

ISSN 2523-6881

Volumen 4, Número 13 — Julio — Diciembre — 2020

Revista de
Energías
Renovables

ECORFAN®

ECORFAN-Perú®

Editor en Jefe

SERRANO-PACHECO, Martha. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Revista de Energías Renovables, Volumen 4, Número 13, de Julio a Diciembre 2020, es una revista editada semestralmente 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: SERRANO-PACHECO, Martha. PhD. ISSN: 2523-6881. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Diciembre 2020.

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

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD
University of La Rochelle

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

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

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD
University of Texas

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD
Oak Ridge National Laboratory

RODRÍGUEZ - MORALES, José Alberto. PhD
Universidad Politécnica de Madrid

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD
University of Alberta

VEGA - PINEDA, Javier. PhD
University of Texas

RODRIGUEZ - ROBLEDO, Gricelda. PhD
Universidad Santander

Comité Arbitral

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

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

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD
Universidad Politécnica de Amozoc

GÓMEZ - MERCADO, Abdiel
Instituto Tecnológico de Pachuca

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

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

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

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

AGUILAR - VIRGEN, Quetzalli. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

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

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, *Alternativa energética sustentable mediante la utilización de aislantes térmicos de diferentes materiales en edificaciones con sistemas de aire acondicionado*, por CASADOS-LÓPEZ, Edzel Jair, CASADOS-SÁNCHEZ, Alvaro, CRUZ-VICENCIO, Raúl y HORST-SÁNCHEZ, Alvaro, con adscripción en la Universidad Veracruzana, como segundo artículo presentamos, *Análisis de las prestaciones de un motor de combustión interna alternativo usando biocombustibles: (i) aceite de soya; (ii) aceite de canola*, por JIMÉNEZ-MACEDO, Víctor Daniel, VILLAGÓMEZ-GALINDO, Miguel y DE LA GARZA-DE LEÓN, Oscar Alejandro, con adscripción en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y la Universidad Autónoma de Nuevo León, como tercer artículo presentamos, *Determinación de los parámetros cinéticos de la pirolisis de la biomasa lignocelulósica*, por BARAY-GUERRERO, María del Rosario, VALLES-ARAGON, María Cecilia, NEVAREZ-RODRIGUEZ, Myrna Concepción y MANJARREZ-DOMINGUEZ, Carlos Baudel, con adscripción en la Universidad Autónoma de Chihuahua, como último artículo presentamos, *Simulación y Optimización de Estrategias de Control para Sistemas Energéticos Renovables de Baja Potencia*, por URBANO-ARCILA, Paola Andrea, LASTRES-DANGUILLECOURT, Orlando, HERNÁNDEZ-GALVEZ, Giovanni e IBÁÑEZ-DUHARTE, Guillermo Rogelio, con adscripción en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

Contenido

Artículo	Página
Alternativa energética sustentable mediante la utilización de aislantes térmicos de diferentes materiales en edificaciones con sistemas de aire acondicionado CASADOS-LÓPEZ, Edzel Jair, CASADOS-SÁNCHEZ, Alvaro, CRUZ-VICENCIO, Raúl y HORST-SÁNCHEZ, Alvaro <i>Universidad Veracruzana</i>	1-8
Análisis de las prestaciones de un motor de combustión interna alternativo usando biocombustibles: (i) aceite de soya; (ii) aceite de canola JIMÉNEZ-MACEDO, Víctor Daniel, VILLAGÓMEZ-GALINDO, Miguel y DE LA GARZA-DE LEÓN, Oscar Alejandro <i>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo</i> <i>Universidad Autónoma de Nuevo León</i>	9-17
Determinación de los parámetros cinéticos de la pirolisis de la biomasa lignocelulósica BARAY-GUERRERO, María del Rosario, VALLES-ARAGON, María Cecilia, NEVAREZ-RODRIGUEZ, Myrna Concepción y MANJARREZ-DOMINGUEZ, Carlos Baudel <i>Universidad Autónoma de Chihuahua</i>	18-25
Simulación y Optimización de Estrategias de Control para Sistemas Energéticos Renovables de Baja Potencia URBANO-ARCILA, Paola Andrea, LASTRES-DANGUILLECOURT, Orlando, HERNÁNDEZ-GALVEZ, Geovanni e IBÁÑEZ-DUHARTE, Guillermo Rogelio <i>Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas</i>	26-36

Alternativa energética sustentable mediante la utilización de aislantes térmicos de diferentes materiales en edificaciones con sistemas de aire acondicionado

Sustainable energy alternative, by using thermal insulators of different materials in buildings with air conditioning systems

CASADOS-LÓPEZ, Edzel Jair†*, CASADOS-SÁNCHEZ, Alvaro, CRUZ-VICENCIO, Raúl y HORST-SÁNCHEZ, Alvaro

Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Campus Poza Rica - Tuxpan

ID 1^{er} Autor: *Edzel Jair, Casados-López* / ORC ID: 0000-0002-0601-9242

ID 1^{er} Coautor: *Alvaro, Casados-Sánchez* / ORC ID: 0000-0002-3122-4571

ID 2^{do} Coautor: *Raúl, Cruz-Vicencio* / ORC ID: 0000-0002-4668-0772

ID 3^{er} Coautor: *Alvaro, Horst-Sánchez* / ORC ID: 0000-0002-2801-0943

DOI: 10.35429/JRE.2020.13.4.1.8

Recibido 16 de Junio, 2020; Aceptado 30 Octubre, 2020

Resumen

Se propone una metodología para el cálculo de la carga de enfriamiento, y el consumo energético de los equipos de aire acondicionado en tres modelos a escala de edificaciones objeto de estudio, utilizando el método CLTD/SCL/CLF de la ASHRAE. La edificación en la que se utiliza el método mencionado son tres modelos a escala de edificaciones situados en la ciudad de Poza Rica estado de Veracruz, México. Este método se aplica con la finalidad de obtener la carga de enfriamiento lo más exacto posible y de esa manera evitar el sobredimensionamiento en los equipos de aire acondicionado, y al utilizar el aislante térmico, lograr una disminución en el consumo energético y de esa manera contribuir a la disminución de emisiones de CO₂, al ahorro de energía y por ende al desarrollo sustentable. Se procede a calcular la carga de enfriamiento aplicando la metodología propuesta a tres casos: el modelo A, B y C. Se comparan los resultados para los tres modelos de prueba, objeto de este estudio. Se realizan mediciones de consumo energético para realizar el análisis de error del consumo real energético respecto al calculado utilizando el método. Por último, se cuantifica el ahorro energético, en los casos mencionados.

Carga de enfriamiento, Aislante térmico, Equipos de aire acondicionado

Abstract

A methodology is proposed for calculating the cooling load and the energy consumption of air conditioning equipment in three scale models of buildings under study, using the ASHRAE CLTD / SCL / CLF method. The building in which the mentioned method is used are three scale models of buildings located in the city of Poza Rica, state of Veracruz, Mexico. This method is applied in order to obtain the cooling load as exact as possible and thus avoid oversizing in air conditioning equipment, and by using thermal insulation, achieve a decrease in energy consumption and thus contribute to the reduction of CO₂ emissions, to energy saving and therefore to sustainable development. The cooling load is calculated by applying the proposed methodology to three cases: model A, B and C. The results for the three test models, object of this study, are compared. Measurements of energy consumption are made to perform the error analysis of the actual energy consumption with respect to that calculated using the method. Finally, energy savings are quantified, in the cases mentioned.

Cooling load, Thermal insulator, Air Conditioning equipment

Citación: CASADOS-LÓPEZ, Edzel Jair, CASADOS-SÁNCHEZ, Alvaro, CRUZ-VICENCIO, Raúl y HORST-SÁNCHEZ, Alvaro. Alternativa energética sustentable mediante la utilización de aislantes térmicos de diferentes materiales en edificaciones con sistemas de aire acondicionado. Revista de Energías Renovables. 2020. 4-13: 1-8

*Correspondencia al Autor (correo electrónico: edcasados@uv.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El acondicionamiento de aire ha sido uno de los más recientes y valorados servicios del hombre en su búsqueda por una existencia más confortable. El propósito primordial de un sistema de aire acondicionado ya sea calefacción o enfriamiento, es el de mantener las condiciones adecuadas, ya sea para proporcionar confort térmico a los ocupantes de una edificación o condiciones que sean requeridas por algunos productos y procesos dentro de la industria. Los sistemas de calefacción central fueron desarrollados en el siglo XIX mientras que el desarrollo de sistemas de enfriamiento con aplicación al confort llegó en el siglo XX. Desde entonces, los progresos en esta dirección han alcanzado grandes avances con significativo desarrollo en varias áreas de la ciencia y tecnología.

Los métodos de cálculo de carga pioneros ponen poca atención a los costos de operación y al aspecto relacionado con la sustentabilidad ambiental dando como resultado en el cálculo equipos sobredimensionados. Sin embargo, el aumento del precio de la energía, los materiales de construcción y las estructuras complejas en los edificios, así como todo lo concerniente a los recursos naturales y al medio ambiente han requerido un continuo refinamiento de los métodos de cálculo de carga. Los métodos de cálculo de carga en la actualidad se dirigen más hacia el dimensionamiento de sistemas de tamaño mínimo apropiado los cuales dan como resultado sistemas económicos con buen comportamiento energético y por lo tanto más acorde con la filosofía de un medio ambiente sustentable.

Por otro lado, el grado óptimo de protección térmica depende de criterios económicos y técnicos. Además, está determinada por consideraciones de las demandas de enfriamiento y de calefacción del edificio y de la factibilidad de la inversión necesaria para alcanzar el grado deseado de protección térmica del edificio. Como todos esos parámetros varían con respecto a las condiciones climáticas, la fluctuación de los factores de costo y la forma real en la cual los edificios son diseñados y construidos, la determinación de una protección térmica óptima está siempre sujeta a discusión.

Una alternativa para resolver este problema se presenta en este trabajo.

La energía consumida en edificios es usada para calefacción, refrigeración, iluminación y otras aplicaciones o equipos. El consumo depende de las condiciones climáticas, la arquitectura y las características constructivas del edificio, la ocupación y los parámetros operacionales, los diferentes sistemas de calefacción, aire acondicionado, y otros tipos de aparatos y equipos electromecánicos.

Es notable indicar que del total de clientes con que cuenta la Comisión Federal de Electricidad 88.13 % pertenecen al sector doméstico, 0.43 % al agrícola, 0.80 % al industrial, 10.02 % al comercial y 0.62 % al de servicios. Como se observa el mayor número de clientes pertenece al sector doméstico lo que indica que un ahorro de energía en edificios y casas-habitación impacta de una manera significativa en los patrones de consumo de combustibles fósiles y por lo tanto en las emisiones de bióxido de carbono a la atmosfera.

Esas características de consumo tienen, aparte del efecto directo en los costos de operación de los edificios, un efecto significativo sobre el ambiente debido a la combustión de gas y combustibles líquidos fósiles (aceite, diesel, petróleo y combustóleo) en las centrales de generación de energía. Dado que en México los sistemas centrales de generación de energía eléctrica están basados en combustibles fósiles, reduciendo el consumo eléctrico en el sector de edificios se da un paso necesario hacia la implementación del protocolo de Kioto.

De esta manera, la necesidad de tomar medidas para ahorrar energía en el sector de edificios llega a ser importante con la finalidad de reducir el consumo de fuentes de energía convencionales, lo cual es un hecho que puede ofrecer mejoras económicas no solo a los propietarios de los edificios sino también a la economía nacional. Esta necesidad constituye también una obligación para México hacia la reducción de emisiones de CO₂. En ese orden de ideas, una de las principales medidas hacia el ahorro de energía, aplicables a edificios nuevos o las ya existentes, es el mejoramiento de la protección térmica, como también mediante el uso de ventanas de alto rendimiento.

La mejora en la protección térmica de edificios en su envolvente podría no solo conducir a reducir las pérdidas térmicas durante el periodo de invierno, sino también conducir a una reducción de la carga de enfriamiento en el verano, un problema que ha cobrado significativa importancia en la última década. Finalmente, el uso de sistemas de iluminación de bajo consumo energético, junto con la aplicación de dispositivos de sombra, constituyen nuevas acciones que pueden contribuir a la reducción del consumo energético para acondicionamiento de aire, a pesar del hecho de que ellos no están directamente relacionados con la protección térmica de edificios.

Por lo tanto, un método apropiado para el cálculo de carga de enfriamiento en una edificación junto con la elección de un aislante térmico apropiado constituye una manera efectiva para dimensionar adecuadamente un sistema de acondicionamiento de aire con la finalidad de proporcionar condiciones de confort minimizando el consumo energético y por lo tanto disminuyendo emisiones de bióxido de carbono hacia la atmosfera impactando esto en forma favorable a nuestro medio ambiente.

Por lo anterior en este trabajo se busca como objetivo proponer una metodología para el cálculo de la carga de enfriamiento en edificaciones objeto de estudio, en este caso son tres modelos a escala de edificaciones situados en la ciudad de Poza Rica estado de Veracruz, en México, con la finalidad de disminuir el consumo energético de un sistema de aire acondicionado reduciendo su capacidad y de esta manera lograr una disminución en las emisiones de CO₂, contribuyendo al desarrollo sustentable.

Características constructivas de los modelos a escala



Figura 1 Modelos a escala A, B y C

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 2 Vista Posterior de los modelos a escala A, B y C

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 3 Medidores proporcionados por la CFE para la medición del consumo de energía

Fuente: *Elaboración Propia*

La construcción donde es aplicada la metodología de este trabajo, son tres modelos a escala de edificaciones, situados en la ciudad de Poza Rica de Hidalgo, Edo Veracruz en México, y sus características principales son para el Modelo A: Muros de ladrillo, Losa de concreto revocado de ambos lados, ventana de cristal sencillo claro y puerta de madera. Para el Modelo B: Muros de Block, Losa de Covintec recubierto con cemento –arena, Ventana de cristal sencillo claro y puerta de madera. Para el Modelo C: Construido de igual manera que el modelo B, pero a este se le colocó aislante térmico de 1 pulg. de espesor, dicho aislante es de poliestireno extruido para los muros y techo.

A continuación, se muestran los planos arquitectónicos de uno de los modelos ya que los tres son de las mismas dimensiones.

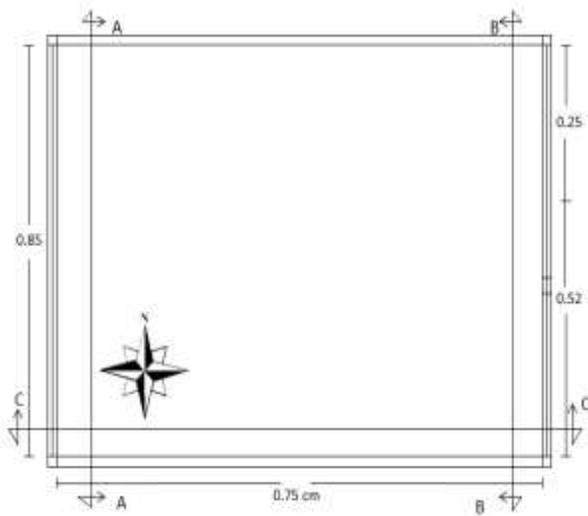


Figura 4 Planta de los modelos A, B y C
Fuente: *Elaboración Propia*

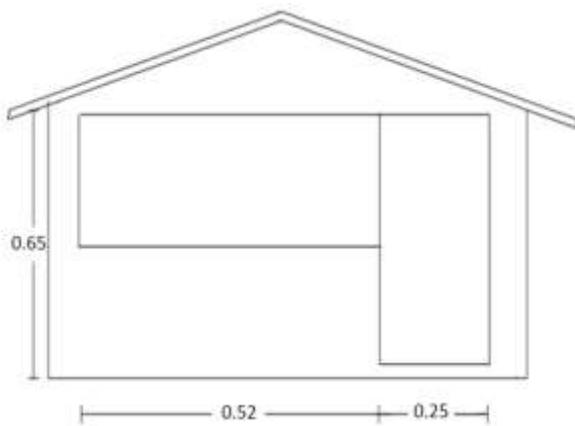


Figura 5 Corte B-B (metros)
Fuente: *Elaboración Propia*

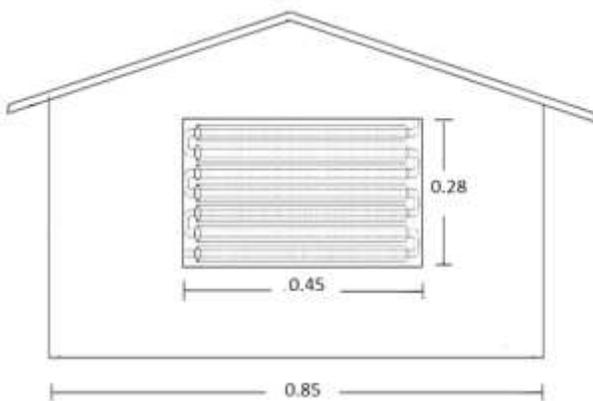


Figura 6 Corte A-A (metros)
Fuente: *Elaboración Propia*

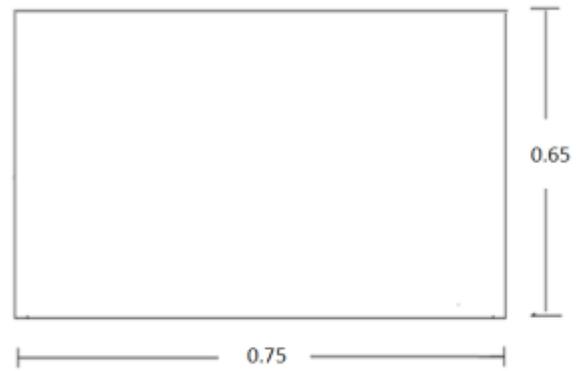


Figura 7 Corte C-C (metros)
Fuente: *Elaboración Propia*

Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de calor

El cálculo de este coeficiente se lleva a cabo considerando cada uno de los materiales de que están compuestas las paredes y los techos. El aislante utilizado es de poliestireno extruido de 0.0254 metros de espesor con una conductividad térmica de 0.043 Watts – m °K. Los valores del coeficiente global de transferencia de calor resultante para cada elemento estructural y para la zona a climatizar, se presentan en la tabla 1. Estos se derivan de los materiales y planos arquitectónicos que se utilizaron en el diseño y construcción de los modelos a escala de la edificación, que son los casos de estudio de este trabajo. En la tabla 1 se pueden observar que el comportamiento de los coeficientes globales de transferencia de calor depende de cada caso. En los casos donde no se tiene aislantes térmicos, los coeficientes son altos. En el caso en donde se aplica el aislante térmico se muestra una reducción en los valores de los coeficientes.

Elementos estructurales	Sin aislamiento térmico	Con aislamiento térmico
Muro de ladrillo con revoque de cemento-arena en ambas caras	4.3668	
Muro de Block con revoque de cemento-arena en ambas caras	4.3821	1.2210
Losa de concreto armado con revoque de cemento-arena en ambas caras	4.7722	
Losa de covintec con revoque de cemento-arena en ambas caras	1.2208	0.6889
Ventana de Cristal	5.91	
Puerta de Madera	4.40	0.7392

Tabla 1 Coeficientes globales de transferencia de calor de los elementos de construcción (Watts /m² °K)
Fuente: *Elaboración Propia*

Determinación de la demanda de enfriamiento

Los cálculos de la demanda de enfriamiento se basaron en el método CLTD/SCL/CLF de la ASHRAE. Para ello fueron consideradas las siguientes condiciones: Latitud 20 °N, para el 21 de julio, temperatura interior de 24 °C, temperatura exterior 38 °C, porcentaje diario de temperatura 32 °C, rango diario de temperatura 12 °C, coeficiente de transmisión de calor por convección exterior 22.68 W/m²-°K, coeficientes de transmisión de calor interior 7.48 W/m²- °K. Los valores CLTD corregidos se obtuvieron de acuerdo, a la siguiente ecuación:

$$CLTD_{Corr} = (CLTD + LM) K + (25.5 - T_i) + (T_{OAV} - 29.4 \text{ °C}) \quad (1)$$

Dónde:

LM: Factor de corrección para latitud y mes

K: Factor de ajuste de color

T_i y T_{OAV}: Valores de diseño

T_i: Temperatura interior

T_{OAV}: Porcentaje diario de temperatura

Los gráficos 1 y 2, muestran las tablas de los valores de CLTD corregidos para la losa y la pared Oeste. El gráfico 3, muestra la tabla de las demandas de enfriamiento para las horas de máxima carga, que en este caso es considerada de las 15 a 19 hrs. Sin aislante térmico, la demanda de enfriamiento es mayor, y en el otro caso, cuando se instala aislante térmico la carga de enfriamiento disminuye.

HORAS	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00
Modelo A	12.4	9.4	8.4	6.4	5.4	4.4	5.4	8.4
Modelo B	6.4	5.4	4.4	3.4	2.4	2.4	3.4	7.4
Modelo C	14.4	11.4	9.4	7.4	6.4	4.4	3.4	3.4

HORAS	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
Modelo A	12.4	18.4	24.4	31.4	37.4	42.4	45.4	46.4
Modelo B	14.4	23.4	32.4	39.4	46.4	51.4	53.4	52.4
Modelo C	5.4	9.4	14.4	21.4	28.4	35.4	41.4	46.4

HORAS	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Modelo A	46.4	42.4	38.4	32.4	26.4	22.4	18.4	14.4
Modelo B	49.4	44.4	36.4	27.4	19.4	13.4	10.4	8.4
Modelo C	48.4	48.4	46.4	42.4	36.4	30.4	24.4	18.4

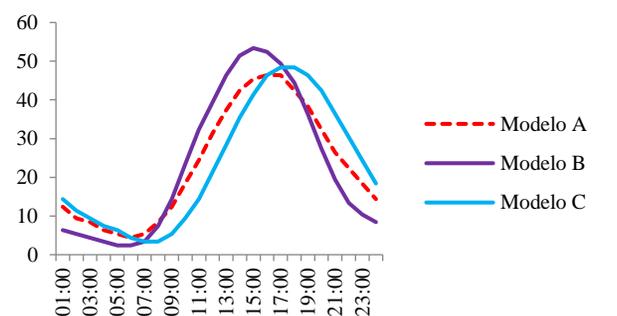


Gráfico 1 Valores CLTD corregidos para las losas de los tres casos, para las 24 hrs.

Fuente: Elaboración Propia

ISSN 2523-2881

ECORFAN® Todos los derechos reservados

HORAS	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00
Modelo A	12.9	10.9	8.9	7.9	6.9	5.9	5.9	5.9
Modelo B	5.9	5.9	3.9	3.9	3.9	3.9	5.9	6.9
Modelo C	16.9	12.9	10.9	8.9	6.9	5.9	5.9	4.9

HORAS	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
Modelo A	6.9	7.9	9.9	11.9	13.9	17.9	23.9	29.9
Modelo B	8.9	11.9	13.9	16.9	19.9	27.9	37.9	45.9
Modelo C	5.9	5.9	7.9	8.9	10.9	12.9	16.9	21.9

HORAS	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Modelo A	35.9	39.9	39.9	34.9	28.9	22.9	18.9	15.9
Modelo B	48.9	48.9	38.9	22.9	13.9	9.9	7.9	6.9
Modelo C	26.9	32.9	37.9	40.9	37.9	32.9	26.9	21.9

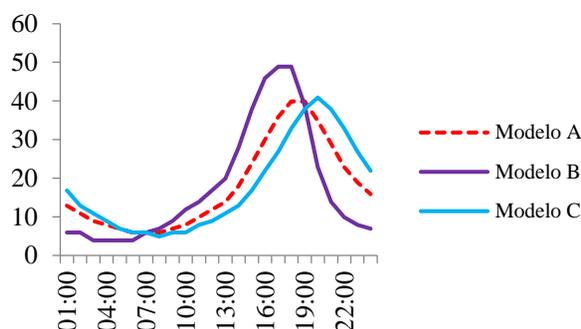


Gráfico 2 Valores CLTD corregidos para las paredes Oeste, de los tres casos, para las 24 hrs.

Fuente: Elaboración Propia

El gráfico 3, muestra las demandas de enfriamiento para los tres casos de estudio. Se muestra que sin aislante térmico la demanda de enfriamiento es mayor y para el caso donde se instala aislante térmico disminuye la carga de enfriamiento.

HORA	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	TOTAL
Modelo A	383.7162	395.3276	403.8096	390.1503	365.1225	1938.126
Modelo B	316.4537	322.9812	311.5958	292.5631	241.7841	1485.377
Modelo C	107.3477	113.3085	115.1006	115.0942	111.3377	562.1887

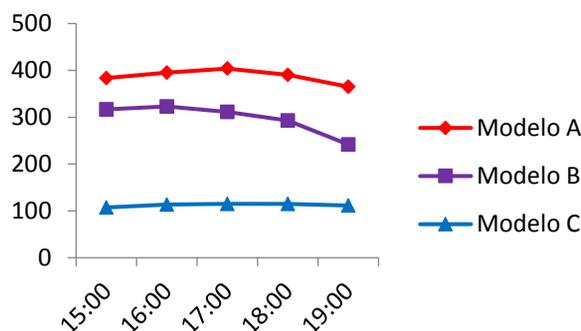


Gráfico 3 Demanda de enfriamiento para los tres casos de estudio (Watts)

Fuente: Elaboración Propia

La disminución de la demanda de enfriamiento del modelo con aislamiento y aquellos que no están aislados se presenta en la tabla 2, para los tres modelos en porcentaje.

Hora	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Promedio
Modelo A-B	17.52	18.30	22.83	25.01	33.78	23.36
Modelo B-C	66.07	64.91	63.06	60.66	53.95	62.15
Modelo A-C	72.02	71.33	71.49	70.50	69.50	70.99

Tabla 2 Reducción de la demanda de enfriamiento, con respecto a los tres modelos en (%)

Fuente: *Elaboración Propia*

En la tabla 2, se muestra un panorama más claro de la comparación de la demanda de enfriamiento para los casos sin aislante térmico y para el caso donde se aplica el aislante. Los valores que se muestran son en porcentajes.

Determinación del consumo de energía de enfriamiento

Para la determinación del consumo de energía en los tres modelos objeto de estudio para el enfriamiento, se utilizaron wattímetros de 120 V, 60 Hz, 1 F, 2 H y 9 termómetros con escala de -20 a 50 °C.

1. La temperatura interior fue considerada de 24°C de bulbo seco y 50% de humedad relativa en los tres casos.
2. Las condiciones de temperatura y humedad, fueron tomadas de la estación climatológica perteneciente a la Facultad de ingeniería Ambiental de la Universidad Veracruzana en Poza Rica de Hgo. Veracruz.
3. Se llevaron a cabo mediciones por 28 días en cada uno de los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto del 2015.

Consumo de energía para enfriamiento (Resultados)

Los cálculos de consumo de energía para enfriamiento consistieron en determinar las ganancias térmicas totales a través de la estructura de los modelos a escala A, B y C. Obteniéndose como resultado, los requerimientos energéticos para cada uno de los modelos. El coeficiente de operación de los equipos de aire acondicionado fue considerado de 2.5.

La tabla 3, muestra la energía de refrigeración en Kw-hr térmico y Kw-hr eléctricos para los modelos A, B y C.

Horas		15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Total
Modelo A	Kw-hr Térmicos	383.71	395.32	403.81	390.15	365.12	1938.12
	Kw - hr Eléctricos	135.11	139.19	142.18	137.37	128.56	682.41
Modelo B	Kw-hr Térmicos	316.45	322.98	311.59	292.56	241.78	1485.36
	Kw - hr Eléctricos	111.42	113.72	109.71	103.01	85.13	522.99
Modelo C	Kw-hr Térmicos	107.34	113.30	115.10	115.09	111.33	562.16
	Kw - hr Eléctricos	37.79	39.89	40.52	40.52	39.20	197.92

Tabla 3 Energía de refrigeración (Kw – hr Térmicos) y (Kw – hr eléctricos) para los modelos A, B y C.

Fuente: *Elaboración Propia*

La tabla 4, muestra la energía de refrigeración en Kw-hr térmico y Kw-hr eléctricos medidos, para los modelos A, B y C.

Horas		15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Total
Modelo A	Kw-hr Térmicos	383.71	395.32	403.80	390.15	365.12	1938.1
	Kw - hr Eléctricos	141.02	145.40	148.53	143.50	134.30	712.86
Modelo B	Kw-hr Térmicos	316.45	322.98	311.59	292.56	241.78	1485.36
	Kw - hr Eléctricos	118.35	120.80	116.53	109.41	90.42	555.52
Modelo C	Kw-hr Térmicos	107.34	113.30	115.10	115.09	111.33	562.16
	Kw - hr Eléctricos	39.68	41.88	42.54	42.54	40.95	207.81

Tabla 4 Energía de refrigeración (Kw – hr Térmicos) y (Kw – hr eléctricos medidos), para los modelos A, B y C.

Fuente: *Elaboración Propia*

Modelo	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	% de ahorro
A con B	16.07	16.91	21.54	23.75	32.67	22.07 %
Modelo	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	% de ahorro
B con C	63.94	62.71	60.73	58.18	51.05	59.76 %
Modelo	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	% de ahorro
A con C	69.74	69.02	69.19	68.11	67.04	68.64 %

Tabla 5 Reducción de la energía eléctrica medida para los modelos A, B y C en (%)

Fuente: *Elaboración Propia*

Como se puede apreciar en las tablas 4 y 5 existe un ahorro considerable de energía eléctrica cuando es utilizado aislante térmico en muros y losa en los modelos.

Anexos

- ASHRAE (1979, 1992). "Cooling and Heating Load Calculation Manual."
- ASHRAE (1967, 1972, 1985, 1989). "ASHRAE Handbook of Fundamentals". Atlanta, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Propiedades térmicas, y números de Código de las capas utilizadas en la descripción de paredes y techos

Materiales y sistemas constructivos		Cálculo y almacenamiento térmico			
Material	Descripción	ρ	k	c	U
A1	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
A2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
A3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
A4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
A5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
A6	Pared	15	0.815	1200	0.021
A7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
A8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
B1	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
B2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
B3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
B4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
B5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
B6	Pared	15	0.815	1200	0.021
B7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
B8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
C1	400 mm de concreto	2400	0.80	1000	0.040
C2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
C3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
C4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
C5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
C6	Pared	15	0.815	1200	0.021
C7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
C8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
D1	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
D2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
D3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
D4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
D5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
D6	Pared	15	0.815	1200	0.021
D7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
D8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
E1	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
E2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
E3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
E4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
E5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
E6	Pared	15	0.815	1200	0.021
E7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
E8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
F1	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
F2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
F3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
F4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
F5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
F6	Pared	15	0.815	1200	0.021
F7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
F8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
G1	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
G2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
G3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
G4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
G5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
G6	Pared	15	0.815	1200	0.021
G7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
G8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
H1	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
H2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
H3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
H4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
H5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
H6	Pared	15	0.815	1200	0.021
H7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
H8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
I1	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
I2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
I3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
I4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
I5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
I6	Pared	15	0.815	1200	0.021
I7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
I8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
J1	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
J2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
J3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
J4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
J5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
J6	Pared	15	0.815	1200	0.021
J7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
J8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
K1	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
K2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
K3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
K4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
K5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
K6	Pared	15	0.815	1200	0.021
K7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
K8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
L1	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
L2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
L3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
L4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
L5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
L6	Pared	15	0.815	1200	0.021
L7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
L8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030

- Numeros de grupo de techo

Materiales del techo		Cálculo y almacenamiento térmico			
Material	Descripción	ρ	k	c	U
T1	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
T2	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
T3	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
T4	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
T5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
T6	Pared	15	0.815	1200	0.021
T7	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
T8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
T9	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
T10	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
T11	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
T12	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
T13	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
T14	Pared	15	0.815	1200	0.021
T15	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
T16	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
T17	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
T18	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
T19	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
T20	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
T21	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
T22	Pared	15	0.815	1200	0.021
T23	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
T24	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
T25	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
T26	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
T27	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
T28	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
T29	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
T30	Pared	15	0.815	1200	0.021
T31	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
T32	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030
T33	20 cm de concreto	2400	0.80	1000	0.020
T34	100 mm de ladrillo	1800	0.15	840	0.007
T35	100 mm de aislamiento	200	0.03	840	0.001
T36	12 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
T37	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.030
T38	Pared	15	0.815	1200	0.021
T39	100 mm de yeso	1000	0.10	1000	0.002
T40	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.030

- Diferentes temperaturas de la carga de enfriamiento de Julio para le cálculo de la carga de enfriamiento de los techos planos a 40° latitud norte

Techo		Hora																							
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	0	-1	-2	-3	-3	-2	0	7	15	23	33	41	46	46	40	35	34	31	27	24	21	18	15	12	9
2	1	0	-1	-2	-3	-2	0	9	18	27	34	41	46	46	40	35	34	31	27	24	21	18	15	12	9
3	2	1	0	-1	-1	0	3	7	13	18	23	27	30	32	33	33	32	31	29	27	25	23	21	19	17
4	3	2	1	0	-1	-1	0	4	9	14	19	23	26	29	31	32	32	31	29	27	25	23	21	19	17
5	4	3	2	1	0	0	1	3	7	12	17	21	24	26	28	29	29	28	26	24	22	20	18	16	14
6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3														

- McQuiston, F. C., & Parker, J.D. (1988). Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York.
- Mitalas, G. P., & Stephenson, D. G. (1967). Cooling Load Calculations by Thermal Response Factor Method, ASHRAE Transactions, 73(I), III.1.1 – 1.7.
- Mitalas, G. P., & Stephenson, D. G. (1967). Room Thermal Response Factors, ASHRAE Transactions, 73(II), III.2.1 – 2.10.
- Mitallas, G. P. (1969). An experimental check on the weighting factor method of calculating room cooling load, ASHRAE Transactions, 75(2), 222 – 232.
- Mitallas, G. P., & Stephenson, D. G. (1971). Calculation of heat conduction transfer functions for multi – layer slabs, ASHRAE Transactions, 77(2), 117 – 126.
- Mitallas, G. P. (1971). Transfer Function Method of calculating cooling loads, heat extraction and space temperature, ASHRAE Journal, 12, 54 – 56.
- Romine, T. B. (Jr.) (1992). Cooling Load Calculation: Art or Science?, ASHRAE Journal, 34, 14-24
- Rudoy, W., & Duran, F. (1975). Development of an Improved Cooling Load Calculation Method, ASHRAE Transactions, 81(2), 19 – 69.
- Spitler, J. D., McQuiston F.C., & Lindsey K. (1993). The CLTD/SCL/CLF Cooling Load Calculation Method, ASHRAE Transactions.
- Spitler, J. D., McQuiston F.C., & Lindsey K. (1993). Development of a Revised Heating and cooling Load Calculation Manual, ASHRAE Transactions.
- Stephenson, D. G. (1968). Calculation of cooling load by digital computer, ASRAE Journal, 4, 41 – 43.
- Sowell, E. F., & Chiles, D. C. (1984a). Characterization of zone dynamic response for CLF/CLTD tables, ASHRAE Transactions, 91(2A), 162 – 178.
- Sowell, E. F., & Chiles, D. C. (1984b). Zone descriptions and response characterizations for CLF/CLTD calculations, ASHRAE Transactions, 91(2A), 179 – 200.
- Sowell, E. F., & Chiles, D. C. (1984c). A counter – intuitive effect of mass on zone cooling load response, ASHRAE Transactions, 91(2A), 201 – 208.
- Sowell, E. F. (1988a). Load calculations for 200, 640 zones, ASHRAE Transactions, 94(2), 716 – 736.
- Sowell, E. F. (1988b). Cross-check and modification of the DOE-2 program for calculation of zone weighting factors, ASHRAE Transactions, 94(2), 737 – 753.
- Sowell, E. F. (1988c). Classification of 200, 640 parametric zones for cooling load calculations. ASHRAE Transactions, 94(2), 754 – 777.
- Threlkeld, J. L. (1963). Solar Irradiation of Surfaces on Clear Days, ASHRAE Transactions, 69, 24 – 36.
- Threlkeld, J. L. & Jordan R. C. (1959). Direct Solar Radiation available on Clear Days, ASHRAE Transactions, 64, 45 – 68.
- Todorovic B. (1982). Cooling Loads from Solar Radiation through Partially Shaded Windows, taking Heat Storage Effect into Account, ASHRAE Transactions, 88(2), 924 – 937.

Análisis de las prestaciones de un motor de combustión interna alternativo usando biocombustibles: (i) aceite de soya; (ii) aceite de canola

Analysis of performance of a reciprocating internal combustion engines using biofuels: (i) soybean oil; (ii) canola oil

JIMÉNEZ-MACEDO, Víctor Daniel†*¹, VILLAGÓMEZ-GALINDO, Miguel¹ y DE LA GARZA-DE LEÓN, Oscar Alejandro²

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Mecánica

²Universidad Autónoma de Nuevo León

ID 1^{er} Autor: Víctor Daniel Jiménez Macedo / ORC ID: 0000-0001-5199-0698, CVU CONACYT ID: 240808

ID 1^{er} Coautor: Miguel Villagómez Galindo / ORC ID: 0000-0002-4560-2529, CVU CONACYT ID: 354258

ID 2^{do} Coautor: Oscar Alejandro, de la Garza-De León / ORC ID: 0000-0001-7528-3322, CVU CONACYT ID: 220054

DOI: 10.35429/JRE.2020.13.4.9.17

Recibido 3 de Junio, 2020; Aceptado Octubre 30, 2020

Resumen

En el presente estudio se evalúan dos biocombustibles derivado de aceite de cocina. Para realizar el presente trabajo se usará un motor de combustión interna alternativo de encendido por compresión, que está dispuesto en un banco de pruebas motor completamente instrumentado. Primeramente, se describe el proceso de elaboración del biodiésel, donde se ha usado aceite de soya y aceite canola. Posteriormente, se describe el apartado experimental que se ha usado para la presente investigación. Los ensayos experimentales se realizan: (i) modificando el grado de apertura del acelerador y (ii) usando una carga constante del freno-motor. Seguidamente, en la sección de resultados se cuantifica el desempeño de los dos biocombustibles generados frente al diésel de uso comercial. También, se muestran las diferencias porcentuales de: (i) potencia motor; (ii) gasto másico de combustible; (iii) eficiencia térmica del motor térmico y; (iv) temperaturas de escape. Los ensayos se han realizado bajo diferentes condiciones de régimen de giro del motor de combustión interna alternativo. Donde las diferencias promedio principales que se han registrado en banco motor fueron: para la potencia, del 32 y 33 %; para el gasto másico del combustible del -4.5 y 5 %, cuando se usa el biodiésel de soya y el biodiésel de canola, respectivamente. Estas diferencias se deben al contenido energético de los biocombustibles y a la forma en que se lleva a cabo el proceso de combustión en el interior del motor de combustión interna.

Motor de combustión interna, Biodiésel, Emisiones contaminantes

Abstract

In the present study, two biofuels derived from cooking oil are evaluated. To carry out this work, an reciprocating internal combustion engine will be used, which is ready on a fully instrumented engine test bench. Firstly, the biodiesel production process is described, where soybean oil and canola oil have been used. Subsequently, the experimental section that has been used for the present investigation is described. The experimental tests are carried out: (i) modifying the degree of opening of the accelerator and (ii) using a constant load of the dynamometer. On the other hand, in the results section shows the performance of the two biofuels generated against diesel commercial. Also, in this section shows the percentage differences of: (i) engine power; (ii) mass fuel, (iii) thermal efficiency engine and, (iv) exhaust temperatures. The tests have been carried out under different engine speed conditions of the reciprocating internal combustion engine. Where, the main average differences that have been registered in the engine test bench were: for engine power, 32 and 33%; for the mass fuel consumption of -4.5 and 5%, when using soybean biodiesel and canola biodiesel, respectively. These differences are due to the energy capacity of each biofuel and, the instantaneous evolution of combustion process inside the reciprocating internal combustion engine.

Reciprocating internal combustión engine, Biodiesel, Polluting emissions

Citación: JIMÉNEZ-MACEDO, Víctor Daniel, VILLAGÓMEZ-GALINDO, Miguel y DE LA GARZA-DE LEÓN, Oscar Alejandro. Análisis de las prestaciones de un motor de combustión interna alternativo usando biocombustibles: (i) aceite de soya; (ii) aceite de canola. Revista de Energías Renovables. 2020. 4-13: 9-17

*Correspondencia al Autor (correo electrónico: vdjimen@umich.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los biocombustibles juegan un papel importante dentro del contexto del uso de combustibles derivados del petróleo. Principalmente, porque estos últimos son perecederos y, también, por el constante intento de reducir las emisiones que se generan durante el proceso de combustión en el interior de los motores de combustión interna alternativos. El biodiésel es un combustible de características químicas y térmicas similares al diésel de uso comercial.

Entre las principales ventajas del biodiésel son; su bajo contenido de azufre, compuestos aromáticos, reducción de emisiones de CO y CO₂, como lo indica Peyton (2016). De esta forma, se reduce la contaminación que provoca el efecto invernadero y la lluvia ácida. Para la producción de biodiésel, las principales materias primas son la grasa animal, aceite de cocina usado, habas de soya y jatropha, como lo indica Mofijur (2016). De esta forma es posible reducir la dependencia, preservando el petróleo, así como, restaurar la lubricidad del diésel de bajo contenido de azufre, agregando niveles bajos de 1-2 % de biodiésel como lo muestra Gerhard Knothe (2005).

También, la generación de nuevos combustibles puede proporcionar mejores rendimientos en el motor de combustión interna alternativo. No obstante, otras soluciones, como el uso de regeneradores, son desarrolladas para mejorar el rendimiento del motor como lo propone Stikhun, A. (2020). En este mismo contexto, el empleo de modelos numéricos de simulación por ordenador, permite predecir mejoras en el rediseño de los elementos constructivos del motor térmico, así como, la puesta a punto, como lo realiza Blair G.P. (1996), Payri F. y Desantes J.M. (2011) y García Martínez, E. (2020).

Por otra parte, se observa una concordancia entre la disponibilidad de materia prima y la publicación de artículos científicos ya que en cada país investiga principalmente sobre la materia prima que tiene disponible. También, un factor importante es la disponibilidad de tierras de cultivo, donde el biodiésel que se obtiene con la jatropha tiene una buena primacía, ya que esta materia prima es adaptable a terrenos marginales infructuosos, por lo que no es un riesgo para cultivos alimenticios.

Además, las emisiones que son generadas por los procesos de combustión, que se producen por los motores térmicos, se van hacia la atmósfera. Una vez allí, estos gases contaminantes evolucionan al mezclarse con otras sustancias, dando como resultado un compuesto corrosivo. Estos compuestos ácidos son absorbidos por el suelo en forma de lluvia ácida. Afectando la vegetación, por ejemplo, las hojas, donde el proceso directo es la fotosíntesis. También, la lluvia ácida, tienen efectos adversos en la salud de los árboles, haciéndolos más vulnerables a parásitos. También, esta lluvia ácida deteriora diversos tipos de infraestructura, como, estructuras metálicas o edificios.

Por otra parte, el efecto invernadero, que es motivado en parte por el dióxido de carbono presente en la atmósfera, es deseable en ciertas cantidades, para mantener una temperatura óptima en el planeta. No obstante, la sobrecarga de CO₂ en la atmósfera, genera efectos indeseables, principalmente por el incremento en la temperatura promedio del planeta. Que se debe especialmente a que estos gases retienen, de forma parcial, la radiación térmica que emite la superficie terrestre.

No obstante, por lo dictado previamente, también la capa de CO₂ representa una capa que nos protege de forma parcial, de radiaciones de longitud de onda larga o radiación infrarroja. Los combustibles que generan este tipo de gas contaminante, de mayor a menor contribución, son: el carbón mineral, coque de petróleo, los neumáticos, el diésel, el queroseno, la gasolina, el propano y el gas natural.

Proceso de obtención del biodiésel

El biodiésel se puede obtener a partir de grasa animal y aceite vegetal de cocina usado, está formado por ésteres monoalquílicos de ácidos grasos. A partir de los ésteres metálicos derivados de los ácidos grasos se pueden obtener propiedades fisicoquímicas parecidas a las del diésel de uso comercial.

Esto representa una ventaja, sobre todo cuando se lleva a cabo el proceso de combustión en el interior del motor de combustión interna. No obstante propiedades como la viscosidad y el poder calorífico del combustible son sensibles con la rapidez de quemado y presión en la cámara de combustión respectivamente.

La obtención del biodiésel, para el presente trabajo, se lleva a cabo mediante el proceso de la transesterificación. Se han obtenido dos biocombustibles, el primero, a partir de aceite de soya y, el segundo, de aceite de canola, que son ampliamente usados en restaurantes y en la cocina de los hogares.

El proceso de la transesterificación se lleva por medio de tres reacciones, primeramente, el triglicérido reacciona con un catalizador, para dar como resultado un diglicérido. Luego, en una segunda reacción, el diglicérido evoluciona dando como resultado un monoglicérido.

Finalmente, se produce un equilibrio químico, con una tercera reacción química, que da como resultado, por una parte, un mol de glicerina y, por otra parte, tres moles de éster alquílico, que para el presente caso es un ácido graso del tipo éster metílico. Una representación del proceso de la transesterificación se muestra en la figura 1 siguiente.

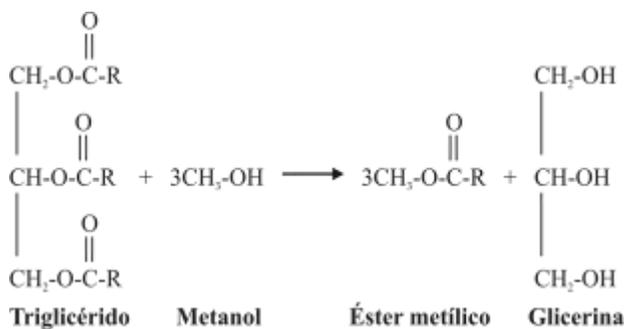


Figura 1 Proceso de transesterificación

En esta figura 1 se muestra que un mol de triglicérido se mezcla con tres moles de alcohol metílico generando una serie de reacciones químicas, que dan como resultado tres moles de éster metílico y un mol de glicerina. Una vez explicado el proceso para la obtención del biocombustible, en la figura 2 se muestra el biodiésel obtenido a partir de aceite de soya.



Figura 2 Biodiésel obtenido para su uso en motores de combustión interna alternativos

El biodiésel que se muestra en la figura 2, junto con el biocombustible obtenido mediante el aceite de canola, será usado en el motor de combustión interna alternativo, con el objetivo de realizar una evaluación comparativa de las prestaciones obtenidas de este combustible frente al diésel de uso comercial. No obstante, la caracterización fisicoquímica de los combustibles queda fuera del alcance del presente trabajo.

Apartado experimental

En la presente sección se detalla los recursos experimentales que se han usado para obtener las prestaciones del motor térmico. El apartado experimental representa un papel importante para cuantificar de forma real los parámetros de medida en los motores de combustión interna. En la figura 3 se muestra el motor de combustión interna que incluye todos sus sistemas que está dispuesto en un banco motor y acoplado a un freno-motor.



Figura 3 Motor de combustión interna usado en el presente estudio

En esta figura 3 se muestra el motor térmico que incorpora su sistema de admisión y escape. En la siguiente tabla 1, se muestran las principales características geométricas del motor.

Característica del MCIA	
Cilindrada	219 cc
Número de cilindros	Monocilíndrico
Diámetro	69,85 mm
Carrera	57,15 mm
Válvula de admisión	1
Válvula de escape	1
Suministro de combustible	Sistema de inyección

Tabla 1 Características geométricas del motor de combustión interna alternativo

De esta forma, en el presente trabajo, se usa un motor de encendido por compresión monocilíndrico, atmosférico y refrigerado por aire. Por otra parte, una vez presentadas las características principales del motor térmico, a continuación, se muestra, en la figura 4, el banco de pruebas motor.



Figura 4 Banco de ensayos motor empleado en el presente trabajo de investigación

El banco de ensayos motor, alberga el motor presentado en la figura 3. Que sirve para medir la potencia del motor térmico, el banco motor permite imponer diferentes condiciones de carga, por medio de un freno-motor. También, para medir el par, el banco incorpora un dinamómetro calibrado. Para la medición del consumo de combustible, el banco tiene instaladas probetas calibradas, para medir la temperatura del gas de escape, se han insertado termopares tipo K, que proporciona información de la transferencia de calor, no obstante, ese estudio queda fuera del alcance del presente trabajo.

También, para medir el régimen de giro del motor, el banco motor tiene instrumentado un tacómetro. De esta forma, las variables que se registran en banco motor son la potencia-motor, el gasto másico de combustible, el régimen de giro motor, el rendimiento térmico del motor y la temperatura de escape. Los ensayos experimentales se han logrado imponiendo diferentes condiciones operativas del motor.

Es de conocimiento común que la potencia que se genera por el motor es el resultado del trabajo realizado en su interior, por el cilindro-pistón, en ciclo cerrado durante la carrera de combustión. Que está en función de la cantidad másica capturada de aire-combustible, en el interior del cilindro, durante el proceso de admisión. En la figura 5 se muestra la potencia desarrollada por el motor de combustión interna, considerando diferentes grados de carga a diferentes regímenes de giro.

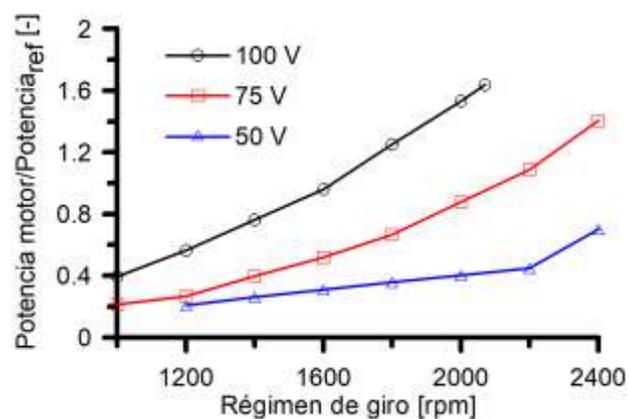


Figura 5 Potencia motor frente al régimen de giro

En esta figura 5 se muestra los resultados obtenidos de potencia, que se muestra está en su forma adimensional, donde se ha usado una condición real ensayada de referencia.

En los resultados obtenidos en la figura 5, el combustible empleado es el diésel comercial. En esta figura, se muestra que, cuando el motor se somete a una carga o freno-motor mayor, se requiere mayor mezcla de aire-combustible, por ende, se genera más potencia para soportar la mayor carga que se induce al motor térmico.

Resultados

Las prestaciones obtenidas de motor de combustión interna se muestran en esta sección. En la figura 6 se muestra la potencia obtenida con el diésel comercial frente al biodiésel obtenido con aceite de soya.

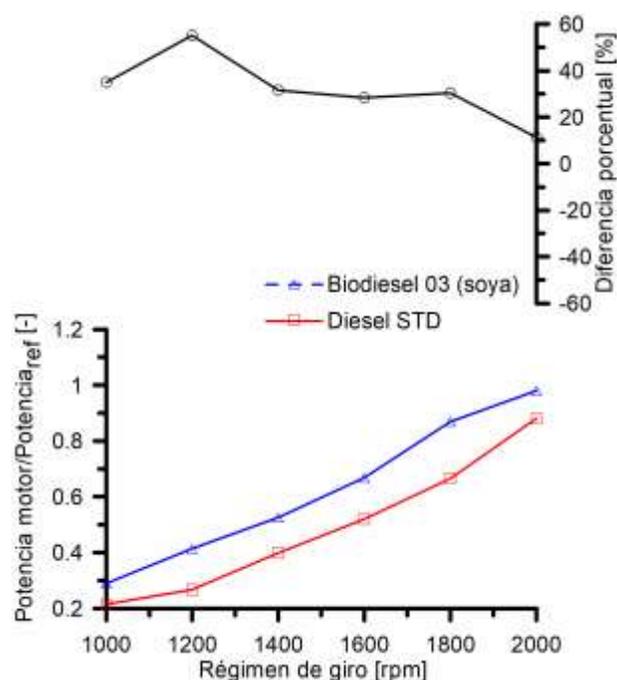


Figura 6 Resultados del banco de ensayos motor. Abajo: potencia adimensional frente al régimen de giro motor; Arriba: la diferencia porcentual de la potencia del motor térmico usando diésel estándar y el biocombustible generado a partir de aceite de soya

En la parte de debajo de la figura 6 se muestra la potencia obtenida del banco de pruebas motor. Los resultados de potencia, en esta figura, se muestra en su forma adimensional, que es de gran utilidad cuando se desea contrastar de forma comparativa. Para ello, fue usada una condición real medida como parámetro de referencia. De esta forma, se aprecia que la potencia registrada, cuando se usa el biocombustible a partir de aceite vegetal de soya es mayor en todas las condiciones de operación.

Por otra parte, en los resultados de diferencia porcentual, que se muestran en la parte de arriba de esta misma figura 5, se muestran una diferencia máxima de 55 % cuando el tacómetro marca 1200 rpm y; una diferencia mínima de 11 % para un régimen de giro de 2000 rpm.

Por otra parte, el consumo de combustible, a una determinada carga del freno-motor, es una variable de interés que puede indicar de forma indirecta el poder calorífico específico del combustible. De esta forma, en la figura 7, se muestran las mediciones obtenidas, del banco de ensayos motor, en relación al gasto másico del combustible. Este gasto másico es el que se necesita para que el motor térmico opere a una condición de régimen de giro específica, considerando la carga que le imprime el freno motor.

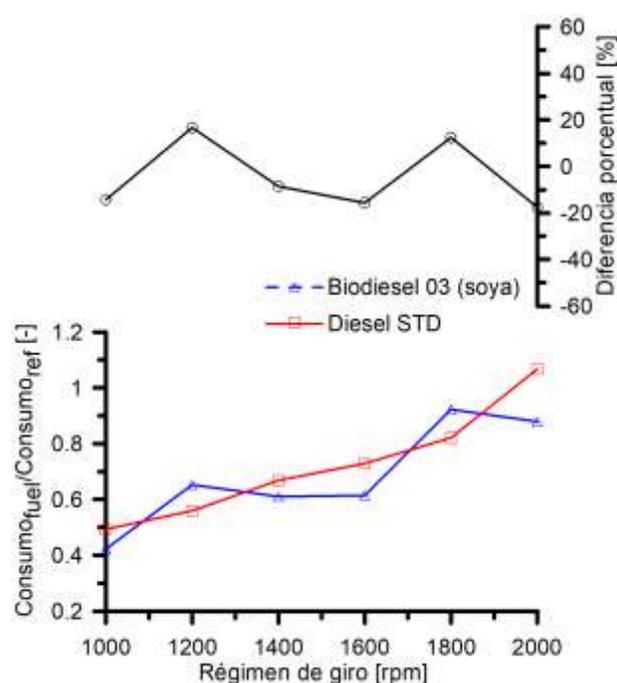


Figura 7 Resultados del banco de ensayos motor. Abajo: gasto másico adimensional de combustible frente al régimen de giro motor; Arriba: la diferencia porcentual del gasto másico del combustible del motor térmico usando diésel estándar y el biocombustible generado a partir de aceite de soya

En esta figura 7, en la parte de abajo, se muestra el consumo de combustible en su forma adimensional, que nuevamente, es de gran utilidad cuando se desea contrastar diferencias a efectos comparativos. Con las diferentes condiciones de operación ensayadas; donde se ha usado una condición real de operación registrada como referencia.

En esta figura 7 se muestra una diferencia de 16.6 % de mayor consumo, a 1200 rpm, cuando se usa el biocombustible obtenido de aceite de soya frente al diésel de uso comercial. No obstante, a 2000 rpm, se muestra una diferencia de 17.5 % de menor consumo cuando se usa el biodiésel generado con aceite de soya frente al diésel estándar. Estas diferencias se deben, por una parte, a las características fisicoquímicas de densidad, viscosidad, poder calorífico del combustible y, por otra parte, a la forma en que se lleva a cabo el proceso de combustión, durante la carrera de expansión del motor de combustión interna presentado en la figura 3. Por otra parte, el rendimiento térmico del motor de combustión interna es un parámetro que evalúa la tasa de energía suministrada por el combustible frente a la potencia que entrega el motor térmico al freno-motor. El rendimiento térmico contiene información del poder calorífico del combustible. De esta forma, en la figura 8 se muestra el rendimiento térmico estimado con los resultados obtenidos en el banco de pruebas motor.

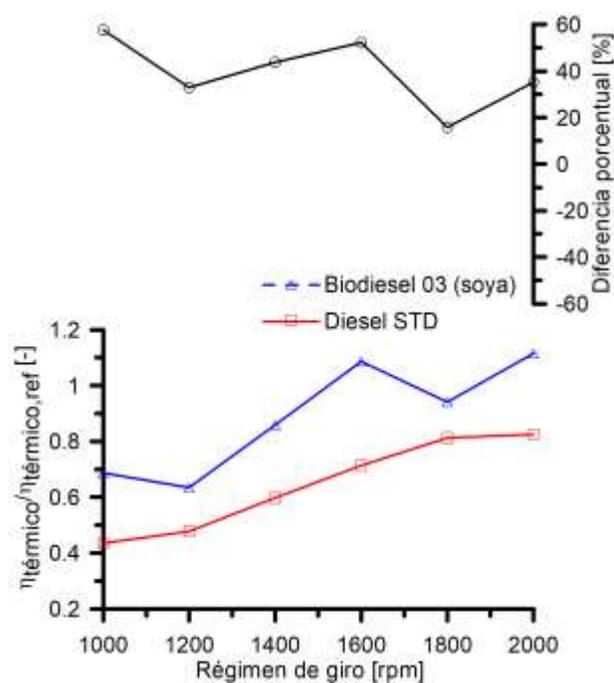


Figura 8 Resultados del banco de ensayos motor. Abajo: rendimiento térmico adimensional frente al régimen de giro motor; Arriba: la diferencia porcentual del rendimiento térmico del motor de combustión interna usando diésel estándar y el biocombustible generado a partir de aceite de soya

En esta figura 8, en la parte de abajo, se muestra el rendimiento térmico del motor en su forma adimensional, donde se ha usado una condición real de operación registrada como referencia.

En esta figura 8 se muestra una diferencia de 33 % de mayor eficiencia térmica, a 1200 rpm, cuando se usa el biocombustible obtenido de aceite de soya frente al diésel de uso comercial. También, a 2000 rpm, se muestra una diferencia de 35 % de mayor eficiencia térmica, cuando se usa el biodiésel generado con aceite de soya frente al diésel estándar. Cabe mencionar, que para la obtención del rendimiento térmico del motor se ha usado para ambos combustibles, que se muestran en la figura 8, como referencia, el valor de poder calorífico del diésel comercial. De esta forma, es evidente que para una potencia y consumo de combustible fija, el incrementar el valor de poder calorífico provoca que el rendimiento térmico del motor se reduzca.

No obstante, la mejora en la potencia lograda con el biocombustible, como se muestra en la figura 6, indican que el biodiésel obtenido, a partir de aceite de soya, tienen mejores características fisicoquímicas, por ende, se puede llevar a cabo una mejor eficiencia de combustión en el interior del motor de combustión interna alternativo.

Por otra parte, a partir de aquí se muestran los resultados de obtenidos con el biocombustible generado con aceite de canola. De esta forma, en la figura 9 se muestra la potencia obtenida con el diésel comercial frente al biodiésel obtenido con aceite de canola.

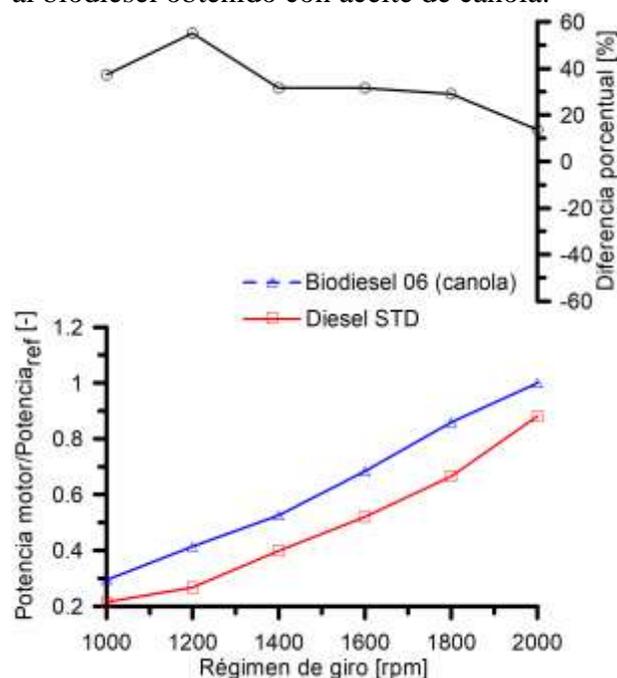


Figura 9 Resultados del banco de ensayos motor. Abajo: potencia adimensional frente al régimen de giro motor; Arriba: la diferencia porcentual de la potencia del motor térmico usando diésel estándar y el biocombustible generado a partir de aceite de canola

En la figura 9 se muestra la potencia obtenida del banco de pruebas motor. Los resultados de potencia se muestran en su forma adimensional. Se ha usado la misma condición de referencia que fue empleada en los resultados de la figura 6. Así pues, se muestra que la potencia registrada, cuando se usa el biocombustible a partir de aceite vegetal de canola es mayor en todas las condiciones de operación. De esta forma, los resultados de diferencia porcentual, se muestran en la parte de arriba de esta misma figura 9. Que indican una diferencia máxima, nuevamente, de 55 % cuando el tacómetro marca 1200 rpm y; una diferencia mínima de 13.6 % para un régimen de giro de 2000 rpm

Por otra parte, los resultados obtenidos del gasto másico del combustible, usando el bicombustible a partir de aceite de canola, se muestran en la figura 10.

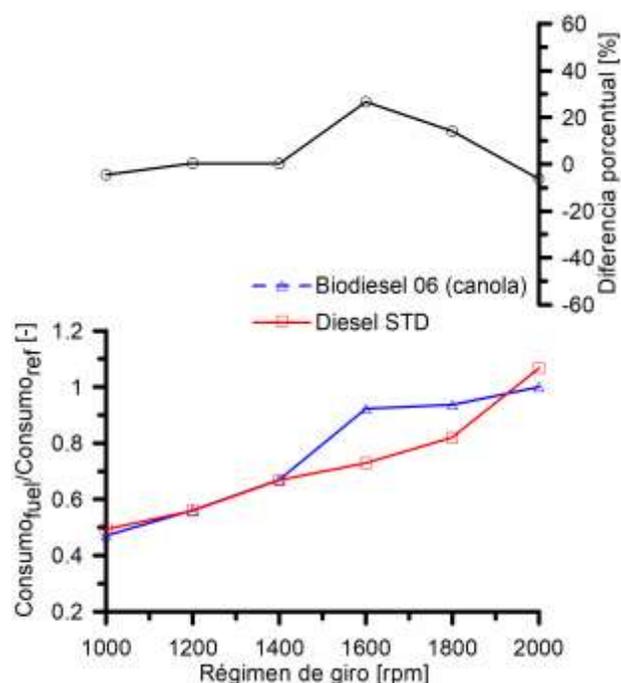


Figura 10 Resultados del banco de ensayos motor. Abajo: gasto másico adimensional de combustible frente al régimen de giro motor; Arriba: la diferencia porcentual del gasto másico del combustible del motor térmico usando diésel estándar y el biocombustible generado a partir de aceite de canola

El gasto másico que se muestra, en la parte de abajo, de la figura 10, está en su forma adimensional, donde se ha usado la misma condición de referencia usada en la figura 7. Así pues, ahora en la parte de debajo de la figura 10 se muestra una diferencia de 0.38 % de mayor consumo, a 1200 rpm, cuando se usa el biocombustible obtenido de aceite de canola frente al diésel de uso común.

No obstante, se muestra una diferencia de 6.25 % de menor consumo, cuando se usa el biodiésel generado con aceite de canola frente al diésel estándar, a 2000 rpm.

Por otra parte, en la figura 11, se muestra el rendimiento térmico del motor de combustión interna, que se ha obtenido con los resultados obtenidos en el banco de ensayos motor.

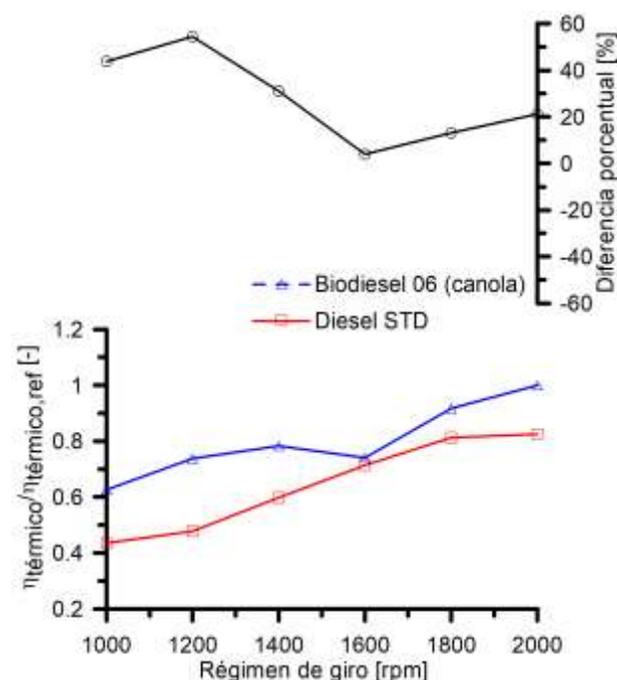


Figura 11 Resultados del banco de ensayos motor. Abajo: rendimiento térmico adimensional frente al régimen de giro motor; Arriba: la diferencia porcentual del rendimiento térmico del motor de combustión interna usando diésel estándar y el biocombustible generado a partir de aceite de canola

Los resultados de la parte de debajo de esta misma figura se muestran en su forma adimensional, donde fue usada la misma condición de referencia empleada en la figura 8. En esta figura 11 se muestra una diferencia de 54 %, de mayor eficiencia térmica, a 1200 rpm, cuando se usa el biodiésel generado de aceite de canola frente al diésel de uso común.

Esta misma tendencia, se muestra a 2000 rpm, donde hay una diferencia de 21 % de mayor eficiencia térmica cuando se usa el biodiésel generado con aceite de canola frente al diésel estándar. También, para el presente caso, para la obtención del rendimiento térmico del motor, se ha usado para ambos combustibles, que se muestran en la figura 11, como referencia el valor de poder calorífico del diésel comercial.

Pero, la mejora en la potencia motor, cuando se emplea el biocombustible de aceite de canola, es un indicativo que está relacionado con las características fisicoquímicas, y que se ven reflejadas en el proceso de combustión y en el funcionamiento general del motor de combustión interna alternativo.

Por otra parte, ahora se quiere mostrar, la temperatura del gas de escape. Que es una información de utilidad si se quieren realizar estudios de transferencia de calor, no obstante, ese estudio queda fuera del alcance del presente trabajo de investigación. De esta forma, en la figura 12 se muestra la temperatura del gas del escape que se ha obtenido con las mediciones registradas en el banco motor.

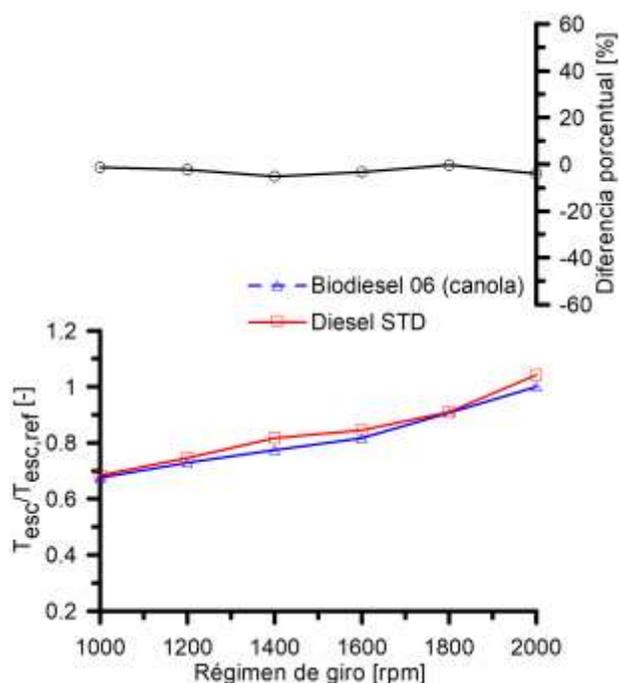


Figura 12 Resultados del banco de ensayos motor. Abajo: Temperatura de escape adimensional frente al régimen de giro motor; Arriba: la diferencia porcentual de la temperatura de escape del motor de combustión interna usando diésel estándar y el biocombustible generado a partir de aceite de canola

En la parte de debajo de la figura 12 se muestra la temperatura en el sistema de escape obtenida en el banco motor. Los resultados de temperatura, en esta figura, se muestra en su forma adimensional, donde fue usada la misma medición experimental de referencia de las anteriores figuras. Así pues, los datos de temperatura muestran diferencias inferiores al 5 % entre ambos combustibles. Donde en todas las condiciones de régimen de giro, la temperatura del gas de escape fue ligeramente mayor cuando se usa el diésel de origen fósil frente al biodiésel obtenido con aceite de canola.

Conclusiones

En el presente trabajo se realiza una evaluación de dos biocombustibles frente al diésel de origen fósil. De esta forma, primeramente, se ha producido los dos biocombustibles, a partir de aceite de soya y aceite de canola. Seguidamente, se ha descrito los recursos experimentales, que incluyen al motor de combustión interna alternativo en estudio y el banco de ensayos motor. Que incorpora un freno motor para de medir la potencia generada por el motor térmico en estudio.

En la siguiente sección, se muestran los resultados registrados de forma experimental que incluye: (i) la potencia-motor; (ii) el consumo de combustible; (iii) rendimiento térmico y; (iv) temperatura del gas de escape.

Estos resultados indican diferencias porcentuales promedio de 32 % y 33 % en la potencia motor, cuando se usa el biocombustible generado a partir de aceite de soya y aceite de canola respectivamente; frente al diésel estándar. Por otra parte, en cuanto al gasto másico se observaron porcentuales promedios de -4.5 y 5.12 %. Asimismo, en los resultados estimados del rendimiento térmico las diferencias porcentuales promedio fueron de 39.6 y 27.9 %, también, estos valores corresponden, cuando se usa el biocombustible elaborado a partir de aceite de soya y aceite de canola respectivamente; frente al diésel comercial. Por otra parte, en cuanto a los resultados registrados de temperaturas del gas de escape, estas fueron menores al 5 %. En la cual, en todas las condiciones de régimen de giro, las temperaturas fueron mayores cuando se usa el diésel de origen fósil frente al biodiésel obtenido con aceite de canola. Finalmente, se puede indicar que las diferencias obtenidas, en los diferentes parámetros del motor de combustión interna alternativo, se deben a las características fisicoquímicas de los tres diferentes combustibles usados.

Agradecimientos

Se agradece al Programa para el Desarrollo Profesional Docente, para el Tipo Superior, PRODEP, por el apoyo recibido, así mismo se agradece de igual forma al CONACYT y a la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo CIC-UMSNH.

Referencias

- Blair G.P. (1996) Design and simulation of two-stroke engines.
- García Martínez, E. (2020). Elaboración de modelos de motor numéricos para formación en la puesta a punto de motor. TFG. UPV, Valencia, España.
- Gerhard Knothe, Jürgen Krahl, Jon Van Gerpen (2010). The Biodiesel Handbook (Second Edition). AOCS Press, ISBN 9781893997622. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-62-2.50003-6>.
- Heywood J. B. (1988). Internal combustion engine fundamentals. McGraw-Hill Publishing.
- Jiménez Macedo et al. (2017). Evaluación de una mezcla de combustible hidrógeno y gasolina para su uso en motores de combustión interna: emisiones contaminantes. Academia Journals, Vol. 9, No. 6, ISSN 1946-5351, Celaya, México.
- Jiménez Macedo et al. (2019). Construcción, optimización y evaluación experimental de una celda de hidrógeno. CECTI, Morelia, México.
- Jiménez Macedo et. al. (2018) Transferencia de calor local en un sistema de escape en un motor de 4.1 L de encendido por chispa. Academia Journals, Vol. 10, No. 3, ISSN 1946-5351, Morelia, México.
- Mofijur, M., Rasul, M. G., Hyde, J., Azad, A. K., Mamat, R., & Bhuiya, M. M. K. . (2016). Role of biofuel and their binary (diesel–biodiesel) and ternary (ethanol–biodiesel–diesel) blends on internal combustion engines emission reduction. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53, 265-278.
- Natkin RJ, Tang X, Whipple KM, Kabat DM. (2002). Stockhausen WF. Ford hydrogen engine laboratory testing facility. SAE Technical Paper No. 2002-01-0241.
- Payri F. y Desantes J.M. (2011) Motores de combustión interna alternativos. UPV, Valencia, España.
- Peyton, K. (2016). Nalco Champion fuel field manual (3a edición). EE. UU.: McGraw-Hill.
- Rakopoulos Constantine et Giakoumis Evangelos. (2009). Diesel Engine Transient operation, Springer-Verlag London Limited, ISBN 978-1-84882-374-7, DOI 10.1007/978-1-84882-375-4.
- Stikhun, A. (2020). Análisis numérico de un regenerador de porosidad variable y su influencia en el rendimiento de un motor Stirling. PFC. Universidad de Málaga, España.

Determinación de los parámetros cinéticos de la pirolisis de la biomasa lignocelulósica

Determination of the kinetic parameters of pyrolysis of the lignocellulosic biomass

BARAY-GUERRERO, María del Rosario^{1†}, VALLES-ARAGON, María Cecilia², NEVAREZ-RODRIGUEZ, Myrna Concepción² y MANJARREZ-DOMINGUEZ, Carlos Baudel^{*2}

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Delicias, Chihuahua

²Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agro tecnológicas, Chihuahua

ID 1^{er} Autor: *María Del Rosario, Baray-Guerrero* / ORC ID: 0000-0002-0289-9000, CVU CONACYT ID: 201384

ID 1^{er} Coautor: *María Cecilia, Valles-Aragon* / ORC ID: 0000-0003-1694-7634, CVU CONACYT ID: 170926

ID 2^{do} Coautor: *Myrna Concepción, Nevarez-Rodriguez* / ORC ID: 0000-0003-0325-2900, CVU CONACYT ID: 255228

ID 3^{er} Coutor: *Carlos Baudel, Manjarrez-Dominguez* / ORC ID: 0000-0002-9802-7185, CVU CONACYT ID: 101794

DOI: 10.35429/JRE.2020.13.4.18.25

Recibido 09 de Abril, 2020; Aceptado 30 Junio, 2020

Resumen

Al paso de las últimas décadas el interés por las energías renovables y el medio ambiente ha crecido considerablemente, desarrollándose un esfuerzo importante en el campo de la eficiencia energética, la creación de tecnologías sostenibles y la disminución de la huella de carbono. Es de interés, por tanto, el aprovechamiento energético de la biomasa de forma económica y eficiente, y se vuelve necesario su estudio y análisis. En este trabajo, se determinaron los parámetros cinéticos tales como, energía de activación (E_a) y factor pre-exponencial (A), fueron determinados para los residuos de la manzana usando el método termogravimétrico no-isotérmico y tratando los datos obtenidos bajo los modelos matemáticos del método diferencial y del método de la velocidad máxima, y adicionalmente realizando la distribución de energías de activación. El cálculo de la Energía de activación, ayudo a ver el modo en que transcurre la descomposición térmica (si existen uno o varios procesos y en qué rango de conversiones ocurren), a través de las constantes cinéticas características proporcionadas por los modelos cinéticos, permitió identificar las especies gaseosas emitidas por el material, y así estudiar los procesos a través de los cuales se produce tal descomposición

Parámetros cinéticos, Biomasa, Pirolisis

Abstract

Over the past decades, interest in renewable energy and the environment has grown considerably, with a significant effort being made in the field of energy efficiency, the creation of sustainable technologies and the reduction of the carbon footprint. Therefore, the use of biomass in an economical and efficient way is of interest, and its study and analysis becomes necessary. In this work, kinetic parameters such as activation energy (E_a) and pre-exponential factor (A) were determined for apple residues using the non-isothermal thermogravimetric method and treating the data obtained under the models mathematicians of the differential method and the maximum speed method, and additionally performing the activation energy distribution. The calculation of the activation energy helped to see the way in which thermal decomposition takes place (if there are one or more processes and in what range of conversions they occur), through the characteristic kinetic constants provided by the kinetic models, allowed to identify the gaseous species emitted by the material, and thus study the processes through which such decomposition occurs

Kinetic parameters, Biomass, Pyrolysis

Citación: BARAY-GUERRERO, María del Rosario, VALLES-ARAGON, María Cecilia, NEVAREZ-RODRIGUEZ, Myrna Concepción y MANJARREZ-DOMINGUEZ, Carlos Baudel. Determinación de los parámetros cinéticos de la pirolisis de la biomasa lignocelulósica. Revista de Energías Renovables. 2020. 4-13: 18-25

*Correspondencia al Autor (correo electrónico: rosariobaray@yahoo.com.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El actual desarrollo económico mundial está cimentado en el comercio y la transformación del petróleo (recurso natural no renovable), no obstante, se prevé su agotamiento durante el primer cuarto del presente siglo, lo cual plantea problemas tanto económicos como de abasto de energía, ya que la demanda energética es satisfecha, principalmente, a partir de los combustibles fósiles [1]. Lograr mantener las reservas de petróleo y gas natural por un periodo mayor al estimado, mediante la sustitución gradual de las materias primas fósiles con derivados químicos y energéticos obtenidos a partir de tecnologías sustentables es una de las principales preocupaciones a nivel mundial del mundo científico.[2]

Con referencia a lo anterior los residuos agroindustriales representan una fuente renovable de energía, pues se obtienen en grandes cantidades como resultado del procesamiento industrial de frutas y hortalizas y constituyen una materia prima barata para su conversión a bio-combustibles [3] La utilización de tecnologías de energías renovables como la eólica, la geotérmica, la hidráulica, la solar y la obtenida a partir de la biomasa se presentan como alternativas en el mediano y largo plazo para el reemplazo de los combustibles fósiles [4]

Los procesos térmicos a partir de biomasa son objetivo de investigación de gran parte del mundo científico, pero sobre todo del Mundo Desarrollado, que tratan de adquirir nuevas tecnologías, amenazados por la crisis energética actual y por los problemas de contaminación ambiental [2]. La biomasa juntamente con la energía solar, representan las únicas fuentes de energía utilizadas por el hombre durante la mayor parte de la historia de la humanidad.

Los biocombustibles producidos a partir de diferentes materiales lignocelulósicos como la madera, residuos agrícolas o forestales, tienen el potencial de ser un sustituto valioso, o complemento a la gasolina, los biocombustibles se refieren a combustibles líquidos o gaseosos para el sector de transporte que son predominantemente producidos por la biomasa. [4].

Los residuos agrícolas como la pomasa de la manzana (residuo sólido se compone de una mezcla compleja de cáscara, núcleo de la semilla, el cáliz, el tallo y los tejidos blandos) contienen principalmente celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina. Su descomposición térmica revela dos regiones principales atribuidas a la descomposición de la celulosa y la hemicelulosa. La primera descomposición con pérdidas de masa que se presenta a bajas temperaturas puede asociarse al proceso de pirólisis de la hemicelulosa y a temperaturas más elevadas la pérdida en masa se asocia con descomposición de celulosa. Por otro lado, pérdidas en masa para la descomposición de lignina no se observan en este rango de temperaturas.

El conocimiento de la volatilización de la pomasa de la manzana es importante, porque la pirólisis es el primer paso en un proceso de gasificación o combustión. [15] Los procesos de transformación de la biomasa se agrupan en tres grandes grupos: los bioquímicos, los termoquímicos, y los físico-químicos. Fundamentalmente se distinguen tres tipos de procesos termoquímicos: pirólisis, gasificación y combustión. El término pirólisis se refiere a la degradación térmica incompleta que conduce a la producción de carbón, líquidos condensables y alquitranes y gases.

En su sentido más estricto, la pirólisis debe realizarse en ausencia total de oxígeno, sin embargo, actualmente se utiliza este término en un sentido más amplio, para describir los cambios químicos provocados por la acción del calor [5]. La pirólisis representa una nueva tecnología alternativa como procesamiento de los residuos sólidos urbanos, como una opción para el reciclado de materiales, y regenerarlos convirtiéndolos en algo provechoso para las sociedades, en el proceso de conversión termoquímica de la biomasa es necesario conocer el mecanismo mediante el cual ocurre la degradación térmica de las diferentes fracciones que almacenan la energía química. La determinación de los parámetros cinéticos proporciona información acerca de los procesos que tienen lugar, así como de la estructura y composición de los materiales [6].

Además, el análisis de los productos volátiles de la degradación térmica permite identificar las especies gaseosas emitidas por el material, y así estudiar los procesos a través de los cuales se produce tal descomposición. La determinación de la cinética de descomposición de los materiales lignocelulósicos implica el conocimiento de los mecanismos de reacción. Sin embargo, el número de reacciones que ocurren simultáneamente en el proceso de pirólisis más simple es tan grande que impide desarrollar un modelo cinético que tenga en cuenta todas esas reacciones. Así, la pirólisis se estudia normalmente con modelos hipotéticos [6], en los que se considera que el comportamiento global de la pirólisis es la combinación del comportamiento de cada componente individual [6,7].

El estudio cinético trata de desvelar el modo en que transcurre la descomposición térmica (si existen uno o varios procesos y en qué rango de conversiones ocurren), a través de las constantes cinéticas características proporcionadas por los modelos cinéticos. Esto es fundamental a la hora de diseñar, construir y operar un reactor a gran escala para la pirólisis del material sujeto a estudio, para el aprovechamiento de los productos químicos que se puedan generar o para el aprovechamiento energético, o simplemente, para deshacerse de determinados materiales de una forma limpia. [6]. El análisis cinético de la descomposición térmica de la biomasa se basa generalmente en la ecuación de velocidad de procesos de descomposición de sólidos [8] En el análisis termogravimétrico (TGA) de la pirólisis de materiales lignocelulósicos aparecen normalmente dos o tres picos, que pueden ser asignados a la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, indicando por tanto, que aunque existan interacciones entre las fracciones y solapamientos en su descomposición, su identidad se mantiene [6].

En éste trabajo, los parámetros cinéticos tales como, energía de activación (E_a) y factor pre-exponencial (A), fueron determinados para la biomasa residual de la manzana usando el método termogravimétrico no-isotérmico y tratando los datos obtenidos bajo los modelos matemáticos del método diferencial y del método de la velocidad máxima, y adicionalmente realizando la distribución de energías de activación.

El objetivo fue determinar los parámetros de la cinética de la pirólisis de biomasa lignocelulósica, mediante los modelos isoconversionales, así como encontrar la energía de activación representativa del proceso pirolítico.

Descripción del método

Materiales y Métodos

Se emplearon muestras de residuos de manzana, procedente de los estados del Norte de Chihuahua (Cauhtémoc, Chihuahua), este subproducto es generado en el proceso de obtención de los jugos a², el cual ha recibido muy poca atención a pesar de que posee propiedades de ser un buen combustible que produciría, energía a bajo costo.

Preparación de la muestra

El material fue sometido a un proceso secado, triturado, molido y tamizado hasta lograr los tamaños de partículas $tp < 150 \mu\text{m}$, $180 < tp < 250 \mu\text{m}$ $< 425 \mu\text{m}$ $tp > 600 \mu\text{m}$ basada en las Tablas Estándar Sieves and Mesh Sizes. El análisis inmediato que se realizó fue el Análisis porcentual en peso de los elementos para determinar Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Sulfuro (CHNS-O) en un analizador elemental (Carlo Erba EA 1110). El contenido de lignina, celulosa, hemicelulosa y pectina en el bagazo se determinó usando técnicas gravimétricas, descritas en la ASTM E 1756-95, D1106-95 y ASTM D1103-60.

La humedad, materia volátil y contenido de ceniza se determinarán de acuerdo al procedimiento descrito en ASTM E 871-82, ASTM 872-82 y ASTM 1755-95, respectivamente. El análisis elemental de la ceniza se realizó usando un espectrómetro de emisión atómica acoplado con plasma (AES-ICP). ICP Thermo Jarrel Ash, IRIS/AP DUO. Para determinar el tamaño de partícula (tp) se analizaron muestras con dimensiones de: $tp < 150 \mu\text{m}$, $180 < tp < 250 \mu\text{m}$ $< 425 \mu\text{m}$ $tp > 600 \mu\text{m}$ bajo un flujo de N_2 de $150 \text{ cm}^3/\text{min}$ y calentando de temperatura ambiente hasta $550 \text{ }^\circ\text{C}$ con una rapidez de $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$. Para verificar el efecto de la velocidad de calentamiento en la generación de materia volátil se utilizó una muestra de biomasa lignocelulósica con un mismo tamaño de partícula, que fue sometido a distintas velocidades (5, 10, 15, 20 $^\circ\text{C}/\text{min}$).

Para la Determinación de los parámetros de Reacción.

La determinación de la cinética de descomposición de los materiales lignocelulósicos implica el conocimiento de los mecanismos de reacción. Sin embargo, el número de reacciones que ocurren simultáneamente en el proceso de pirólisis más simple es tan grande que impide desarrollar un modelo cinético que tenga en cuenta todas esas reacciones. Así, la pirólisis se estudia normalmente con modelos hipotéticos, en los que se considera que el comportamiento global de la pirólisis es la combinación del comportamiento de cada componente individual.

El estudio cinético trata de revelar el modo en que transcurre la descomposición térmica (si existen uno o varios procesos y en qué rango de conversiones ocurren), a través de las constantes cinéticas características proporcionadas por los modelos cinéticos. Esta información es básica cuando para diseñar, construir y operar un reactor a escala industrial para la pirólisis del material que se está estudiando, para el aprovechamiento energético de los productos que se puedan generar, con fines energéticos o para deshacerse de determinados materiales de una forma limpia.

La determinación de los parámetros cinéticos se realiza por métodos diferenciales o integrales de acuerdo al tratamiento matemático que se le dé a los datos. Entre los métodos diferenciales más usados encontramos, Freeman & Carroll (1958), Horowitz & Metzger (1963), Newkirk (1960), Coats & Redfern (1964), Vachuska & Voboril (1971) y Friedman (1965), los cuales linealizan la ecuación diferencial y por regresión lineal se calculan los parámetros cinéticos (Freeman, et al 1965).

Este análisis cinético de la descomposición térmica de la biomasa lignocelulósica se basó en la ecuación de velocidad de procesos de descomposición de sólidos (White J. E., Catallo et al, 2011)

$$\frac{d\alpha}{dt} = A \exp\left(\frac{-Ea}{RT}\right) f(\alpha) \quad (1)$$

Donde t denota tiempo, α indica la fracción de muestra que ha reaccionado o el grado de conversión, $d\alpha/dt$ es la velocidad del proceso, A y Ea son el factor pre-exponencial y la energía de activación, respectivamente, de la ecuación de Arrhenius y $f(\alpha)$ es una función de conversión que representa el modelo de reacción utilizado y que depende del mecanismo controlante. En este estudio el grado de conversión, α , se ha definido como:

$$\alpha = \frac{W_0 - W}{W_0 - W_f} \quad (2)$$

Donde w_0 , w_f y w son las masas de muestra al inicio, final y tiempo t , respectivamente.

Los términos desconocidos de la ecuación (1) son los parámetros de la cinética formal (A , Ea y $f(\alpha)$) que se utilizan para caracterizar las reacciones de pirólisis de biomasa.

Para las reacciones no-isotérmicas, donde la velocidad de calentamiento, es constante, la ecuación anterior puede expresarse como:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \beta \frac{d\alpha}{dT} = A \exp\left(\frac{-Ea}{RT}\right) f(\alpha) \quad (3)$$

Las técnicas desarrolladas para la evaluación de los parámetros cinéticos de análisis termogravimétrico no-isotermos se pueden dividir en “modelos de ajuste” y en “modelos libres”. Con los “modelos libres” no es necesario asumir una cinética de reacción y los parámetros cinéticos se obtienen en función de la conversión o de la temperatura. Dentro de este tipo de modelos son los métodos isoconversionales los que asumen un grado de conversión constante y por tanto que la velocidad de reacción depende exclusivamente de la temperatura. Así, permiten estimar la energía de activación, Ea , en función de la conversión, α , independientemente del modelo de reacción, $f(\alpha)$.

El tratamiento de datos TGA en los métodos isoconversionales puede ser diferencial o integral. En este trabajo se aplicaron un método diferencial (Friedman) y dos integrales (Flynn-Wall-Ozawa, Kissinger-Akahira-Sunose). El método Friedman es una técnica isoconversional diferencial, que implica tomar logaritmos naturales a cada lado de la ecuación 3.

$$\ln\left(\frac{d\alpha}{dt}\right) = \ln\left[\beta \left(\frac{d\alpha}{dt}\right)\right] = \ln[Af(\alpha)] - \frac{Ea}{RT} \quad (4)$$

Se asume que la función de conversión $f(\alpha)$ permanece constante, lo que implica que la degradación de la biomasa es independiente de la temperatura y que depende exclusivamente de la velocidad de pérdida de masa. Una representación de $\ln(d\alpha/dt)$ versus $1/T$ para el mismo grado de conversión de datos tomados a varias velocidades de calentamiento dará como resultado una serie de líneas con pendientes igual a $-Ea/R$ para cada valor de conversión, α , en diferentes velocidades de calentamiento β .

El método Flynn-Wall-Ozawa (FWO) es una técnica isoconversional integral donde reagrupando los términos de la ecuación, integrando éstos respecto a las variables α y T y usando la aproximación de Doyle se obtiene:

$$\log \beta \cong \log\left(A \frac{Ea}{Rg(\alpha)}\right) - 2.315 - 0.4567 \frac{Ea}{RT} \quad (5)$$

De este modo, en el método FWO, la representación de $\log \beta$ frente a $1/T$ para diferentes velocidades de calentamiento permite obtener líneas paralelas para un grado de conversión fijo. La pendiente ($-0.4567 Ea/R$) de esas líneas es proporcional a la energía de activación aparente. Si las Ea obtenidas son iguales para varios valores de α , puede asumirse con certeza la existencia de una sola etapa de reacción. Por el contrario, un cambio en las Ea con el incremento del grado de conversión es indicativo de un complejo mecanismo de reacción

Otro método isoconversional integral ampliamente utilizado es el método de Kissinger-Akahira-Sunose (KAS), basado en la Ecuación (6) obtenida a partir de la aproximación de Coats- Redfern.

$$\ln\left(\frac{\beta}{T^2}\right) = \ln\left[\left(\frac{AR}{Ea g(\alpha)}\right)\right] - \frac{Ea}{RT} \quad (6)$$

Asumiendo que α tiene un valor fijo, la energía de activación se puede determinar con la pendiente de la línea recta obtenida al representar $\ln(\beta/T^2)$ versus $1/T$.

Resultados

El cálculo de la Energía de activación ayudo a ver el modo en que transcurre la descomposición térmica (si existen uno o varios procesos y en qué rango de conversiones ocurren), a través de las constantes cinéticas características proporcionadas por los modelos cinéticos. Los valores de energía de activación obtenidos en este trabajo de investigación para los modelos aplicados se muestran en las siguientes tablas de resultados

Para el Método Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) técnica isoconversional integral permitió la combinación de los métodos anteriormente mencionados (FWO y Friedman

En la Figura 1. Se asume que α tiene un valor fijo y que la energía de activación se puede determinar con la pendiente de la línea recta obtenida al representar $\ln(\beta/T^2)$ versus $1/T$.

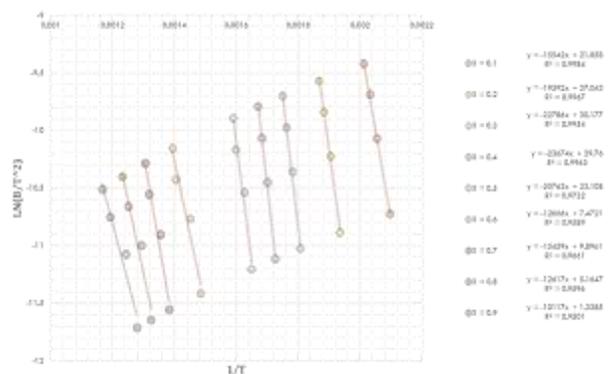


Figura 1 Metodo Kissinger-Akahira-Sunose (KAS)

La tabla 1. Muestra los resultados de los datos según el método KAS donde podemos observar el ajuste con una correlación lineal.

X	E/R	E, kJ/mol	E, kcal/mol	R^2
0.1	15542	129.216188	30.8826689	0.9984
0.2	19592	162.887888	38.9302052	0.9967
0.3	22786	189.442804	45.2768302	0.9954
0.4	23674	196.825636	47.041327	0.9963
0.5	20763	172.623582	41.2570361	0.9732
0.6	12666	105.305124	25.1679246	0.9589
0.7	15459	128.526126	30.7177441	0.661
0.8	12617	104.897738	25.0705594	0.9596
0.9	10117	84.112738	20.1029444	0.9501

Tabla 1 Resultados con el Método Kissinger-Akahira-Sunose (KAS)

De acuerdo al Modelo Friedman como es una técnica isoconversional diferencial, que implica tomar logaritmos naturales a cada lado de la ecuación la energía de activación se puede calcular con la siguiente ecuación. Permitiendo que la función de conversión $f(\alpha)$ permanezca constante, lo que implica que la degradación de la biomasa es independiente de la temperatura y que depende exclusivamente de la velocidad de la pérdida de la masa. En la figura 2 se muestra las E_a/R en función de las conversiones $f(\alpha)$ desde 0.1 hasta 0.9.

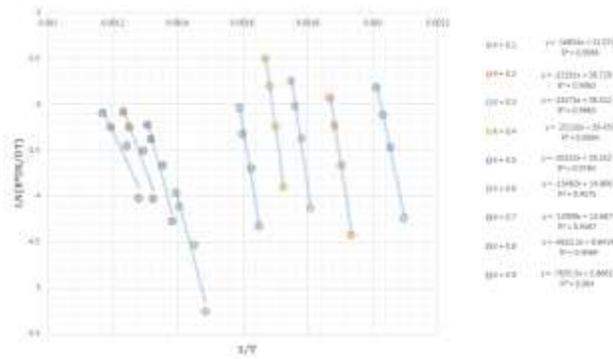


Figura 2 Método Friedman

En la tabla 2 se muestran los valores de las Energía de Activación en relación con el factor pre-exponencial

X	E/R	E, kJ/mol	E, kcal/mol	R ²
0.1	16834	139.957876	33.4499324	0.9966
0.2	22291	185.327374	44.2932424	0.9963
0.3	23575	196.00255	46.8446095	0.9863
0.4	25120	208.84768	49.9145955	0.9994
0.5	20323	168.965422	40.3827359	0.9764
0.6	13482	112.089348	26.7893542	0.9575
0.7	12909	107.325426	25.6507768	0.9467
0.8	9652.2	80.2483908	19.1793654	0.9469
0.9	7635.5	63.481547	15.1720897	0.904

Tabla 2 Resultados con Método Friedman

Con Método Flynn-Wall-Ozawa (FWO) se comprueba que mediante esta técnica isoconversional integral donde Integrando éstos respecto a las variables α y T y usando la aproximación de Doyle se obtiene

$$\log \beta \cong \log \left(A \frac{E_a}{Rg(\alpha)} \right) - 2,315 - 0,4567 \frac{E_a}{RT}$$

La Figura 3 muestra los gráficos lineales donde se observa la representación de $\log \beta$ frente a $1/T$ para diferentes velocidades de calentamiento que permitió obtener líneas más paralelas para un grado de conversión con un valor de $-0.453 E_a/R$ este método es el que mejor ajusta los datos

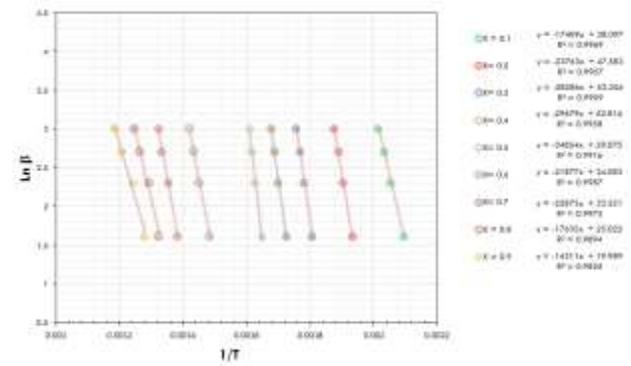


Figura 3 Con Método Flynn-Wall-Ozawa (FWO)

X	E/R	E, kJ/mol	E, kcal/mol	R ²
0.1	973.34	8.09234876	1.93407135	1
0.2	1051.7	8.7438338	2.08977628	1
0.3	1124.7	9.3507558	2.23483064	1
0.4	1177.7	9.7913978	2.34014407	1
0.5	1234.8	10.2661272	2.4536044	1
0.6	1390.4	11.5597856	2.76278876	0.9999
0.7	1488.2	12.3728948	2.95712186	1
0.8	1565.1	13.0122414	3.10992569	0.9999
0.9	1635.7	13.5992098	3.25021114	0.9999

Tabla 3 Resultados con Método Flynn-Wall-Ozawa (FWO)

Huang y col. analizan el desarrollo de los valores de energía de activación con el grado de conversión, encontrando valores más bajos para conversiones menores, un crecimiento de éstos en torno a conversiones intermedias, para volver a bajar al final del proceso. Estos autores han relacionado este comportamiento con la descomposición de las fracciones (hemicelulosa, celulosa y lignina) ya que los valores de E_a obtenidos en esos rangos de conversión son cercanos a los valores tabulados de estos compuestos puros.

Las energías de activación calculadas para métodos Friedman, FWO y KAS se presentan en la tabla 12. Las energías de activación media calculada a partir de los métodos de Friedman, FWO y KAS fueron 197,7, 213,0 y 201,7 kJ / mol, respectivamente. Se muestra también, excelentes coeficientes de correlación lineal se obtuvieron con un R² muy cerca de 1 con 0,973, 0,996 y 0,978, para el Friedman, OFW y métodos KAS respectivamente. Resultados obtenidos a partir de todos los modelos estaban en un buen acuerdo con una desviación por debajo del 8%.

Las pequeñas desviaciones de la energía de activación alta (FWO) con respecto a los métodos de Friedman y KAS fueron del 7,1 y 5,6%, respectivamente, lo que valida la fiabilidad de los cálculos y confirmó el poder predictivo de los métodos KAS y FWO.

Conversión (x)	KAS, KJ/mol	FWO, KJ/mol	Friedman, KJ/mol
0.1	137	145	148
0.2	189	198	213
0.3	228	238	235
0.4	237	247	249
0.5	280	290	267
0.6	170	182	175
0.7	134	189	145
0.8	174	147	100
0.9	105	119	78

Tabla 4 Valores de Energía de Activación determinado por los métodos Friedman, Flynn-Wall-Ozawa, Kissinger-Akahira-Sunose

La figura 4. Muestra que los 3 modelos siguen la misma tendencia de la E_a con respecto al factor de conversión $\alpha = 0,49$ se demuestra que la E_a si depende altamente de la conversión que significa que el bagazo de pirólisis pulpa de manzana es un proceso complejo que consta de varias reacciones Cuando es mayor la E_a más lenta es la reacción

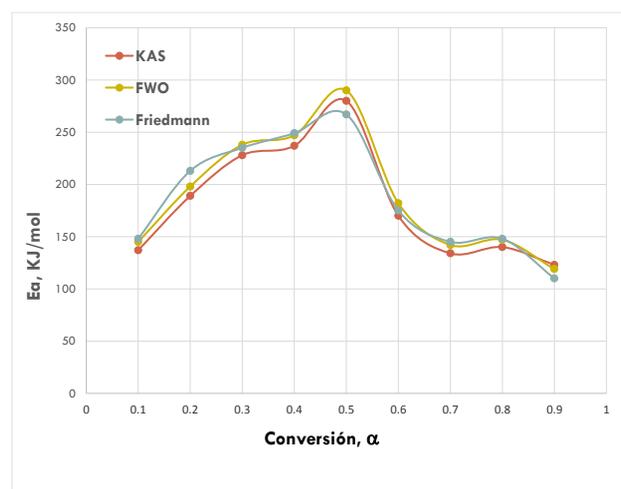


Figura 4 Valores de Energía de Activación determinado por los métodos Friedman, Flynn-Wall-Ozawa, Kissinger-Akahira-Sunose

Conclusiones

Los valores de energía de activación obtenidos en la presente investigación para los modelos aplicados están dentro del rango de valores de energía de activación de la hemicelulosa (67 a 105 kJ / mol), celulosa (210 a 240 kJ / mol) y lignina (65 a 67 kJ / mol).

La energía de activación (E_a) que se ajusta mejor a los datos experimentales fue de 213.0 kJ/mol, obtenido por el modelo FWO Huang et al., han estudiado la evolución de los valores de energía de activación como una función del grado de conversión, la búsqueda de bajos valores de E_a para pequeñas conversiones, un crecimiento de estos en las conversiones intermedias para volver a valores bajos hacia el final.

Estos autores han relacionado este comportamiento a la descomposición de las fracciones de hemicelulosa, celulosa y lignina. Puesto que, los valores de E_a obtenidos en estos rangos de conversión están cerca de los valores tabulados de los compuestos puros. Sin embargo, hay que señalar que los valores de energía de activación que se determinan para cualquier valor de conversión no deben ser considerados como los valores reales de una etapa de reacción particular, sino como un valor aparente que representa las contribuciones de numerosas reacciones paralelas y que compiten, que contribuyen a la velocidad de reacción global. Para un proceso de desvolatilización biomasa tan complejo, las contribuciones variarán con la temperatura y la conversión y muy a menudo se superponen unos a otros

Referencias

- [1] El Bassam, N. 2001. Renewable energy for rural communities. *Renew Energ* 24(3-4): 401-408
- [2] (Hong y col., 2009; Suiran y Jing, 2009).
- [3] Hong, Y., Yuan Z., Junguo, L. 2009. Land and water requirements of biofuel and implications for food supply and the environment in China. *Energ Policy* 37(5):1876-1885.
- [4] I.D.A.E.- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía. biomasa. Disponible en la web: <http://www.idae.es/index.php/idpag.233/rekategoria.1037/reلمenu.48/mod.pags/mem.detalle>
- [5] Juan A. Conesa Ferrer. Curso Básico de Análisis Térmico. Termogravimetría, cinética de reacciones y análisis térmico diferencial. Universidad de Alicante, Mayo 2000.

- [6] Juan A. Conesa, A. Domene. Biomasses pyrolysis and combustion kinetics through n-th order parallel reactions. *Thermochimica Acta*, Volume 523, Issues 1-2, Pages 176- 181, August 2011
- [7] Agustín García Barneto, José Ariza Carmona, José Enrique Martín Alfonso, Jesús Díaz Blanco. Kinetic models based in biomass components for the combustion and pyrolysis of sewage sludge and its compost. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 86, Issue 1, pp. 108-114, September 2009
- [8] Fan-fei MIN, Ming-xu ZHANG, Qing-ru CHEN. Non-isothermal Kinetics of Pyrolysis of Three Kinds of Fresh Biomass. *Journal of China University of Mining and Technology*, Volume 17, Issue 1, pp. 105-111, March 2007.
- [9] IEA – International Energy Agency. Clean Energy Progress Report. IEA input to the Clean Energy Ministerial. Disponible online en la [web: http://www.iea.org/papers/2011/CEM_Progress_Report.pdf](http://www.iea.org/papers/2011/CEM_Progress_Report.pdf).
- [10] Friedman H. Kinetics of thermal degradation of char-forming plastics from thermogravimetry. Application to a phenolic plastic. *Journal of Polymer Science Part C: Polymer Symposia*, Volume 6, Issue 1, pp. 183–195, 1964.
- [11] Ozawa T. A new method of analyzing thermogravimetric data. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 38, pp.1881–6, 1965.
- [12] Kissinger HE. Reaction kinetics in differential thermal analysis. *Analytical Chemistry*, 29, pp.1702–6, 1957.
- [13] T.Akahira and T. Sunose: *Trans. Joint Convention of Four Electrical Institutes*, paper nº 246, 1969.
- [14] AGENEX – Agencia Extrema de la Energía. Los residuos de industrias agrícolas.
- [15] Muller, M.; Bockhorn, H.; Krebs, L.; Muller, U.; *J. Anal. Appl. pyrolysis* **2003**, 68, 231.
- [16] Young, H.; Young, P.; Jinsoo, K.; Seung, S.; Seung, K.; *Bioresour. Technol.* **2009**, 100, 400
- [17] Agustín García Barneto, José Ariza Carmona, José Enrique Martín Alfonso, Jesús Díaz Blanco. Kinetic models based in biomass components for the combustion and pyrolysis of sewage sludge and its compost . *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 86, Issue 1, pp. 108-114, September 2009
- [18] Shuyuan, L.; Changtao, Y.; *Fuel Process. Technol.* 2003, 85, 51.
- [19] Suuberg, E.; *Combust. Flame* 1983, 50, 243
- [20] Teng, H.; Hsieh, C. T.; *Ind. Eng. Chem. Res.* 1999, 38, 292.
- [21] Du, Z. Y.; Sarofim, A. F.; Longwell, J. P.; *Energy Fuels* 1990, 4, 296
- [22] Alexander, G.; Wolfgang, K.; Sonia, R.; Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia, Colombia y Universidad de Kassel, Alemania, 2008.
- [23] Xiaodong, Z.; Min, X.; Rongfeng, S.; Sun, I.; *J. Eng. Gas Turbines* 2006, 128, 493.

Simulación y Optimización de Estrategias de Control para Sistemas Energéticos Renovables de Baja Potencia

Simulation and Optimization of Control Strategies for Renewable Energy Low Power Systems

URBANO-ARCILA, Paola Andrea†*, LASTRES-DANGUILLECOURT, Orlando, HERNÁNDEZ-GALVEZ, Giovanni e IBÁÑEZ-DUHARTE, Guillermo Rogelio

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables. Estudiante de doctorado en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables

ID 1^{er} Autor: Paola Andrea, Urbano-Arcila / ORC ID: 0000-0002-2321-8358, CVU CONACYT ID: 822755

ID 1^{er} Coautor: Orlando, Lastres-Danguillecourt / ORC ID: 0000-0002-7420-7173, CVU CONACYT ID: 252788

ID 2^{er} Coautor: Geovanni, Hernández-Galvez / ORC ID: 0000-0003-1500-0284, CVU CONACYT ID: 255374

ID 3^{er} Coautor: Guillermo Rogelio, Ibáñez-Duarte / ORC ID: 0000-0002-2437-1928, CVU CONACYT ID: 215574

DOI: 10.35429/JRE.2020.13.4.26.36

Recibido 03 de Junio, 2020; Aceptado 30 de Octubre, 2020

Resumen

Se presenta una metodología para la optimización de sistemas híbridos de generación de baja potencia (SHGBP) analizando el desempeño del mismo bajo diferentes estrategias de control y de esta manera reducir los costos de la generación de energía utilizando equipos existentes, variando únicamente la configuración de los ajustes de fábrica. Lo anterior se logra por medio de la utilización de herramientas de software para las simulaciones y análisis de sensibilidad. En primera instancia, se hace una descripción de las diferentes estrategias de control que han sido aplicadas a los SHGBP. En segundo lugar se desarrolla una metodología de optimización de SHGBP por medio de las estrategias de control. Como tercer y último punto, se realiza la aplicación de la metodología obtenida a un sistema en operación, donde, por medio de simulaciones, se obtienen los valores óptimos que permiten analizar la operación del sistema bajo diferentes estrategias. Los resultados muestran que una estrategia de control apropiada permite un mejor desempeño y operación de los sistemas, y por lo tanto es importante realizar un análisis operativo y de optimización a los sistemas existentes, para aprovechar de mejor manera los equipos que se tienen así como los recursos renovables disponibles.

Estrategias de control, Sistemas de energía renovable, Eólica/Solar Fotovoltaica

Abstract

A methodology for the optimization of renewable hybrid low power generation systems (RHLPS) is presented, analyzing its performance under different control strategies and thus reducing the costs of power generation using the existing equipment, and varying only the configuration of the factory settings. The above is achieved through the use of software tools for simulations and sensitivity analysis. In the first instance, a description of the different control strategies that have been applied to the RHLPSs is made. Secondly, a RHLPS optimization methodology is developed by means of control strategies. As a third and last point, the methodology is applied to a system in operation, where, through simulations, the optimal values are obtained and those allow to analyze the operation of the system under different control strategies. The results show that an appropriate control strategy allows a better performance and operation of the systems, and therefore it is important to perform an optimization and operational analysis to the existing systems, to make a better use of the equipment, as well as the available renewable resources.

Control strategies, Renewable power systems, Wind/PV

Citación: URBANO-ARCILA, Paola Andrea, LASTRES-DANGUILLECOURT, Orlando, HERNÁNDEZ-GALVEZ, Giovanni e IBÁÑEZ-DUHARTE, Guillermo Rogelio. Simulación y Optimización de Estrategias de Control para Sistemas Energéticos Renovables de Baja Potencia. Revista de Energías Renovables. 2020. 4-13: 26-36

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En aras de ofrecer mejores condiciones de vida a la población residente en zonas alejadas del tendido eléctrico nacional, se hace necesario investigar y desarrollar tecnologías de aprovechamiento de las energías renovables para explotar los recursos disponibles en dichas regiones. Los sistemas de electrificación basados en fuentes de energía renovables han demostrado ser adecuados para proveer de energía a comunidades aisladas de forma autónoma. En concreto, las tecnologías eólica y solar son una de las opciones técnicas posibles (Ponce, García, Ñeco & Valenzuela, 2014).

Los sistemas renovables de baja potencia (10 a 100 kW) se presentan como una alternativa prometedora para subsanar esta falencia, entre los cuales sobresalen los sistemas híbridos de generación de energía (SHGE), los cuales tienen la ventaja de proveer energía a partir de dos o más fuentes renovables, de manera tal que si una de ellas no se encuentra disponible (e. g. la energía solar en las noches) la otra puede suplir la demanda eléctrica existente, como por ejemplo, los sistemas eólicos/fotovoltaicos (E/PV). Además de los dispositivos de transformación de la energía a partir de fuentes renovables, a energía eléctrica, los sistemas híbridos cuentan además con un sistema de almacenamiento, que generalmente se compone de un banco de baterías; y de un sistema de generación de respaldo, como puede ser un generador a diésel (Olatomiwa, Mekhilef, Ismail & Moghavvemi, 2016).

Las estrategias de control y despacho de energía, son un conjunto de reglas que controlan la operación de los generadores eléctricos y de los bancos de baterías dentro de los sistemas híbridos, siempre que las energías renovables sean insuficientes para satisfacer la demanda (Lambert, Gilman & Lilienthal, 2006). Para obtener un mejor aprovechamiento de los SHGE se plantea desarrollar una metodología que permita el análisis operativo del mismo, así como la optimización de los parámetros correspondientes a la estrategia de control, por medio de software de optimización y análisis de sensibilidad sobre dichas variables, con el fin de obtener mayor participación de las energías renovables, reduciendo el consumo de combustibles fósiles y conservando la vida útil de las baterías, empleando los equipos existentes.

La figura 1 muestra el esquema de un sistema híbrido de energías renovables, que suministra la demanda energética de los laboratorios de energía eólica y solar en el campus Tehuantepec de la UNISTMO; donde se puede identificar los diferentes elementos que lo componen, tales como los dispositivos de conversión de energía (panel solar y aerogenerador), el sistema de almacenamiento (banco de baterías), sistema de regulación y adecuación de energía (inversor/rectificador), sistema de respaldo (red eléctrica o motor a diésel) y la demanda energética a suplir. Las flechas claras indican que la corriente eléctrica que circula es en corriente alterna (Inversor a red, por ejemplo); y las flechas oscuras indican corriente directa (Módulo fotovoltaico a baterías).

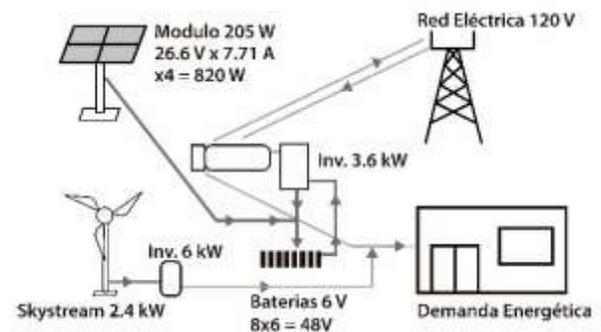


Figura 1 Esquema del sistema híbrido UNISTMO-Tehuantepec

Fuente: Elaboración Propia

A partir de este punto, se encuentran las siguientes secciones: Estrategias de control, donde se explican las estrategias de control existentes en los sistemas convencionales de control de SHGE; Antecedentes, donde se establece el estado del arte de las estrategias de control y se presentan estudios relacionados con la simulación y optimización de SHGE, para los cuales se ha tenido en cuenta el análisis de las estrategias de control; Metodología, donde se explica el marco metodológico de la presente investigación por medio de un diagrama de bloques y la descripción de cómo se obtuvo;

Aplicación de la metodología, donde se presenta un caso de estudio para demostrar la aplicabilidad de la misma. Posteriormente se encuentra la sección de resultados, donde se exponen los resultados de la simulación. En la sección de análisis de sensibilidad, se presenta el proceso de optimización y análisis de sensibilidad sobre el set point (SP) del estado de carga (SOC, state of charge) del banco de baterías.

Finalmente, se desarrolla el análisis comparativo entre las simulaciones antes y después de la optimización; y las conclusiones de la investigación realizada.

Dentro de los diferentes paquetes de software de simulación y optimización de sistemas híbridos que se encuentran en el mercado, sobresale por su popularidad y porque en un principio fue de uso libre, el programa HOMER (Hybrid Optimization Modeling). Las estrategias empleadas por HOMER para la simulación de SHGE son: Seguimiento de la demanda energética y seguimiento del ciclo de carga de las baterías.

Además, para sistemas cuyo sistema de respaldo es un motor a diésel o gasolina, se cuenta con una combinación de ambas estrategias, donde el uso de una u otra, va determinado por los valores críticos de carga (L_c) y descarga (L_d) del banco de baterías. La estrategia óptima entre ellas depende de muchos factores, incluyendo los tamaños de los generadores y del banco de baterías, el precio del combustible, los costos de operación y mantenimiento, la cantidad de fuentes renovables en el sistema y el carácter de los recursos renovables. El modelador puede seleccionar ambas estrategias, ante lo cual HOMER simula cada alternativa del sistema, usando una por una las estrategias seleccionadas y luego se puede ver cuál es la óptima (Hernández, 2011).

Bajo la estrategia seguimiento de la demanda, las baterías sólo son cargadas por los recursos renovables y nunca por el sistema de respaldo. Si las baterías pueden suministrar la demanda que no cubren las energías renovables, el sistema de respaldo permanecerá apagado (fuera de línea). Cuando las baterías no pueden suministrar la energía que no cubren las fuentes renovables, es el sistema de respaldo que la suministra. Esta estrategia tiende a ser la óptima en sistemas con alta participación renovable.

Bajo la estrategia ciclo de carga, mientras las baterías puedan suministrar la demanda no cubierta por las fuentes renovables, el sistema de respaldo permanecerá apagado (o fuera de línea). Cuando las baterías no pueden suministrar la energía no cubierta por las fuentes renovables, el sistema de respaldo funciona a la potencia nominal, supliendo el faltante de la demanda y cargando las baterías con el resto de energía.

Los excesos de energía son dirigidos hacia los objetivos de menor prioridad, en el siguiente orden de prioridad decreciente: carga diferible o secundaria, cargar el banco de baterías, y finalmente electrolizador si es que el sistema cuenta con uno.

En esta estrategia, se puede establecer un *Setpoint* o punto de ajuste (SP, entre 0 y 100%) para el estado de carga de las baterías (SOC, por sus siglas en inglés), de tal forma que si las baterías están por debajo del mismo y el sistema de respaldo ha estado funcionando la hora anterior, éste cargará las baterías hasta que alcancen el SP.

Desde finales de la década de los 90s se han encontrado investigaciones relacionadas con los sistemas híbridos de generación de energía, las estrategias de control que los rigen y la influencia que ejercen en los desempeño.

Dufo-López y Bernal-Agustín (2008), desarrollaron una metodología para el diseño y optimización de sistemas híbridos usando algoritmos evolutivos multi-objetivo (MOEA, por sus siglas en inglés), tomando la estrategia de control como una de las variables a optimizar. Desarrollaron un software para diseño y optimización multi-objetivo de nuevos sistemas híbridos, para diferentes aplicaciones de sistemas aislados (de la Cruz Fernández, 2020) o interconectados a la red eléctrica.

Hernández, Probst, Lastres, Núñez, Juantorena, Andrade Durán & Sebastian, (2012), trabajaron en el diseño integrado de un sistema de generación de energía eólico/hidrógeno/celdas de combustible. Tomando en cuenta, entre las variables y restricciones, la componente ambiental para evaluar la mejor configuración del sistema, aplicando metodologías de análisis multicriterio para el cumplimiento de los objetivos de diseño, por medio de una evaluación del ciclo de vida del sistema.

De esta manera, no solamente se tiene en cuenta la componente técnico-económica, sino también la componente ambiental, encaminando la nueva tendencia de diseño de los SHGE hacia la sustentabilidad. Chong, Wong, Kumar, Kumar & Isa, (2016), presentan una investigación documental sobre el sistema de almacenamiento de energía y las estrategias de control aplicadas a los SHGE.

Enumeran diferentes estrategias de control tanto las clásicas como las computacionales y enfatizan en la importancia de seleccionar y configurar adecuadamente la estrategia de control, ya que el control óptimo de los SHGE puede mejorar el desempeño y la viabilidad económica del sistema global. Los principales objetivos de las estrategias de control son:

1. Prevenir que el banco de baterías realice descargas profundas.
 2. Reducir el pico de la demanda energética, los ciclos de carga y descarga, y el nivel de estrés dinámico de las baterías.
 3. Minimizar el costo operacional del sistema.
 4. Mantener estable el voltaje DC.
 5. Regular la frecuencia.
 6. Reducir la posibilidad de cortes energéticos (LPSP, por sus siglas en inglés)
 7. Reducir el costo de operación y mantenimiento (O&M).
 8. Mejorar la eficiencia del sistema.
- Olatomiwa et. Al. (2016), Presenta una revisión de diversas investigaciones a través de diferentes configuraciones de sistemas híbridos aislados y conectados a la red para asegurar y finalmente concluir que la estrategia de administración de la energía que opera bien y puede ser adoptada para ciertos sistemas energéticos, puede no ser la mejor para otras configuraciones.
- Según lo anterior, cada sistema debe ser evaluado de manera individual, y es necesario desarrollar una metodología que pueda ser ampliamente aplicada para este análisis. Según lo anterior, se pretende entonces obtener una metodología para evaluar las estrategias de control y despacho de energía en un sistema híbrido eólico/fotovoltaico, para maximizar la extracción de energía. Caso de estudio ubicado en el Istmo de Tehuantepec.
- Metodología**
- Durante el presente proyecto se obtuvo la metodología que se muestra en la figura 2, para la optimización de SHGE existentes y en operación. Las etapas del proyecto inician con:
1. Identificación de los componentes del sistema híbrido, tales como las tecnologías de transformación energética (panel solar, aerogenerador), el sistema de almacenamiento (banco de baterías), el sistema de respaldo (la red) y la demanda que se suministra.
 2. La consecución de toda la información referente al sistema instalado (fichas técnicas y manuales).
 3. Las bases de datos de la estación solar, anemométrica, o meteorológica, más cercana al sistema instalado, para estimar los perfiles anuales de demanda energética y de los recursos eólico y solar disponibles.
 4. Tomar los datos de la configuración inicial del shge, tales como valores máximos, mínimos, cortes y sp en general.
 5. verificar que los datos meteorológicos, de consumo energético, y de comportamiento del sistema estén guardando los registros con el fin de evaluar el comportamiento del sistema antes y después de la optimización.
 6. establecer una analogía entre los parámetros modificables en el simulador y los parámetros modificables en la configuración del sistema real.
 7. obtener la simulación del comportamiento actual del sistema, a partir de los parámetros iniciales y las bases de datos de años anteriores.
 8. análisis de sensibilidad en torno a la o las variables que permitan modificar el despacho de energía en el sistema híbrido, y su optimización.
 9. obtener el valor de la variable evaluada, que mejore el desempeño energético del sistema e ingresar esta información en la configuración del sistema real.
 10. observar el comportamiento del sistema real después de modificar los valores de optimización encontrados por medio del análisis de sensibilidad. Presentar los resultados al administrador del sistema con el fin de conservar esta nueva configuración o regresar a los valores iniciales.

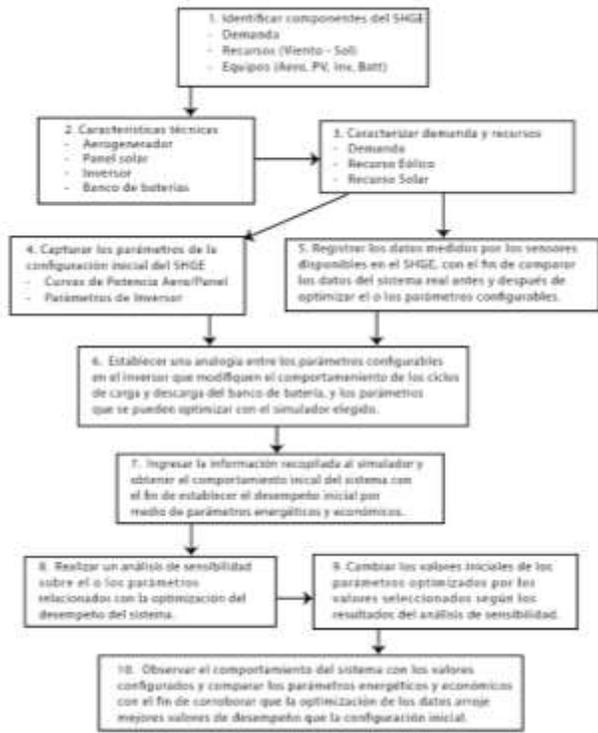


Figura 2 Esquema de la metodología para la optimización de SHGE existentes y en operación
Fuente: Elaboración Propia

La metodología anterior se obtuvo siguiendo los siguientes pasos:

1. Estudiar los componentes de los sistemas híbridos eólico/fotovoltaico.
2. Explicar el funcionamiento de un sistema eólico/fotovoltaico y de las estrategias de control y despacho que se pueden configurar.
3. Establecer una metodología para mejorar el desempeño de los sistemas híbridos eólico-fotovoltaico.
4. Probar la metodología desarrollada para mejorar el desempeño de un sistema híbrido real.

Aplicación de la metodología

La metodología desarrollada se aplicó a un sistema existente y en operación, ubicado en inmediaciones de la Universidad del Istmo, campus Tehuantepec; región caracterizada por la abundancia de recurso eólico y solar, por tanto, es un escenario adecuado para la evaluación de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico.

En primera instancia, se procede a identificar los componentes del SHGE, que en este caso, son la demanda energética, el recurso eólico, el recurso solar y los equipos.

Luego se procede a identificar los componentes del sistema híbrido que se quiere optimizar. En este caso, el sistema se compone de 4 paneles solares y un aerogenerador como fuentes de energía, un banco de baterías como sistema de almacenamiento, dos inversores para el tratamiento y adecuación de la energía entre los buses de corriente directa y alterna; y la red eléctrica que hará las veces de sistema de respaldo. Al ingresarlo al simulador se presenta como se muestra en la figura 3.

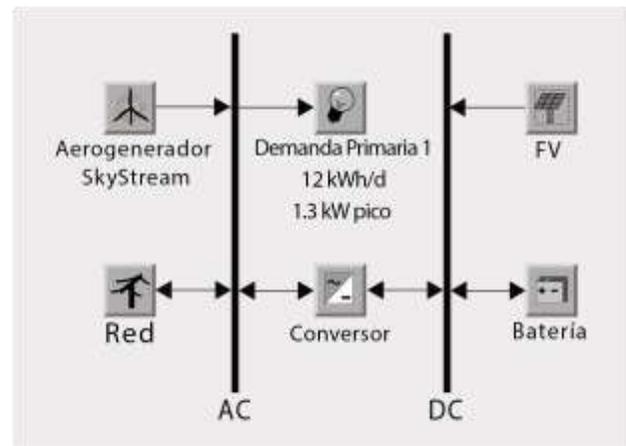


Figura 3 Esquema del SHGE de la UNISTMO en el simulador. HOMER

El segundo paso es obtener las características técnicas de los equipos que componen el sistema, tales como panel solar, aerogenerador, banco de baterías, inversores y la red eléctrica como sistema de respaldo. A partir del manual de cada equipo, así como de la información disponible en laboratorios, se obtiene la información necesaria para la simulación, la cual se enlista en la tabla 1:

Equipos del sistema	Costo (USD)	O&M (USD)	Reemplazo (USD)	Vida útil (años)
Aerogenerador 2400 W	\$10.496	\$420	\$10.496	15
Panel Solar 820 W	\$12.657	\$506	\$12.657	20
Banco de baterías 48 V	\$15.792	\$632	\$15.792	12
Convertidor 3600 W	\$5.312	\$212	\$5.312	12

Tabla 1 Equipos y características técnicas del SHGE. Sistema de generación UNISTMO

El tercer paso es caracterizar la demanda energética así como los recursos renovables que utiliza el SHGE, identificados en el paso 1.

La demanda energética del sistema híbrido se obtiene a partir de una base de datos anual. La serie de datos de la demanda energética contiene el consumo de energía eléctrica promedio por hora, en un lapso de un año. Para poder conocer el comportamiento de la carga en las diversas etapas del año, en este caso particular, se tomaron medidas del consumo energético en la línea que alimenta los laboratorios de energía eólica y solar de la Universidad del Istmo Campus Tehuantepec, utilizando un analizador de calidad de energía marca FLUKE 435.

Los datos se tomaron de jueves a martes en época laboral. A pesar de tratarse de un periodo de medición corto, este es representativo, ya que se alcanzan a observar los dos diferentes tipos de demanda diarias: 1. días laborales, 2. fines de semana y vacaciones. El día miércoles se consideró como día laboral y los datos del perfil diario resultan del promedio de los días martes y jueves. De esta manera puede construirse una base de datos anual teniendo en cuenta lunes a viernes como días laborales entre semana y fines de semana como fines de semana laborales, festivos y vacaciones.

El perfil diario de la demanda energética para los días laborales se presenta a continuación en el gráfico 1:

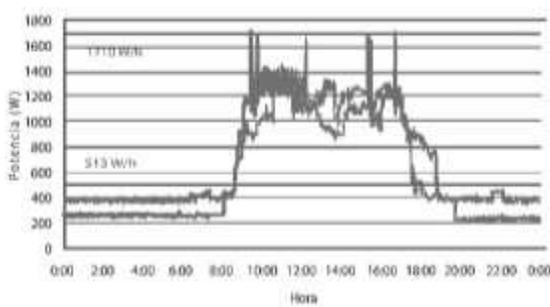


Gráfico 1 Perfiles diarios de la demanda energética en días laborales. *Mediciones sistema UNISTMO*

La demanda promedio anual que se obtiene al ingresar la base de datos anual al HOMER es de 12.3 kWh/día, una potencia promedio de consumo de 513 W y una potencia pico de 1.3 kW. Gráficamente se expresa con un perfil diario (Gráfico 2) y una gráfica monocromática anual (Gráfico 3):

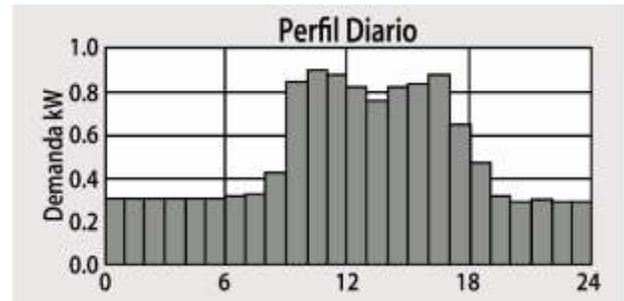


Gráfico 2 Perfil de demanda energética. *HOMER*

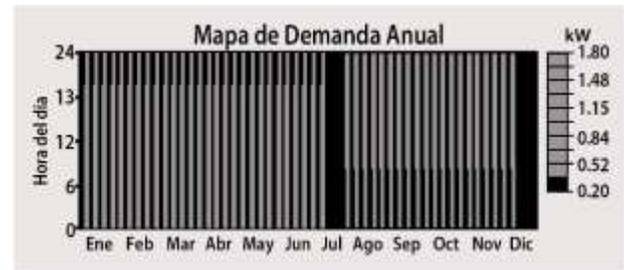


Gráfico 3 Perfil de demanda energética anual. *HOMER*

La potencia nominal del sistema híbrido es de 2.6 kW (como se verá más adelante), por tanto la demanda energética sí puede cubrirse con la energía generada a partir de las fuentes renovables.

Los datos necesarios para la evaluación de los recursos renovables mencionados, son medidos a lo largo de un año por medio de una estación anemométrica ubicada a unos 10 metros del sistema híbrido. Estos son registrados cada minuto y almacenados en un servidor. En el gráfico 4 se presenta la velocidad del viento y en el gráfico 5 la irradiancia solar a lo largo del año, como parámetros para evaluar el recurso eólico y solar, respectivamente. La velocidad promedio anual en el emplazamiento es 3.34 m/s que se clasifica como pobre, pero extrapolando a una altura de 40 m, la velocidad media es de 4.5 m/s, lo cual se acerca a la siguiente clase de potencia de viento (Elliott, Schwartz, Scott, Haymes, Heimiller, George, 2004).



Gráfico 4 Ventana del recurso eólico en el emplazamiento. *HOMER*

En este caso la estación anemométrica se encuentra en inmediaciones de un terreno con edificaciones y arboles altos, condición que impacta negativamente en las mediciones de la velocidad del viento. Sin embargo, el sistema híbrido puede generar energía suficiente para cubrir la demanda energética asignada.

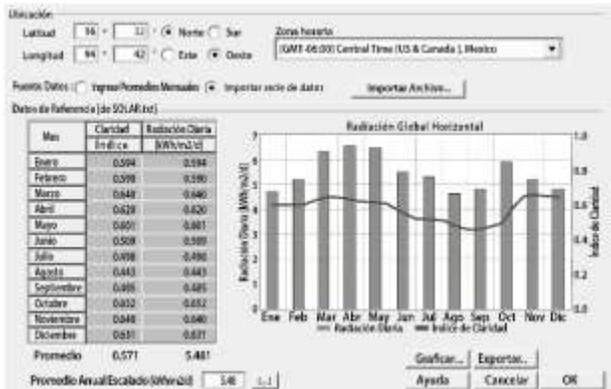


Gráfico 5. Ventana del recurso solar en el emplazamiento. HOMER

México cuenta con una radiación diaria promedio de 5.3 kWh/m² (Hernández Cruz, 2012). El recurso solar existente en el emplazamiento es de 5.48 kWh/m². Lo anterior indica que es un recurso altamente aprovechable. El paso cuatro indica capturar los parámetros inicialmente configurados en el inversor. Se presentan en la tabla 2:

No	Variable	Inicial (V)	SOC%	Fábrica (V)	SOC%
1	ABSORB FX/BATT	57,6	100,00328	57,6	100,0033
2	ABSORB FX/CHAR	57,6	100,00328	57,6	100,0033
3	FLOAT FX/BATT	53,2	71,79796	53,6	74,3621
4	FLOAT CC/SETP	54,4	79,49032	54,4	79,4903
5	SELL RE-VOLTS	52	64,1056	47,2	33,33616
6	REFLOAT FX/CHR	50	51,285	50	51,285
7	REFLOAT FX/BATT	50	51,285	50	51,285
8	LOW BATTERY CUT-IN	50	51,285	50	51,285
9	LOW BATTERY CUT-OUT	42	0,0026	42	0,0026
10	HBXDGSP	39	-19,2283	39	-19,2283
11	HBXUGSP	36	-38,4592	36	-38,4592

Tabla 2 Parámetros inicialmente configurados en el MATE para el SHGE. Sistema de generación UNISTMO.

Éstos pueden ser modificados a través de un dispositivo denominado MATE (compañero en inglés) por el fabricante, el cual se compone de una pantalla, 2 teclas rígidas y 4 teclas blancas que permiten navegar por los diferentes menús de configuración y cambiar los parámetros que gobiernan el comportamiento del SHGE. Es allí donde se realiza la configuración de diferentes parámetros que, no son en sí estrategias de control y despacho de energía. Sin embargo, “el usuario puede maximizar el aprovechamiento de la energía renovable y minimizar el suministro desde la red a través del uso cuidadoso de los parámetros y modos de operación”. (Manual del usuario Outback-MATE, 2008), (Palacios, 2020).

El quinto paso es identificar y almacenar los datos medidos por los sensores disponibles en el SHGE. El MATE se encuentra conectado al inversor, que a su vez está conectado a una estación de operación (PC) donde se tiene instalado el software de adquisición y registro de datos de las variables medidas, WattPlot®, los cuales se almacenan en archivos de formato *.txt. El documento “MATE Serial Communications Guide”, suministrado por el fabricante, indica cual es la manera de interpretar la base de datos generada. Algunas de las variables de interés son:

- Corriente del cargador - Corriente del PV
- Voltaje de entrada del PV -kWH diarios
- Voltaje de la batería - AH diarios
- Corriente del inversor- Corriente cargador
- Corriente comprada - V. AC de entrada
- Voltaje AC de salida - Corriente vendida
- Modo de operación del inversor

El sexto paso es establecer una analogía entre las estrategias de control disponibles en el software de simulación y las opciones configurables en el inversor que sean similares a las del simulador. Se presenta la siguiente analogía para sistemas aislados:

– Seguimiento de la demanda/HBX

Cuando entra en operación el sistema de respaldo, cubre la demanda energética y no carga el banco de baterías a no ser que el voltaje sea menor que el límite inferior de protección o corte por bajo voltaje.

El modo de intercambio alto de baterías o *high battery exchange* (HBX), permite el control sobre el uso de la energía suministrada por la red eléctrica según los SP del voltaje y tiempo para las baterías, determinados por el usuario y de esta manera maximizar el aprovechamiento de la energía renovable, minimizando el consumo de energía de la red o combustibles. Este modo de operación es usado principalmente en SHGE que tienen suficiente generación de energía renovable para cubrir la totalidad de la demanda la mayor parte del tiempo.

– Ciclo de carga/ DROP Mode

El sistema de respaldo opera para satisfacer la demanda que no se alcanza a cubrir con la energía generada a partir de las fuentes renovables y además, carga las baterías hasta su SP de SOC o voltaje de Flotación.

El modo de operación DROP desconecta el inversor de la entrada del sistema de respaldo pero permite que se vuelva a conectar si el voltaje de baterías alcanza el valor de “corte por batería baja” o si el inversor se sobrecarga. Las baterías solo se cargarán con la red (o sistema de respaldo) cuando el SOC sea del 0% marcado por el valor del “corte por batería baja”, y reanudará la entrega de energía a la demanda al superar el valor de voltaje de reconexión. La manera de incorporar el SP para el SOC sería activando el modo flotante, y de esta manera ingresar el valor del SP en la variable VRefloat o voltaje de refloatación.

Resultados de la simulación

A partir de los datos ingresados al simulador se obtienen los siguientes resultados, que permiten analizar el desempeño y modo de operación del sistema real, para tener una base de comparación con el desempeño que tendrá el sistema cuando opere según los parámetros optimizados por medio del análisis de sensibilidad.

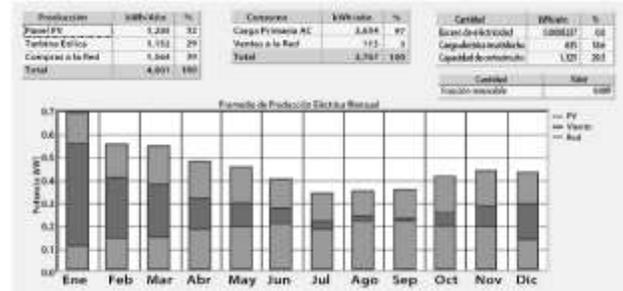


Gráfico 6 Resultados de la simulación. HOMER

En el primer cuadro del gráfico 6 se puede observar la cantidad de energía aportada por cada fuente de energía: Arreglo de módulos fotovoltaicos (32%), Aerogenerador (20%) y la red como sistema de respaldo (50%). En la segunda tabla de la misma figura, se observa que se consume el 97% de toda la energía y el 3% es vendido a la red, lo que en un sistema aislado serían pérdidas por energía en exceso. En el tercer cuadro se puede ver un exceso de energía del 0%, el porcentaje de energía no servida del 18%, la capacidad de corto del 29.5% Y finalmente una fracción renovable del 60.9%.

La gráfica de barras de la figura 8 indica que la energía solar generada (sombreado claro superior) es similar a lo largo del año. La energía eólica (sombreado oscuro) es proporcional a la variación anual de los vientos, y la energía requerida de la red (sombreado claro inferior) guarda una relación inversa con la generación de energía eólica, ya que compensa la ausencia de este recurso en los meses de bajas velocidades del viento.

Análisis de sensibilidad

A partir de los datos ingresados al HOMER podemos analizar el desempeño del sistema según los resultados arrojados para la configuración inicial y realizar el análisis de sensibilidad sobre el SP del SOC (gráfico 7), y sobre las estrategias de control (Figura 4).

NOTA: Para el análisis en adelante se omite el aerogenerador ya que este se encontraba fuera de línea durante las pruebas iniciales y posteriores a la optimización.

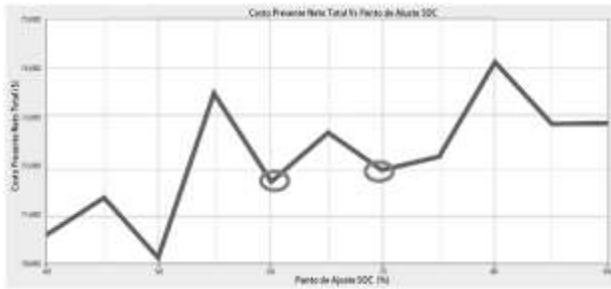


Gráfico 7 Análisis de sensibilidad sobre el SP del SOC. HOMER

La fig. 9 muestra tres puntos críticos mínimos de interés para el análisis: 50, 60 y 70%. El 50% presenta el menor costo neto presente (NPC por sus siglas en inglés), pero no se toma en cuenta ya que no es conveniente tener la batería con una carga baja. Se elige el SP del 60% con NPC menor que el dado para el SP del 70% y un valor similar para los costos de operación del sistema de respaldo.

FV (kW)	Gen 1 (kW)	SoCS2SP	Conv. (kW)	Disp. (MWh)	Capital Inicial	Capital Inicial	Total NPC	COE (\$/kWh)
0.82	3	8	3.6	CC	\$33,286	\$33,286	\$81,150	1.576
0.82	3	8	3.6	LF	\$33,286	\$33,286	\$98,124	1.906
0.82	3	3.6	CC	\$28,286	\$28,286	\$72,343	2.369	

Figura 4 Análisis de sensibilidad sobre la estrategia de control. HOMER

Según la figura 4 el costo anual de producción de energía, el costo neto de producción NPC y el costo de la energía COE, son menores con la estrategia CC, mientras que la fracción de energía renovable es mayor con la estrategia LF.

FV (kW)	SoCS2SP	Conv. (kW)	Est. (MWh)	Red. (kW)	Capital Inicial	Costo Operación (\$/Año)	NPC Total
0.82	8	3.6	CC	0.348	33,278	1,893	54,993
0.82	8	3.6	CC	0.349	33,278	1,892	54,984

Figura 5 Comparación del SP inicial con el final bajo la misma estrategia de control. HOMER

Podemos concluir que el sistema tendrá un mejor desempeño energético si se emplea la estrategia CC y un SP del 60%, ya que el NPC es 0.02% menor que en el estado inicial cuando se tenía el SP de 71% y la estrategia CC, como se muestra en la figura 5.

Análisis comparativo

Para implementar la estrategia de control y el valor óptimo de SP encontrado, se puso a prueba el sistema durante una semana en la cual operó con el modo flotante OFF y el modo de operación de red DROP, con un SP de 51.4 V, equivalente al 60% del SOC.

Esto con el fin de tener el sistema operando como un sistema aislado sin conexión a la red eléctrica, usando la red eléctrica como sistema de respaldo para fines académicos y de protección a los equipos. Los resultados se presentan en la tabla 3 y en el gráfico 8.

Criterio	Unidad	Inicial	Final	%cambio
Costo anual de operación	USD/año	1.893	1.892	0.05
Costo total neto presente	USD	54993	54982	0.02
Costo ponderado de la energía	USD/kWh	1309	1308	0.08
Fracción de energía renovable	%	30	32	-6.67
Energía que ingresa al banco de baterías	kWh/d	8.427	8.541	-1.35
Energía comprada a la red	kWh/d	9.408	0.023	99.76
Energía vendida a la red	kWh/d	25.899	0	100.00

Tabla 3 Comparación del desempeño antes y después de la optimización. Sistema de generación UNISTMO

Los datos que se reportan en la tabla 3, muestran los cambios que tendrían los diferentes criterios de operación del SHGE si se operara bajo los parámetros encontrados con la optimización: el costo anual de operación se reduce un 0.05%; el costo total neto presente, se reduce un 0.02%; el costo ponderado de la energía se reduce un 0.08%; la fracción de energía renovable se incrementa un 6.67%; La energía que ingresa al banco de baterías se incrementa un 1.35%, La energía comprada a la red se reduciría casi en su totalidad (99.76%) al igual que las ventas a la red. Esto último es beneficioso porque la energía que se deja de comprar a la red (alto costo) se obtiene de la que anteriormente se vendía (bajo costo).

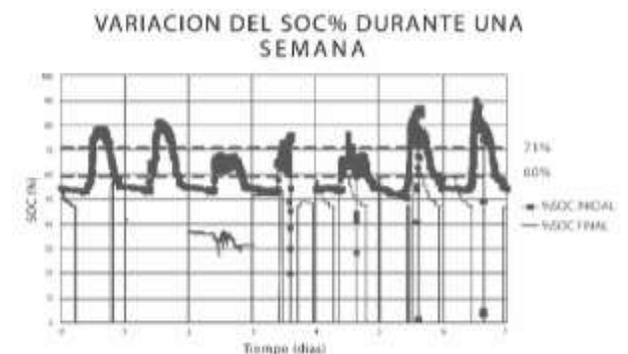


Gráfico 8 Variación del SOC durante una semana antes/después de la optimización. Sistema de generación UNISTMO

En el gráfico 8 se puede apreciar el cambio en el comportamiento del sistema entre el estado inicial (línea gruesa ■) y el estado final 60% (línea delgada —). En el estado INICIAL el SP era del 70% y los valores registrados oscilaban entre el 60 y el 70%. Sin embargo, se presentan valores de overshoot o sobre paso del SP, más evidentes cuando la demanda energética disminuye. Durante los fines de semana el consumo de energía es bajo, mientras que la generación de energía solar es la misma. Por tanto, se incrementa el estado de carga del banco de baterías. En el estado FINAL, disminuye el valor del SP al 60% (línea delgada —), y los valores de operación se encuentran la mayor parte del tiempo por debajo de este valor. Se observa que cuando el SOC alcanza el SP de 60% inicia la entrega de energía del banco de baterías a la demanda energética, debido al modo de operación DROP ya que las baterías entregan toda la energía almacenada hasta alcanzar el SP de VLBCO (Voltaje *Low Battery Cut-Out*) el cual es el voltaje que marca el límite inferior seguro para la descarga de las baterías, que en términos de SOC es del 0% y en términos de voltaje es de 42 V.

Conclusiones

Para optimizar SHGE E/PV, se deben conocer las características de los recursos disponibles y el tipo de demanda energética. Por tanto, es importante contar con el registro o modelo de las variables del sistema, durante todo un año y su posterior análisis estadístico.

En general, se logró un mejor aprovechamiento de la energía generada por el panel solar ya que se tiene disponible mayor espacio en el banco de baterías para el almacenamiento de energía solar.

Es conveniente utilizar otro tipo de herramientas de software para la simulación y optimización del SHGE con el fin de incluir otros modos de operación disponibles en el menú de configuración del MATE y aprovechar las ventajas que brindan los diferentes escenarios de operación (Armijo, 2020), (Ramos-Teodoro, 2020).

La metodología desarrollada se basa en el análisis de operación del SHGE, en el análisis de desempeño energético y en la optimización de variables económicas, mediante un algoritmo lógico que busca minimizar el costo de la energía producida, variando los parámetros de control, tales como el estado de carga de las baterías y las estrategias de control y despacho de energía.

Aplicando la metodología desarrollada, se logró establecer que la configuración del control que permite una administración adecuada de la energía, que para el sistema híbrido de estudio, es la estrategia del ciclo de carga de las baterías, con SP del 60% que equivale a 51.4 V. Este se configura en el parámetro de voltaje de flotación.

Es recomendable mantener alto el voltaje del banco de baterías porque así protege de descargas profundas que deterioran el equipo.

Todos los sistemas híbridos de generación de potencia deben tener un estudio y proceso de optimización para un mejor aprovechamiento energético de los recursos. Cada sistema es diferente según sus componentes, tipo de demanda energética y cantidad de recursos disponibles.

Se espera que el sistema opere de manera más eficiente con los parámetros optimizados ya que el costo de operación anual se redujo un 0.05%, el costo total neto presente se redujo un 0.02%, el costo de producción de energía se redujo un 0.08%, y la fracción de energía renovable se incrementó del 30 al 32%.

Referencias

Armijo Landskron, I. A. (2020). Plataforma de simulación para estudios de estabilidad en una microrred. Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Bernal-Agustín, J. M. & Lopez-Dufo, R., (2009). Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13, 2111–2118.

Chong, L. W., Wong, Y. W., Kumar Rajkumar, Rajprasad., Kumar Rajkumar, Rajpartiban, Isa, D., (2016). Hybrid energy storage systems and control strategies for stand-alone renewable energy power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 66, 174–189.

URBANO-ARCILA, Paola Andrea, LASTRES-DANGUILLECOURT, Orlando, HERNÁNDEZ-GALVEZ, Geovanni e IBÁÑEZ-DUHARTE, Guillermo Rogelio. Simulación y Optimización de Estrategias de Control para Sistemas Energéticos Renovables de Baja Potencia. *Revista de Energías Renovables*. 2020

De la Cruz Fernández, E. (2020). Diseño de un sistema eléctrico aislado utilizando el software HOMER para electrificar el caserío Santa Rosa de Tumar en el distrito de Huambos, provincia de Chota–Cajamarca.Perú.

Elliott, D., Schwartz, M., Scott G., Haymes, S., Heimiller, D., George R. (2004). Atlas de los recursos eólicos del estado de Oaxaca.

Hernández, G., Probst, O., Lastres, O., Núñez Rodríguez, A., Juantorena Ugás, A., Andrade Durán, E., Sebastian, P. J., (2012). Optimization of autonomous hybrid systems with hydrogen storage: Life cycle assessment. *Int. J. Energy Res.* 2012; 36. DOI: 10.1002/er.1830749 763.

Hernández Cruz, N., (2012). Relación entre la irradiancia solar y las zonas de marginación en México. CONAGUA. Febrero de 2012, Morelos-México.

Lambert, T., Gilman, P., and Lilienthal, P., (2006). Micropower system modeling with HOMER. En: *Integration of alternative sources of energy*. New Jersey. Wiley Interscience. John Wiley & Sons, Inc. 2006, pp. 379-418.

Olatomiwa, L., Mekhilef, S., Ismail, M. S., Moghavvemi M., (2016). Energy management strategies in hybrid renewable energy systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No 62 Pp 821–835.

Palacios Duarte, J. E. (2020). Diseño e implementación de estrategias de control para inversores de tensión trabajando en paralelo y funcionando como generadores síncronos virtuales. Cali, Colombia.

Ponce Corral, C., GarcíaVillalba, L. A., Ñeco Caberta, R., Valenzuela, R. A., (2014). Diseño de un sistema Híbrido eólico solar para suministro de energía eléctrica a zona rural en el estado de Chihuahua. *CULCyT*, año 11, No 54 Especial No 1, Septiembre - Diciembre.

Ramos-Teodoro, J., Gimenez-Miralles, A., Rodriguez-Diaz, F., & Berenguel, M. (2020). Simulación de escenarios de reparto económico en sistemas multi-energía. España.

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]

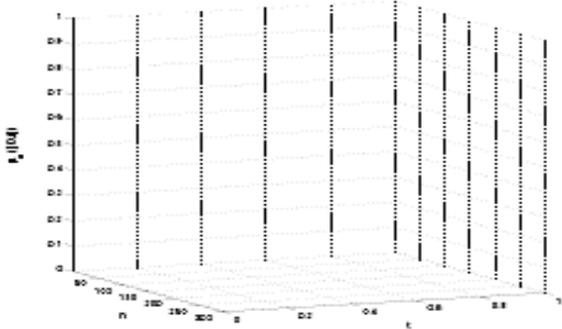


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

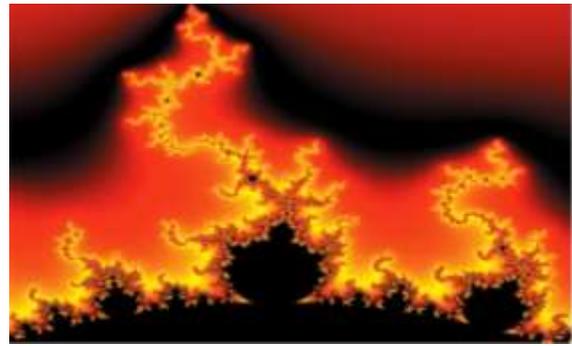


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

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 Titulo 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

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

SERRANO-PACHECO, Martha. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN® Republic of Peru), 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

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú.

Revista de Energías Renovables

“Alternativa energética sustentable mediante la utilización de aislantes térmicos de diferentes materiales en edificaciones con sistemas de aire acondicionado”

CASADOS-LÓPEZ, Edzel Jair, CASADOS-SÁNCHEZ, Alvaro, CRUZ-VICENCIO, Raúl y HORST-SÁNCHEZ, Alvaro

Universidad Veracruzana

“Análisis de las prestaciones de un motor de combustión interna alternativo usando biocombustibles: (i) aceite de soya; (ii) aceite de canola”

JIMÉNEZ-MACEDO, Víctor Daniel, VILLAGÓMEZ-GALINDO, Miguel y DE LA GARZA-DE LEÓN, Oscar Alejandro

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Universidad Autónoma de Nuevo León

“Determinación de los parámetros cinéticos de la pirolisis de la biomasa lignocelulosica”

BARAY-GUERRERO, María del Rosario, VALLES-ARAGON, María Cecilia, NEVAREZ-RODRIGUEZ, Myrna Concepción y MANJARREZ-DOMINGUEZ, Carlos Baudel

Universidad Autónoma de Chihuahua

“Simulación y Optimización de Estrategias de Control para Sistemas Energéticos Renovables de Baja Potencia”

URBANO-ARCILA, Paola Andrea, LASTRES-DANGUILLECOURT, Orlando, HERNÁNDEZ-GALVEZ, Geovanni e IBÁÑEZ-DUHARTE, Guillermo Rogelio

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

