

ISSN 2523-6881

Volumen 2, Número 6 — Julio — Septiembre - 2018

Revista de
Energías
Renovables

ECORFAN[®]

ECORFAN-Perú

Editora en Jefe

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

Editores de Producción

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial

REYES-VILLAO, Angélica. BsC

Revista de Energías Renovables, Volumen 2, Número 6, de Julio a Septiembre 2018, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Perú. La Raza Av. 1047 No. - Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode: 11500. WEB: www.ecorfan.org/republicofperu, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María, Co-Editor: SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD. ISSN: 2523-6881. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Septiembre 2018.

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

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

Revista de Energías Renovables

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

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

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

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

Alcances, Cobertura y Audiencia

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

Consejo Editorial

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD
Oak Ridge National Laboratory

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

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD
Institute of Technology

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD
University of La Rochelle

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

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

TELOXA - REYES, Julio. PhD
Advanced Technology Center

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD
Universidad Gestalt

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

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

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

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

LAGUNA, Manuel. PhD
University of Colorado

VAZQUES - NOGUERA, José. PhD
Universidad Nacional de Asunción

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD
University of Alberta

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD
University of Southampton

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

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD
Universidad de Sevilla

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD
Universidad Politécnica de Valencia

MARTINEZ - ALVARADO, Luis. PhD
Universidad Politécnica de Cataluña

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

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD
University of South Florida

LARA - ROSANO, Felipe. PhD
Universidad de Aachen

TIRADO - RAMOS, Alfredo. PhD
University of Amsterdam

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

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

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

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD
Syracuse University

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD
University of Texas

VEGA - PINEDA, Javier. PhD
University of Texas

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

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

RODRÍGUEZ - AGUILAR, Rosa María. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD
Universidad de Guanajuato

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

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

SERRANO - ARRELLANO, Juan. PhD
Universidad de Guanajuato

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

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

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

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

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

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

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

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

OCHOA - CRUZ, Genaro. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Comité Arbitral

ESCAMILLA - BOUCHÁN, Imelda. PhD
Instituto Politécnico Nacional

LUNA - SOTO, Carlos Vladimir. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

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

OLVERA - MEJÍA, Yair Félix. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

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

GONZÁLEZ - JASSO, Eva. PhD
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD
Universidad Politécnica de Amozoc

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD
Universidad de Guadalajara

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

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

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

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

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

NÚÑEZ - GONZÁLEZ, Gerardo. PhD
Universidad Autónoma de Querétaro

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

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

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

TZILI - CRUZ, María Patricia. PhD
Universidad ETAC

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

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

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

MARTÍNEZ - RAMÍRES, Selene Marisol. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

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

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

JUAREZ - SANTIAGO, Brenda. PhD
Universidad Internacional Iberoamericana

ENCISO - CONTRERAS, Ernesto. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

ARCEO - OLAGUE, José Guadalupe. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

CHÁVEZ - GUZMÁN, Carlos Alberto. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Cesión de Derechos

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

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

Declaración de Autoría

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

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

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

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

Detección de Plagio

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

Proceso de Arbitraje

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

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

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

Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos, *Dimensionamiento y ejecución de un sistema fotovoltaico interconectado en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, potencia nominal: 79.20 kWp*, por RESENDIZ - BADILLO, Ramiro & MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel, con adscripción en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, como segundo artículo presentamos, *Obtención de biogás a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante la digestión anaerobia termofílica*, por RODRIGUEZ-MORALES, José Alberto, VENTURA-RAMOS, Eusebio, PEREZ-MORENO, Víctor y VELAZQUEZ-CASTILLO, Rodrigo Rafael, con adscripción en la Universidad Autónoma de Querétaro, como tercer artículo presentamos, *Caracterización de celda para producción de hidrogeno con fin de generar combustible alternativo para motores de combustión interna*, por JUÁREZ-SANDOVAL, Alejandro, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio, JUÁREZ-ZERÓN, Tomàs Aáron y OCHOA-BARRAGAN, José Francisco, con adscripción en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, como cuarto articulo presentamos, *Inclusión de tecnología sustentable y uso de energías renovables para generar energía eléctrica en el sur Tamaulipas*, por GARCÍA-NAVARRO, Josefina, BAUTISTA-VARGAS, María Esther, HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán y ZUMAYA-QUIÑONES, Rocío, con adscripción en la Universidad Politécnica de Altamira.

Contenido

Artículo	Página
Dimensionamiento y ejecución de un sistema fotovoltaico interconectado en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, potencia nominal: 79.20 kWp RESENDIZ - BADILLO, Ramiro & MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel <i>Universidad Tecnológica de San Juan del Río</i>	1-16
Obtención de biogás a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante la digestión anaerobia termofílica RODRIGUEZ-MORALES, José Alberto, VENTURA-RAMOS, Eusebio, PEREZ-MORENO, Víctor y VELAZQUEZ-CASTILLO, Rodrigo Rafael <i>Universidad Autónoma de Querétaro</i>	17-25
Caracterización de celda para producción de hidrogeno con fin de generar combustible alternativo para motores de combustión interna JUÁREZ-SANDOVAL, Alejandro, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio, JUÁREZ-ZERÓN, Tomàs Aáron y OCHOA-BARRAGAN, Jose Francisco <i>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla</i>	26-32
Inclusión de tecnología sustentable y uso de energías renovables para generar energía eléctrica en el sur Tamaulipas GARCÍA-NAVARRO, Josefina, BAUTISTA-VARGAS, María Esther, HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán y ZUMAYA-QUIÑONES, Rocío <i>Universidad Politécnica de Altamira</i>	33-37

Dimensionamiento y ejecución de un sistema fotovoltaico interconectado en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, potencia nominal: 79.20 kWp

Dimensioning and execution of a photovoltaic system interconnected at Universidad Tecnológica de San Juan del Río, nominal power: 79.20 kWp

RESENDIZ - BADILLO, Ramiro†* & MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel

Universidad Tecnológica de San Juan del Río

ID 1^{er} Autor: *Ramiro Resendiz-Badillo*

ID 1^{er} Coautor: *Ángel, Marroquín-De Jesús* / ORC ID: 0000-0001-7425-0625, Researcher ID Thomson: I-4382-2018, CVU CONACYT ID: 81204

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

Resumen

Se realizó un dimensionamiento y ejecución de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en la Universidad Tecnológica De San Juan Del Río, de potencia nominal: 79.20 KWP, el cual tiene como principal objetivo el impulsar los distintos tipos de energías renovables para poder reducir los altos costes energéticos que se han presentado a lo largo de los años de operación de la Universidad y aunado a la posibilidad de contribución el cuidado del medio ambiente. El proyecto se efectuó en el edificio 'K' de la ya mencionada institución, el cual es usado exclusivamente para laboratorios de las carreras profesionales de: Química farmacéutica, Química industrial y Energías Renovables. Para el dimensionamiento del proyecto se realizaron distintos estudios tales como: estudios de emplazamiento, estudios energéticos, así como también la elaboración de una memoria de cálculo eléctrico y una memoria de cálculo de rendimiento. Dichos estudios y cálculos ayudaron a desarrollar el proyecto y como resultados preliminares directos se puede argumentar con evidencias sólidas y concisas que hasta la fecha se ha visto un ahorro económico de aproximadamente \$113,654.51 MN. Estos datos se pueden ver reflejados en los recibos de pago de la Comisión Federal De Electricidad y del monitoreo inteligente que se tiene el proyecto en forma digital.

Sistema Fotovoltaico, Dimensionamiento, Memoria de Cálculo, Eléctrico, Rendimiento, Costos

Abstract

It was carried out a sizing and execution of a photovoltaic system interconnected to the network in the Technological University of San Juan Del Río, Rated Power: 79.20 KWP, which has as main objective the promotion of the different types of renewable energies to be able to reduce the high Energy costs that have been presented throughout the years of operation of the university and combined with the possibility of contribution the care of the environment. The project was carried out in the building 'K' of the aforementioned institution, which is used exclusively for professional careers laboratories: Pharmaceutical Chemistry, industrial chemistry and renewable energies. For the dimensioning of the project, different studies were carried out such as: Site studies, energy studies, as well as the elaboration of an electrical calculation memory and a performance calculation memory. These studies and calculations helped to develop the project and as preliminary direct results can be argued with solid and concise evidence that to date has seen an economic savings of approximately \$113,654.51 MN. These data can be seen reflected in the Federal Electricity Commission's payment receipts and the intelligent monitoring of the project in digital form.

Photovoltaic System, Sizing, Memory Calculation, Electrical, Performance, Costs

Citación: RESENDIZ - BADILLO, Ramiro & MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel. Dimensionamiento y ejecución de un sistema fotovoltaico interconectado en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, potencia nominal: 79.20 kWp. Revista de Energías Renovables 2018. 2-6:1-16

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: dr.ramirorb96@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, se tiene muy claro y presente que el uso de las energías renovable es muy eficiente y redituable para reducir los costos y contribuir al medio ambiente. Desde hace varios años se han impulsado proyectos que promuevan las energías renovables a tal grado de poder ofertar una carrera como tal.

El proyecto de dimensionamiento y ejecución de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en la Universidad Tecnológica De San Juan Del Río, potencia nominal: 79.20 kWp, es un claro ejemplo en el cual la Institución se interesa bastante en el uso de ese tipo de energías. Este proyecto surge de la necesidad de implementar un sistema de ahorro y eficiencia energética el cual en un lapso puede beneficiar la economía de la Universidad y por ende el restante económico se pueda utilizar para fomentar actividades académicas en el interior de la institución.

Este proyecto tiene la peculiaridad de ser un proyecto en el cual se ha invitado a los alumnos de la carrera de energías renovables, tanto del nivel técnico superior universitario a nivel ingeniería, a poder participar en el desarrollo del proyecto, esto con el fin de consolidar sus conocimientos adquiridos en sus formaciones profesionales y sobretodo el poder concursar para obtener la certificación en el EC0586 , el estándar de certificación que describe las funciones críticas que realiza un instalador de sistemas fotovoltaicos (SFVI) en residencia, comercio e industria en baja tensión, hasta 2000 V y sin respaldo de baterías.

Este dimensionamiento y desarrollo tecnológico cuenta con las siguientes principales características:

- Conexión a la red eléctrica de la Comisión Federal de Energía.
- Aprovechamiento de la arquitectura del edificio "K", el cual ayuda a no diseñar y desarrollar una estructura.
- Estilización de las instalaciones eléctricas y mecánicas.
- Compra e implementación de equipos en donde se pueda monitorear las 24 horas del día, durante el día y poder realizar estudios posteriores.

- Ser un proyecto en el cual los alumnos y docentes de la carrera de energías renovable puedan realizar análisis y pruebas técnicas.
- Contribución a la economía de la Universidades.
- Ayudar al cuidado del medio ambiente en la región.

Con la implementación de la instalación fotovoltaica en el edificio "K" hace que el coste energético de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río se reduzca, como por ejemplo; en el mes de enero de 2018 (último con suministro eléctrico convencional) el pago del servicio eléctrico era de \$ 88, 646.00 MN y en febrero de 2018 (primer mes con el respaldo del sistema fotovoltaico) pago fue de \$ 27, 177.00 MN, por lo que se ha ahorrado una cantidad de \$ 61,469.00 MN.

A lo largo del documento se presentará todas las etapas del proyecto tales como:

- Estudio de emplazamiento del lugar.
- Memoria de cálculo eléctrico
- Memoria de cálculo de rendimiento
- Resultados y evidencia
- Anexos
- Etc.

Estudio de emplazamiento del lugar

Como punto primordial del dimensionamiento del proyecto de debe hacer un estudio de la ubicación, localización, recurso solar, clima, meteorología del lugar ya que gracias a estos análisis se pude formular los cálculos y detalles técnicos que estructuren en la instalación fotovoltaica además de tener un rendimiento muy alto para que los resultados finales tengan un peso tecnológico y científico muy valioso (Verónica Hung González, 2011).

En la siguiente tabla de resumen de manera concreta el estudio de emplazamiento del proyecto.

Datos geográficos	
Ubicación del sitio	Vista Hermosa, Municipio de San Juan del Río, Qro.
Latitud	20.369°
Longitud	-100.010°
Altitud	1,978msnm
Datos climáticos y meteorológico	
Horas solares pico	6.19 kWh/m ² /día
Radiación solar promedio	5.6 kW/m ²
Temperatura promedio, mes cálido	25.6°C
Temperatura promedio, mes frío	7.45°C
Temperatura promedio anual	19.0°C (a 10m de la superficie)
Régimen de precipitación anual	586 mm

Tabla 1 Resumen de datos geográficos, climáticos y meteorológicos para el estudio de emplazamiento del dimensionamiento y ejecución del proyecto
Fuente: DAVIS VANTAGE PRO2 6152

Todos los datos anteriormente mostrados fueron consultados y posteriormente analizados en la estación meteorológica de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, la cual es de la marca y modelo: "DAVIS VANTAGE PRO2 6152". Lo notable es que esta estación meteorológica pertenece al conjunto de sistema de estaciones meteorológica automáticas (EMA'S) administradas por la Comisión Estatal de Agua del ESTADO de Querétaro en coordinación con el Servicio Meteorológico Nacional y la agencia meteorológica Weather Underground.

A continuación se muestran los gráficos climáticos y meteorológicos más importantes para el dimensionamiento del proyecto.

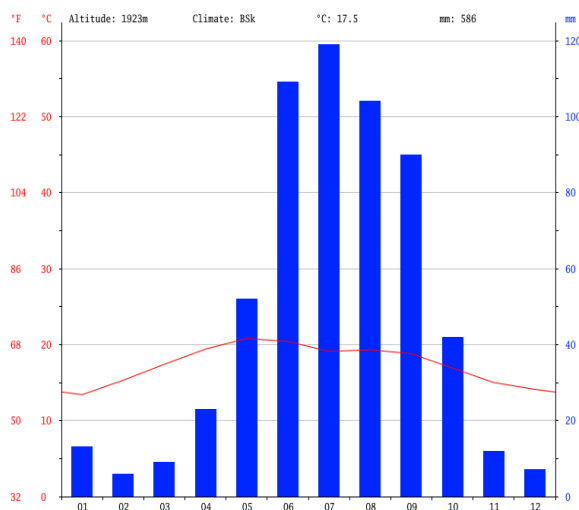


Figura 1 Comportamiento de temperaturas medias y precipitaciones en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río
Fuente: DAVIS VANTAGE PRO2. 6152Escobedo

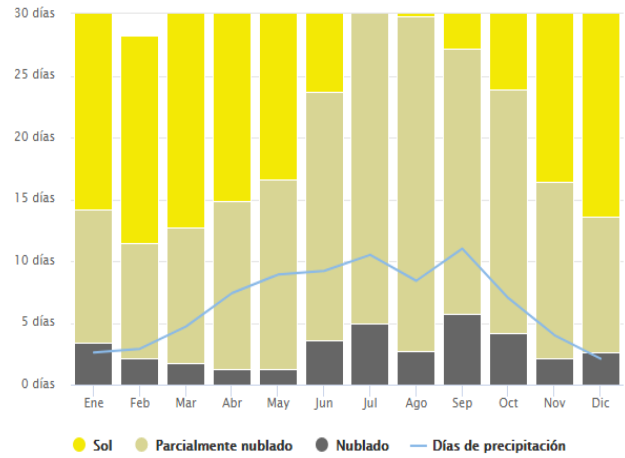


Figura 2 Comportamiento: cielo nublado, sol y días de precipitación en la Universidad Tecnológica de San Juan Del Río
Fuente: DAVIS VANTAGE PRO2 6152

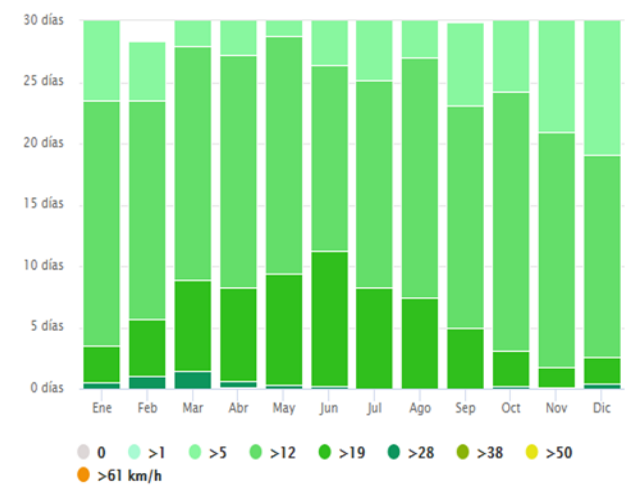


Figura 3 Comportamiento de la velocidad del viento en la Universidad Tecnológica de San Juan Del Río
Fuente: DAVIS VANTAGE PRO2 6152

Para detallar más el estudio, lo siguiente que se muestra es una imagen aérea de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, la cual indica la ubicación del edificio "K".

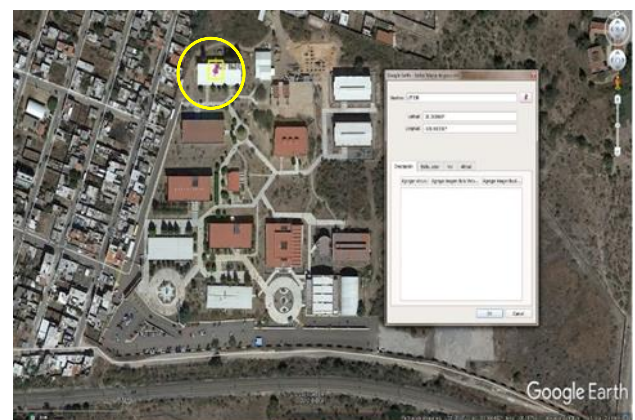


Figura 4 Vista aérea de la Universidad Tecnológica de San Juan Del Río, en donde en el círculo amarillo se encuentra el edificio "K"
Fuente: Google Earth PRO

Memoria de cálculo eléctrico

Cuando se efectuó el estudio de emplazamiento de la instalación eléctrica se pasó directamente a la formulación del cálculo eléctrico, en el cual se dimensiona y se diseña todo el sistema fotovoltaico y sus respectivas adecuaciones eléctricas conforme a lo establecido en las normas.

Características del módulo para cálculo:

Potencia nominal STC	330W
Voltaje a máxima potencia pico V_{mp}	37.80 V
Corriente a máxima potencia pico I_{mp}	8.74 A
Voltaje a circuito abierto V_{oc}	46.90 V
Corriente en corto circuito I_{sc}	9.14 A
Coefficiente de temperatura para voltaje a circuito abierto TC_{voc}	-0.30 %/°C
Cantidad total de módulos:	240 pzas; 79,200 W

Tabla 1 Datos relevantes de las características del módulo solar a utilizar

Parámetros del módulo ajustados por temperatura

a. Por coeficiente de temperatura del módulo

$$Vt = Voc + (TC \cdot \Delta Temp \cdot Voc) \quad (1)$$

Donde:

Temp. Mínima que se registra en el sitio = 0°C (Vista Hermosa, San Juan del Rio, Qro.)

Vt = Voltaje de salida a temperatura diferente a 25°C

TC = Coeficiente de temperatura

$\Delta Temp$ = Diferencial en temperatura

$$Vt = 46.90V + (-0.0030/^{\circ}C \cdot (0-25^{\circ}C) \cdot 46.9V) \quad (2)$$

$$Vt = 46.90V + 3.5175V \quad (3)$$

$$Vt = 50.4175 \sim 50V \quad (4)$$

Selección de inversor

Inversor seleccionado: Fronius symo 15.0-3 208/220. Potencia nominal del inversor: 15,000 w.

Voltaje máximo MPPT	850 v; 850/50= 17 módulos
Número de módulos por rama seleccionado	= 16
Número de ramas o strings	15,000W/330W = 45.45/16 = 2.84 ~ 3 Strings

Tabla 3 Datos para el acondicionamiento del arreglo para los paneles solares

Se seleccionó la opción de 3 ramas de 16 módulos cada una:

- V_{oc} de la rama o string ajustado por temperatura : $50 V \times 16 = 800V$
- I_{sc} de la rama o string: 9.14 A
- I_{sc} ajustado por factor para: En los circuitos de la fuente y de salida fotovoltaica la ampacidad o capacidad de conducción de los conductores debe seleccionarse con un valor de 1.56 veces la corriente de corto circuito, I_{sc} del módulo, panel o arreglo fotovoltaico (NOM-001 SEDE 2012, Art.690-8).

Cálculo de conductores ($I_{sc} \times 1.56$)	de	= 14.26 A	(NOM-001-SEDE-2012, 690-8 (a)(1),(b) (1))
Cálculo de protecciones ($I_{sc} \times 1.25$)	de	= 11.43 A	(NOM-001-SEDE-2012, 690-8 (b) (1))

Tabla 4 Calculo de conductores y protecciones para el proyecto en base a en la NOM-001-SEDE-2012

b. Factores de corrección por temperatura ambiente

Para temperaturas ambiente que excedan de 30°C, la capacidad de conducción de corriente debe corregirse, reduciendo su valor, con los factores dados por la NOM-001-SEDE 2012.

- Cálculo de conductores ($I_{sc} \times 1.56$):
- 14.26 A (NOM-001-SEDE-2012, 690-8 (a) (1), (b) (1)).
- Rango de temperatura del cable: 75°C.
- Temperatura máxima ambiente: $25.6^{\circ}C + 22^{\circ}C = 47.6^{\circ}C$ ($22^{\circ}C$ se suman de la tabla 310-15 (b) (3) (c) de la NOM-001-SEDE-2012.

c. Ajuste de la temperatura por canalizaciones expuestas a la luz del sol sobre azoteas

Cuando los conductores o cables se instalan en canalizaciones circulares expuestas a la luz solar directa en o por encima de azoteas, los valores que se indican en la NOM-001-SEDE-2012 se deben agregar a la temperatura exterior para determinar la temperatura ambiente correspondiente para la aplicación de los factores de corrección.

- Factor de corrección: Ampacidad / 0.75 (para temperatura ambiente ajustada de 47.6°C) *Tabla No. 310-15(b)(2)(a) de la NOM-001-SEDE 2012* $4.26a / 0.75 = 19.01$ a ampacidad total a considerar para el cálculo de conductores cd

- d. Ajuste de ampacidad por número de conductores en una canalización

Más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable. Cuando el número de conductores portadores de corriente en una canalización o cable es mayor de tres, o cuando los conductores individuales o cables multiconductores se instalan sin conservar su separación en una longitud continua mayor de 60 centímetros y no están instalados en canalizaciones, la ampacidad permisible de cada conductor se debe reducir como se explica en (*NOM-001-SEDE 2012* en la Tabla 310-15(b) (3) (a)).

Cada conductor portador de corriente de un grupo de conductores en paralelo se debe contar como un conductor portador de corriente. Este ajuste no aplica ya que se tienen máximo tres conductores portadores de corriente en una misma canalización.

- Ampacidad de los conductores ajustada a temperatura por a) hasta d): 19 A

Resumen de cálculos obtenidos para seleccionar conductores

- Ampicidad del conductor: 156% de la corriente máxima para el circuito ya calculada según (690-8 *NOM-001-SEDE-2012*) Ampicidad del conductor: $9.14 \text{ A} \times 1.56 = 14.26 \text{ A}$
- Ampicidad del conductor ajustada por Temp: $14.26 \text{ A} / 0.75 = 19.01 \text{ A}$ (*Tabla No. 310-15(b) (2) (b) de la NOM-001-SEDE 2012*).
- *Numero de ramas o strings por inversor: 3*
- Ampicidad del conductor de la corriente en paralelo de 1 strings ajustada: 19.01 A; ~ 19 A
- Voltaje del conductor: VT
- Voltaje del módulo ajustado por temperatura : VCD
- Voltaje de la rama de 16 módulos ajustado por temperatura : 800 VCD

Calculo de conductores de módulos a caja de conexión y protecciones CD

Longitud del conductor de rama o string más alejado a cajas de conexiones y fusibles: 45m

DC VOLTAGE DROP and ENERGY LOSSES CALCULATOR		
DC POWER	DC Voltage Drop	DC Energy losses
DC Voltage (U): 800 V	wire material : Copper	DC Energy losses : 124.54 W
DC Current (Ib): 19 A	Wire size (mm2) : 6	DC Energy losses (%) : 0.82 %
DC POWER (P) : 15200 W	Simple length (one run) : 45 m	<input type="button" value="calculate"/>
<input type="button" value="calculate"/>	DC Drop voltage : 6.56 V	
	DC Drop voltage (%) : 0.82	<input type="button" value="calculate"/>

Figura 5 Datos obtenidos mediante Energy losses calculator

- Resultado del cálculo: Calibre 10 AWG (6 mm²); los conductores en los tres strings hasta cajas de conexión y protecciones CD 1 a 5 van en calibre 10 AWG, cable solar 10 AWG en tubería conduit metálico pared gruesa.
- En todas las ramas o strings a la caja de conexiones y protecciones CD se cumple lo especificado en ANCE-ESP02 “el calibre de los conductores del circuito de la fuente fotovoltaica a la caja de combinación o conexión debe ser seleccionado para evitar una caída de tensión no mayor al 1%”.

Calculo de conductores de cajas de conexión y protecciones cd a inversores

Longitud de conductores de caja de conexiones a inversores 1 a 5: 15m

- Resultado del cálculo: Calibre 10 AWG (6 mm²), cable solar 10 AWG en tubería conduit metálico pared gruesa.
- En todas las ramas o strings a la caja de conexiones y protecciones CD se cumple lo especificado en ANCE-ESP02 “el calibre de los conductores del circuito de la fuente fotovoltaica a la caja de combinación o conexión debe ser seleccionado para evitar una caída de tensión no mayor al 1%”.

- Fuente de la tabla de cálculo: Electricity losses: AC and DC electrical wire voltage drop and energy losses online calculator. http://photovoltaicsoftware.com/DC_AC_drop_voltage_energy_losses_calculator.php

Selección de las cajas de conexiones a la salida del generador FV

Para realizar la conexión de los módulos a las cajas de conexión se consideró el conductor de mayor calibre compatible con conectores tipo MC4 que vienen de fábrica en los módulos fotovoltaicos; calibre 10 AWG y debido a que la selección de conductores entre las cajas de conexión y el inversor arroja calibre 10 AWG, se utilizarán para el positiva porta fusibles como medio de protección y para el conductor neutro se considera el paso directo desde los módulos hasta la entrada a inversores.

Para agrupar estos componentes se selecciona la caja de conexiones o envolvente metálica IP 65 con 15 porta fusibles de un polo con espacio suficiente para el acomodo de los conductores positivos, negativos y puesta a tierra, así como los tubos de conducción de entrada y salida.

Canalizaciones y protecciones a la entrada de cd a inversores

Para recibir los conductores en CD antes de la entrada a inversores se utiliza ducto cuadrado metálico de 4 x 4" para alojar el cableado de CD antes de entrar a cada inversor sin mezclarse con el cableado en CA como lo marca el *Art. 310-3 (c) (2) de la NOM-001-SEDE 2012*) Los conductores de circuitos de más de 600 volts no deben ocupar el mismo envolvente, cable o canalización del alambrado de equipos, que los conductores de circuitos de 600 volts o menos, los conductores con aislamiento no blindado y que operan a diferentes tensiones no deben ocupar el mismo envolvente, cable o canalización.

Para las protecciones del circuito de entrada de inversores, se utiliza el desconectado que incluye cada inversor en su parte inferior y los portafusibles integrados dentro del mismo cuerpo del inversor debiendo operarlos según lo marque el manual del fabricante del inversor.

Calculo de la sección de los cables entre la salida de inversores y el centro de carga concentrador

Longitud máxima del conductor de inversores a centro de carga CA: 3 m.

Número de conductores total en la canalización hasta el centro de carga AC o punto de concentración salida de inversores AC, nivel superior en el cuarto de inversores (inversores 1 a 3); 3+3+3, total 9 conductores portadores de corriente, considerar factor del 80% (Tabla 310-15(b)(3)(a), al seleccionar la ampacidad del conductor debido a que los conductores del inversor 1, no sobrepasan los 60 cm de recorrido junto a los siguientes dos inversores:

- $50 A / 0.8 = 62.5 A$, de la tabla 310-15(b) (16), el calibre 4 AWG cubre el amperaje máximo a utilizar; resultado del cálculo: Calibre 4 AWG (21.2 mm²) aun cubriendo el margen de ajuste por temperatura ambiente.

Nivel inferior en el cuarto de inversores (inversores 4 y 5); 3+3, total 6 conductores portadores de corriente, considerar factor del 80% (Tabla 310-15(b) (3) (a), al seleccionar la ampacidad del conductor:

- $50 A / 0.862.5 A$, de la tabla 310-15(b) (16), el calibre 4 AWG cubre el amperaje máximo a utilizar; considerando consumo menor a 100 A se utiliza para el cálculo la columna correspondiente a temperatura de 60°C. Art. 110-14 (c) (1) (a). Resultado del cálculo: Calibre 4 AWG (13.3 mm²) aun cubriendo el margen de ajuste por temperatura ambiente.

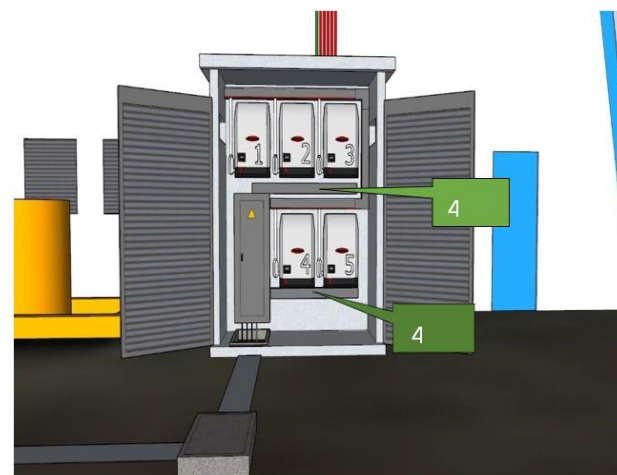


Figura. 6 Diseño en isométrico del gabinete para la instalación del centro de mando y control universal del sistema

Calculo de la sección de los cables del centro de carga concentrador al itm de salida

Longitud del conductor del centro de carga CA concentrador al ITM principal de salida de inversores: 1 m.

Ampacidad máxima al conectar los cinco inversores trifásicos: $50 \times 5 = 250$ A, de este modo estará circulando una corriente máxima de 250 A sobre las barras del tablero de conexiones por lo que el tablero se seleccionó para 400 A ya que el anterior en tamaño es 225 A quedando debajo de la capacidad al generarse el amperaje máximo a la máxima irradiación del sistema fotovoltaico.

Calculo de la sección de los cables a la salida del inversor y el punto de interconexión al sen (PAC)

En el circuito de salida del inversor, la capacidad de conducción de los conductores debe seleccionarse con un valor de 1.25 veces la corriente a la potencia nominal del inversor, la corriente máxima debe ser la corriente permanente de salida del inversor 690-8 (a)(3).

Voltaje AC	220 Volts
Fases	3; L1, L2, L3, No se requiere neutro para el modelo y configuración de inversor seleccionado
Máxima corriente de salida continua de cada inversor	39.4 A
Ampicidad del conductor ajustado	$39.4 \times 1.25 = 49.25$ A ~ 50 A
Número de inversores	5
Máxima corriente alterna CA de salida del sistema fotovoltaico	250 A

Tabla 5 Datos obtenidos mediante el desarrollo de los cálculos anteriores

Selección del calibre del conductor desde inversores al centro de carga concentrador para el amperaje calculado: en base a la tabla 310-15(b) (16) para el tipo de cable utilizado THHW 90°C, considerando consumo mayor a 100 A se utiliza para el cálculo la columna correspondiente a temperatura de 75°C. Art. 110-14 1) (a) (1).

El calibre de acuerdo a la *tabla 310-15(b) (16)*, *NOM-001-SEDE-2012* en la resulta en 250 Kcmil, aplicando el factor de corrección por temperatura de la tabla 310-15(b) (2) (a) para una temperatura ambiente de 21-25 °C = Ampicidad x 1.05, $250 \text{ A} \times 1.05 = 262.5 \text{ A}$ por lo que se selecciona finalmente el calibre 300 Kcmil para este circuito.

Revisando el criterio de la caída de tensión máxima permisible para sistemas fotovoltaicos en el circuito de CA que es de no más de 2% (*ANCE FIRCO, Esp. Técnica para sistemas fotovoltaicos Ver. 7, Sección VIII.3*) y considerando la distancia del tablero de salida de inversores al interruptor en el punto de interconexión PAC = 45m.

Selección del conductor puesta a tierra

El criterio que se utilizó para la selección del conductor de puesta a tierra del circuito fotovoltaico va de acuerdo a lo indicado en *ANCE-ESP-02* "en circuitos de corriente directa, el calibre del conductor de puesta a tierra no debe ser inferior al calibre del conductor que tiene la mayor capacidad de conducción (cable más grueso) según se establece en el *Art. 250-93 de la NOM 001 SEDE 2012*."

En ningún caso menor a 8.37 mm² de sección transversal (calibre 8 AWG) para conductores de cobre. Para el caso de los equipos, el tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo, de cobre o aluminio, no debe ser inferior a lo especificado en la (*Tabla 25095 de la NOM 001 SEDE 2012*)".

Ya que el cálculo en base a la tabla 250-122 (*NOM-001-SEDE-2012*) resulta en un calibre 14 AWG se seleccionó el 8 AWG para todo el arreglo fotovoltaico instalado hasta la entrada a inversores y de estos al tablero concentrador AC.

Cálculo de protecciones ($I_{sc} \times 1.25$) 9.14×1.25 : 11.43 A, (*NOM-001-SEDE-2012, 690-8 (b) (1)*). Capacidad del fusible de protección CD = 15 A, 1000 volts.

De la tabla 250-122 en la *NOM-001-SEDE-2012* resulta 14 AWG y considerando que en ningún caso menor a 8 AWG.

Calibre seleccionado: 8 AWG (16mm²) cobre con forro verde 7 hilos del chasis del generador FV al bus de paralelismo de tierras en el inversor y de estos al bus de paralelismo del tablero concentrador de interruptores AC.

Para el conductor de puesta a tierra en el circuito CA del tablero de interruptores AC al PAC (250 A CA) y siguiendo lo indicado en *NOM-001-SEDE-2012*, 250-122, resulta un calibre menor a 4 AWG y mayor a 6 AWG por lo que: el calibre seleccionado para el conductor de puesta a tierra en este arreglo será el calibre 2 AWG del centro de carga AC al PAC para tener la mayor protección posible en descargas a tierra.

Dimensionamiento de dispositivos de protección en corriente directa

1. Punto de desconexión del GFV: Como dispositivos de protección en el lado de corriente directa se seleccionó una caja de conexión que integra porta fusibles con desconexión segura con fusibles de 15 A para 1,000VCD por cada rama en el polo (+) para cada una de las tres ramas de cada uno de los 5 circuitos FV. 690-8 (b) (1). Donde son requeridos, los dispositivos de sobre corriente deben ser seleccionados como es requerido en (a) hasta (d) siguientes:

- Conducir no menos del 125 por ciento de la corriente máxima calculada en 690-8 (a).
Isc 9.14 A x 1.25 = 11.43 A

El fusible comercial (para la caja de conexiones y en la entrada del inversor) superior más cercano = 15 A.

Voltaje ajustado del string = 800 VCD; el fusible debe seleccionarse para 1,000 VCD.

2. Protección contra sobretensiones en los sub arreglos: Porta fusibles con desconexión segura más seccionadora integrada a la entrada del inversor CD.
3. Protección contra sobretensiones o descargas atmosféricas (Supresor de picos). Como dispositivo de sobretensiones para CD se consideran las protecciones internas que ya incluye el inversor Fronius Symo 15.03 208/220

Dimensionamiento de Dispositivos de protección en corriente alterna

El inversor seleccionado cumple con lo estipulado en *NOM-001-SEDE-2012*, 690-61 y 705-14.

1. Punto de desconexión CA a la salida de inversores en paralelo; se seleccionó el interruptor termo magnético Square D de 3 polos x 50 A para cada uno de los 5 inversores y estos contenidos en un tablero Square D trifásico para 400 Amper y 30 polos. Debido a que se trata de un sistema eléctrico trifásico, no se requiere balancear las cargas.
2. A la salida del centro de carga que contiene los interruptores individuales de salida de cada inversor se colocará un interruptor general termo magnético Square D tipo LAL de 3 x 250A para de este, conducir a otro igual en el punto de interconexión al sistema eléctrico del local, tablero tipo I-Line existente a la salida de la sub estación de 300 kVA.
3. Como dispositivo de sobretensiones en CA se seleccionó un dispositivo de sobretensiones marca Sqare D Mod SDSA50 de tres polos, 240 VAC 50Ka, también denominado aparta rayos secundario, estará conectado a la entrada del interruptor general del tablero concentrador AC.

Atendiendo a lo especificado en CFE-G0100-04, se describe la ubicación de las protecciones que debe llevar un generador fotovoltaico interconectado a CFE.

Interruptor 1 del esquema; Cálculo:

- Corriente máxima de salida de inversores x 1.25 39.4 A x 1.25 = 49.25 A x 4 = 246.25 A.
- Número de fases a la salida del centro de carga de inversores = 3.
- Interruptor termo magnético seleccionado = 250 A (Square D, tipo LAL 3 x 250).
- Interruptor 2 del esquema, se refiere al interruptor general con que cuenta el local antes del PAC, tipo I-Line 250 A.

Selección de la tubería para canalización

Para la canalización del cableado en corriente directa de la fuente FV hasta inversores se seleccionó tubería conduit metálica pared gruesa con las siguientes dimensiones:

(Los conductores en cable solar 10 AWG tienen un diámetro externo nominal con cubierta de 6.93 mm², que su equivalente más cercano en diámetro exterior nominal THW es el cable 8 AWG por lo que se considera este diámetro para el cálculo de canalizaciones.)

Circuito de salida fotovoltaica

Del arreglo FV, strings 1 a 2, son dos conductores en cable solar calibre 10 AWG positivo y negativo más el conductor de tierra física calibre 8 AWG, total tres conductores (equivalente 8 AWG); de la tabla C-8 resulta en diámetro de 3/4" (21mm), se selecciona el siguiente diámetro, 1" (27mm) para disminuir el efecto de temperatura por canalizaciones expuestas a la luz solar.

Del string 2 al 3, son dos conductores del string 1 más dos conductores del string 2 en cable solar calibre 10 AWG positivo y negativo más el conductor de tierra física calibre 8 AWG, total cinco conductores (equivalente 8 AWG); De la tabla C-8 resulta en diámetro de 1" (27mm).

Del string 3 a la caja de conexiones; 3 strings, tres conductor positivo, tres conductor negativo más cable de puesta a tierra, total 7 conductores calibre 8 AWG en el mismo ducto. De la tabla C-8 resulta en diámetro de 1 1/4" (35mm).

Se repite el mismo patrón para los cinco circuitos de tres cadenas o strings hasta la caja de protecciones.

Circuito de entrada a inversores

De caja de protecciones a ducto colector antes de inversores; 3 strings, positivo/negativo más cable de puesta a tierra, total 7 conductores calibre 8 AWG (equivalente), por cada uno de los cinco circuitos FV: Se continúa el mismo esquema de ductos independientes por cada circuito FV teniendo tubería conduit PGG de 1 1/4" (35mm).

Dentro del cuarto de inversores se utiliza un ducto cuadrado de 100 x 100mm para recibir los conductores de los 5 circuitos FV, en total 15 conductor solar positivo, 15 conductor solar negativo y cinco conductor puesta a tierra en 8 AWG; total 35 conductores calibre 8 AWG (equivalente) (Linda Hassaine, 2010).

Circuito de salida de inversores a tablero concentrador AC

De la salida de inversores hacia el tablero concentrador se utiliza ducto cuadrado de 100 x 100mm para los conductores corriente alterna calibre 4 AWG de los inversores 1 a 5. Este ducto es independiente de los circuitos en CD.

Circuito de tablero concentrador a punto de interconexión (PAC) o punto de medición

Del tablero concentrador al tablero del punto de interconexión se utilizan registros prefabricados e intercomunicados con ducto de polietileno de 103mm para alojar los tres conductores calibre 300 AWG más el conductor de puesta a tierra 2 AWG resultante del cálculo de conductores, recomendando en la tabla C-8 diámetro de 2.5" (63mm), se decide colocar en ducto de 4" (103mm) para prever posible ampliación del sistema FV.

Memoria de cálculo de rendimiento y datos finales

Documentos técnicos a entregar, instrucciones y garantías.

- a. Memoria de cálculo del sistema fotovoltaico y del desempeño esperado para las características del sitio de instalación. El criterio de diseño y cálculo del rendimiento del sistema fotovoltaico para este proyecto se basa en la metodología propuesta por el International Renewable Energy Agency (IRENA) como la metodología que debe seguir un diseñador certificado.

La salida de energía del SFV en CA se verá afectada por:

Datos de radiación solar promedio para el arreglo en las condiciones de:

- Inclinación y orientación.
- Especificaciones del fabricante de los módulos
- Temperaturas máximas y mínimas que afectan a los módulos
- Efecto de la acumulación de polvo y residuos en los módulos
- Perdidas en el sistema (eficiencias, cableado, etc.)
- Eficiencia del inversor
- Sombras

Producción de energía

Para una capacidad específica de un arreglo solar en kWp el diseñador determinara la cantidad de energía entregada a lo largo del año (producción energética o eficiencia del sistema esys (Johann Alexander Hernández M, 2012).

$$E_{sys} = P_{sys_stc} \times F_{temp} \times F_{mm} \times F_{dirt} \times H_{incl} \times E_{inv} \times E_{pv_inv} \times E_{inv_pi} \quad (1)$$

- *P_{sys_stc}*: producción de energía del sistema en condiciones estándar en watts.
- *F_{temp}*: función de la temperatura.
- *F_{mm}*: factor de reducción de potencia por tolerancia de fabricación.
- *F_{dirt}*: factor de reducción de potencia por polvo y obstrucciones.
- *H_{incl}*: valor de la irradiación anual en kWh/m² en el sitio, afectado por la orientación, inclinación y sombras.
- *E_{inv}*: eficiencia del inversor.
- *E_{pv_inv}*: eficiencia del subarreglo (cables, interruptores, fusibles) entre el SFV e inversor.

Datos para el desarrollo del rendimiento del sistema fotovoltaico interconectado a la red.

- Proyecto: “Instalación de energía solar (Módulos de Paneles Solares); en la Universidad Tecnológica De San Juan Del río, Vista Hermosa (Cuasinada), San Juan Del Río, Querétaro”
- Fecha de inicio de la obra: 09 de octubre de 2017
- N° de contrato: 17EIFEQ-COPLP-071-090.
- Fecha de terminación de la obra: 06 de noviembre de 2017.
- Fecha de entrega: 10 de noviembre de 2017.

- *E_{inv_pi}*: eficiencia del subarreglo (cables, interruptores, fusibles) entre el
- Inversor y el punto de conexión.

Desarrollo del cálculo para este proyecto:

- a. Radiación solar: La radiación solar se representa en kWh/m², se puede representar como las horas de Sol pico al día (PSH) esto es equivalente al número de horas de irradiación solar de 1 kW/m² (Oscar P Lamigueiro, 2015). La radiación solar en el sitio del proyecto se obtiene de los datos de la NASA para la latitud y longitud a una inclinación específica, regularmente la inclinación óptima recomendada. Sera la latitud del lugar con una tolerancia de +/- 5°. A una inclinación de 20°, la irradiación anual disponible es 6.19 HSP, debido a que se utilizó el techo del edificio “k” que tiene una inclinación de 15°, se aplica un factor de disminución de 2.5° promedio anual quedando en 6.04 HSP la irradiación disponible en el sitio del proyecto.
- b. Especificaciones del fabricante de los módulos:
 - Marca: JINKO SOLAR
 - Modelo: JKM330PP-72 4BB
 - Tecnología de la celda: poli cristalino
 - Garantía de rendimiento lineal: 12 años al 90%, 25 años al 80.7%
 - Tolerancia: positiva 0 a +3%
- c. Reducción de potencia de salida de los módulos:
 - Por tolerancia de potencia nominal de fabricación (x 1 a 1.03), la salida del módulo está dada en watts y está representada por el fabricante a 25°C, típicamente es +- 5% y en los últimos años +- 3% el diseñador debe considerar esta tolerancia. Para nuestro caso es 0 a +3%, como dato conservador consideramos 0%.
 - Reducción de potencia por polvo y suciedad (x 0.95), la acumulación de polvo puede reducir la potencia del módulo al obstruir el paso de la luz hacia las celdas, típicamente se considera un 5% si no se deja acumular mucho polvo o suciedades, en tal caso puede ser mayor.

- Reducción de potencia por temperatura:
- d. Temperatura mínima efectiva de la celda = $t_{amb.} + 25^{\circ}C$. Coeficiente de temperatura de nuestro módulo de 330W es $-0.30\%/^{\circ}C$, es decir que la potencia se reduce en un 0.30% por cada $^{\circ}C$ por arriba de $25^{\circ}C$ de temperatura ambiente o aumenta en la misma proporción por cada $^{\circ}C$ por debajo de los $25^{\circ}C$ de temperatura ambiente. La reducción de potencia de salida del módulo está dada por:

$$psal = p_{stc} \times coef_{ptemp} \times coef_{polvo}$$

Calculo:

- Asumiendo la tolerancia de potencia nominal 0%, en un módulo de 330W: 330W,
- La reducción de potencia por el polvo se considera en 5% por lo que $330W \times 0.95 = 313.5W$.
- La salida de potencia del módulo se reduce arriba de $25^{\circ}C$ o incrementa debajo de $25^{\circ}C$ asumiendo una temperatura ambiente de $30^{\circ}C$, la temperatura efectiva de la celda es $30^{\circ}C + 25^{\circ}C = 55^{\circ}C$, $30^{\circ}C$ arriba de la Temp. Estándar.
- Un módulo de 313.5W poli cristalino con coeficiente de -0.3% por $^{\circ}C$,
- Pérdida por temp. = $30^{\circ}C \times 0.3\% \times ^{\circ}C = 9\%$
- El módulo de 313.5W perdería 9% por temperatura quedando en $313.5 \times 0.91 = 285.3W$.
- Potencia de salida del módulo ajustado $psal = 285.3W$
- Potencia de salida del sistema; $Psal_{sys} = \text{número de módulos} \times psal \times \text{irradiación del sitio (PSH)}$, $Psal_{sys} = 240 \times 285.3W \times 6.04$
- Potencia de salida del sistema $psal_{sys} = 413,571W$

Perdidas del sistema en corriente directa CD

Esta dado por la caída de voltaje en el cableado desde los módulos al inversor, está perdida debe ser del 2% máximo como se describe en la memoria de cálculo eléctrico de este proyecto, por lo que la eficiencia del subsistema de cableado CD es de 98% y la potencia de salida del sistema deberá ajustarse a esta reducción:

- $Psal_{sys} = \text{número de módulos} \times psal \times \text{irradiación del sitio (PSH)} \times 0.98$
- $Psal_{sys} = 240 \times 285.3W \times 6.04 \times 0.98$
- $Psal_{sys} = 413,571W \times 0.98$
- Potencia de salida del sistema ajustado por cableado $cd \ psal_{sys} = 405,300W$

Eficiencia máxima del inversor

La eficiencia del inversor está dada por las especificaciones del fabricante y afectará también a la potencia de salida del sistema (Clara Ormaechea Ballesteros, 2012).

- Eficiencia máxima del inversor Fronius symo 15.0-3 208: 97.3% (0.973);
- $405,300W \times 0.973 = 394,357W$
- Potencia de salida del sistema ajustado por ef. Del inversor $psal_{sys} = 394,357W$

Perdidas del sistema en corriente alterna CA

La salida de potencia en corriente alterna va a estar disminuida por pérdidas en el cableado entre la salida del inversor y el punto de acoplamiento común (PAC) o punto de medición, de nuestro cálculo eléctrico tenemos una caída de tensión máxima permisible del 2% (0.98), la salida de potencia AC que va a ser entregada por nuestro inversor a la red va a estar afectada por esta pérdida: $394,357W \times 0.98 = 386,470W = 386.47 \text{ kW}$ (Caamaño Martín, E, 1998).

Producción de energía del SFV

- El proyecto tiene 240 módulos de 330W = $79,200Wp = 79.2 \text{ kWp}$.
- El promedio diario de energía entregado a la red por el SFV = 386.47 kWh/día .
- La producción de energía anual será $386.47 \times 365 = 141,062 \text{ kWh/año}$.

Producción de energía específica

- Esta expresada por kWh/kWp ; $141,062/79.2 = 1,781 \text{ kWh por kWp nominal}$, $1,781 \text{ kWh/kWp}$
- Relación de rendimiento (RR) performance ratio o calidad del sistema.

La relación de rendimiento nos determina la calidad de la instalación y es un reflejo de las pérdidas del sistema.

$$RR = e_{sys} / e_{ideal}$$

RESENDIZ - BADILLO, Ramiro & MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel. Dimensionamiento y ejecución de un sistema fotovoltaico interconectado en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, potencia nominal: 79.20 kWp. Revista de Energías Renovables 2018.

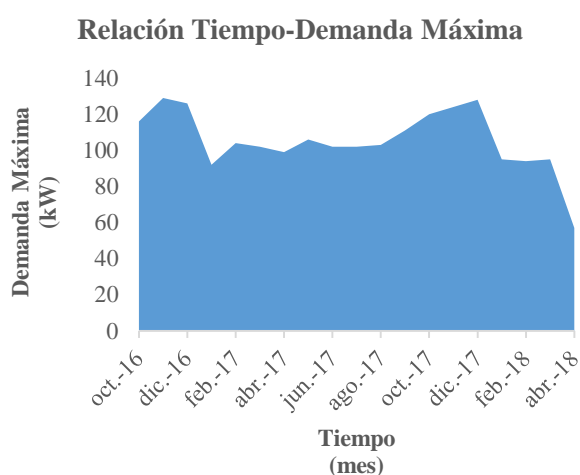
Salida real del sistema en kWh / salida del sistema calculado en condiciones ideales.

- E sys: producción actual anual de energía del sistema = 141,062 kWh
- Eideal= salida de energía ideal del SFV en watts
- Eideal = psys_stc x hincl
- E ideal = kWp nominal x irradiación global anual en el sitio
- Hincl = irradiación diaria promedio anual en kWh/m² para una orientación específica = psh
- Energía ideal = p kWp x irrglob. X 365 días
- Eideal = 79.2 kWp x 6.19 kWh/m² x 365
- Eideal = 178,941 kWh
- Rr = 141,062 kWh/178,941 kWh
- Rr = 0.788
- Relación de rendimiento = 0.79

Resultados

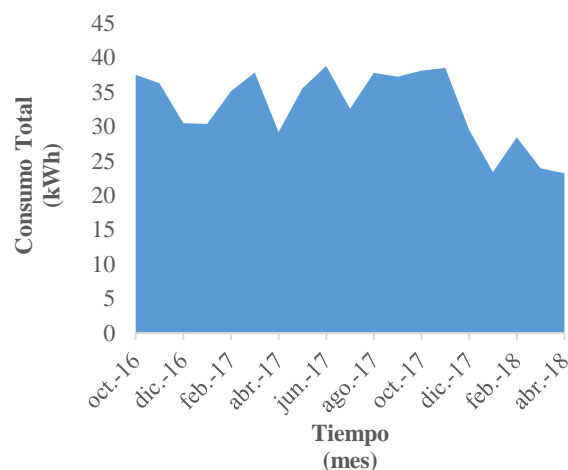
Desde su apertura, el proyecto ha tenido resultados bastantes favorables para la Universidad Tecnológica de San Juan Del Rio, dichos resultados son los siguientes:

1. Notable reducción de Demanda máxima en kW, Consumo total en kWh, Factor de potencia, factor de carga y costos por servicio: durante los 5 meses de operación del sistema fotovoltaico en el edificio 'k', se ha podido ver marcadamente una reducción significativa en los puntos anteriormente dichos En las siguientes graficas se evidencia lo anteriormente comentado.



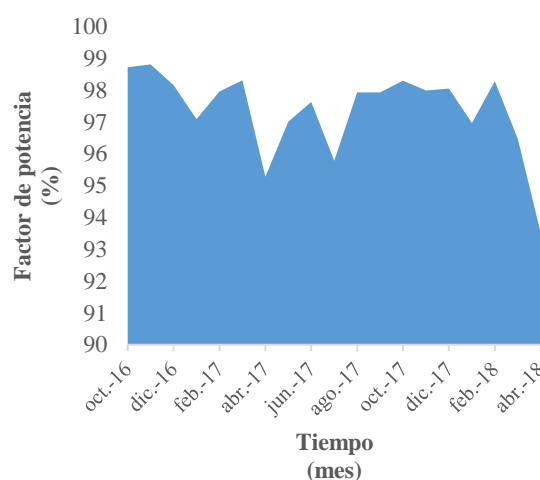
Gráfica 1 Análisis del comportamiento de la relación tiempo-demanda máxima, en el Universidad Tecnológica De San Juan Del Río.

Relación Tiempo-Consumo Total kWh



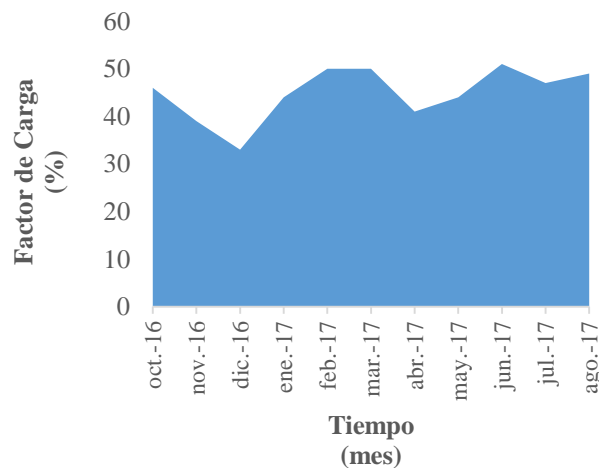
Gráfica 2 Análisis del comportamiento de la relación tiempo-consumo total kWh, en el Universidad Tecnológica De San Juan Del Río

Relación Tiempo-Factor de Potencia

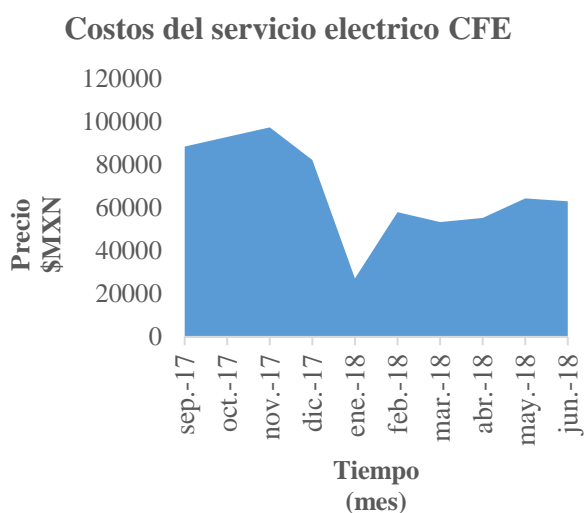


Gráfica 3 Análisis del comportamiento de la relación tiempo-factor de potencia, en el Universidad Tecnológica De San Juan Del Río

Relación Tiempo-Factor de Carga



Gráfica 4 Análisis del comportamiento de la relación tiempo-factor de carga, en el Universidad Tecnológica De San Juan Del Río



Gráfica 5 Análisis de los costes del servicio eléctrico en la Universidad Tecnológica De San Juan Del Río

Como se puede ver en la anterior gráfica, el promedio a pagar por el servicio eléctrico sin el sistema fotovoltaico en el edificio ‘‘K’’ era aproximadamente de \$ 93,084.00 MN y posteriormente a la inauguración del proyecto, la cantidad a pagar del servicio eléctrico fue de \$ 27,177.00 MN, por lo que se puede afirmar que el dimensionamiento y ejecución del proyecto si está cumpliendo con lo establecido.

2. Monitoreo del sistema fotovoltaico vía remota: la instalación pose un medio de monitoreo y control, instalado en el inversor de marca FRONIUS, en el cual mediante la siguiente liga electrónica: <https://www.solarweb.com/Home/GuestLogOn?pvSystemid=3752014d-7bdb-4867-b995-2d5f0ee9422f>, se puede consultar en cualquier tiempo, en streaming toda la información referente al comportamiento y otros puntos esenciales del sistema. En la siguiente imagen se muestran una captura de pantalla del software con datos obtenidos el día 3 de agosto del 2018.

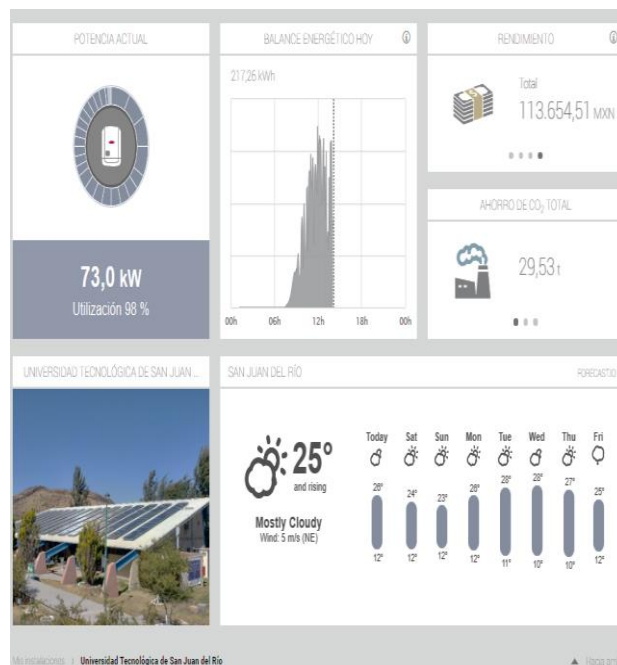


Figura 11 Datos obtenidos en tiempo en tiempo real del comportamiento de la instalación fotovoltaica en el edificio ‘‘K’’ en la Universidad Tecnológica De San Juan Del Río
Fuente: <https://www.solarweb.com/Home/GuestLogOn?pvSystemid=3752014d-7bdb-4867-b995-2d5f0ee9422f>.

Anexos

Se muestran todas las evidencias del trabajo realizado para dimensionar y ejecutar la instalación fotovoltaica de 78 kWh en el edificio ‘‘K’’ en la Universidad Tecnológica De San Juan Del Rio.

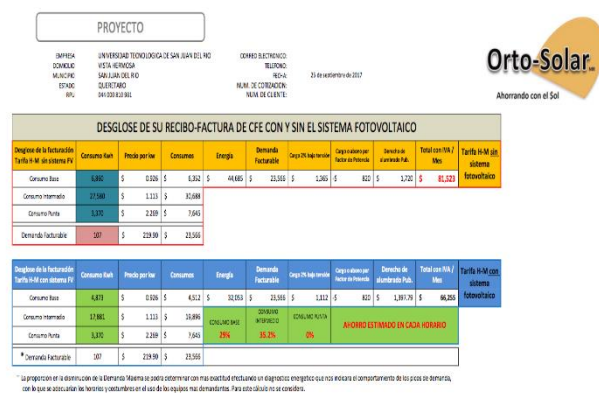


Figura 12 Información relacionada con el desglose el recibo-factura de CFE con y sin el sistema fotovoltaico en el edificio ‘‘k’’ en la Universidad Tecnológica De San Juan Del Río

ESQUEMA PARA LA APLICACIÓN DE LA TARIFA H-M SEGÚN EL HORARIO DE CONSUMO DE kWh					
Región	Periodo estacional (Verano / Fuera de verano)	Periodo Horario	Lunes a viernes	Sábado y festivos	Domingo y festivos
Central, Noreste, Norte y Sur	Del 1er domingo de abril, al sábado anterior al último domingo de octubre	Base	0:00 a 6:00	0:00 a 7:00	0:00 a 19:00
		Intermedio	6:00 a 20:00	7:00 a 24:00	19:00 a 24:00
		Punta	22:00 a 24:00		
	Del último domingo de octubre, al sábado anterior al 1er domingo de abril	Base	0:00 a 6:00	0:00 a 8:00	0:00 a 18:00
		Intermedio	6:00 a 18:00	8:00 a 19:00	18:00 a 24:00
		Punta	22:00 a 24:00	21:00 a 24:00	18:00 a 24:00

52 DOMINGOS
10 FESTIVOS
17% DEL AÑO

303 DIAS LABORABLES
83% DEL AÑO

UN SISTEMA FOTOVOLTAICO NO PRODUCE EN ESTE HORARIO POR LO QUE NO SE VE BENEFICADO EN EL CONSUMO BASE DE LUNES A SABADO

EL SISTEMA FOTOVOLTAICO GENERARA ENERGIA BENEFICANDO EL CONSUMO BASE SOLO DOMINGOS Y DIAS FESTIVOS

EL SISTEMA FOTOVOLTAICO GENERARA ENERGIA BENEFICANDO EL CONSUMO INTERMEDIO DE LUNES A SABADO

EN EL PERIODO DE PUNTA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO NO GENERA BENEFICIOS

Figura 13 Esquema para la aplicación de la tarifa H-M con respecto a los horarios de consumo
Fuente: Comisión Federal de Electricidad



Figura 14 Vista del edificio ‘k’ en la Universidad Tecnológica De San Juan Del Río antes de implementar el sistema fotovoltaico



Figura 15 Embarques con los paneles solares



Figura 16 Instalación de los paneles solares con sus respectivos soportes de fijación



Figura 16 Fase de desarrollo de la caseta en donde se ubican los inversores y el sistema de monitoreo y control eléctrico



Figura 17 Inauguración de la instalación fotovoltaica del edificio ‘k’ en la Universidad Tecnológica De San Juan Del Río



Figura 18 Alumnos realizando pruebas para el concurso para obtener la certificación en el EC0586, SFV

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a los directivos de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, a la empresa Orto Solar por el apoyo brindado para la elaboración del presente trabajo.

Conclusiones

Con el sistema instalado se tendrá un ahorro significativo en la factura eléctrica de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río durante los próximos 25 años por lo menos, asumiendo que la totalidad de la producción fotovoltaica sería utilizada a través del autoconsumo instantáneo o vertiendo los excedentes no consumidos a la red de distribución (balance neto).

Por otro lado, se tendría una deducción en el impuesto sobre la renta hasta del 30% aproximado de la inversión fotovoltaica en un plazo de 1 año (según el artículo 40 de la ley del ISR), lo que significa recursos adicionales para la capitalización y mejoras de la empresa que derivará en utilidades adicionales por los rubros beneficiados por dicha inversión.

Como beneficio para el medio ambiente el proyecto ofrece obtener una huella de carbono (menor emisión de gases que producen el efecto invernadero) al demandar electricidad producida con insumos renovables y sostenibles, en lugar de fuentes tradicionales como la combustión fósil. Según con los datos obtenidos del software de Fronius, en la instalación fotovoltaica en el edificio 'K', se ha plantado aproximadamente 775 árboles hasta la fecha, además de que también sea han ahorrado 30.23 t de CO₂ totales.

Otro beneficio que tendría el proyecto es la mejora urbanística en donde las instalaciones de energías renovables, sobre tejados, aprovechan una superficie que por lo general no se utiliza dado a que el costo de oportunidad es casi nulo. Por otro lado, esta instalación en tejado logra que la necesidad del tendido eléctrico sea menor, reduciendo postes y cables que cruzan campos, parques y ciudades.

Además, el sombreado que produce el arreglo fotovoltaico sobre el tejado, loza o terreno evita la erosión y deterioro de las construcciones pues disminuyen considerablemente el intemperismo de los materiales. Al reducir a largo plazo la necesidad de tendidos eléctricos, se verá un impacto positivo dada la disminución de la tala de árboles y vegetación nativa provocada por los tendidos eléctricos.

Por último, el proyecto mejora la eficiencia de la red; el transporte de la energía desde donde se produce hasta donde se consume implica pérdidas de entre el 5% y el 15% de la energía generada. Este es un gasto que la ciudadanía y las empresas pagan en sus facturas eléctricas y que podría ser minimizado entre más proyectos de energía fotovoltaica se ponen en marcha.

Referencias

ALCOCER G. J.M. (2008), Recursos naturales y sustentabilidad, fondo editorial de Nuevo León México.

ARAYA. VICTORIANO. (2010), Evaluación técnica y económica de la utilización de paneles fotovoltaicos en la iluminación de áreas comunes de edificios.

BULLIS, KEVIN, (23 de junio de 2006), «Large-Scale, Cheap Solar Electricity» (en inglés). *Technologyreview.com*.

CAAMAÑO MARTÍN, E. (1998), "Edificios Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica: Caracterización y Análisis". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones.

CASAS V. M. Y RODRÍGUEZ A. A. (2012), Biblioteca de Electricidad y electrónica SERIE 1, Editorial Altamar S.A. España

CASAS V. M. Y RODRÍGUEZ A. A. (2012), Biblioteca de Electricidad y electrónica SERIE 1, Editorial Altamar S.A. España

CFE. (2015), Comportamiento de los Contratos de Interconexión en Pequeña y Mediana Escala / CFE Dirección de Operaciones Subdirección de Distribución.

CLARA ORMAECHEA BALLESTEROS. (2012), Análisis comparativo de Inversores fotovoltaicos de conexión a red con Potencia igual o superior a 100 kw.

DONAL G. FINK. (2008), Manual de Ingeniería eléctrica, Editorial Mc. Graw Hill, México

DUBEY, G. N, (2010). Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications. United Kingdom: RSC Publishing.

ESCUADERO L. J.M. (2008), Manual de Energía Renovable “Colección de Energías Renovables” España

FERNÁNDEZ G. J., Y HERRERO S. (2009), Energías renovables para el desarrollo. Thomson Paraninfo, España

GONZÁLEZ R., MEDRANO C., LAGUNAS J. ET AL, (2002). Pequeños Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica, fase II: Informe Técnico Anual 2001, Informe Interno IIE/ 01/14/11779/I002/P.

GRAY, J. L. (2003). The Physics of the Solar Cell. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering , 61-112.

HERNÁNDEZ M.J.A. (2012), Metodología para el análisis técnico de la masificación de sistemas fotovoltaicos como opción de generación distribuida en redes de baja tensión, Facultad de ingeniería, UNAL.

IDAE, IDAE (2002), Plan de Fomento de las energías renovables. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía. Página web (www.idae.es) actualizada periódicamente

LEY DEL IMPUESTO SOBRE LA RENTA Última Reforma DOF (18-07-2006) / Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión / Secretaría General / Secretaría de Servicios Parlamentarios / Centro de Documentación, Información y Análisis

LINDA HASSAINE. (2010), Tesis Doctoral “Implementación de un Control Digital de Potencia Activa y Reactiva para Inversores. Aplicación a Sistemas Fotovoltaicos conectados a Red”. Tesis doctoral. España: Universidad Carlos III de Madrid.

LORENZO, E, (2004). Electricidad solar. Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos, Sevilla, Ed. Progensa

NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas

OSCAR P LAMIGUEIRO. (2015), SFA Diseño PIÑAR MAÑAS, J.L. (2009). Desarrollo sostenible y protección del medio ambiente. Civitas. Madrid.

Obtención de biogás a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante la digestión anaerobia termofílica

Obtaining biogas from lods of wastewater treatment plants through the thermofila anaerobia digestion

RODRIGUEZ-MORALES, José Alberto†*, VENTURA-RAMOS, Eusebio, PEREZ- MORENO, Víctor y VELAZQUEZ-CASTILLO, Rodrigo Rafael

Universidad Autónoma de Querétaro

ID 1^{er} Autor: *José Alberto, Rodríguez-Morales* / CVU CONACYT ID: 200320

ID 1^{er} Coautor: *Eusebio, Ventura-Ramos*

ID 2^{do} Coautor: *Víctor, Pérez- Moreno* / CVU CONACYT ID: 25017

ID 3^{er} Coautor: *Rodrigo Rafael, Velázquez-Castillo* / CVU CONACYT ID: 20512

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

Resumen

Se utilizó un digestor de lodo, con un volumen efectivo de tratamiento de 100 L, de los cuales el reactor trabajó bajo condiciones termofílicas monoetapa (55 °C), el cual fue alimentado con lodo biológico fresco proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales, el cual fue previamente espesado. El digestor termofílico fue operado con diferentes cargas de alimentación, las cuales fueron las siguientes: 0.33, 0.45, 0.55, 0.75, 1.15, 1.5 y 2.0 KgST/m³d, en cuanto a la producción de biogás resultó con un promedio de: 6.34, 5.51, 11.00, 21.35, 31.60, 34.00 y 36.12 litros/día. La composición del biogás presentaron valores promedio de metano (CH₄): 71, 63.40, 66.20, 65, 74, 67.70, 80 % respectivamente. Se puede concluir que la digestión anaerobia termofílica constituye una opción adecuada para el tratamiento de los lodos de tipo biológico y su transformación para la obtención de biogás con una producción importante de litros/día y % de metano.

Digestión Anaerobia, Termofílica, Lodos, Biogás, Metano

Abstract

A sludge digester was used, with an effective treatment volume of 100 L, of which the reactor worked under mono-stage thermophilic conditions (55 °C), which was fed with fresh biological sludge from a wastewater treatment plant, which was previously thickened. The thermophilic digester was operated with different feeding loads, which were the following: 0.33, 0.45, 0.55, 0.75, 1.15, 1.5 and 2.0 KgST / m³d, with respect to the production of biogas, with an average of: 6.34, 5.51, 11.00, 21.35, 31.60, 34.00 and 36.12 liters / day. The composition of the biogas showed average values of methane (CH₄): 71, 63.40, 66.20, 65, 74, 67.70, 80% respectively. It can be concluded that thermophilic anaerobic digestion constitutes an adequate option for the treatment of biological sludge and its transformation to obtain biogas with a significant production of liters / day and% of methane.

Anaerobic Digestion, Thermophilic, Sludge, Biogas, Methane

Citación: RODRIGUEZ-MORALES, José Alberto, VENTURA-RAMOS, Eusebio, PEREZ- MORENO, Víctor y VELAZQUEZ-CASTILLO, Rodrigo Rafael. Obtención de biogás a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante la digestión anaerobia termofílica. Revista de Energías Renovables 2018. 2-6: 17-25.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: josealberto970@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En esta investigación se propone una alternativa al problema generado por la tecnología más común para el tratamiento de las aguas residuales municipales, ya que la disposición de los lodos generados durante el tratamiento de las aguas residuales es un problema creciente, que representa hasta el 50% de los costos de operación de las plantas de tratamiento (Appels L. 2011, R. Roberts 1999). Como es el proceso de los lodos activos, un proceso biológico que consume grandes cantidades de energía y genera grandes cantidades de lodos con un alto contenido de materia orgánica (Shihwu Sung, Harikishan Santha 2003). Los lodos denominados primarios son lodos provenientes de la sedimentación primaria utilizada para remover sólidos sedimentables que se espesan fácilmente por gravedad. Los lodos secundarios están constituidos por productos de la conversión a biomasa de los residuos solubles del efluente proveniente del tratamiento primario. (Arnaiz C 2006. Luis Ortega 2007).

Generalmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales los lodos son tratados a través del proceso de digestión anaeróbica, ya que ésta es una tecnología económica y además permite la obtención de biogás, una fuente de energía renovable, el cual puede ser usado como combustible para compensar los requerimientos de energía de las plantas. Sin embargo, en la digestión anaeróbica de los lodos con bajo contenido de sólidos a menudo se producen bajos volúmenes de biogás (Nathan DP 2012, Rodríguez Morales 2010).

El contenido de sólidos y el balance de nutrientes pueden ser mejorados a través de la digestión anaerobia mesofílica de los lodos con otras sustancias orgánicas tales como la fracción orgánica de residuos sólidos municipales, residuos de alimentos, residuos agrícolas y cultivos energéticos (Chika Tada and Shigeki Sawayama 2004). En México, en la mayoría de los casos, los lodos de desecho producidos en plantas de tratamiento de aguas residuales, son dispuestos sin tratamiento previo en tiraderos a cielo abierto, rellenos sanitarios y sistemas de alcantarillado, lo que provoca un impacto ambiental adverso y su aplicación directa a campos agrícolas, representa un riesgo potencial para la salud (M.A. de la Rubia 2006).

En México, los pocos digestores anaerobios de lodos construidos operan a temperaturas mesofílicas (35° C), con el empleo de una variante termofílica a 55° C, se ofrecen ciertas ventajas como son: la separación de la fase sólida de la líquida, incremento en el grado de destrucción de sólidos orgánicos (Zitomer y col., 2005, Abhay Koppa 2008), eliminación de microorganismos patógenos (B. Montero 2008) y reducción de hasta un 56% en los SSV (Roberts 1999).

Sin embargo, se ha observado que la limitada tasa de hidrólisis de la materia orgánica y mínima biodisponibilidad de materiales orgánicos solubles, durante su estabilización vía anaerobia, en digestores mesofílicos o termofílicos requiere de tiempos de retención de sólidos mayores a 20 días. Para favorecerla, se han empleado métodos físicos (térmico, mecánico, ultrasonido, hidrotérmico), químicos como ácidos minerales fuertes o álcalis, óxido de calcio (CaO), hidróxido de calcio (Ca(OH)₂), pre-tratamientos termo-alcálicos y oxidativos con ozono que además de ser costosos, no logran una solubilización mayor al 50% (Tiehm y col., 2001. Rodríguez Morales 2017).

En los reactores anaerobios de una sola fase todas las etapas de la digestión anaerobia (hidrólisis, ácido génesis, acetogénesis y metanogénesis) se llevan a cabo en un mismo ambiente, lo cual no es lo más apropiado para todos los miembros del consorcio, debido a que las actividades metabólicas de las bacterias acidogénicas (tasa de crecimiento mayor) y de las metanogénicas (crecimiento lento y requerimiento estricto de pH) a largos TRH, bajo condiciones ambientales que favorecen principalmente a las bacterias productoras de metano, suelen retardar el metabolismo de las poblaciones acidogénicas (Ghosh y col., 1995, Rodríguez Morales 2017).

En el presente trabajo, se estudia el comportamiento de un sistema de digestión anaerobia como etapa termofílica, para una mezcla de los lodos producidos por las plantas de tratamiento del Campus Aeropuerto de la Universidad Autónoma de Querétaro (cinco plantas) para la estabilización de la materia orgánica y reducción de microorganismos patógenos.

El objetivo de este trabajo, fue hidrolizar y estabilizar la materia orgánica contenida en lodos residual, a fin de establecer las mejores condiciones de operación del sistema propuesto.

Metodología

Para el presente estudio se empleó un arreglo de un biodigestor mono etapa de acero inoxidable con un volumen de capacidad de 100 litros y rematado en la parte de abajo por una base cónica. Esto con el fin de facilitar la recirculación de los lodos. El sistema de calentamiento se basa en la transferencia de calor, utilizándose como medio, un aceite térmico especialmente indicado para este tipo de sistemas. El aceite es contenido en un cilindro central coincidente con el eje del digestor (como se muestra en la figura 1). El sistema de calentamiento de los digestores se realizó mediante resistencias eléctricas (Rodríguez Morales 2010).

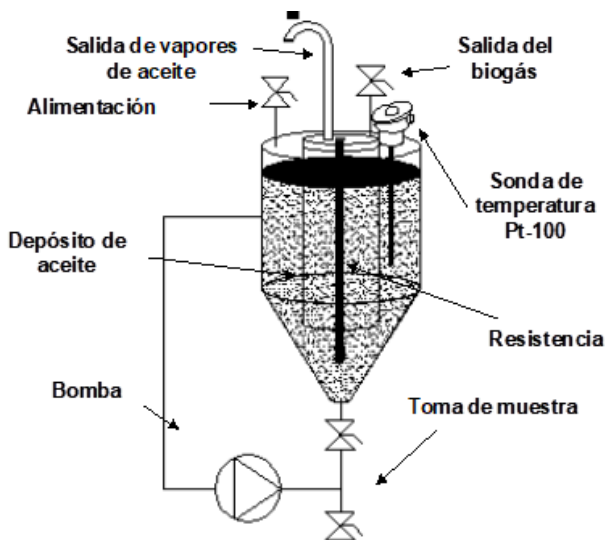


Figura 1 Esquema de un digestor y sus componentes
Fuente. Elaboración Propia

La biomasa empleada como inóculación del biodigestor anaerobio mono etapa mesofílico, se llevó a cabo con el lodo espesado de las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales aerobia convencional del Campus Aeropuerto, la proporción que se usó para la operación fue de 60 litros de lodo y 40 litros de agua, cabe aclarar que no se realizó alimentación alguna y los parámetros a medir fueron los correspondientes a pH, temperatura, el óptimo mezclado del lodo y la producción de biogás, los parámetros se midieron diariamente durante 16 días.

Una vez inoculado y que la población en el biodigestor se adaptó, se llevó a cabo la etapa de estabilización que duro 41 días a diferentes cargas, las cuales fueron a Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) de 100, 66.67 y 50 días, tal como se aprecia en la figura 3, Los parámetros pH, % de metano (CH₄) y Volumen de biogás, las mediciones se realizaron diariamente, los parámetros correspondientes a la Demanda Química de Oxígeno (DBO), Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles (SV) y Sólidos Totales Volátiles (SVT), se realizaron tres veces por semana, se determinaron de acuerdo al método estándar (APHA, AWWA, WPCF, 1995). todos los parámetros se llevaron a cabo tanto en el influente (punto de alimentación en el Biodigestor), así como en el efluente (lodo digerido).

Los análisis realizados de pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles (SV) y Sólidos Totales Volátiles (SVT) se basaron en las técnicas descritas en el APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y lodos.

Estudio de la producción y características del biogás generado

En la producción del biogás, se llevaron a cabo las siguientes mediciones: composición del biogás: CH₄ y Volumen. Las mediciones se realizaron diariamente a lo largo del experimento.

Para la medición del % de metano se realizó con un analizador de gases modelo: Geotechnical Instruments GA94A, dicho equipo también realiza las siguientes mediciones: % de CO₂ y % O₂. El analizador de gas consta de una bomba integral que succiona el biogás, el cual entra a través de una trampa de agua en línea y lo pasa por un filtro reemplazable dentro de un compartimiento.

Un microprocesador calcula la cantidad de luz infrarroja absorbida en diversas longitudes de onda y determina los niveles de concentración y de cantidad del biogás presente. Las lecturas son mostradas en un indicador de cristal líquido como porcentaje de la concentración del gas por el volumen. Como se puede observar en la figura 2.



Figura 2 Equipo de medición de gases modelo Geotechnical Instruments GA94A

La medición del volumen de biogás generado en el biodigestor fue extraído del mismo mediante la correspondiente apertura en la cubierta como se aprecia en la figura 1. El biodigestor cuenta con un manómetro que permitía medir la producción del biogás producido por el sistema en un determinado tiempo. A su vez estos dispositivos están conectados a una tubería independiente por donde era transportado el biogás para su posterior medición. El sistema está dotado de los correspondientes dispositivos necesarios de seguridad. Para la medición de la producción de biogás, se empleó mediante un desplazamiento de un volumen de agua previamente medido, esto permitió medir con exactitud el volumen producido del biodigestor (Método Orsat).

Tiempo de Retención Hidráulico (TRH).

En el proceso de la digestión mediante la determinación del tiempo de retención hidráulico y de la carga orgánica de Sólidos Totales (KgST/m³día) para maximizar la producción y riqueza en metano del biogás producido.

Se obtuvieron los valores mediante la siguiente formula:

$$t_R = \frac{\text{Volumen de estabilización}}{\text{Caudal diario del lodo que entra}} \quad (1)$$

Inicio del Experimento

Una vez ya estabilizado el biodigestor se, inicio a partir del día 41 y los diferentes TRH que se llevaron a lo largo del experimento fueron de 100, 66.67, 50, 40, 30, 25 y 20 días, las cuales

tuvieron una duración de 15, 15, 15, 25, 25, 5 y 12 días respectivamente.

En total del experimento tuvo un tiempo de duración de 112 días aunado al tiempo de estabilización que duro 41 días. Se obtiene un tiempo total de 153 días del experimento. Tal como se puede observar en la figura 3.

Resultados

Las características del lodo proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Campus Aeropuerto de la Universidad Autónoma de Querétaro, son las siguientes:

El lodo influente tuvo valores de pH que oscilaron de 7.3 a 7.5, con una carga orgánica promedio de 16.98 Kg ST /m³d y de 8.47 STV/m³d. Durante el tiempo que duro el experimento.

Durante la primera etapa el digestor se operó en un TRH de 100 días, por lo que respecta a Kg DQO_{ELIMINADOS} presentó el valor más pequeño de 0.09 y 0.5 el valor más alto, con un promedio de 0.2 Q(m³)/Kg DQO_{ELIMINADOS} y referente a Kg STV_{ELIMINADOS} presentó el valor más pequeño de 0.028 y 0.73 el valor más alto, con un promedio de 0.35 Q(m³)/Kg STV_{ELIMINADOS}, En cuanto a la producción de biogás presentó el resultado más pequeño de 0.25 y 13.5 el valor más alto, con un promedio de 6.3 litros/día, la composición de dicho biogás presentó el valor más pequeño de 60.2 y 83.4 el valor más alto, con un promedio de 71 % de CH₄.

Durante la segunda etapa el digestor se operó en un TRH de 66.67 días, por lo que respecta a Kg DQO_{ELIMINADOS} presentó el valor más pequeño de 0.037 y 0.33 el valor más alto, con un promedio de 0.16 Q(m³)/Kg DQO_{ELIMINADOS} y referente a Kg STV_{ELIMINADOS} presentó el valor más pequeño de 0.080 y 0.63 el valor más alto, con un promedio de 0.025 Q(m³)/Kg STV_{ELIMINADOS}, en cuanto a la producción de biogás presentó el valor más pequeño de 1.45 y 16.12 el valor más alto, con un promedio de 5.5 litros/día, la composición de dicho biogás presentó el valor más pequeño de 38.5 y 80.3 el valor más alto, con un promedio de 63.4 % de CH₄.

Durante la tercera etapa el digestor se operó en un TRH de 50 días, por lo que respecta a Kg DQO_{ELIMINADOS} presentó el valor más pequeño de 0.055 y 0.66 el valor más alto, con un promedio de 0.310 Q(m³)/Kg DQO_{ELIMINADOS} y referente a Kg STV_{ELIMINADOS} presentó el valor más pequeño de 0.087 y 0.97 el valor más grande, con un promedio de 0.6 Q(m³)/Kg STV_{ELIMINADOS}, en cuanto a la producción de biogás presento el valor más pequeño de 2.7 y 21.5 el valor más alto, con un promedio de 11 litros/día, la composición de dicho biogás presentó el valor más pequeño de 56.8 y 92.1 el valor más alto, con un promedio de 66.2 % de CH₄.

Durante la cuarta etapa el digestor se operó en un TRH de 40 días, por lo que respecta a Kg DQO_{ELIMINADOS} presentó el valor más pequeño de 0.21 y 0.56 el valor más alto, con un promedio de 0.310 Q(m³)/Kg DQO_{ELIMINADOS} y referente a Kg STV_{ELIMINADOS} presentó el valor más pequeño de 0.39 y 0.79 el valor más alto, con un promedio de 0.570 Q(m³)/Kg STV_{ELIMINADOS}, en cuanto a la producción de biogás presentó el valor más pequeño de 12.7 y 27.7 el valor más alto, con un promedio de 21.3 litros/día, la composición de dicho biogás presentó el valor más pequeño de 50.8 y 84.2 el valor más alto, con un promedio de 65 % de CH₄.

Durante la quinta etapa el digestor se operó en un TRH de 30 días, por lo que respecta a Kg DQO_{ELIMINADOS} presento el valor más pequeño de 0.15 y 0.7 el valor más alto, con un promedio de 0.39 Q(m³)/Kg DQO_{ELIMINADOS} y referente a KgSTV_{ELIMINADOS} presentó el valor más pequeño de 0.52 y 0.88 el valor más alto, con un promedio de 0.67 Q(m³)/KgSTV_{ELIMINADOS}, en cuanto a la producción de biogás presentó el valor más pequeño de 27.6 y 34.6 el valor más alto, con un promedio de 31.6 litros/día, la composición de dicho biogás presentó el valor más pequeño de 63.8 y 81.5 el valor más alto, con un promedio de 74 % de CH₄.

Durante la sexta etapa el digestor se operó en un TRH de 25 días, por lo que respecta a Kg DQO_{ELIMINADOS} presentó el valor más pequeño de 0.29 y 0.46 con un promedio de 0.4 Q(m³)/KgDQO_{ELIMINADOS} y referente a Kg STV_{ELIMINADOS} presentó el valor más pequeño de 0.49 y 0.63 el valor más alto, con un promedio de 0.62 Q(m³)/Kg STV_{ELIMINADOS}.

En cuanto a la producción de biogás presentó el valor más pequeño de 33.5 y 34.6 el valor más alto, con un promedio de 34 litros/día, la composición de dicho biogás presentó el valor más pequeño de 65.8 y 70.3 el valor más alto, con un promedio de 67.7 % de CH₄.

Durante la séptima etapa el digestor se operó en un TRH de 20 días, por lo que respecta a Kg DQO_{ELIMINADOS} presento el valor más pequeño de 0.35 y 0.46 el valor más alto con un promedio de 0.4 Q(m³)/Kg DQO_{ELIMINADOS} y referente a Kg STV_{ELIMINADOS} presentó el valor más pequeño de 0.36 y 0.46 el valor más alto, con un promedio de 0.42 Q(m³)/Kg STV_{ELIMINADOS}, en cuanto a la producción de biogás presentó el valor más pequeño de 34.8 y 37 el valor más alto, con un promedio de 36.1 litros/día, la composición del biogás presentó el valor más pequeño de 67.4 y 97.5 el valor más alto con un promedio de 80 % de CH₄.

Todos los valores obtenidos de las distintas etapas pueden apreciarse en la figura 3.

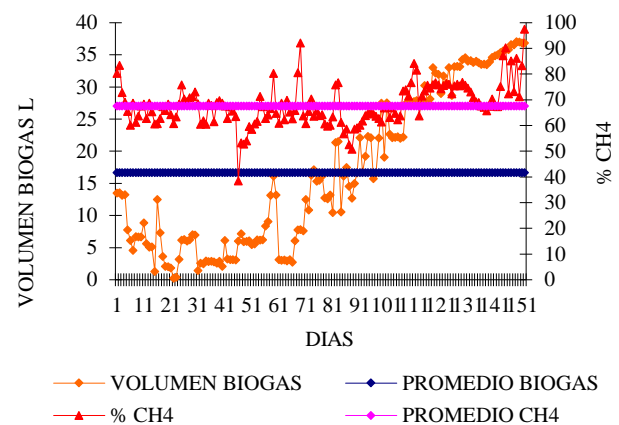


Figura 3 Producción del biogás y porcentaje de CH₄ en el proceso de estabilización y en los diferentes TRH
Fuente. Elaboración Propia

Tiempo de Retención Hidráulico (TRH).

Durante la primera etapa el digestor se operó en un TRH de 100 días, por lo que respecta a la Carga KgST/m³d presento el valor más pequeño de 0.25 y 0.42 el valor más alto, con un promedio de 0.32 Carga KgST/ m³d respecto a la alimentación KgDQO/m³d presentó el valor más pequeño de 0.23 y 0.50 con el valor más alto, con un promedio de 0.40 KgDQO/m³d.

Durante la segunda etapa el digestor se operó en un TRH de 66.67 días, por lo que respecta a la Carga KgST/m³d presentó el valor más pequeño de 0.22 y 0.38 el valor más alto, con un promedio de 0.3 Carga KgST/ m³d respecto a la alimentación KgDQO/m³d presentó el valor más pequeño de 0.21 y 0.55 el valor más alto, con un promedio de 0.36 KgDQO/m³d.

Durante la tercera etapa el digestor se operó en un TRH de 50 días, por lo que respecta a la Carga KgST/m³d presentó el valor más pequeño de 0.18 y 0.58 el valor más alto, con un promedio de 0.28 Carga KgST/m³d respecto a la alimentación KgDQO/m³d presentó el valor más pequeño de 0.10 y 0.82 el valor más alto, con un promedio de 0.36 KgDQO/m³d.

Durante la cuarta etapa el digestor se operó en un TRH de 40 días, por lo que respecta a la Carga KgST/m³d presentó el valor más pequeño de 0.20 y 0.37 el valor más alto, con un promedio de 0.30 Carga KgST/ m³d respecto a la alimentación KgDQO/m³d presentó el valor más pequeño de 0.29 y 0.72 el valor más alto, con un promedio de 0.32 KgDQO/ m³d.

Durante la quinta etapa el digestor se operó en un TRH de 30 días, por lo que respecta a la Carga KgST/m³d presentó el valor más pequeño de 0.30 y 0.40 el valor más alto, con un promedio de 0.34 Carga KgST/ m³d respecto a la alimentación KgDQO/m³d presentó el valor más pequeño de 0.45 y 0.95 el valor más alto, con un promedio de 0.58 KgDQO/m³d.

Durante la sexta etapa el digestor se operó en un TRH de 25 días, por lo que respecta a la Carga KgST/m³d presentó el valor más pequeño de 0.32 y 0.40 el valor más alto, con un promedio de 0.37 Carga KgST/ m³d respecto a la alimentación KgDQO/m³d presentó el valor más pequeño de 0.37 y 0.54 el valor más alto, con un promedio de 0.44 KgDQO/m³d.

Durante la séptima etapa el digestor se operó en un TRH de 20 días, por lo que respecta a la Carga KgST/m³d presentó el valor más pequeño de 0.38 y 0.41 el valor más alto, con un promedio de 0.40 Carga KgST/m³d respecto a la alimentación KgDQO/m³d presentó el valor más pequeño de 0.31 y 0.41 el valor más alto, con un promedio de 0.40 KgDQO/m³d.

Todos los valores obtenidos de las distintas etapas pueden apreciarse en la figura 4.

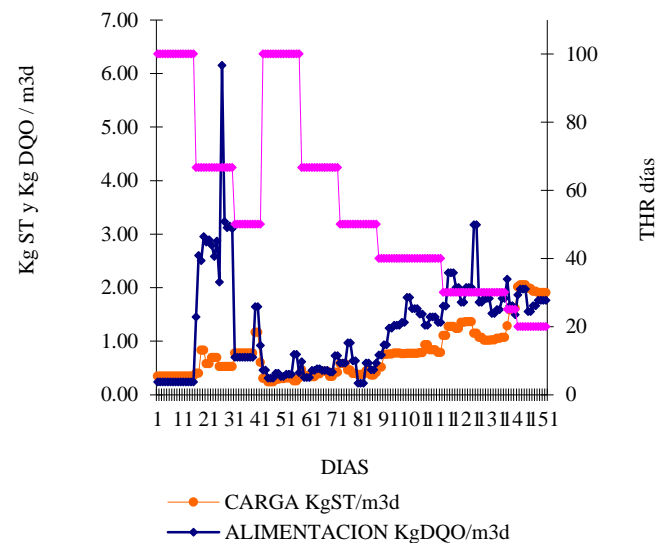


Figura 4 Tiempo de Retención Hidráulico (THR) en relación con los Kg de Sólidos Totales (ST) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el proceso de estabilización y en los diferentes TRH

Fuente. Elaboración Propia

Análisis de Resultados

Por lo que respecta a los valores 0.35, 0.55, 0.75, 1.15, 1.5 y 2 de carga de KgST/m³d, que corresponden a los TRH 100, 50, 40, 30, 25 y 20 el valor en la producción de litros de biogás va en aumento, al presentar valores promedio de 6.3, 11, 21.3, 31.6, 34 y 36.1 respectivamente, aunque el valor de 0.45 que corresponde al TRH de 66.67 se obtuvo un valor ligeramente bajo al presentar un valor promedio de producción de 5.5 litros de biogás, como se puede observar en la Tabla 1.

Por lo que respecta a los valores 0.35, 0.55, 0.75, 1.15, 1.5 y 2 de carga de KgST/m³d, correspondientes a los TRH 100, 50, 30, 25 y 20 el valor de % de metano presentaron valores promedio de 71, 66.2, 65, 74, 67.7 y 80 respectivamente, aunque el valor de 0.45 y 0.75 que corresponde al TRH de 66.67 y 40 se obtuvo un valor ligeramente bajo al presentar un valor promedio de producción de % metano de 63.4 y 65 respectivamente. Como se puede observar en la Tabla 1.

TRH días	Repeticiones	Biogás			
		Volumen de biogás prom. L/d	Kg DQO _{ELIM.} PROM.	Kg STV _{ELIM.} PROM.	% CH ₄ Prom
100	15	6.3	0.2	0.35	71
66.67	15	5.5	0.160	0.25	63.4
50	15	11	0.30	0.60	66.2
40	25	21.3	0.310	0.570	65
30	25	31.6	0.390	0.670	74
25	5	34	0.400	0.620	67.7
20	12	36.1	0.400	0.420	80

Tabla 1 Resumen de resultados de los diferentes TRH con respecto al % de CH₄ y el volumen de biogás producido con respecto al DQO y STV

Fuente. Elaboración Propia

En lo que respecta al % de la medición promedio de los demás gases contenidos en el biogás se muestran a continuación en la Tabla 2.

TRH días	Biogás			
	Volumen De Biogás Prom. L/d	% O ₂ Prom.	% CO ₂ Prom.	% CH ₄ Prom.
100	6.3	18.8	13.2	71
66.67	5.5	19	17.6	63.4
50	11	16.9	16.9	66.2
40	21.3	16.5	18.5	65
30	31.6	17.3	8.7	74
25	34	16.4	15.9	67.7
20	36.1	16.4	3.6	80

Tabla 2 Resumen de resultados de los diferentes TRH con respecto al % de CH₄, % O₂ y % CO₂

Fuente. Elaboración Propia

Agradecimiento

El primer autor agradece a los proyectos FOFI-UAQ 2018 por haber financiado el proyecto FIN201810.

Conclusiones

En lo que respecta a los resultados obtenidos en el experimento podemos concluir lo siguiente:

En la actualidad el tratamiento anaerobio está muy difundido dada sus ventajas técnico-económicas, no obstante hay que controlar diferentes factores que influyen en el proceso y que son imprescindibles para su buen funcionamiento como son: composición del residual, temperatura, pH, entre otros.

Estudio de la producción y características del biogás generado

El biodigestor a TRH correspondiente a 20 días, que corresponde a 2.0 de carga de KgST/m³d, el valor de producción en promedio genera 36.1 litros de biogás por día, lo que se concluye que a mayores cargas (menor tiempo de TRH) el sistema se vuelve cada vez más estable.

El biodigestor estabilizado a lo largo del experimento y correspondiente a este tipo de tratamiento anaerobio produce un promedio de 69.7 % de metano (CH₄). El promedio correspondiente a metano corresponde a experimentos ya realizados y que se reportan en artículos y bibliografía, los cuales mencionan un promedio de metano del 70 a 80 %.

Tiempo de Retención Hidráulico y carga de alimentación.

Se concluye que el sistema anaerobio termofílico se aclimato en las etapas cuando su carga correspondía a 0.35, 0.45 y 0.55 KgST/m³d, que corresponde a TRH de 100, 66.67 y 50.

El sistema empezó su estabilización desde la etapa cuando la carga correspondía a 0.55 KgST/m³d, que corresponde a TRH de 50. El sistema se mantuvo estable en los periodos cuando la carga correspondió a 0.75, 1.15, 1.5 y 2.0 KgST/m³d, correspondientes a los TRH de 40, 30, 25 y 20 respectivamente.

El sistema anaerobio termofílico mientras aumenta más de valor de carga de 2.0 de KgST/m³d, este se hace más estable.

Los valores de pH obtenidos, si bien no se encuentran dentro del rango de operación óptimo, sí son cercanos al intervalo en que la digestión anaerobia puede llevarse a cabo, es decir de 6.2 a 7.8 (Noyola, 1998). Por lo que se considera que el digestor mantuvo con una óptima capacidad amortiguadora, evitando así la acidificación del digestor. Se observa que el digestor termofílico nunca se encontró operando a un nivel de carga exigente, ya que a los diferentes TRH que operó no sufrió variaciones importantes en sus indicadores de estabilidad.

Los resultados presentados muestran que el biogás contenía entre 63 y 80% de metano en promedio a lo largo del experimento, estos valores que se encuentran dentro del intervalo señalado como óptimo (65 a 70% de CH₄; Malina, 1992). La producción específica de biogás aumentó a medida que aumentaba la carga orgánica.

Los porcentajes de reducción de sólidos volátiles (%RSV) fueron de 24 a 42% en promedio durante todo el experimento, valores que son similares, a pesar del incremento de TRH y de la consecuente carga orgánica influente. Estos resultados son están dentro al valor de %RSV alcanzado en un proceso anaerobio, señalado por la bibliografía (40%; WEF, 1993).

Los valores de %RSV son bajos, considerando que Krugel, et al. (1998) obtuvieron valores de 60 y 80% en digestores termofílicos a escala real, aunque tratando lodo primario; Aitken & Mullennix (1992) obtuvieron un valor de 43.6% en un reactor a escala de laboratorio a 55°C de temperatura y operando a un TRH de 10 días, utilizando también lodo primario. Una posible explicación a este relativamente bajo valor de %RSV, es que el lodo activado alimentado estaba en cierto grado ya estabilizado, lo que representaba poca disponibilidad de sustrato para la digestión anaerobia. Los bajos valores de la fracción SSV/SST del lodo influente (66 y 61%) parecen confirmarlo

Este tipo de sistema asimila altas y bajas cargas orgánicas. La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida al proceso de degradación, es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, no obstante de que también pueden ser digeridos sustratos sólidos con concentraciones elevadas de sólidos totales como son los residuales de la industria alimenticia, agrícola entre otros.

Referencias

- Abhay Koppar, Pratap Pullammanappallil (2008). Single-stage, batch, leach-bed, thermophilic anaerobic digestion of spent sugar beet pulp. *Bioresource Technology* 99 (2008) 2831–2839.
- A. Bouskova, M. Dohanyos, J.E. Schmidt, I. Angelidakia. (2005). Strategies for changing temperature from mesophilic to thermophilic conditions in anaerobic CSTR reactors treating sewage sludge. *Water Resarch.* 39, 1481– 1488.
- A. Huyard., B., Ferran and J., M., Audic (2000). Las dos fases de proceso de la digestión anaeróbica: lodos estabilizados y la reducción de patógenos. *Water Sci. Technol.* 42(9) 41- 47.
- APHA, AWWA, WPCF. (1995). Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public health Association, Washington, D.C., U.S.A
- Appels L, Lauwers J, Degève J, Helsen L, Lievens B, Willems K, et al. Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. *Renew Sustain Energy Rev.* 2011;15(9):4295-301.
- Arnaiz C, Gutierrez JC, Lebrato J. Biomass stabilization in the anaerobic digestion of wastewater sludges. *Bioresour. Technol.* 2006;97(10):1179-84.
- B. Montero, J.L. Garcia-Morales, D. Sales, R. Solera (2008). Evolution of microorganisms in thermophilic-dry anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 99, 3233–3243.
- Chika Tada and Shigeki Sawayama (2004). Photoenhancement of Biogas Production from Thermophilic Anaerobic Digestion. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 98(5), 387–390.
- Gallert, C., Winter, J., (1997). Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic wastes: effects of ammonia on glucose degradation and methane production. *Applied Microbial Biotechnology* 48, 405–410.
- Ghosh, S., Bouy, K., Dressel, L., Miller, T., Wilcox, G. y Loos, D. (1995). Pilot and a full-scale two-phase anaerobic digestion of municipal sludge. *Water Environmental Research* 67(2), 206-214.
- Gregor D. Zupanbib, Matej Stračinbar, Milenko Ron. (2007). Treatment of brewery slurry in thermophilic anaerobic sequencing batch reactor. *Bioresource Technology* 98, 2714-2722.

- Hans P. Zwiefelhofer (1985). Aerobic-thermophilic / anaerobic-mesophilic two-stage sewage sludge treatment: Practical experiences in Switzerland. *Conservation & Recycling* 8, (1-2), 285 – 301.
- Haraklia N Gavala, Umur Yenal, Ioannis V., Skiadas, Peter Westermann, Birgitte K., Ahring. (2003). Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge. Effect of pre – treatment at elevated temperature. *Water Research* 37, 4561 – 4572.
- I. Zabarska, J., Stepova., R., Wachtl, P., Jenicek, and M. Dohányos. (2000). The activity of anaerobic biomass in thermophilic and mesophilic digesters at different loading rates. *Water Sci Technol.* 42 (9), 49 – 56.
- Luis Ortega, Suzelle Barringtona, Serge R. Guiotb. (2007). Thermophilic adaptation of a mesophilic anaerobic sludge for food waste treatment. *Journal of Environmental Management* .Received 20 August 2006; received in revised form 4 March 2007; accepted 16 March 2007.
- M.A. de la Rubia, M. Perez, L.I. Romero, D. Sales (2006). Effect of solids retention time (SRT) on pilot scale anaerobic thermophilic sludge digestion. *Process Biochemistry* (41) 79–86.
- Manson, C. A., Haner, A., Hamer, G.,(1992), Aerobic Thermophilic Waste Sludge Treatment. *Water Science and Technology.* 25 (1) 113– 118.
- Nathan DP, Ronald WT, Steve SH. Comparison of methane production by co-digesting fruit and vegetable waste with first stage and second stage anaerobic digester sludge from a two stage digester. *Water Sci. Technol.* 2012;65(7):1252–7.
- Prasad Kaparaju, Inmaculada Buendia, Lars Ellegaard, Iriñi Angelidakia (2008). Effects of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: Lab-scale and pilot-scale studies. *Bioresource Technology* Received 22 June 2007; received in revised form 5 September 2007; accepted 10 September 2007.
- R. Roberts, W. J. Davies and C. F. Foster. (1999). Two-stage, thermophilic-mesophilic anaerobic digestion of sewage sludge. *Institution of Chemical Engineers Trans IChemE, Vol 77, Part B.*
- Rodriguez Morales J. A. (2010). Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Departamento de ingeniería civil: ordenación del territorio, urbanismo y medio ambiente: Madrid, España.
- Rodriguez Morales J.A. Ventura Ramos E., Lopez Velarde M., Perez Moreno V. (2017). Obtención de biogás a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante la digestión anaerobia mesofílica. *Revista de Energía Química y Física.* Vol.4 No.12, 34-43.
- Shihwu Sung, Harikishan Santha (2003). Performance of temperature-phased anaerobic digestion (TPAD) system treating dairy cattle wastes. *Water Research* 37 ,1628–1636.
- Tiehm, K., Nickel, M., Zellhorn y Neis, U. (2001). Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization. *Water Research* 35(8), 2003-2009.
- Zitomer, D.H., Lynch, D.L., Kemp, J.S., y Kade, F. (2005). “Occurrence and prevention of high VFA in temperature phased digestion”. *Proceedings of the 10th World Congress Anaerobic Digestion.* Montreal, Canada.

Caracterización de celda para producción de hidrogeno con fin de generar combustible alternativo para motores de combustión interna

Characterization of cell for hydrogen production in order to generate alternative fuel for internal combustion engines

JUÁREZ-SANDOVAL, Alejandro†, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio*, JUÁREZ-ZERÓN, Tomàs Aáron y OCHOA-BARRAGAN, Jose Francisco

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; Facultad de Ingeniería, Grupo de Tribología y Transporte, Edificio de Posgrado, Primer nivel, Cubículo Núm. 16, Blvd. Valsequillo esq. Av. San Claudio, Ciudad Universitaria, Col. San Manuel, CP. 72570, Puebla México

ID 1^{er} Autor: *Alejandro, Juárez-Sandoval* / ORC ID: 0000-0002-1591-568X, Researcher ID Thomson: S-3092-2018, CVU CONACYT ID: 900647

ID 1^{er} Coautor: *Marco Antonio, Cruz-Gómez* / ORC ID: 0000-0003-1091-8133, Researcher ID Thomson: S-3098-2018, CVU CONACYT ID: 349626

ID 2^{do} Coautor: *Tomàs Aáron, Juárez-Zerón* / ORC ID: 0000-0002-9769-0540, Researcher ID Thomson: S-3099-2018, CVU CONACYT ID: 295058

ID 3^{er} Coautor: *Jose Francisco, Ochoa-Barragan* / ORC ID: 0000-0003-3975-4072, Researcher ID Thomson: S-3097-2018, CVU CONACYT ID: 900651

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

Resumen

La futura escasez de combustibles fósiles y la contaminación ambiental nos obliga a buscar alternativas de combustibles limpios. Esta investigación tiene como objetivo buscar un método eficiente para la producción de hidrogeno y su utilización como combustible en motores de combustión interna. Los automóviles a gasolina no contribuyen al desarrollo sustentable, en cambio los automóviles que funcionan con hidrogeno si. Por ello la implementación del hidrogeno como combustible alternativo lo hace el candidato ideal debido a su abundancia en el planeta y su potencial explosivo. Las pruebas fueron desarrolladas utilizando una celda seca de hidrogeno, la cual fue desarrollada con fines de experimentación de diversas concentraciones de KOH en agua con variaciones gramo a gramo de 1 a 20gr. para determinar la producción óptima de hidrogeno en función de las variables involucradas como amperaje, voltaje, concentración, temperatura, tiempo. Los resultados obtenidos alcanzaron un punto máximo de producción de hidrogeno con concentraciones de 15gr de KOH disueltas en un galón de agua, pudo observarse que a mayores concentraciones la batería sufría descargas prematuras y la producción no aumentaba en forma considerable.

Agua; Hidrogeno; Electrolisis

Abstract

The future shortage of fossil fuels and environmental pollution forces us to look for clean fuel alternatives. This research aims to find an efficient method for the production of hydrogen and its use as fuel in internal combustion engines. Gasoline cars do not contribute to sustainable development, instead the cars that run on hydrogen do. Therefore, the implementation of hydrogen as an alternative fuel makes it the ideal candidate due to its abundance on the planet and its explosive potential. The tests were developed using a dry hydrogen cell which was developed for experimentation of various concentrations of KOH in water with gram-to-gram variations of 1 to 20 grams to determine the optimal production of hydrogen depending on the variables involved as amperage, voltage, concentration, temperature, time. The results obtained reached a maximum point of hydrogen production with concentrations of 15 g of dissolved KOH in one gallon of water it; could be observed that higher concentrations the battery suffered premature discharges and the production did not increase considerably.

Water; Hydrogen; Electrolysis

Citación: JUÁREZ-SANDOVAL, Alejandro, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio, JUÁREZ-ZERÓN, Tomàs Aáron y OCHOA-BARRAGAN, Jose Francisco. Caracterización de celda para producción de hidrogeno con fin de generar combustible alternativo para motores de combustión interna. Revista de Energías Renovables. 2018. 2-6: 26-32.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: mangacruz@live.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

1. Introducción

Debido a que la era de los combustibles fósiles está llegando a su fin, es necesario generar un sistema energético el cual tenga el potencial de reestructurar la civilización (John Wiley, (1978)).

El hidrógeno es un elemento ubicuo el cual no genera gases de efecto invernadero, como ocurre con el petróleo y gas natural, cuenta con una energía específica en su combustión de 120 MJ/kg, muy alta en comparación con los 50 MJ/kg del gas natural o los 44.6 MJ/kg del petróleo, por esto el hidrógeno puede cubrir las necesidades de transporte debido a la posibilidad de su uso en motores de combustión interna (Van Nostrand Reinhold, (1989)).

La primera aplicación práctica del hidrógeno sucedió en el siglo XVIII gracias al ejército francés que lo ocupó en sus globos de reconocimiento. Un siglo después Alemania lo empleó como combustible en sus dirigibles. Antes y después de la segunda guerra mundial, el hidrógeno se empleó como combustible de motores de vehículos de todo tipo, incluidos locomotoras y submarinos, pero sin gran éxito. El auge que propició el carbón en el siglo XIX y el que tuvo el petróleo en el siglo XX dejó de lado el uso masivo del hidrógeno como combustible, la explotación de este elemento se logró mantener viva solo por su importancia en la industria química (John Wiley, (1978)).

De la segunda mitad del siglo XX a la fecha, la preocupación por el ambiente, el comienzo de la era espacial y la inquietud sobre el agotamiento de los combustibles fósiles (John Wiley, (1996)), ha traído de nuevo un gran impulso, para buscar fuentes de energía alternativas, sobre todo de la industria automovilística con el fin de prevenir la futura escasez de las reservas de petróleo en el mundo (John Wiley, (1978)).

El uso del hidrógeno como combustible nos ofrece una solución factible para atender el problema ambiental que estamos viviendo, debido a que el principal producto de su combustión es vapor de agua, de esta manera podemos reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que cuenta con el perfil de candidato idóneo para la sustitución del petróleo (U.S. Department of Energy (1998)).

El hidrógeno pese a ser el elemento químico más abundante en el planeta, regularmente no se encuentra en su estado puro y no se considera una fuente de energía, por el contrario, es un portador de esta. Un claro ejemplo es su presencia en organismos vivos, sin embargo, su aprovechamiento no es directo, su obtención obedece a procesos como el de la biomasa y biogás (Van Nostrand Reinhold, (1989)). A pesar de los beneficios del hidrógeno, la practicidad de su implementación como combustible es complicada, su obtención es difícil y es extremadamente inflamable (John Wiley, (1996)).

El hidrógeno es un combustible seco que actualmente está tomando mucha relevancia, el cual puede considerarse como energía limpia si se obtiene sin utilizar insumos de combustibles fósiles. Actualmente la combinación de las diferentes técnicas de obtención de hidrógeno se eleva a unos 60 millones de toneladas anuales (J.O. Ogjen. Annual Review Energy Environ, 227- 279 (1999)).

Esta investigación tiene como objetivo buscar un método eficiente para la producción de hidrógeno y su utilización en motores de combustión interna, mediante un sistema a pequeña escala de una celda seca que genere una cantidad suficiente de hidrógeno para su alimentación. Los automóviles a gasolina no contribuyen al desarrollo sustentable, en cambio los automóviles que funcionan con hidrógeno sí. Por ello la implementación del hidrógeno como combustible alternativo lo hace el candidato ideal debido a su abundancia en el planeta, su potencial explosivo y que es amigable con el medio ambiente.

Para la realización del prototipo de una celda seca fueron considerada la unidad de electrólisis de agua más simple (Fig. 1), que está compuesta por un ánodo y un cátodo los cuales se conectan a una fuente de alimentación externa y son sumergidos en un electrolito conductor, al aplicar una corriente continua a la unidad, los electrones fluyen desde la terminal negativa hasta el cátodo, donde son consumidos por iones de hidrógeno formando átomos de hidrógeno. En el proceso general de la electrólisis del agua, los iones de hidrógeno se mueven hacia el cátodo, mientras que los iones de hidróxido se mueven hacia el ánodo (S. Srinivasan, R. Mosdale, P. Stevens y C. Yang, (1999)).

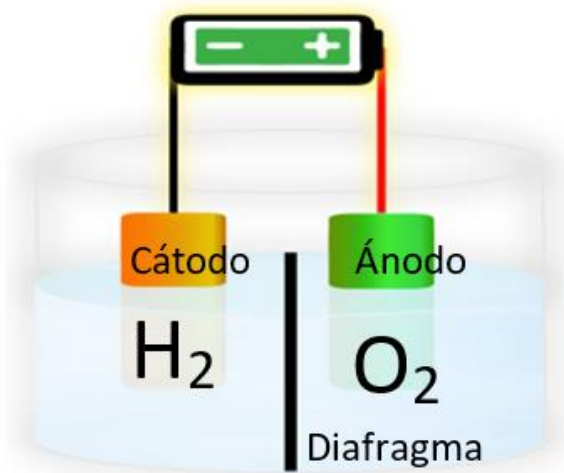
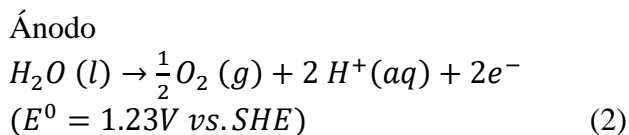
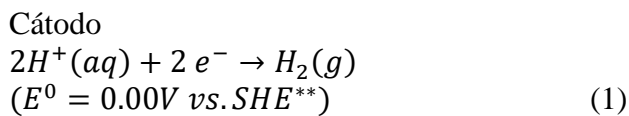


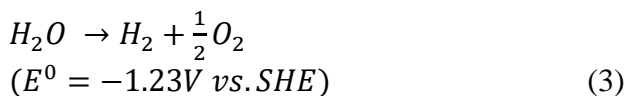
Figura 1 Unidad de electrólisis de agua

Fuente: Elaboración Propia

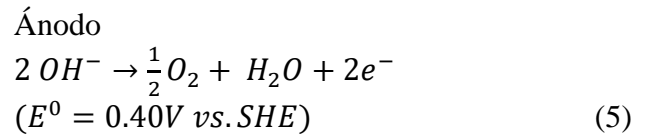
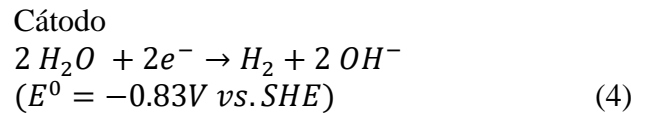
Para el caso de la electrólisis del agua, los procesos que ocurren en la superficie de los electrodos se describen mediante las Ecuaciones 1 y 2 (Prof. Dr. M^a del Carmen Clemente Jul(2018)):



Sumando estas dos ecuaciones obtenemos la reacción general de la electrólisis del agua (ecuación 3).[10]



Para mejorar la conductividad en la celda, el electrolito utilizado debe consistir en iones de alta movilidad. El hidróxido de potasio (KOH) se utiliza normalmente en la electrólisis de agua alcalina, evitando así los problemas de corrosión causados por electrolitos ácidos, se prefiere KOH sobre hidróxido de sodio (NaOH) porque las soluciones electrolíticas anteriores tienen una conductividad más alta. Cuando el proceso se ejecuta en un electrolito alcalino, las reacciones electroquímicas que se producen en el cátodo y el ánodo se describen por las ecuaciones 4 y 5 respectivamente(Prof. Dr. M^a del Carmen Clemente Jul(2018)):



Sumando las ecuaciones 4 y 5 conducirán a la misma reacción general como se describe en la ecuación 3, con el mismo valor (-1.23 Volts) para la tensión teórica de la celda.

**El electrodo de hidrógeno estándar (SHE) es la referencia a partir de la cual se determinan todos los potenciales redox estándar.

La manera en la cual se comportan las sustancias contenidas en los electrodos está indicada por las leyes de Faraday.

2. Metodología

Para la realización de este proyecto se usó un enfoque de investigación mixto, que consistió en un conjunto de procesos secuenciales y probatorios, recolectando datos para evaluar la hipótesis del proyecto, tomando en cuenta el análisis estadístico para la prueba de teorías de correlación entre la producción de Hidrógeno respecto a la cantidad de KOH disuelto en el sistema.

El prototipo a diseñar fue un sistema a pequeña escala de una celda seca, considerando que su diseño fuese accesible, tomando en cuenta las medidas óptimas de seguridad y operatividad del sistema.

La celda seca de esta investigación utilizó una solución de agua con KOH para la obtención de hidrógeno por medio de la electrólisis. Una vez obtenido, se direccionó a un burbujeador, que tiene la acción de atrapar el agua que pudiese escapar de la celda y actúa como un primer supresor de flama, posteriormente atraviesa un segundo supresor de flamas, el cual cuenta con una serie de filtros en su interior, cuya función es crear una mala condición para la misma evitando el retorno de esta hacia el sistema. (Fig. 2)

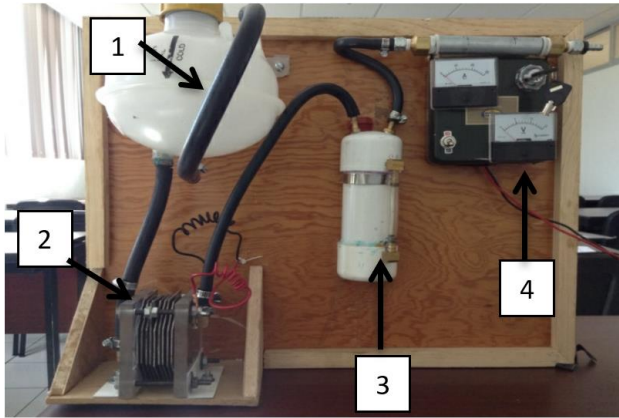


Figura 2 Sistema de producción de hidrógeno (1.- Recipiente de balance, 2.- Celda seca de hidrógeno, 3.- Burbujeador, 4.- Tablero de control con amperímetro a la izquierda y voltímetro a derecha)

Fuente: Elaboración Propia

Con el fin de verificar que los parámetros de producción de hidrógeno fueran los óptimos, se realizó la medición de voltaje y amperaje de manera constante con un voltímetro y un amperímetro, instalados en el tablero de control, los cuales monitorean de manera constante el estado en el que se encuentra la fuente de alimentación.

El funcionamiento de la celda seca de hidrógeno requiere un contenedor que sirva como recipiente de balance (Fig. 3) y provea la disolución para la hidrólisis de forma continua.



Figura 3 Recipiente de balance de 1.6 L

Fuente: Elaboración Propia

Para la elaboración de la celda seca, se utilizaron placas de acero inoxidable ISI 304 de 2mm de espesor, distribuidas de la siguiente manera:

- 2 placas conectadas al polo negativo de la batería, las cuales se encuentran a los extremos de la celda.

- 1 placa conectada al polo positivo que se ubicara al centro de la celda.
- 8 placas neutras que se distribuirán entre las negativas y la positiva, quedando nuestra configuración de la siguiente forma:
N-n-n-n-n-P-n-n-n-n-N
(N:negativo, n:neutro, P:positivo)

Cada lamina esta separada mediante sellos de caucho circulares (O`rings), con el fin de soportar de manera eficiente la presión del gas producido y evitar fugas (Fig. 4). Las láminas de acero llevan diversos barrenos de 6 mm de diámetro, distribuidos en el área interior del O`ring para permitir que los gases y la solución se dispersen por toda la celda (Fig 4).

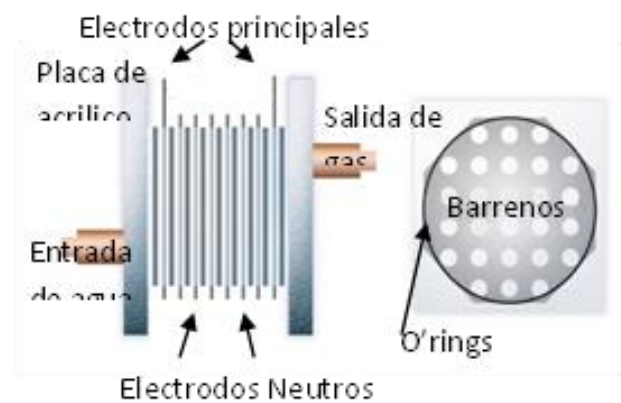


Figura 4 Esquema de celda seca de hidrógeno

Fuente: Elaboración Propia

A los extremos de la celda se utilizaron 2 láminas de acrílico con rosca y conectores NTP, donde se instalaron las conexiones de las mangueras por las cuales entra la combinación de agua con KOH y salen los gases obtenidos.

El burbujeador se encuentra compuesto por 2 capuchones y un tubo de PVC, el capuchón superior cuenta con 1 tapón PVC macho, que sirve para verificar y/o drenar el agua del burbujeador, 2 conectores NTP, uno de entrada conectado a una manguera que libera el hidrogeno al fondo del burbujeador, para que posteriormente suba en forma de burbujas individuales a travez del agua, hasta salir por el otro conector, evitando la salida de agua del sistema (Fig. 5).



Figura 5 Burbujeador con capacidad de 0.25 L

Fuente: *Elaboración Propia*

Para realizar las pruebas de producción de gases y obtener las mediciones se utilizó flujometro digital conectado a la salida de gases, los cuales al pasar por el flujometro hacen girar un pequeño ventilador que se encuentra en su interior, generando pulsos, los cuales interpreta una tarjeta arduino para obtener la cantidad de l/m producidos por nuestro sistema.

3. Prueba de producción

Se realizó una serie de experimentos con concentraciones de 5g a 21g de hidróxido de potasio en 500 ml de agua, con intervalos de 2g por experimento y 5 minutos entre una prueba y otra. Todo esto con el fin de evitar el calentamiento del agua y que la temperatura fuera similar en todas las pruebas. Al energizar el sistema (con dos baterías 12V 48 A.H y 12V 12 A.H), la producción de hidrógeno comenzó en la celda manifestándose como burbujas pequeñas y blancas en las placas, registrando la producción de gas por minuto (Fig. 6).

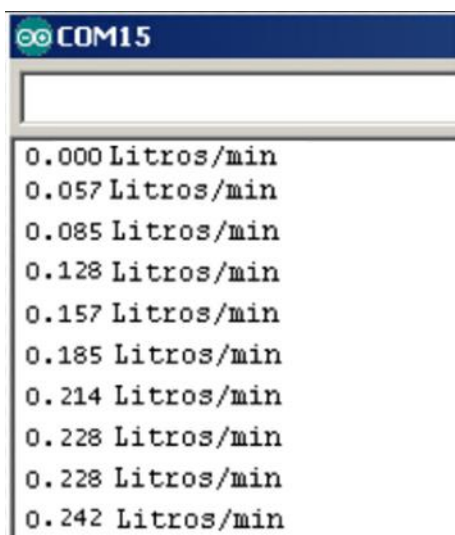


Figura 6 Resultado de lecturas con flujometro.

Fuente: *Elaboración Propia*

Las diferentes concentraciones con respecto a la producción de gas, fueron registradas, obteniendo la relación mostrada en el gráfico 1.

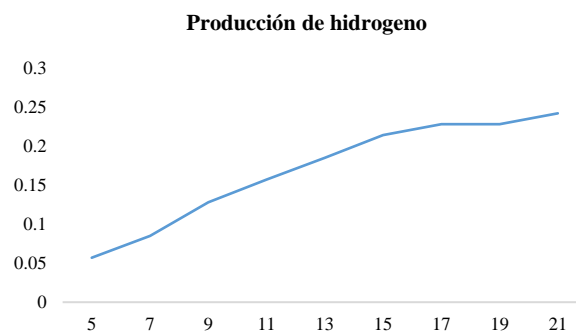


Gráfico 1 Grafica producción (g de hidroxido de potasio vs ml/min.)

Fuente: *Elaboración Propia*

Gramos	L de O+H ₂ /min
5	0.057
7	0.085
9	0.128
11	0.157
13	0.185
15	0.214
17	0.228
19	0.228
21	0.242

Tabla 1 Resultados de producción

Fuente: *Elaboración Propia*

Para evaluar las producciones resultantes de la ecuación de Hidrólisis de Faraday, se usaron las condiciones de nuestros experimentos, para comparar posteriormente los valores reales contra los valores obtenidos. La transformación de los Litros (L). de gases obtenidos, a volumen fue empleada la ecuación de los gases ideales, ya que se consideran presiones bajas. La producción de gas de la celda seca corresponde a un tercio de oxígeno y dos tercios de Hidrógeno.

4. Prueba en motor de combustión interna

Para la conexión del sistema generador de hidrógeno a un motor de combustión interna, se realizó un corte en la manguera que suministra el combustible al motor para instalarle una válvula "Y" con 2 llaves de paso, de un lado se conectó la gasolina y del otro lado el hidrógeno dejando de esta manera la opción para trabajar con ambos combustibles.



Figura 7 motor de combustión interna con celda de hidrógeno

Fuente: *Elaboración Propia*

Al encender el motor con gasolina no presento ningún problema, pero al utilizar solo el hidrógeno, fue difícil lograr que encendiera. Se realizó una segunda prueba abriendo ambas llaves, obteniendo un encendido al primer intento y posteriormente cerrando la llave de la gasolina sin tener problemas.

5. Resultados

Se pudo observar una tendencia de la reacción, donde la concentración es inversamente proporcional al tiempo, entre mayor sea la concentración de hidróxido de potasio, menor el tiempo para producir 100 ml de gas. Pero la pendiente disminuye entre mayor es la concentración, sugiriéndonos un límite para el uso del KOH, después de este punto, aunque se agreguen más de 15g, la solución, ya estará saturada de hidróxido de potasio y los cambios no son beneficiosos, ya que si se continúa aumentando la cantidad de hidróxido de potasio la descarga de las baterías se realiza de una manera rápida. Realizar el encendido del motor solo con hidrógeno fue más difícil que realizarlo con gasolina.

6. Conclusiones

Como se observa en el gráfico 1, para obtener una mayor cantidad de hidrógeno en un tiempo reducido, es mejor usar una alta concentración de hidróxido de potasio. Se podría obtener la misma cantidad de hidrógeno con una baja concentración, pero en un mayor tiempo.

La concentración es directamente proporcional al amperaje debido a la conductividad del hidróxido de potasio.

Comparando los valores de la tabla 1 se observa una singularidad, los volúmenes obtenidos fueron calculados con las condiciones de operación de la celda seca, describiendo el proceso que se llevó a cabo, por ende, la diferencia entre la cantidad de gases medidos experimentalmente y el valor del volumen calculado con las ecuaciones de la Ley de Faraday y la ecuación de los gases ideales. Nos indica que la concentración con mayor eficiencia es de 15g de KOH por cada 500 ml de agua.

La concentración con peor rendimiento fue la de 5g de KOH, debido a su baja conductividad y gran tiempo de producción.

A pesar de que las concentraciones de 17g, 19g y 21g de KOH generan más gas en menor tiempo que las otras concentraciones, tienen un rendimiento bajo, debido a que consume de manera muy rápida la carga de las baterías y no permiten de manera óptima la recarga.

Lograr el encendido del motor solo con hidrógeno es más difícil que con gasolina, debido a que el hidrógeno tarda en salir del sistema, por lo cual una manera exitosa de lograrlo es encendiendo el motor con la llave de gasolina e hidrógeno abierta, para posteriormente cerrar la llave de la gasolina.

7. Agradecimientos

- A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla: Facultad de Ingeniería, por el apoyo en la utilización de su infraestructura.
- Al grupo de Tribología y Transporte perteneciente al Cuerpo Académico 189 Prevención de Desastres y Desarrollo Sustentable, Tribología BUAP por su apoyo en el análisis y desarrollo del presente trabajo.
- A la MSc Jessica Gissella Maradey Lazaro por su orientación durante el desarrollo del presente trabajo.

8. Referencias

A. Contreras y otros (1999), Int. J. Hydrogen Energy, 1041- 52

Actas de la Reunión de París (2001) (Francia) sobre Producción Nuclear de Hidrógeno, 2-3 octubre 2000, NEA-OCDE. París.

CLEMENTE, M. C.

D. Voss, *Science*, 682-5 (1999).

http://ocw.upm.es/ingenieria-quimica/quimica-ii/Contenidos/Material-docente/bloque_4-electrolisis.pdf

J.O. Ogjen. Annual Review Energy Environ, 227- 279 (1999).

John Wiley, (1978). R.E. Kirk – D.S. Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3ª ed.

John Wiley, (1996). K. Kordesch y G. Sinader, *Fuel Cells and their Applications*.

K. Kendall, *Nature*, 233-5, 265-7 (2000).

L. Schlapbach y A. Züttel, *Nature*, 353-8 (2001).

M. Grätzel, *Nature*, 338-44 (2001).

N.S. Lewis, *Nature*, 589-90 (2001).

Prof. Dr. M^a del Carmen Clemente

Jul(2018). *Electrolisis [Ebook] (1st ed.)*.

R. George y K. Hassman(2001)., *Siemens Power Journal*, 5- 17

S. Srinivasan, R. Mosdale, P. Stevens y C. Yang, (1999) *Annual Review Energy Environ.*, 281-328.

U.S. Department of Energy (1998), *Fuel Cells: A Handbook*, 4ª edición.

Van Nostrand Reinhold, (1989) A.J. Appleby y F.R. Foulkes, *Fuel Cell Handbook*,.

Z. Zou y otros, *Nature*, 625-7 (2001).

Inclusión de tecnología sustentable y uso de energías renovables para generar energía eléctrica en el sur Tamaulipas

Inclusion of sustainable technology and use of renewable energies to generate electricity in the south of Tamaulipas

GARCÍA-NAVARRO, Josefina†*, BAUTISTA-VARGAS, María Esther, HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán y ZUMAYA-QUIÑONES, Rocío

Universidad Politécnica de Altamira

ID 1^{er} Autor: *Josefina, García-Navarro* / ORC ID: 0000-0002-7966-7849, Researcher ID Thomson: S-6921-2018, CVU CONACYT ID: 170015

ID 1^{er} Coautor: *María Esther, Bautista-Vargas* / ORC ID: 0000-0002-0857-3888, Researcher ID Thomson: K-8125-2018, CVU CONACYT ID: 380282

ID 2^{do} Coautor: *Adán, Hernández-Sánchez* / CVU CONACYT ID: 176275

ID 3^{er} Coautor: *Rocío, Zumaya-Quñones* / ORC ID: 0000-0002-8455-9843, Researcher ID Thomson: S-7838-2018, CVU CONACYT ID: 173205

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

Resumen

En México se está impulsando el desarrollo de tecnología sustentable e invirtiendo en los procesos de producción de energías renovables. En la región sur de Tamaulipas se está incrementando la población a nivel industrial, que implementa el uso de energías renovables y tecnología sustentable para generar energía eléctrica, los factores o indicadores más importantes que impulsan la inclusión de tecnología sustentable y uso de energías renovables en las industrias de estudio son: obtención de certificaciones ambientales internacionales y locales, ahorro y uso eficiente de la energía y concientización ambiental. Las industrias de estudio se clasificaron por giro: petroquímica, servicio y de generación de energía. La metodología propuesta es el análisis de la información obtenida de empresas del 2016 al 2018, que confirma la inclusión de tecnología sustentable y energías renovables en el sur de Tamaulipas. Los resultados obtenidos son: paneles solares, tecnología de Ciclos Combinados (Rankine y Brayton), cogeneración de la energía, recuperación del vapor de agua. Se concluye que el sector petroquímico optan por la cogeneración de energía eléctrica como la mejor opción y paneles solares fotovoltaicos y las de servicio por el ahorro y uso eficiente de energía con implementación de equipos y maquinaria eficiente.

Tecnología Sustentable, Energías Renovables, Sur de Tamaulipas

Abstract

In Mexico, the development of sustainable technology is being promoted and investing in renewable energy production processes. In the southern region of Tamaulipas, the population is increasing at an industrial level, which implements the use of renewable energy and sustainable technology to generate electricity, the most important factors or indicators that drive the inclusion of sustainable technology and the use of Renewable energies in the study industries are: obtaining international and local environmental certifications, saving and efficient use of energy and environmental awareness. The study industries were classified by rotation: petrochemical, service and power generation. The proposed methodology is the analysis of company information from 2016 to 2018, which confirms the inclusion of sustainable technology and renewable energies in the south of Tamaulipas. The results obtained are: solar panels, combined cycle technology (Rankine and Brayton), cogeneration of energy, recovery of water vapor. It is concluded that the petrochemical sector opts for the generation of electric power as the best option and photovoltaic solar panels and service options for saving and the efficient use of energy with the implementation of equipment and the efficient machine.

Sustainable Technology, Renewable Energies, South of Tamaulipas

Citación: GARCÍA-NAVARRO, Josefina, BAUTISTA-VARGAS, María Esther, HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán y ZUMAYA-QUIÑONES, Rocío. Inclusión de tecnología sustentable y uso de energías renovables para generar energía eléctrica en el sur Tamaulipas. Revista de Energías Renovables. 2018. 2-6: 33-37.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: josefina.garcia@upalt.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Es un hecho indiscutible que la energía eléctrica es fundamental para el desarrollo de cualquier país, puesto que impulsa los sectores industrial y comercial, además que proporciona bienestar y confort a la población. Para la producción de esta energía eléctrica se podrían utilizar variadas fuentes de energía primaria, por ejemplo, los combustibles fósiles, entre los que destacan la gasolina, el gas natural, el carbón mineral, y las energías renovables, entre las que destacan solar, eólica, hidráulica, biomasa, geotérmica, entre otras (Yajure, 2017).

En los últimos años se ha visto como la demanda de energía en México ha ido incrementando y con ella el uso de combustibles fósiles para su generación. Su manejo ha creado diversos problemas de contaminación ambiental, desde el incremento de la acidez del suelo y agua hasta el calentamiento global, provocando que la calidad de vida disminuya (Ramos-Gutiérrez y Montenegro-Fragoso, 2012).

Una de las formas en que se ha enfrentado a esta problemática, es por medio del uso racional y eficiente de fuentes de energía renovable que son aquellas que, por su capacidad de regeneración en relación al consumo, son virtualmente inagotables y su consumo no afecta al ambiente (Estrada Gasca y Samperio Islas, 2010).

En el estado de Tamaulipas, se está impulsando el desarrollo y uso de las energías renovables, e invirtiendo en los procesos de producción de energías limpias como la eólica y biomasa e investigando el potencial de la energía solar (Agenda Energética de Tamaulipas, 2014). En la región de Tampico, Madero y Altamira, se está incrementando la población a nivel industrial y residencial, lo que conlleva al aumento en la demanda de la energía eléctrica, y trae como resultado que se busquen otras alternativas a los métodos convencionales de generación de electricidad, ya que el uso de los combustibles fósiles ha creado diversos problemas de contaminación ambiental.

Por lo anterior es muy importante generar energía eléctrica a partir de otras alternativas que no utilicen combustibles derivados del petróleo.

Las energías renovables son aquellas que utilizan fuentes primarias de energía que están presentes en la naturaleza, y que son repuestas de manera continua, y en períodos de tiempo relativamente cortos en comparación con las llamadas fuentes no renovables. Ejemplos de fuentes de energías renovables son el sol, el aire, el agua, el calor de la tierra, las plantas, entre otras (Yajure, 2017). A continuación, se describen algunas de éstas:

En la tecnología Eólica, en general, un sistema eólico convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica, a través de un generador acoplado al rotor de una turbina.

Las tecnologías solares apuntan a aprovechar la potencia infinita del sol, para producir calor, luz y energía eléctrica. Desde el punto de vista de la generación de electricidad se tienen dos opciones, la solar fotovoltaica, y la solar térmica. La tecnología solar fotovoltaica convierte directamente la radiación solar en electricidad. Consisten básicamente de tres componentes principales: módulos, inversores y baterías. Los módulos convierten la radiación solar en electricidad, poseen paneles fotovoltaicos, en los cuales la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial.

Al conectar en serie estos dispositivos se obtienen diferencias de potencial mayores. Con respecto a la tecnología solar térmica, estos sistemas convierten el calor del sol en electricidad. Se conocen usualmente como tecnologías de potencia solar concentrada (Concentrating Solar Power, CSP). En la actualidad existen cinco tipos de tecnologías solar térmica, dependiendo de la manera en que se captura la radiación solar: torres de potencia, parabólico, cilindro cerrado, reflectores Fresnel, y disco Stirling (Yajure, 2017).

La tecnología Hidráulica consiste en la extracción de energía a partir de grandes caídas de agua, cuando se pasa dicho fluido a través de un dispositivo de conversión de energía. La tecnología Biomasa se conforma de aquella materia orgánica de origen animal o vegetal, que eventualmente pudiera ser aprovechada energéticamente. La biomasa es una energía renovable de origen solar a través de la fotosíntesis de los vegetales (Yajure, 2017).

La tecnología sustentable, se da en la búsqueda continua de optimizar el rendimiento de la industria, ya que se han inventado y mejorado nuevos métodos que permiten aumentar la eficiencia de los procesos. Una de estas tecnologías a nivel industrial es el uso de ciclos de potencia combinados en las centrales eléctricas, que es una de las más extendidas. Una central de ciclo combinado es una planta que genera energía eléctrica mediante el uso de dos ciclos de potencia superpuestos, el ciclo Rankine y el ciclo Brayton (Cengel, 2008). Estas plantas accionan dos generadores eléctricos, el primero con una turbina de combustión interna, que utiliza como combustible gas natural, la energía de los gases de escape es aprovechada para calentar agua en una caldera de recuperación que produce vapor para accionar una segunda turbina de vapor (Garrido, 2012).

Otra tecnología extendida es la cogeneración, una planta de este tipo produce más de una forma útil de energía, mecánica o eléctrica calor, a partir de la misma fuente (Castells, 2015). Las industrias que utilizan grandes cantidades de calor no pueden permitirse desperdiciar ésta energía proveniente de un proceso ya existente, siendo éste su principal motivo de aplicación (Cengel, 2008).

El objetivo de este trabajo es identificar que tecnología sustentable y uso de energías renovables han implementado industrias de diversos giros (petroquímica, servicio y de generación de energía) del sur de Tamaulipas. Se eligió la zona conurbada de esta entidad federativa, conformada por los municipios de Tampico, Madero y Altamira, ubicadas geográficamente en el sur del estado, de gran importancia por las diversas actividades que se desarrollan y cuentan con puertos industriales que permiten la vinculación entre exportaciones e importaciones a un mercado internacional más dinámico (Zorrilla, 2010), todas estas actividades requieren el consumo de energía eléctrica para su desarrollo, lo que le ha permitido incursionar en el uso e implementación de energías renovables y tecnologías sustentables, por ello la importancia de conocer la inclusión de éstas tecnologías en las actividades industriales de la zona metropolitana del sur de Tamaulipas.

En este sentido la hipótesis de trabajo se establece como: Inclusión de tecnología sustentable y uso de energías renovables para generar energía eléctrica en el sur Tamaulipas. Para la identificación de la inclusión en las industrias que fueron la muestra de éste estudio, se analizó la información para concluir cuáles son las tecnologías sustentables y energías renovables con más implementación. Además de los resultados obtenidos, se conocieron los factores o indicadores que impulsan a las industrias a la inclusión y que están relacionados con los aspectos económico, ambiental y social que conforman el desarrollo sustentable llevado a cabo por cada empresa, y que impactan para definir a éstas como sustentables.

Metodología

Las industrias que fueron muestra de éste trabajo, pertenecen a la zona conurbada del sur de Tamaulipas y la clasificación que se les asigna es de acuerdo al giro de éstas: Petroquímicas, Servicio y Generación de energía. Cabe mencionar que las industrias petroquímicas, se encuentran ubicadas en el puerto de Altamira, ya que es una de las principales actividades de éste puerto.

Se utilizó la Técnica de Delfi, que busca poner presentes las convergencias de opinión en un temas precisos por medio de preguntas a expertos, utilizando para esto cuestionarios (Godet, 1995), por lo tanto se entrevistó a los especialistas de cada una de las áreas que conforma la industria (jefes de área o departamento), con el objetivo de conocer la inclusión de tecnología sustentable y uso de energías renovables en cada una de las industrias que representaban (tabla 3) y que factores o indicadores los llevaron a impulsar la inclusión (tabla 2).

Se utilizó una guía- cuestionario, que forma parte de un proceso de evaluación de las empresas, y por motivos de confidencialidad a ésta, no puede ser presentada, sin embargo algunos de los datos obtenidos, pueden ser usada sin fines de lucro, siempre y cuando no se mencionen el nombre de las industrias evaluadas.

En la tabla 1, se muestran las 10 industrias que fueron objeto de estudio en el período del 2016 al 2018, y como se mencionó con anterioridad por cuestiones de confidencialidad no se indican los nombres de las industrias entrevistadas. Se utilizó una clasificación y codificación por giro y descripción de la actividad principal de la empresa (tabla 1).

Clasificación por giro	Descripción de la actividad principal.
S1	Recepción, almacenaje y distribución de materias primas.
S2	Logística y almacenamiento de productos líquidos a granel.
S3	Logística, plástico, automotrices e inmobiliario.
P1	Producción y comercialización de varias resinas de polímeros.
P2	Producción y elaboración de elastómeros.
P3	Producción y comercialización de resinas de polímeros.
P4	Fabricación y comercialización de resinas de polímeros.
GE1	Generación, distribución, transporte y comercialización de energía.
GE2	Central eléctrica de generación de energía por ciclo combinado.
GE3	Central termoeléctrica de generación de energía con quema de combustibles fósiles.

Tabla 1 Clasificación y codificación de las industrias por giro (S: Servicio, P: Petroquímica y GE: Generación de energía) y descripción de la actividad principal
Fuente: *Elaboración Propia*

Los factores o indicadores que las expertos indicaron que impulsan la inclusión de tecnología sustentable y uso de energías renovables en las industrias de estudio, se muestran en la tabla 2.

No. Indicador	Indicador
1	Ahorro y uso eficiente de la energía.
2	Altos consumos de energía eléctrica
3	Certificación ISO 14001
4	Certificaciones ambientales estatales
5	Certificado industria limpia
6	Concientización ambiental
7	Distintivo de Empresa Socialmente Responsable (ESR) o estándar de responsabilidad social.
8	Expectativa de crecimiento (proyectos de inversión local)
9	Optimización de sus procesos
10	Presupuesto anual
11	Productividad de la empresa
12	Bienestar de la comunidad
13	Certificación OHSAS 18001 (Seguridad y Salud ocupacional)

Tabla 2 Factores o indicadores que impulsan la inclusión
Fuente: *Elaboración Propia*

Resultados

La inclusión las tecnologías sustentables y energías renovables de las industrias estudiadas del sur de Tamaulipas, se muestran en la tabla 3.

Clasificación por giro	Tecnología sustentable	Energías renovables
S1	Equipos eficientes de enfriamiento, luminarias LED (Light Emitting Diode),	---
S2	Equipos eficientes de refrigeración, luminarias LED	---
S3	Equipos eficientes de refrigeración, luminarias LED, reutilización de residuos	Paneles solares fotovoltaicos.
P1	Cogeneración de la energía, recuperación del vapor de agua, equipos eficientes de refrigeración, luminarias LED	---
P2	Cogeneración de la energía, recuperación del vapor de agua, equipos eficientes de refrigeración, luminarias LED	Paneles solares fotovoltaicos.
P3	Cogeneración de la energía, recuperación del vapor de agua, equipos eficientes de refrigeración, luminarias LED	Paneles solares fotovoltaicos.
P4	Recuperación del vapor de agua, equipos eficientes de refrigeración, luminarias LED	Paneles solares fotovoltaicos.
GE1	Ciclos Combinados (Rankine y Brayton), recuperación del vapor de agua, equipos eficientes de refrigeración, luminarias LED.	---
GE2	Ciclos Combinados (Rankine y Brayton), recuperación del vapor de agua, equipos eficientes de refrigeración, luminarias LED.	Paneles solares fotovoltaicos. .
GE3	Equipos eficientes de refrigeración, luminarias LED	

Tabla 3 Inclusión de tecnologías sustentables y energías renovables de las industrias del sur de Tamaulipas
Fuente: *Elaboración Propia*

Conclusiones

Los datos obtenidos de los expertos de área o departamento de ambiental de las empresas, fueron los que proporcionaron mayor información para este trabajo, ya que se obtuvieron datos como: uso de indicadores para medir y controlar el consumo de energía, uso de tecnología sustentable para sus procesos o para la optimización de éstos, uso de energías renovables o alternas para la generación de la energía eléctrica que consumen, aplicación de programas de concientización ambiental, programas o acciones a favor del ambiente, etc.

Se concluye que en el sector petroquímico optan por la inclusión de cogeneración de energía eléctrica como la mejor opción y las industrias de servicio por el ahorro y uso eficiente de energía con implementación de equipos y maquinaria eficiente. Se observa que hasta el momento la única energía renovable incluida en estas empresas de la zona de estudio es la aprovechamiento de la energía solar, con la implementación de paneles solares fotovoltaicos, sin embargo en otras industrias de la zona, tienen implementado biomasa y eólica. Se espera seguir entrevistando otras industrias del sur de Tamaulipas para este año y tener más información acerca del tema de estudio.

Cabe mencionar que el incremento del uso de energías renovables, ha sido de manera gradual, en México y en este trabajo se presento la información referente al sur de Tamaulipas y queda evidenciado que si existe inclusión de éstas, y respalda lo propuesto por Spiegel, 2010, que dada la importancia que han tomado las fuentes renovables, al realizar la planificación energética se debe considerar tanto el uso tanto de fuentes convencionales, tales como las basadas en combustibles fósiles, como de fuentes renovables, dependiendo de las políticas ambientales del país.

Referencias

- Agenda Energética en Tamaulipas, (2014). Gobierno del Estado de Tamaulipas. <http://energia.tamaulipas.gob.mx/>
- Cengel, Y.A. y Boles. M.A. (2008). Termodinámica, sexta edición. Editorial Mc Graw Hill.
- Castells, E. (2015). La recuperación de la energía: cogeneración, intercambiadores y regeneradores de calor. Díaz de Santos.
- Estrada Gasca, C., y Samperio Islas, J. (2010). Energías alternas: propuesta de investigación y desarrollo tecnológico para México, primera edición. Academia Mexicana de Ciencias.
- Garrido Santiago, G., (2012). Fundamentos técnicos de los ciclos combinados. Díaz de Santos.
- Godet, M., (1995). De la anticipación a la acción manual de prospectiva y estrategia, Barcelona, Ediciones Alfa Omega.
- Guzmán, V, A., Malaver R., M.N. y Rivera R. H.A. (2005). Análisis estructural. Técnica de la prospectiva. Facultad de Administración. Documentos de investigación. No. 25, ISSN: 0124-8219.
- Ramos-Gutiérrez, L., y Montenegro-Fragoso, M., (2012). La generación de energía eléctrica en México. *III* (4), pp.197-211.
- Spiegel E., McArthur N. (2010). La nueva era del cambio energético. Opciones para impulsar el futuro del planeta". Editorial Mc Graw Hill.
- Yajure, R., C.A., Y Guzmán, Y.A., (2017). Estudio comparativo de técnicas de toma de decisiones multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energías renovables a utilizar en la producción de electricidad. *Scientia et Technica XXII*, Vol. 22, No. 3. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701, pp. 273-280.
- Zorrilla González, J., (2010). Los puertos del sur de Tamaulipas, realidades y perspectivas. El Colegio de Tamaulipas, Ciudad Victoria, p. 217, ISBN: 13 978-607-95012-I-I.

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

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

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

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

International Identification of Science - Technology and Innovation

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

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

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

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

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

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

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

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

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

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

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del Artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

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

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

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

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

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

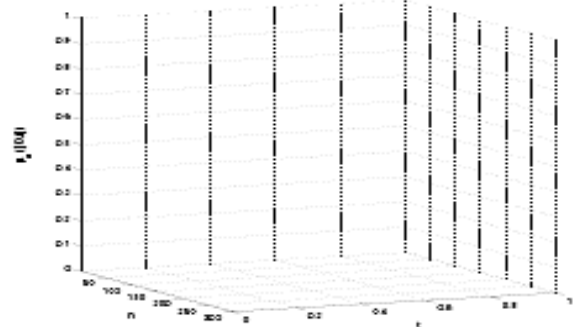


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

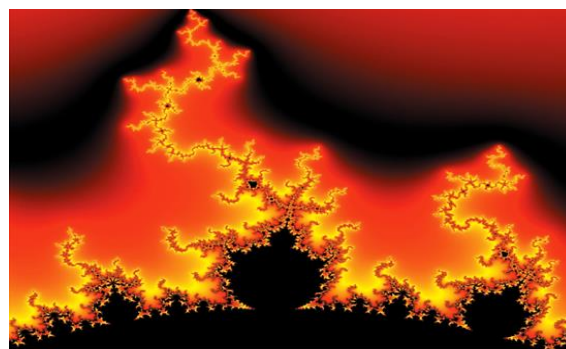


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

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

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

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

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

Metodología a desarrollar

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

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

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

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

Conclusiones

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

Referencias

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

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

Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

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

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

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

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

Reserva a la Política Editorial

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

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

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

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

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

Título del Artículo:

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

Copyright y Acceso

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

Título del Artículo:

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

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

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

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

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

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

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

Responsabilidades del Consejo Editorial

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

Responsabilidades del Comité Arbitral

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

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

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

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

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

Responsabilidades de los Autores

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

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

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

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

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

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

Servicios Editoriales:

Identificación de Citación e Índice H.

Administración del Formato de Originalidad y Autorización.

Testeo de Artículo con PLAGSCAN.

Evaluación de Artículo.

Emisión de Certificado de Arbitraje.

Edición de Artículo.

Maquetación Web.

Indización y Repositorio

Traducción.

Publicación de Obra.

Certificado de Obra.

Facturación por Servicio de Edición.

Política Editorial y Administración

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

ECORFAN®

Editora en Jefe

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

Editores de Producción

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial

REYES-VILLAO, Angélica. BsC

Control de Producción

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Editores Asociados

OLIVES-MALDONADO, Carlos. MsC

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

CHIATCHOUA, Cesaire. PhD

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

CENTENO-ROA, Ramona. MsC

ZAPATA-MONTES, Nery Javier. PhD

ALAS-SOLA, Gilberto Américo. PhD

MARTÍNEZ-HERRERA, Erick Obed. MsC

ILUNGA-MBUYAMBA, Elisée. MsC

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Publicidad y Patrocinio

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

Licencias del Sitio

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

Oficinas de Gestión

244 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.

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

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

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

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

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

Southwest Avenue, San Sebastian – León-Nicaragua.

6593 Kinshasa 31 – Republique Démocratique du Congo.

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

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

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

Revista de Energías Renovables

“Dimensionamiento y ejecución de un sistema fotovoltaico interconectado en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, potencia nominal: 79.20 kWp”

RESENDIZ - BADILLO, Ramiro & MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel

Universidad Tecnológica de San Juan del Río

“Obtención de biogás a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante la digestión anaerobia termofílica”

RODRIGUEZ-MORALES, José Alberto, VENTURA-RAMOS, Eusebio, PEREZ-MORENO, Víctor y VELAZQUEZ-CASTILLO, Rodrigo Rafael

Universidad Autónoma de Querétaro

“Caracterización de celda para producción de hidrogeno con fin de generar combustible alternativo para motores de combustión interna”

JUÁREZ-SANDOVAL, Alejandro, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio, JUÁREZ-ZERÓN, Tomàs Aáron y OCHOA-BARRAGAN, Jose Francisco

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

“Inclusión de tecnología sustentable y uso de energías renovables para generar energía eléctrica en el sur Tamaulipas”

GARCÍA-NAVARRO, Josefina, BAUTISTA-VARGAS, María Esther, HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán y ZUMAYA-QUIÑONES, Rocío

Universidad Politécnica de Altamira

