analógico a digital (ADC, por sus siglas en inglés, *analog digital conversor*) y se pasan al FLC para alinear el panel en la dirección del sol.

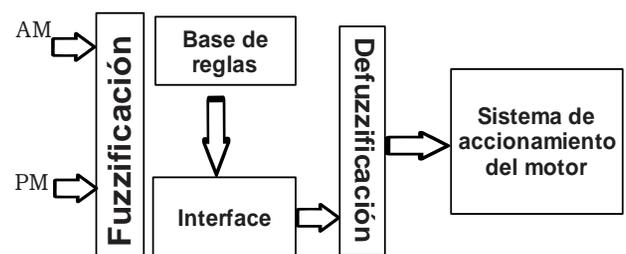


Figura 1 Cuatro fases de control difuso en el sistema.
Fuente: Elaboración Propia

El control de lógica difusa utiliza la corriente producida en los paneles solares por la luz del sol para determinar el tiempo para activar el motor paso a paso para conducir los paneles solares a la posición correcta. Al usar el control de lógica difusa para detectar la luz del sol y la del panel solar cada cinco minutos durante doce horas, el motor de pasos opera 144 veces en un día. El software inteligente le permite al sistema tomar mejores decisiones para posicionarse incluso si el día está nublado, lluvioso, o si ocurriera un evento como un eclipse.

Por otra parte, cuenta con una rutina para aumentar el tiempo al doble cuando la luminosidad del sol es baja, lo que nos permitiría reducir el número de veces que el motor arranca y así abatir el dispendio de energía. Otra parte importante es que llegando la noche, el sistema tiene una rutina programada que le permite posicionarse para esperar la salida del sol con un solo arranque del motor. Aunque el microcontrolador tiene algunas ventajas como su bajo precio y su facilidad para programarse, puede presentar algunos problemas al tratar con sistemas de control complejos. Un trabajo a futuro es tratar este problema con algún recurso de cómputo paralelo como FPGA o una tarjeta NVIDIA (Patel y Shewale, 2015).

Conclusiones

A nivel mundial se visualizan aportaciones importantes en el uso y desarrollo de energías alternativas, de manera que el aporte al cuidado del ambiente sea efectivo pero también se tenga un impacto significativo en la producción de energía y en la optimización de la producción de la misma. En México, la sinergia entre las instituciones que administran, investigan y trabajan con energías alternativas, es parte fundamental del desarrollo de tecnologías propias que fomenten y fortalezcan su implementación en el país.

Las fotoceldas son dispositivos que permiten obtener energía eléctrica con el criterio de optimización de costos *versus* energía. Se usa control difuso para aplicaciones en las que los datos de entrada son fragmentarios y ambiguos y tiene que funcionar en tiempo real. Por otra parte, también se trata de diseñar este sistema con los medios fácilmente disponibles para su fabricación y mantenimiento y adaptándolo al entorno del Centro de México.

El sistema tendrá dos grados de libertad a fin de lograr adaptarse a las estaciones del año y al recorrido aparente diario del Sol por el horizonte. Se pretende tener una fuente de energía confiable, de mejor calidad, lograr un uso óptimo, mejor conservación y desempeño de los dispositivos que se pudiesen conectar a este sistema.

Referencias

Abouobaida, H., & Said, E. B. (2017). *Practical Performance Evaluation of Maximum Power Point Tracking Algorithms in a Photovoltaic System. International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 8(4), 1744-1755.

Aguirre, J. C. P., Agundis, A. R., Segura, E. J. R., & Nolasco, J. J. M. (2018). *CONTROL DIFUSO PARA UN CONVERTIDOR CD-CD APLICADO A SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LOS MODOS MPPT Y CV. Pistas Educativas*, 39(128).

El-Sayed, M. A., & Leeb, S. (2015, April). *Fuzzy logic based maximum power point tracking using boost converter for solar photovoltaic system in Kuwait. In International conference on renewable energies and power quality, Spain (Vol. 14, No. 13, pp. 433-443)*.

Huang, C. H., Pan, H. Y., & Lin, K. C. (2016). *Development of intelligent fuzzy controller for a two-axis solar tracking system. Applied Sciences*, 6(5), 130.

Kharb, R. K., Shimi, S. L., Chatterji, S., & Ansari, M. F. (2014). *Modeling of solar PV module and maximum power point*

Kumar, A. P., Parimi, A. M., & Rao, K. U. (2015, February). *Implementation of MPPT control using fuzzy logic in solar-wind hybrid power system. In Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES), 2015 IEEE International Conference on (pp. 1-5). IEEE.*

Lee, C. Y., Chou, P. C., Chiang, C. M., & Lin, C. F. (2009). *Sun tracking systems: a review. Sensors*, 9(5), 3875-3890.

Morales Ospina, D. A., & Espinosa Romero, F. A. (2018). *Lámpara Led Inteligente Alimentada Por Paneles Solares.*

Patel, R. R., & Shewale, M. A. N. (2015). *Intelligent Sun Tracking System Using FLC Implemented On FPGA*. *Int. J. Adv. Found. Res. Comput*, 2(10), 260-263.

Robles, C., & Hómez, G. A. V. (2011). *Control del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico, utilizando lógica difusa*. *Télématique: Revista Electrónica de Estudios Telemáticos*, 10(2), 54-72.

Sánchez Chávez, S., & Mosquera Jiménez, J. T. (2017). *Suministro de energía basada en celdas solares a una red de sensores inalámbrica orientada al internet de las cosas por medio de un control de lógica difusa*.

Suganthi, L., Iniyar, S., & Samuel, A. A. (2015). *Applications of fuzzy logic in renewable energy systems—a review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 585-607.

Usta, M. A., Akyazi, Ö., & Altaş, İ. H. (2011, December). *Design and performance of solar tracking system with fuzzy logic controller used different membership functions*. In *Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2011 7th International Conference on* (pp. II-381). IEEE.

Verma, D., Nema, S., Shandilya, A. M., & Dash, S. K. (2016). *Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1018-1034.

Zadeh, L.A. *Fuzzy sets*. *Inf. Control* 1965, 8, 338–353. [CrossRef]

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

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del Artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

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

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

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas- Editables

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

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

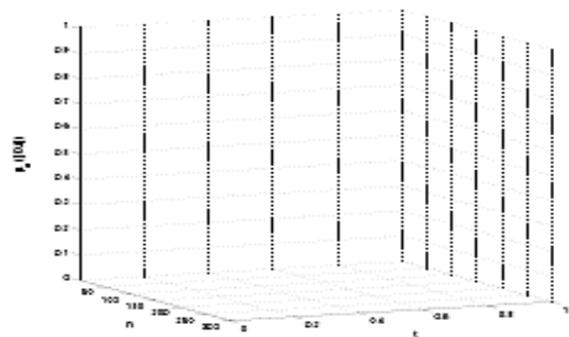


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

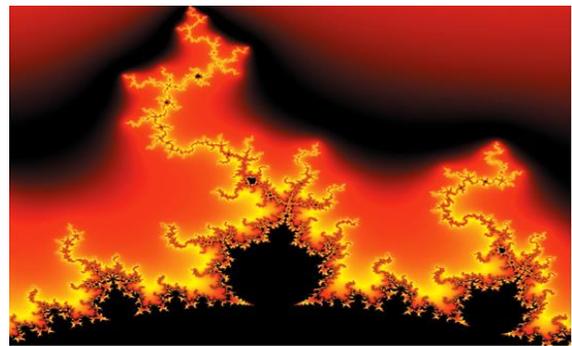


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

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

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

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

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

Metodología a desarrollar

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

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Agradecimiento

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

Conclusiones

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

Referencias

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

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

Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

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

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

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

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

Reserva a la Política Editorial

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

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

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

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

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

Título del Artículo:

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

Copyright y Acceso

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

Título del Artículo:

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

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

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

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

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

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

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

Responsabilidades del Consejo Editorial

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

Responsabilidades del Comité Arbitral

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

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

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

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

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

Responsabilidades de los Autores

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

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

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

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

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

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

Servicios Editoriales:

Identificación de Citación e Índice H.

Administración del Formato de Originalidad y Autorización.

Testeo de Artículo con PLAGSCAN.

Evaluación de Artículo.

Emisión de Certificado de Arbitraje.

Edición de Artículo.

Maquetación Web.

Indización y Repositorio

Traducción.

Publicación de Obra.

Certificado de Obra.

Facturación por Servicio de Edición.

Política Editorial y Administración

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 Ingeniería Eléctrica

“Diseño de estructura modular para la instalación de un sistema fotovoltaico”

HERNANDEZ-RAMIREZ, Julio Cesar, GARCIA-GÓMEZ, Fidencio Ulises, BOLAÑOS-JIMÉNEZ, Gerardo, GUZMÁN TAPIA, Mauricio y RODRIGUEZ-GUTIERREZ, Jesús Eduardo
Universidad Tecnológica de Morelia

“Desarrollo de estructura de servicios de telecomunicaciones y energía eléctrica para comunidades de Yucatán”

HERNÁNDEZ-CASTELLANOS, Germán Felipe, RUIZ-CASTILLO, Luis Manuel y FRANCO LÓPEZ, Aref Jesús
Universidad Tecnológica del Centro

“Automatización de un sistema de energía híbrido móvil independiente de la red eléctrica”

ESPINOSA-TRUJILLO, María Jesús, MEDINA-CARRIL, Diego Manuel, CERVERA-MORALES, Miguel Leonardo, HERRERA-LUGO, Angélica y VERDE-GÓMEZ, José Ysmael
Universidad Tecnológica Metropolitana
Instituto Tecnológico de Cancún

“Diseño de un sistema fotomecánico inteligente con dos grados de libertad para la orientación de un panel fotovoltaico que optimice la producción de energía eléctrica”

LÓPEZ-XELO, Hilario, HERNÁNDEZ-MEDINA, José Juan y ROMANO-RODRÍGUEZ, Ma. Natividad

