

ISSN 2410-3934

# Revista de Energía Química y Física

Volumen 4, Número 11 — Abril — Junio -2017

**ECORFAN®**

## Indización



**ECORFAN-Bolivia**

- Google Scholar
- ResearchGate
- REBID
- Mendeley
- RENIECYT

## **ECORFAN-Bolivia**

### **Directorio**

#### **Principal**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

#### **Director Regional**

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. BsC

#### **Director de la Revista**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

#### **Diseñador de Edición**

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC.

Revista de Energía Química y Física, Volumen 4, Número 11, de Abril-Junio - 2017, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Bolivia. Loa 1179, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia. WEB: [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD, Co-Editor: IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. ISSN-2410-3934. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 30 de Junio del 2017.

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 del Derecho de Autor.

## **Consejo Editorial**

PEREZ-Y PERAZA, Jorge. PhD  
*Centre National de Recherche Scientifique, France*

GONZALEZ-ALVARADO, Juan Manuel. PhD  
*Universidad Politecnica de Madrid , Spain*

AVENDAÑO-ARRAZATE, Carlos Hugo. PhD  
*Universidad de Lerida, Spain*

MENDEZ-MEDINA, Ruben Danilo. PhD  
*University of Bristol, England*

ESCAMILLA-GARCIA, Erandi. PhD  
*University of Burgundy, France*

FERNANDEZ-PALACIN, Fernando. PhD  
*Universidad de Cadiz, Spain*

CARBAJAL-DE LA TORRE, Georgina. PhD  
*Université des Sciences de Lille 1, France*

VALENZUELA, Miguel. PhD  
*ESIQIE – IPN, Mexico*

## **Consejo Arbitral**

MVHG. PhD

*Instituto Politecnico Nacional, Mexico*

PRJF. PhD

*CINVESTAV-IPN, Mexico*

MRMA. PhD

*Escuela Nacional de Ciencias Biologicas-IPN, Mexico*

GOH. PhD

*Facultad de Quimica, UNAM, Mexico*

AMAJ. PhD

*Universidad de Carabobo, Venezuela*

LPC. BsC

*Universidad JuarezAutonoma de Tabasco, Mexico*

SMCJ. PhD

*Universidad Autonoma Benito Juarez de Oaxaca, Mexico*

MRMA. MsC

*Universidad Nacional Experimental Politecnica de la Fuerza Armada Bolivariana, Venezuela*

## Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en las áreas de: Energía Química y Física

En Pro de la Investigación, Enseñando, y Entrenando los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión del Editor en Jefe.

En el primer número es presentado el artículo *Estudio de perfiles de radiación solar de pantanos de Centla*, por PÉREZ-UC, Daniel Alejandro, PEDRERO-HERNÁNDEZ, Sandra Elena, PÉREZ-DURÁN, Marco Antonio y ZARATE, Marco Antonio, con adscripción en Instituto Tecnológico Superior de Centla, como segundo artículo está *Transferencia de tecnología hidráulica para suministro de agua a comunidades rurales de alta marginación, en el Municipio de Centla Tabasco (Ejido el Faisán)*, por PEREZ-DURAN, Marco Antonio, ZARATE, Marco Antonio, PÉREZ-UC, Daniel Alejandro y PEDRERO-HERNÁNDEZ, Sandra Elena con adscripción en Instituto Tecnológico Superior de Centla, como tercer capítulo está *Generación de Biodiesel a partir de residuos de aceites, utilizando un reactor con PLC para la automatización del proceso*, por CARO-BECERRA, Juan Luis<sup>1</sup>, CASTELLANOS-RANGEL, libier<sup>1</sup>, ROMERO-GONZALEZ, Fernando<sup>2</sup> y RUIZ-MORALES, María Del Rosario<sup>1</sup> con adscripción en <sup>1</sup>Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara y <sup>2</sup>Centro Universitario Guadalajara y como último artículo tenemos *Diseño óptico y simulación mediante dinámica de fluidos computacional de un calentador solar de aire basado en colectores parabólicos compuestos* por VENEGAS-REYES, Eduardo, RODRÍGUEZ-MUÑOZ, Norma A., MARTÍN-DOMINGUEZ, Ignacio R. con adscripción en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C., Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C. Departamento de Ingeniería Sustentable.

## Contenido

Artículo	Pag.
<b>Estudio de perfiles de radiación solar de pantanos de Centla</b> PÉREZ-UC, Daniel Alejandro , PEDRERO-HERNÁNDEZ, Sandra Elena, PÉREZ-DURÁN, Marco Antonio y ZARATE, Marco Antonio	1-8
<b>Transferencia de tecnología hidráulica para suministro de agua a comunidades rurales de alta marginación, en el Municipio de Centla Tabasco (Ejido el Faisán)</b> PEREZ-DURAN, Marco Antonio , ZARATE, Marco Antonio, PÉREZ-UC, Daniel Alejandro y PEDRERO-HERNÁNDEZ, Sandra Elena	9-15
<b>Generación de Biodiesel a partir de residuos de aceites, utilizando un reactor con PLC para la automatización del proceso</b> CARO-BECERRA, Juan Luis, CASTELLANOS-RANGEL, libier, ROMERO-GONZALEZ, Fernando y RUIZ-MORALES, María Del Rosario	16-27
<b>Diseño óptico y simulación mediante dinámica de fluidos computacional de un calentador solar de aire basado en colectores parabólicos compuestos</b> VENEGAS-REYES, Eduardo, RODRÍGUEZ-MUÑOZ, Norma A., y MARTÍN-DOMINGUEZ, Ignacio R	28-35
<i>Instrucciones para Autores</i>	
<i>Formato de Originalidad</i>	
<i>Formato de Autorización</i>	

## Estudio de perfiles de radiación solar de pantanos de Centla

PÉREZ-UC, Daniel Alejandro †\*, PEDRERO-HERNÁNDEZ, Sandra Elena, PÉREZ-DURÁN, Marco Antonio y ZARATE, Marco Antonio

*Instituto Tecnológico Superior de Centla*

Recibido 29 Mayo, 2017; Aceptado 22 Junio, 2017

### Resumen

En el presente artículo presenta el Estudio del Perfil de la radiación solar en pantanos de Centla, con datos de la estación meteorológica TB20 de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), tomando en cuenta la altura de 12m y las condiciones de estabilidad atmosféricas, con históricos del año 2013. Estimando el perfil de radiación solar, se puede conocer los niveles máximos y promedios estacionarios, mensuales y anuales como datos diurnos. Con ello se obtiene una base de datos anual, para posteriormente comparar con años subsecuentes y poder realizar aplicaciones en energías renovables. Con los datos iniciales otorgados por Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) de 88731 puntos, se da proceso a los datos eliminando puntos muertos, ceros y vacíos quedando como datos finales 36683. Se aproxima un promedio máximo y establecer un perfil en la zona, con ayuda de software estadístico. Establecer el perfil promedio de la radiación solar por año, mese y estaciones del año, presentándolos mediante gráficas y tendencias polinomial. Finalmente se calcula la potencia emitida de radiación solar de la zona, basados con los datos obtenidos y con ello aportar información a posibles aplicaciones de diseño de inversores conectados a la red.

**Radiacion solar, Radiación Maxima, Perfi diurno**

### Abstract

TitleThis article presents the profile study of solar radiation in the Centla swamps, with data from the meteorological TB20 station of the national water Commission (CONAGUA), taking into account the height of 12 m and atmospheric stability conditions, with historical of the year 2013 Estimating the solar radiation profile, you can learn maximum and stationary levels, monthly and annual averages as daytime data. This gets an annual database, to compare later with subsequent years and to make applications in renewable energy. With the initial data provided by Mexican Institute of water technology (IMTA) of 88731 points, process is given to data by eliminating dead spots, zeros and empty, having 36683 as final data. Approaching a maximum average and set up a profile in the area, with the help of statistical software. Establish the average profile of solar radiation per year, months and seasons of the year, by presenting them through graphs and polynomial trends. Finally estimate the emitted power of solar radiation in the area, based with the data obtained and thus provide information to possible design applications of inverters connected to the network.

**Solar radiation, radiation maximum, profile**

**Citación:** PÉREZ-UC, Daniel alejandro, PEDRERO-HERNÁNDEZ, Sandra Elena, PÉREZ-DURÁN, Marco Antonio y ZARATE, Marco Antonio. Estudio de perfiles de radiación solar de pantanos de Centla. Revista de Energía Química y Física. 2017. 4-11:1-8

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: daniel\_perezuc@cenidet.edu.mx,)

†Investigador contribuyendo como primer autor

## Introducción

En el Municipio de Centla, Tabasco no cuenta con un estudio de datos de las estaciones meteorológicas, para perfiles de radiación solar, el cual nos proporcione ayuda a la toma de decisión con respecto a la selección de los equipos de un Sistema de Energía Solar en dicha zona, así como para estudios de potencias ponderadas u otras variables.

Cabe considerar, como resultados de la base de datos y el comportamiento de las gráficas de la radiación promedio y máxima de los 365 días del año 2013, se obtendrá tendremos un perfil de la radiación solar, para cada mes, por estaciones y anual.

También se considera como una necesidad el contar con una herramienta estandarizada para este estudio. Por lo que se utilizó el programa Excel realizar los cálculos, parametrización y graficar las tendencias de los 88731 puntos que fueron proporcionados de la estación TB20. Aprovechando y considerando aceptable los resultados se busca aportar información para posteriores estudios que impacten en la vida útil, es decir estudio de confiabilidad basado en perfiles ambientales, de equipos y dispositivos relacionados en este tipo de energía.

## Antecedentes históricos

La radiación solar promedio en México es de cinco kilowatts hora por metro cuadrado (kwh/m<sup>2</sup>), por lo que se ubica entre los cinco países con mayor potencial para explotar esta fuente de energía sustentable. (NOTIMEX, 2012). La energía solar es abundante en la mayoría del planeta y es una fuente natural e inagotable, capaz de proveer de energía eléctrica con cero o casi cero emisiones.

En su paso a través de la atmósfera, parte de la radiación solar es atenuada por dispersión y otra parte por absorción. La radiación que es dispersada por la atmósfera se conoce como radiación difusa. A la radiación que llega a la superficie de la tierra sin haber sufrido cambio en su trayectoria lineal desde el disco solar se llama radiación directa. La radiación global es la suma de la radiación difusa y la radiación directa (Miguel, 2012).

Una opción para obtener datos de radiación solar es mediante modelos, de los cuales hay una gran variedad en el mundo. Algunos utilizan la cobertura del cielo, obtenida de observaciones directas, otros utilizan imágenes satelitales y en otros casos se emplean técnicas estadísticas. Diversas instituciones y empresas han aprovechado estas ventajas y han creado bases de datos y cartografías, que en algunos casos se encuentran disponibles de manera gratuita (IIE, 2013)

La radiación solar transporta energía, que calienta la Tierra y es la fuerza impulsora que está detrás de nuestro clima y tiempo atmosférico. Aunque cerca del Ecuador la intensidad del Sol se siente con mucha más fuerza que en las regiones polares, a todos los lugares de la Tierra llega la misma cantidad total de luz cada año; los lugares próximos al Ecuador reciben 12 horas diarias de luz anuales y en los círculos polares ártico y antártico se compensan los períodos de dos semanas sin luz en invierno con períodos veraniegos de igual duración en los que la luz dura todo el día (UNAM, 2012)

De toda la radiación Solar, solo el 47% llega al planeta Tierra, de este porcentaje podemos desglosar los siguientes datos:

- 28 % es reflejada por las nubes.
- 5 % la absorben tanto nubes como polvo.
- 17 % La absorben los gases atmosféricos como el vapor de agua.

- 0.2 % la absorben las plantas.
- 21 % la absorbe la superficie terrestre.
- 26 % La absorbe el agua.

Del 47 % de la radiación Solar, que es la que llega a la Tierra, se reparte de la siguiente manera: un 40% a evaporación de agua, un 0,2% a la fotosíntesis de plantas y un 59,8% la absorben mares y océanos.

Considerando la capacidad energética del Sol, la cual perdurará durante millones de años, así como la privilegiada ubicación de México en el globo terráqueo, la cual permite que el territorio nacional destaque en el mapa mundial de territorios con mayor promedio de radiación solar anual con índices que van de los 4.4 kWh/m<sup>2</sup> por día en la zona centro, a los 6.3 kWh/m<sup>2</sup> por día en el norte del país, resulta fundamental la adopción de políticas públicas que fomenten el aprovechamiento sustentable de la energía solar en nuestro país.

La potencia de la radiación varía según diferentes aspectos como el momento del día, condiciones atmosféricas y la latitud. A estas diferencias pueden ser:

- Directa o constante solar (fuera de la atmósfera) Es cuando la radiación cae sobre cualquier superficie con un ángulo único y preciso.
- Dispersa. Esta presenta obstáculos como las nubes, que aunque no es muy alta la radiación puede ser utilizada. (SOLARTRONIC, 2003).

### Datos de la estación número 20 (TB20)

Con el manejo de la red de las estaciones automáticas del servicio meteorológico nacional (SMN), se solicitó la información del monitoreo de las variables climáticas en la estación autónoma TB20, de la dependencia de CONAGUA, instalada en la reserva de Pantanos de Centla con bajo supervisión de la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), en el estado de Tabasco, lo cual reporta a la IMTA. En la figura 1 se muestra la foto de la estación TB20. Su función principal, de esta estación, es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas para generar archivos del promedio de cada 10 minutos de todas las variables, esta información es enviada vía satélite en intervalos de 1 ó 3 horas por estación.



**Figura 1** Torre de la estación metereologica TB20

**Nota:** La hora que se utiliza para registrar los datos es el horario TUC o UTC (Tiempo Universal Coordinado) por esta razón deberá tener en consideración este factor para la correcta interpretación de los datos desplegados en esta página. El área representativa de las estaciones es de 5 Km en terreno aproximadamente en terreno plano, excepto en terreno Montañoso (EMAS, 2006).

### Sensores que integran la estación

- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Presión atmosférica
- Temperatura y humedad relativa
- Radiación solar
- Precipitación

### Procesamiento de datos en Excel para las variables meteorológicas

Los datos iniciales, recopilados en una hoja de Excell con una cantidad de 88731 celdas, conienen el registro monitoreado de 01/11/2012 al 12/31/2014 de las variables de temperatura, velocidad del viento, ráfaga, dirección radiación solar, presión y presión barométrica.

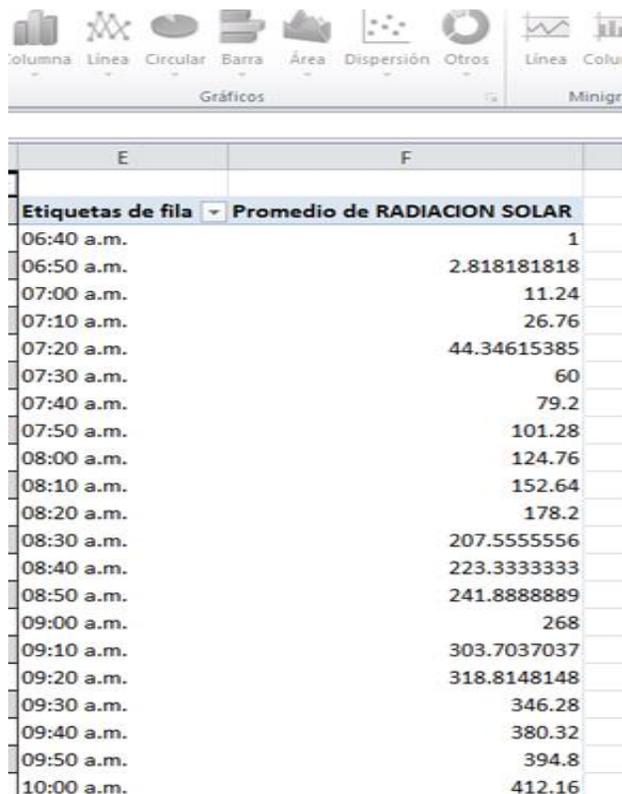
La reestructuración o filtrado de datos, consiste en la eliminación de las celdas vacías, los datos nulos y valores pequeños producidos por datos nocturnos, al realizar este proceso solo quedan 36683 celdas con la información considerada para este estudio de perfil de radiación solar.

Es necesario modificar los horarios para darles un formato de 24 horas, estableciendo AM y PM, esto con el fin de facilitar la interpretación grafica de loa información bajo parámetros de fechas y horas. En la tabla 2 se observa un ejemplo de la forma que de estructuro la tabla dinámica.

Para graficar el muestreo por mes, estación y año en datos diurnos, se requirió del uso de la herramienta *tabla dinámica* en Excell. Mediante la cual se procesan los datos de cada 10 minutos de las 12 horas de dia (aproximadamente de 6:10am a 6:10pm), para ser promediados en sus respectivos horarios, en la figura 3 se muestra algunos parámetros de horas & promedio de radiación solar. De esta manera se obtiene para cada mes, estación (invierno, primavera, verano y otoño) y el año en curso el perfil promedio y máximo de la radiación solar o cualquier otra variable metereologica.

	B	C	D
1	HORA	TEMPERATUR	RADIACION SOLA
2	10:20 a.m.	24.2	169
3	10:30 a.m.	24.2	157
4	10:40 a.m.	24.3	140
5	10:50 a.m.	24.4	117
6	11:00 a.m.	24.5	147
7	11:10 a.m.	24.8	154
8	11:20 a.m.	25.1	238
9	11:30 a.m.	25.5	252
10	11:40 a.m.	25.9	299
11	11:50 a.m.	26.7	660
12	12:00 p.m.	27.6	396
13	12:10 p.m.	27.5	299
14	12:20 p.m.	27.4	332
15	12:30 p.m.	27.8	711
16	12:40 p.m.	28.3	527
17	12:50 p.m.	28.4	619
18	13:00 p.m.	28.8	524
19	13:10 p.m.	28.9	379
20	13:20 p.m.	28.3	333
21	13:30 p.m.	28.3	305
22	13:40 p.m.	28.5	550
23	13:50 p.m.	29.1	434

**Tabla 2** Datos en la tabla dinamica



Mes	Rad.max.	Promedio del mes	Promedio estacionario
Enero	527.46153	305.363585	N.A
Febrero	797	456.55136	
Marzo	793.34482	460.035607	Primavera
Abril	900.71428	506.975235	475.1484
Mayo	836.93548	430.261183	
Junio	925.67857	505.508309	Verano
Julio	876.21428	462.662884	442.948995
Agosto	813.27586	449.366651	
Septiembre	743.21428	406.038859	Otoño
Octubre	788.93103	421.159091	371.242487
Noviembre	584.60714	303.723459	
Diciembre	517.55172	314.745493	Invierno
Prom. Total	758.74408	418.532643	382.23965
			417.8949

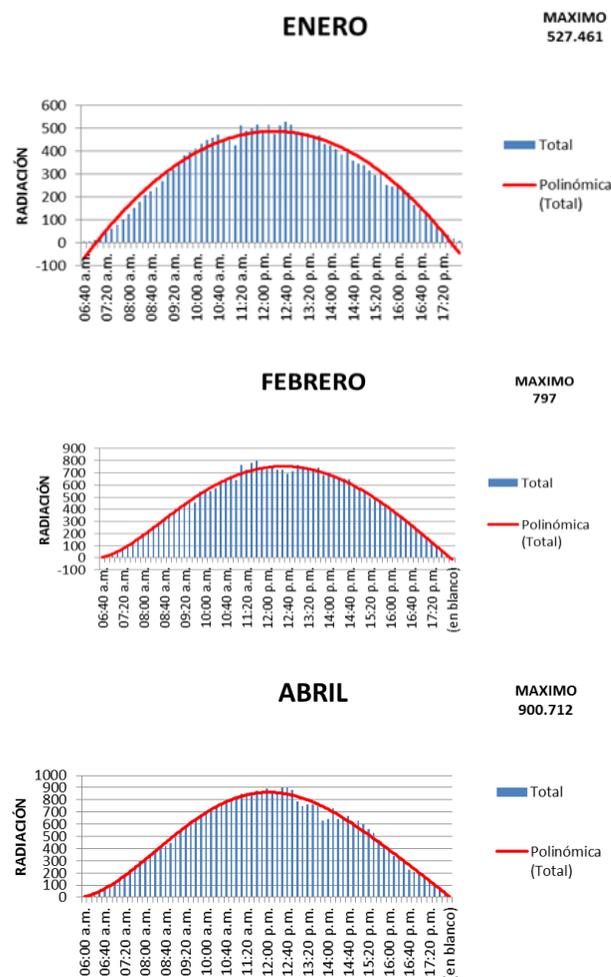
Tabla 3 Datos parametrizados de 30 días en diurno

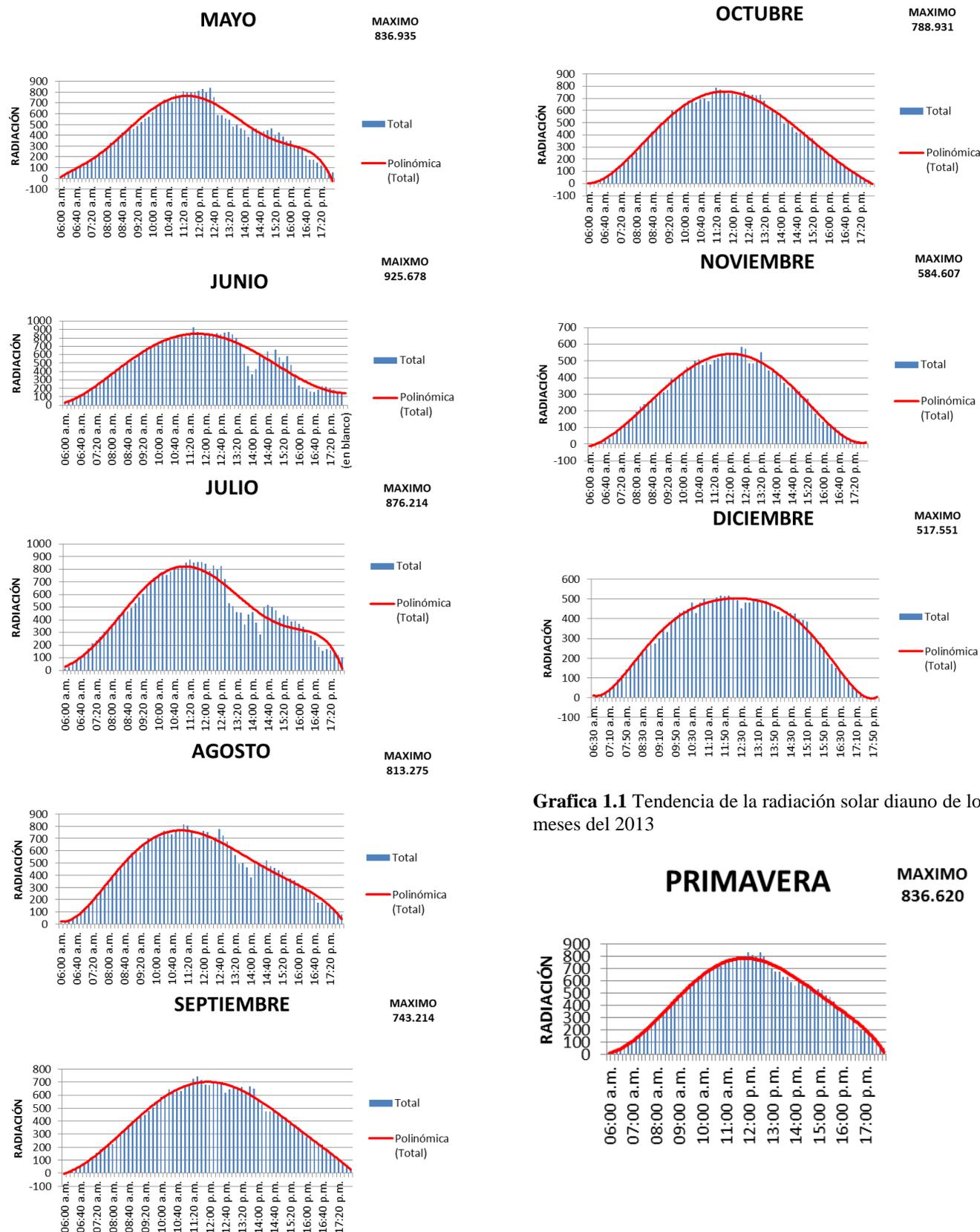
**Resultados**

La tabla 1 describe el comportamiento mensual y por estaciones de los promedios y los máximos de la radiación solar. Como se observa en los meses de abril a agosto muestran las mayores cantidades de radiación solar. Lo en estaciones representa a primavera y verano

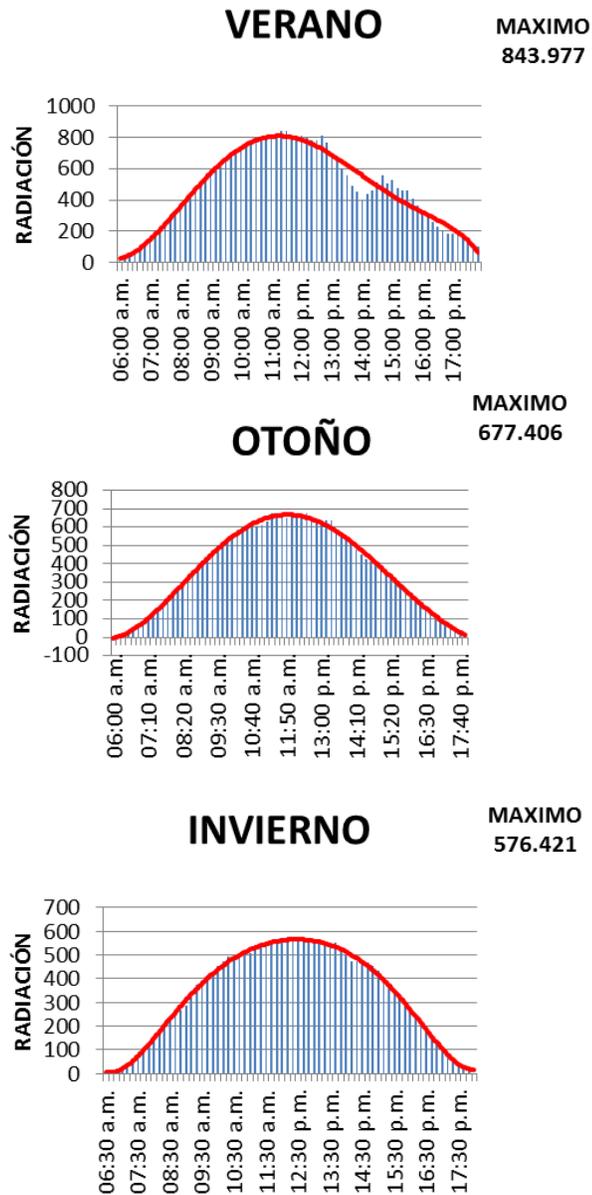
La gráfica 1 muestra la tendencia de la radiación solar de los meses del 2013. Mientra que la grafica 2 describe enfroma diurna las radiaciones por estaciones del año.

Por otra parte observamos la grafica 1.3 la cual describe el comportamiento anual de los datos en un solo día, a partir de las 6:40am hasta las 17:20pm. También se podrá observar que la radiación promedio anual del 2013 es de 418.5326.

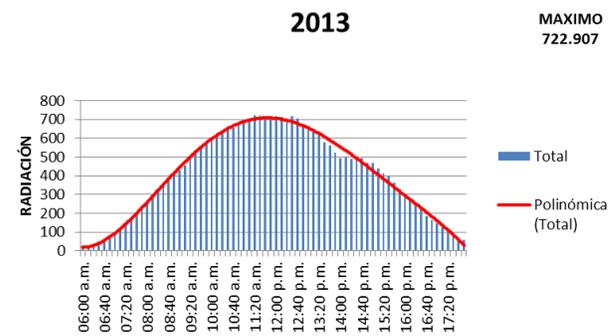




Grafica 1.1 Tendencia de la radiación solar diauno de los meses del 2013



**Gráfica 1.2** Tendencia de la radiación solar diurna de las estaciones del año 2013



**Gráfica 1.3** Tendencia de la radiación solar diurna anual 2013

### Agradecimiento

A la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) en Pantanos de Centla, por permitinos visitar y tomar datos técnicos de la estación TB20.

A la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y al Instituto Mexicano de Tratamiento del Agua (IMTA) por proporcionarnos los datos de los años 2013 y 2014 de las variables meteorológicas de la estación TB20.

### Conclusiones

De acuerdo a los datos de los perfiles promedio y máximos de la radiación solar, notamos que se cuenta un buen porcentaje de niveles de radiación de 400 a 800 w/m<sup>2</sup>, entre las horas de 10:00 a 15:00 hrs, en promedio.

Con estos datos sentamos las bases para próximos trabajo como, comparar datos de años anteriores y recientes con el fin de tener mejor información, en trabajos de eficiencia energética, potencia ponderadas, diseños de equipos para condiciones ambientales como los pantanos de Centla, estudios de confiabilidad con perfiles de misión a dispositivos electrónicos, entre otros estudios.

**Referencias**

EMAS, E. M. (2006). <http://smn.cna.gob.mx>. Recuperado el 12 de Abril de 2016, de <http://smn.cna.gob.mx/es/emas>:<http://smn.cna.gob.mx/es/emas>

IIE, I. d. (2013). *Cuantificacion de Energia Renovables en Mexico: un camino por recorrer*. Cuernavaca, Morelos: Boletin IIE.

Miguel, V. L. (2012). *INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EOLICA*. España: MARCOMBO, S.A.

NOTIMEX. (21 de Febrero de 2012). México, entre los cinco países con mayor potencial de energía solar. *CRONICA.COM.MX*, pág. <http://www.cronica.com.mx/notas/2012/639094.html>.

SOLARTRONIC. (Diciembre de 2003). <http://solartronic.com>. Recuperado el 23 de abril de 2016, de <http://solartronic.com/download/radiacion.pdf>: <http://solartronic.com/download/radiacion.pdf>

UNAM, R. d. (Marzo de 2012). <http://www.ptolomeo.unam.mx>. Recuperado el Enero de 2016, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/277/A5.pdf>: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/277/A5.pdf>

## Transferencia de tecnología hidráulica para suministro de agua a comunidades rurales de alta marginación, en el Municipio de Centla Tabasco (Ejido el Faisán)

PEREZ-DURAN, Marco Antonio †\*, ZARATE, Marco Antonio, PÉREZ-UC, Daniel Alejandro y PEDRERO-HERNÁNDEZ, Sandra Elena

*Cuerpo Académico en Formación Tecnologías y energías Al, Instituto Tecnológico Superior de Centla*

Recibido Abril 15, 2017; Aceptado Junio 23, 2017

### Resumen

El presente trabajo esta direccionado para su aplicación en el ejido El Faisán, el cual se localiza en el municipio de Centla, Tabasco, se maneja en el Ejido el Faisan el 25% de su población o más viven en pobreza extrema, su número de habitantes alcanza 206 personas, distribuidas en 47 viviendas, de las cuales 46 carecen de agua entubada, 16 de estas familias no disponen de drenaje o sanitarios, tampoco de suministro de electricidad debido a los índices de marginación. Por lo que se formuló el proyecto de diseñar y construir una bomba de ariete (hidráulica), que permita suministrar agua a esta comunidad, tomando en cuenta el consumo percapita de la población promedio recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), para la realización de la memoria de cálculo, del diseño que tendrá la bomba hidráulica y los diferentes puntos de distribución ubicados en la comunidad el Faisan, permitiendo así el abastecimiento del vital liquido a esta comunidad marginada.

**Bomba de ariete, comunidades de alta marginación, Consumo de agua percapita, Aplicaciones hidráulicas**

### Abstract

Transfer of Hydraulic Technology for Water Supply to Rural Communities of High Marginalization, in the Municipality of Centla Tabasco (County the Faisán). The present work is directed to its application in the ejido El Faisán, which is located in the municipality of Centla, Tabasco, is managed in Ejido el Faisan 25% of its population or more live in extreme poverty, its number of inhabitants Reaches 206 people, distributed in 47 homes, of which 46 lack of piped water, 16 of these families do not have drainage or sanitary, nor of electricity supply due to indices of marginalization. Therefore, the project to design and construct a water pump (hydraulic) was designed to allow water to be supplied to this community, taking into account the per capita consumption of the average population recommended by the World Health Organization (OMS), for The design of the hydraulic pump and the different points of distribution located in the Faisan community, thus allowing the supply of vital liquid to this marginalized community.

**Water pump, communities of high marginalization, percapita water consumption, hydraulic applications**

**Citación:** PEREZ-DURAN, Marco Antonio, ZARATE, Marco Antonio, PÉREZ-UC, Daniel Alejandro y PEDRERO-HERNÁNDEZ, Sandra Elena. Transferencia de tecnología hidráulica para suministro de agua a comunidades rurales de alta marginación, en el Municipio de Centla Tabasco (Ejido el Faisán). Revista de Energía Química y Física 2017.4-11:9-15.

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: marcoduran66@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor

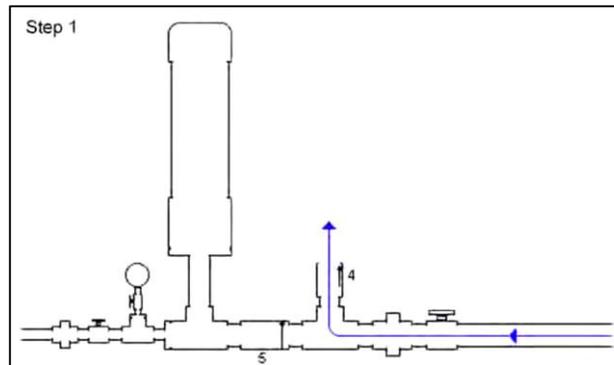
## Introducción

La bomba hidráulica (bomba de ariete) aparece alrededor del siglo XVIII, siendo sus precursores, el inglés John Whitehurst y el francés Joseh Montgolfier, siendo este ultimo el que perfecciona y patenta esta máquina en 1796. La bomba de ariete cobra entonces gran auge alrededor del mundo. (Quiñones, 2017)

Actualmente se a dejado de utilizar principalmente por los avances de la bomba centrifuga, apuntalada por la energía eléctrica, sin embargo, continúa siendo una excelente opción para suministrar agua en países en desarrollo y de acuerdo (UNAM, 2012) a consumos promedios de agua en poblaciones con alto grado de marginacion.

Las aplicaciones de la bomba de ariete están siendo consideradas nuevamente a nivel mundial, sobre todo para comunidades rurales marginadas, como es el caso del (INEGI, Octubre,2015)“Ejido El Faisan”, en el Municipio de Centla, Tabasco, caracterizándose como un equipo amigable con el medio ambiente y que no requiere de electricidad para su funcionamiento, lo que es realmente importante para aquellos lugares en los que no se cuenta con suministro de energía eléctrica.

Atraves del diseño y segun (Peña Cruz, 2015 ) construcción de esta máquina hidráulica de acuerdo a Figura 1, se pretende solucionar el problema de abasto de agua para la comunidad marginada en el Ejido el Faisan, atendiendo así a una población de 206 personas, mejorando su calidad de vida y aliniando los hechos con el Plan Nacional de Desarrollo de México.



**Figura 1** Esquema general de Bomba de ariete

Fuente:<http://www.clemson.edu/irrig/equip/ram.htm>

## Materiales y Método

Los materiales utilizados se enlistan a continuación en la Tabla 1.

Descripcion	Cantidad	Unidades
Laptop	1	Pz
Programad e diseño	1	Pz

**Tabla 1** Materiales

Fuente: *Elaboracion Propia*

## Zona de estudio

El área de influencia del Instituto Tecnológico Superior de Centla (ITSCe), y de acuerdo a (Monzalvo Licon, Arriaga Gómez, Vázquez Zúñiga, & Alcántara Téllez, 2015) en la que se pretende realizar el estudio se ubica en el municipio de Centla, en el estado de Tabasco, colinda al norte con el Golfo de México, al sur con los municipios de Macuspana y Centro, al este con el estado de Campeche y el municipio de Jonuta y al oeste con los municipios de Centro, Nacajuca, Jalpa de Méndez y Paraíso.

El presente trabajo de investigación aplicada, pretende abordar y dar solución al problema que representa la falta de distribución de agua entubada en las comunidades rurales marginadas del Municipio de Centla Tabasco (INEGI, 2010).

Con la falta de disponibilidad de agua en las comunidades rurales vienen aparejadas las carencias de energía eléctrica, servicios de drenaje, alcantarillado, entre otros servicios.

Para su estudio y aplicaciones se ha dividido en tres fases:

### Fase uno

En esta fase se identifican las necesidades según (López, Altamirano, Baume Guerrero, & Morales, 2015) de la región de acuerdo (INEGI, 2010) al Plan Nacional de Desarrollo. Se pondrán en marcha la elaboración del Protocolo de Investigación, el diseño y construcción del prototipo de bomba de ariete, las pruebas de funcionalidad y cálculos estadísticos para ajustar las capacidades. Para terminar con el estudio de R&R y la generación de artículos de divulgación científica y tecnológica, informe técnico, tesis y residencias profesionales.

### Fase dos

En esta etapa del trabajo de investigación se realizarán mejoras a la bomba, como el diseño de control e instrumentación para transformarla en una bomba híbrida, al implementarle sistemas de energía sustentables. Cerrando esta fase con la generación de artículos de divulgación científica y tecnológica, informe técnico, tesis y residencias profesionales.

### Fase tres

En este apartado será desarrollado el estudio de factibilidad, definiendo la comunidad rural marginada en la cual se realizara la aplicación y la vinculación, así como el dimensionamiento, preparación, instalación y puesta en marcha del sistema para suministrar y proveer de agua entubada a la comunidad.

El cierre de esta fase se realizara a través de la generación de artículos de divulgación científica y tecnológica, informe técnico, tesis y residencias profesionales.

El presente trabajo desarrolla la memoria de cálculo para determinar los parámetros de construcción de la bomba, que serán plasmados posteriormente en el diseño de la bomba de ariete.

### Resultados

En esta primera parte del estudio es prioritario definir la población objetivo del proyecto, así como el periodo de vigencia que tendrá el diseño de la bomba (en años), por supuesto las características propias de la bomba.

### Memoria de Cálculo

Cálculo de la población del proyecto. Es necesario estimar la tasa histórica de crecimiento poblacional en la localidad del Faisán en el Municipio de Centla Tabasco, la cual se estima en 1.975%, y el periodo de diseño en años  $p = 40$  años, utilizando la siguiente fórmula (Estolano, 2015)(1).

$$P_f = (1 + t)^p P_a \quad (1)$$

$P_f$  = Población de proyecto, en habitantes.

$t$  = Tasa histórica de crecimiento poblacional en la localidad, en porcentaje decimal.

$p$  = Período de diseño, en años.

$P_a$  = Población actual estimada, en habitantes

Datos:

$t = 1,975\%$ .

$p = 40$  años.

$P_a = 206$  habitantes.

$P_f = (1 + 0,02)40 * 206 = 450$  Habitantes

Este será el crecimiento estimado de la población del Faisan en el periodo de vigencia de la bomba.

Cálculo de los gastos de la bomba. El siguiente cálculo necesario es para encontrar el gasto de operación de la bomba, basado en un consumo de 80lts/hab/día, según la OMS, el cual es el siguiente:

$$Q_{\text{medio diario}} = \frac{(\text{Población} * \text{Dotación})}{86,400} \quad (2)$$

$$Q_{\text{máx. diario}} = C_{vd} * Q_{\text{medio diario}} \quad (3)$$

$$Q_{\text{max. horario}} = C_{vh} * Q_{\text{máx. diario}} \quad (4)$$

$$Q_{\text{diseño}} = (24 / T_b) * Q_{\text{máx. diario}} \dots \quad (5)$$

*Dotación* = 80 lts / hab / día.

*Población* = 450 habitantes.

*C<sub>vd</sub>* = Coeficiente de variación diaria = 1.40.

*C<sub>vh</sub>* = Coeficiente de variación horaria = 1.55.

*T<sub>b</sub>* = Tiempo de bombeo diario = 24 horas.

$$Q_{\text{medio diario}} = (450 * 80) / 86,400 = 0.4 \text{ lps.}$$

$$Q_{\text{máx. diario}} = 1.40 * 0.4 = 0.6 \text{ lps.}$$

$$Q_{\text{max. horario}} = 1.55 * 0.6 = 0.9 \text{ lps.}$$

$$Q_{\text{diseño}} = (24 / 24) * 0.6 = 0.6 \text{ lps.}$$

El gasto de diseño se utiliza para determinar el diámetro de la línea de conducción y seleccionar el equipo de bombeo. El Gasto Máximo Diario sirve de referencia para calcular el volumen de regularización requerido en el proyecto, mientras que el Gasto Máximo Horario se ocupa en la revisión del funcionamiento y diseño hidráulico de la red de distribución.

Cálculo del diámetro de la línea de conducción. Para el caso de gastos pequeños y líneas de conducción relativamente cortas, se aplica la siguiente fórmula para obtener el diámetro económico de la línea de conducción.

$$D = 1.30 \sqrt[3]{Q_{\text{diseño}}} \quad (6)$$

Q = Gasto de diseño, en lps.

D = Diámetro de la conducción, en pulgadas

$$D = 1.30 \sqrt[3]{0.6} = 1 \text{ ''}$$

$$D = 1 \text{ ''}$$

### Cálculo de la carga total de bombeo

$$H_t = H_e + H_{fs} + H_{fd} \quad (7)$$

H<sub>t</sub> = Carga total de bombeo, en m.

H<sub>e</sub> = Carga estática total, en m.

H<sub>fs</sub> = Pérdidas por fricción en la succión, en m.

H<sub>fd</sub> = Pérdidas por fricción en la conducción, en m.

### Cálculo de H<sub>e</sub>

$$H_e = (h_e + h_t + d) + N.D. \quad (8)$$

h<sub>e</sub> = Desnivel topográfico del terreno natural entre el sitio donde se ubica el tanque de regulación y la fuente de captación 4,00 m.

h<sub>t</sub> = Altura de la estructura de soporte del tanque 3,00 m.

d = Tirante máximo de agua dentro del tanque 12,00 m.

N.D. = Nivel dinámico del agua en la fuente de captación 18,30 m

$$H_e = 37,30 \text{ m}$$

### Cálculo de H<sub>fs</sub>

$$H_{fs} = k L_c Q^2 \quad (9)$$

k = Constante de la fórmula de Manning, adimensional.

L<sub>c</sub> = Longitud de la columna del equipo de bombeo, en m.

Q = Gasto de diseño, en m<sup>3</sup>/seg.

$$k = 10.294 n^2 / D^{16/3} \quad (10)$$

n = Coeficiente (de acuerdo al tipo de material de la tubería de la columna), adimensional.

D = Diámetro de la columna de bombeo, en m.

### Determinación del diámetro de la columna del equipo de bombeo

El diámetro de la columna de bombeo será igual al diámetro del orificio de descarga de la bomba, el cual puede variar dependiendo de la marca comercial de la misma. En este caso se está proponiendo la utilización de una bomba de ariete, por lo que los datos que se manejan a continuación están referidos a esta marca,  $Q_{\text{diseño}} = 0.6 \text{ lps}$  a 10 GPM.

Por lo tanto, consultando el catálogo de bombas y sus diámetros, se obtiene que es el que proporciona el gasto más cercano al de diseño, observándose que el diámetro del orificio de descarga de la bomba es de: 2".

Nota : Se anexan las características y datos técnicos de la bomba propuesta.

De acuerdo a lo anterior, los datos correspondientes a la columna de bombeo son los siguientes:

$D = 0.0508 \text{ m}$ .  
 $n = 0.014$  por considerarse: FoGo (tipo de material).  
 $L_c = 45.72 \text{ m}$ .  
 150 pies.

$$k = 10.294 (0.014)^2 / (0.0508)^{16/3} = 16,102.76$$

Además:

$$Q = 0.6 \text{ lps} = 0.0006 \text{ m}^3 / \text{seg}.$$

Por lo que:

$$H_{fs} = 16,102.76 \times 45.72 \times (0.0006)^2 = 0.27 \text{ m}$$

### Cálculo de Hfd

$$H_{fd} = h_{ft} + h_{fc} \quad (11)$$

$h_{ft}$  = Pérdidas por fricción en la tubería de la línea de conducción, en m.

$h_{fc}$  = Pérdidas por fricción en el crucero del equipo de bombeo, en m.

### Cálculo de hft

$$h_{ft} = F_m k L_t Q^2 \quad (12)$$

$F_m$  = Factor de incremento por pérdidas menores en la línea de conducción, adimensional.

$k$  = Constante de la fórmula de Manning, adimensional.

$L_t$  = Longitud de la tubería de la línea de conducción, en m.

$Q$  = Gasto de diseño, en  $\text{m}^3/\text{seg}$ .

En este proyecto, la línea de conducción se compondrá por tuberías de PVC y FoGo de 6" de diámetro, por lo que:

Para tubería de PVC, S.I. RD-41:

$$D = 0.0508 \text{ m}.$$

$$n = 0.009.$$

$$k = 10.294 (0.009)^2 / (0.0508)^{16/3} = 6,654.71$$

$$L_t = 932.00 \text{ m}.$$

Para tubería de FoGo:

$$D = 0.0508 \text{ m}.$$

$$n = 0.014.$$

$$k = 10.294(0.014)^2 / (0.0508)^{16/3} = 16,102.76$$

$$L_t = 57.72 \text{ m}.$$

Además:

$$F_m = 1.05.$$

$$Q = 0.6 \text{ lps} = 0.0006 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Por lo que:

$$h_{ft} = 1.05[(6,654.71 \times 932.00) + (16,102.76 \times 57.72)] \times (0.0006)^2 = 2.7 \text{ m}$$

### Cálculo de hfc

$$h_{fc} = k L_e Q^2 \quad (13)$$

$k$  = Constante de la fórmula de Manning, adimensional.

$L_e$  = Longitud equivalente en tubería de las piezas especiales y válvulas que componen el crucero del equipo de bombeo, en m.

$Q$  = Gasto de diseño, en m<sup>3</sup>/seg

### Cálculo de $L_e$

Inicialmente se considera que el cruce del equipo de bombeo tiene un diámetro igual al de la línea de conducción. Posteriormente, cuando se realice la selección del equipo de bombeo, se determinará si se deja este diámetro, o si se considera otro menor.

De acuerdo a esto, se tiene que:

$$D = 0.0508 \text{ m.}$$

Por lo que  $L_e$ , se obtiene a partir de la información proporcionada por la tabla número 2.

Pieza especial o válvula		Longitud equivalente en tubería, en m
Niple de FoGo	2 "	0.7 m
Codo de FoGo	2 " × 90°	2.8 m
Medidor de Gasto de	2 " de diám.	23 m
Válvula Check de	2 " de diám.	12.9 m
Tee de FoFo de	2 " × 2", de paso directo	6.7 m
Válvula de compuerta de	2 " de diám. abierta	0.7 m
Codo de FoGo de	2 " × 45°	3.4 m

**Tabla 2** Longitudes de los componentes del equipo de bombeo

Fuente: <http://www.clemson.edu/irrig/equip/ram.htm>

$$L_e = 50.2 \text{ m}$$

El cruce del equipo de bombeo se construirá con piezas especiales de FoGo y FoFo, por lo que:  $n = 0.014$

Entonces:

$$k = 10.294(0.014)^2 / (0.0508)^{16/3} = 16,102.76$$

Además:

$$Q = 0.6 \text{ lps} = 0.0006 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

$$L_e = 50.2 \text{ m.}$$

Por lo tanto:

$$H_{fc} = 16,102.76 \times 50.2 \times (0.0006)^2 = 0.29 \text{ m.}$$

$$H_{fd} = 2.7 + 0.29 = 2.99 \text{ m}$$

Así que:

$$H_t = H_e + H_{fs} + H_{fd}$$

$$H_t = 37.3 + 0.27 + 2.99 = 40.56 \text{ m}$$

Selección del equipo de bombeo.

$$Q_{\text{diseño}} = 0.6 \text{ lps o } 10 \text{ GPM.}$$

$$H_t = 40.56 \text{ m o } 133,07 \text{ pies}$$

### Agradecimientos

Al Delegado Ejidal C. Ejido el Faisan, así como a los alos habitantes del Ejido el Faisan por las facilidades brindadas para este estudio.

Un reconocimiento especial para los estudiantes, del Instituto Tecnológico superior de Centla, quienes participaron con entusiasmo en el levantamiento de datos en la comunidad del Faisan.

### Conclusiones

Una vez finalizado el estudio de las condiciones de la zona ubicada en el "Ejido el Faisan", se presentan las siguientes conclusiones.

- La utilización de una bomba de ariete es una excelente opción dadas las condiciones marginación de la zona.
- Las condiciones hídricas son aptas para la instalación de un equipo de estas características.
- De acuerdo a la memoria de cálculo desarrollada en el presente trabajo, se establece el tamaño de la población objetivo, así como los parámetros básicos para el diseño de la bomba de ariete, lo cual permitirá su posterior diseño, construcción e implementación.

**Referencias**

Estolano, Q. g. (2015). Memoria de calculo. Mexico.

INEGI. (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Recuperado el 21 de Noviembre de 2016, de Centla, Tabasco.: <http://mapserver.inegi.org.mx/mgn2k/>

INEGI. (Octubre,2015). Catálogo de claves de entidades federativas, municipios y localidades. Mexico: INEGI.

López , N., Altamirano, B., Baume Guerrero, R., & Morales , F. (Septiembre de 2015). Aplicación del ciclo de innovación en el área de diseño mecánico. Revista de aplicaciones de la ingeniería, 2(4), 296-302. Recuperado el 5 de Mayo de 2017

Monzalvo Licon, F., Arriaga Gómez, M., Vázquez Zúñiga, R., & Alcántara Téllez, M. (Septiembre de 2015). Propuesta metodologica para el desarrollo de proyectos integradores en ingeniería de procesos quimicos. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, 2(4), 303-310.

Peña Cruz, M. D. (June de 2015). Ideas Nuevas para combatir la escasez de agua potable en CDMX a traves de Crowdsourcing. ECORFAN Journal, 2(2), 104-109. Recuperado el 5 de Mayo de 2017, de [cierqueretaro.org.mx](http://cierqueretaro.org.mx)

Quiñones, M. L. (3 de FEBRERO de 2017). <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia>. Obtenido de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia25/HTML/articulo05.htm>:<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia25/HTML/articulo05.htm>

UNAM. (2012). CONSUMO PER CÁPITA DE AGUA EN LATINOAMERICA. MEXICO: INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM.

## Generación de Biodiesel a partir de residuos de aceites, utilizando un reactor con PLC para la automatización del proceso

CARO-BECERRA, Juan Luis†\*<sup>1</sup>, CASTELLANOS-RANGEL, libier<sup>1</sup>, ROMERO-GONZALEZ, Fernando<sup>2</sup> y RUIZ-MORALES, María Del Rosario<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara

<sup>2</sup> Centro Universitario Guadalajara LAMAR

Recibido Abril 15, 2017; Aceptado Junio 23, 2017

### Resumen

El reactor es un sistema donde se llevan a cabo reacciones químicas, mediante un Controlador Lógico Programable PLC que trabaja de manera automatizada a partir de la conversión de aceites vegetales por medio de un proceso denominado transesterificación con el objeto de obtener biocombustibles. El objetivo fue la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales, por medio de catálisis con hidróxido de sodio y potasio a temperaturas de 60 °C y un tiempo de reacción de 2 horas. Se determinó el contenido de metilésteres, mediante cromatografía de gases. Las mejores condiciones para NaOH y KOH con catalizadores se obtuvieron cuando el porcentaje de catalizador fue 1% y la relación molar alcohol: aceite fue 1:12. Bajo estas condiciones se obtuvo un rendimiento de 98% y un porcentaje de metilesteres de 99.1% utilizando un catalizador de NaOH, además utilizando un catalizador de KOH el rendimiento fue de 88% y un porcentaje de metilesteres de 98.4%. Los resultados de este estudio muestran un alto rendimiento de la reacción usando aceites vegetales, por lo cual su implementación dependerá de la evaluación económica.

**Controlador Lógico Programable, transesterificación, metilesteres, catalizador**

### Abstract

The reactor is a system where carry out chemical reactions, using a controller logic programmable PLC working in a automated manner from the conversion of vegetable oils through a process called transesterification in order to obtain biofuels. The objective was to obtain biodiesel from vegetable oils, through catalysis with sodium hydroxide and potassium hydroxide with a temperature of 60 °C and a response time of 2 hours. It's determine the content of methyl by gas chromatography. The best conditions for NaOH and KOH with catalyst was 1% and the relationships molar alcohol:oil was 1:12. Under these conditions was a conversion of the 80%, a 98% yield and a percentage of methyl of 99.1% when the catalyst was NaOH. The yield was 88%, a percentage of methyl was 98.4% when the catalyst was KOH. The results of this study show a high yield of the reaction using vegetable oils, for which it's implementation depends on the economic evaluation.

**Programmable Logic Controller, transesterification, methyl, catalyst**

**Citación.** CARO-BECERRA, Juan Luis, CASTELLANOS-RANGEL, libier, ROMERO-GONZALEZ, Fernando y RUIZ-MORALES, María Del Rosario. Generación de Biodiesel a partir de residuos de aceites, utilizando un reactor con PLC para la automatización del proceso. Revista de Energía Química y Física.2017.4-11: 16-27.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jcaro\_becerra@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor

## Introducción

El uso de energías renovables en América Latina debe de ser prioridad para sustituir a los combustibles fósiles, que además de obtener beneficios ambientales, pueden ser económicamente competitivos para producirse a gran escala. En este sentido, los biocombustibles pueden ser una muy buena alternativa (Leyva López, 2006).

Además, con respecto al impacto ambiental presentan grandes ventajas: reducen significativamente la emisión de gases contaminantes y promueven la fijación de CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, la producción y uso de biodiesel genera al ambiente alrededor de 41% menos de Gases de Efecto Invernadero GEI, que los producidos por diesel convencional, en cuanto a su equivalente energético (Ibid).

La combustión de fuentes fósiles es la causa principal del incremento global de emisiones de CO<sub>2</sub>, debido a que cada año se incrementa por esta causa la contaminación atmosférica y el calentamiento global del planeta (Santos *et al*, 2011). Estos y otros problemas del tipo ambiental, tales como: incendios forestales (en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, todos los días reportan incendios debido a las prácticas conocidas como: *roza-tumba-quema*), contaminación del aire derivado de la quema de fósiles, ya que la combustión de dichos productos generan grandes cantidades de GEI. Además de que estos recursos no son renovables y, a últimas fechas, se ha informado que dichas reservas a nivel mundial tarde o temprano se agotarán (Agarwal, 2007).

Para la producción de biodiesel de origen vegetal, idealmente se debe de contar con materias primas con alto contenido de triglicéridos provenientes de cultivos no comestibles, que hayan sido cultivados en suelos no aptos para la producción de alimentos y cuyos requerimientos de agua sean mínimos.

El proceso productivo de biodiesel mediante un PLC, se encuentra en vías de desarrollo por lo que aún no se ha implementado su viabilidad a escala industrial, siendo uno de los objetivos de este proyecto, comprobar que el biodiesel proveniente del aceite vegetal tiene propiedades físicas y químicas similares a las del diesel convencional, implementando un sistema de control automatizado denominado Controlador Lógico Programable PLC, pretendiendo mejorar los procesos de ensayo o búsqueda de mejores aplicaciones, para lograr un producto de calidad a bajo costo, con el objeto de reducir las emisiones de partículas sólidas en suspensión, contribuyendo a la reducción del calentamiento global y así minimizar los riesgos ambientales.

## Alcances

Las energías renovables, en particular los biocombustibles, consideran la importancia de afinar técnicas de laboratorio con productos de alta calidad, implementando una planta piloto de producción a escala mayor que para nuestro caso diseñaremos un reactor con una capacidad de producción de hasta 6 gal @ proceso.

Dicha planta permitirá la conversión de aceites vegetales en metil ésteres de ácidos grasos (biodiesel), además de estar diseñada para una operación automatizada lo que facilitará su uso y mantenimiento. La capacidad de producción se diseñará con base a las necesidades del cliente con un rango de 30 a 100 lt/día, con esto la UPZMG contribuye a un mejor cuidado del medio ambiente, con base en los "Lineamientos para el otorgamiento de permisos" (SENER, 2012).

## Marco teórico

El biodiesel se define como un metil éster obtenido a partir de aceites vegetales con características similares al diesel, que puede sustituirlo total o parcialmente al combustible de motores de combustión interna, puesto que su uso representa una excelente opción desde el punto de vista ecológico al reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> (Encinar *et al.*, 2011).

Generalmente las personas llaman biodiesel a cualquier combustible para motores diesel que sea originado de vegetales, como los aceites. Sin embargo, las definiciones de biodiesel que poseen mayor consistencia técnica son aquellas que caracterizan su composición química (mono-alquil ésteres de ácidos grasos), su origen (vegetal), su empleo y sus características técnicas. (Andersen & Weinbach, 2010).

## Propiedades del biodiesel

El biodiesel tiene en general un poder calorífico inferior al diesel (7.795 kcal/lit vs 8.74 kcal/lit), su viscosidad cinemática en general está entre 1.9 y 6.0 cSt, aunque este parámetro difiere sustancialmente del diesel (3-4.5 cSt), su densidad es de aproximadamente 878 kg/m<sup>3</sup> a 15°C de temperatura y su *flash point* o punto de inflamación llega a sobrepasar los 130°C, a diferencia del gasoil, cuyo punto de inflamación es de 60 a 80°C, lo que lo hace más seguro al biocombustible como se puede observar en la tabla 1, retrasando así la autoignición del combustible al inyectarse al motor, que reduce el peligro de incendio durante su manejo (Larosa, 2003).

Datos físico-químicos	Biodiesel	Diesel
Composición	Ester metílico Ácidos grasos (C12-C22)	Hidrocarburo C10-C21
Poder calorífico inferior, kcal/kg	9500	10800
Viscosidad cinemática a los 40°C, cSt	3.5-5.0	3.0-4.5
Peso específico, kg/m <sup>3</sup>	875-900	850
Azufre, %	0	0.20
Punto de ebullición, °C	190-340	180-335
Punto de inflamación, °C	120-170	60-80
Punto de escurrimiento, °C	-15 a 16	-35 a 15
Número de cetano	48-60	46

**Tabla 1** Propiedades del biodiesel y diesel

Fuente: Larosa (2003)

De la Tabla 1, se aprecia que el biodiesel presenta excelentes propiedades en cuanto a favorecer la adecuada combustión, tales como el número de cetano, que es más alto que en el diesel de petróleo retrasando la autoignición del combustible al inyectarse al motor, igual sucede con el punto de inflamación, que reduce el peligro de incendio durante su manejo.

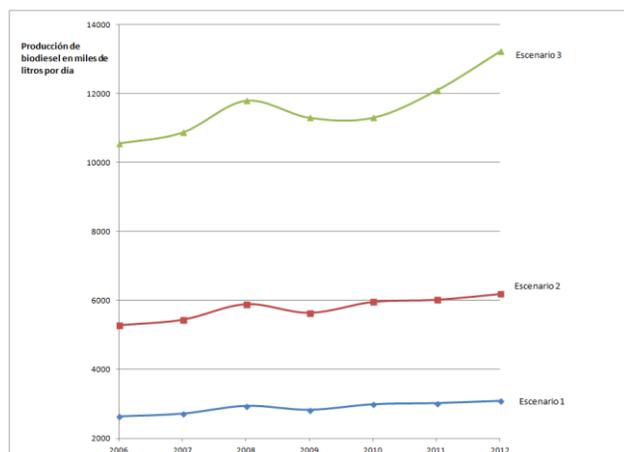
Por otro lado este combustible de origen vegetal reduce los efectos contaminantes, por ejemplo, elimina completamente las emisiones de CO<sub>2</sub>, reduce la producción de hollín entre un 40 a 60%, disminuye las emisiones de hidrocarburos entre un 10 y 15% (Caceres-Guerrero, 2012).

## Situación actual

### Panorama de las Energías Renovables en México

La SENER tiene como meta que el uso de la mezcla de biodiesel sea de 20% y un 80% restante de Diesel, como se muestra en la figura 1. Los escenarios prospectivos para México.

En el caso de producción de bioenergéticos, está proyectado que crezca en más de 1 millón de hectáreas anuales en los próximos años, debido a que se cuenta con extensiones de tierras ideales para el cultivo de: jatropha y palma de aceite, con una superficie potencial de 1.8Mha para la jatropha y una superficie potencial de 3.2 Mha para la palma de aceite (SOLBEN, 2012).



**Gráfico 1** Distintos Escenarios para la producción de Biodiesel en México

Fuente: Secretaría de Energía, 2012

### Situación actual

México cuenta con extensiones de tierras ideales para el cultivo de jatropha que no se están aprovechando en la actualidad, el mercado de jatropha está muy bien cotizado a nivel internacional donde se utiliza como materia prima para combustibles terrestres y aéreos logrando importantes reducciones de GEI (Ibid).

Para la producción de bioenergéticos se han establecido diversos programas, tales como el “Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico 2009-2012” (SAGARPA, 2012).

Que tiene como objetivo fomentar la producción sustentable de insumos para bioenergéticos y su comercialización, dando certidumbre, aumentando la competitividad y la rentabilidad del campo mexicano por medio del desarrollo científico y tecnológico.

Dicho programa considera a los cultivos de remolacha, sorgo dulce, caña de azúcar, jatropha y palma de aceite, como posibilidad para la generación de bioenergéticos a partir la biomasa.

Junto a este tema tan relevante, se encuentra el de los biocombustibles, considerándose como un energético que puede sustituir al petróleo, aunque la tarea de sustituirlo no ha sido nada fácil, debido a que conlleva un desequilibrio ecológico ya que requiere grandes extensiones de superficie para el cultivo de maíz, caña de azúcar, soya o palma de aceite.

Convertir ecosistemas en superficies de cultivo contribuye a un aumento del Calentamiento Global, tal es el caso de las selvas tropicales de Indonesia y la Amazonía, debido a que son ecosistemas que retienen la quinta parte de las emisiones de carbono (Espinoza *et al.*, 2009).

Además de que los biocombustibles presentan un balance energético negativo, por ejemplo algunos estudios han demostrado que el biodiesel obtenido a partir de cultivos de girasol, aporta mayor energía que la consumida en su producción y fermentación. Dichos resultados presentan rendimientos negativos del 118% es decir, se utilizan 118 kilocalorías de combustibles fósiles por cada kilocaloría obtenida en forma de biodiesel (Carpintero, 2008).

## Materiales y métodos

El desarrollo del proyecto consta de tres partes, la primera parte describe sobre lo que el biodiesel aporta al medio ambiente en cuanto a su impacto ambiental, además de describir los actuadores con su respectivo panel de control que consta de dos tanques de acero inoxidable: el Reactor y el Decantador. La segunda etapa del proyecto describe tanto la fase mecánica, eléctrica y electrónica, además de los diseños para la construcción del decantador, el reactor y el condensador. Por último la tercera fase muestra la manera de configurar la variación de velocidad, el desarrollo de nuestro sistema automatizado y la comunicación entre hardware-software.



**Figura 1** Planta piloto para la producción de biodiesel  
Fuente: Laboratorio de Bioprocesos de la UPZMG

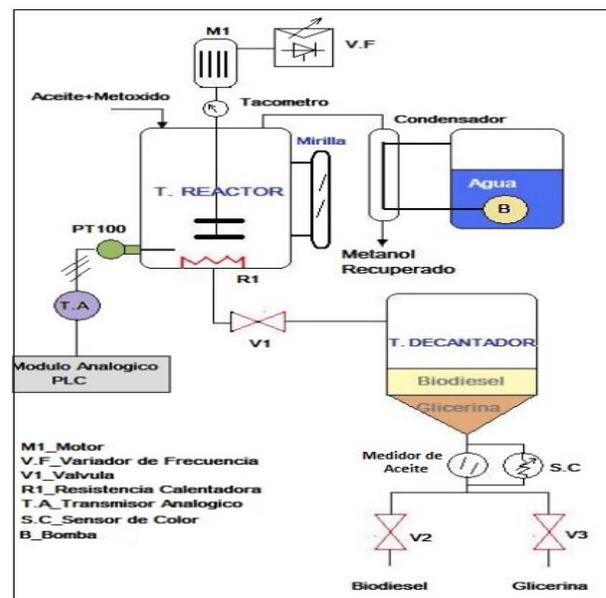
### Controlador Lógico Programable (PLC)

Un PLC es un equipo electrónico que se programa en lenguaje no informático, diseñado para controlar el tiempo real y en ambiente de tipo industrial procesos secuenciales, sus aplicaciones de diseño tienen un campo muy extenso, ya sea para la adquisición de datos y programación de variables de entrada y de salida.

Adicionalmente sus reducidas dimensiones y la extremada facilidad de montaje hacen que su eficiencia se aprecie en el proceso (NEMA, 2000).

## Generalidades

El proceso comienza con el tanque reactor, en el se vierten los componentes principales para la elaboración del biodiesel, tales como: aceites vegetales y metóxido. Al comenzar el proceso se realiza el calentamiento de las sustancias vertidas hasta alcanzar una temperatura de 60 °C, a través de una resistencia de 1700 w a 110 V, este control de temperatura es realimentado por un sensor RTD de 3 H el cual posee un transmisor de 4 a 20 mA, que se conecta directamente al módulo analógico del PLC, como se muestra en la figura 2.



**Figura 2** Sistema Esquemático de la planta piloto  
Fuente: Caceres y Guerrero

Una vez terminado el tiempo de calentamiento y mezclado, a su vez se activará el proceso de traspaso de sustancia del tanque Reactor al tanque Decantador,

Dicho traspaso se realiza a través de una electroválvula que operará a 110 V, en el decantador se deja reposar el producto por un tiempo definido por el operador, a través del sistema Arduino, lo suficiente para que se produzca la separación del Biodiesel y la Glicerina.

En caso de producirse alguna anomalía del proceso, se contará con las debidas alarmas monitoreadas por el sistema Arduino, que nuestro sistema contará con dos modos de operación tanto manual como automático. El objetivo es que ambas alternativas de producción puedan llevarse a cabo de manera tanto automática como manual, con el objeto de reducir los errores de operación y aumentar la seguridad del operador (Terrón-Pernía, 2007).

### Metodología

Se recolectaron muestras de aceite reutilizado y se sometieron a un tratamiento previo de limpieza. El procedimiento consistió en filtrar usando una malla de 6  $\mu\text{m}$  de poro y centrifugar a 300 rpm durante cinco minutos, con el fin de separar los residuos de alimentos presentes. El aceite libre de partículas se lavó con agua destilada a 70°C, para eliminar las impurezas químicas (gomas); luego el agua fue separada por decantación; la humedad del aceite se eliminó con un rotavaporador a 90°C y presión reducida durante dos horas.

Teniendo en cuenta la relación molar alcohol/aceite, tipo y cantidad de catalizador, agitación, temperatura y tiempo de reacción. Sin embargo, solo se tomaron las variables: relación molar alcohol/aceite y cantidad de catalizador, como factores para el diseño de experimentos.

### Selección de variables y selección de materias primas

En el presente trabajo fueron seleccionadas como materias primas aceite usado de cocina, además de un catalizador que se emplea comúnmente en el proceso de transesterificación tales como: el metóxido, el hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de potasio (KOH), estos catalizadores homogéneos se escogieron debido a que la temperatura, tiempo de reacción y cantidad de alcohol son menores al compararlos con otro tipo de catalizador, razón por la cual se decidió trabajar con hidróxido de sodio y potasio.

Lo anterior aplica para trabajar con aceites tipo alcohol ya que el proceso de producción de biodiesel necesita de un alcohol para la reacción. Los alcoholes son por excelencia ideales para la producción de biodiesel además del metanol y el etanol, en particular el metanol por sus propiedades físico-químicas reacciona más rápidamente con los triglicéridos y en la mayoría de los países es más económico que el etanol (Fredman *et al.*, 1986).

En general desde el punto de vista técnico de la reacción, el metanol presenta mayores ventajas, ya que requiere menor cantidad de alcohol que el etanol además de que posee mayor eficiencia en la conversión de aceites y requiere menores temperaturas de reacción, por estas razones se decidió usar metanol en el proceso.

### Tiempo de reacción

Darnoko & Cheryan (2000), encontraron que la reacción de transesterificación es muy rápida, y cerca del 80% de la conversión tiene lugar en los primeros 30 minutos, después de la primera hora se alcanza entre el 93 y el 98% de la conversión, además demostraron que el mejor rendimiento se obtiene luego de hora y media, por lo cual se tomó este valor fijo.

### Temperatura de reacción

La temperatura para llevar a cabo la obtención de biodiesel es de 60°C, teniendo en cuenta que el punto de ebullición del metanol es 64°C. Por lo cual se tomó también como un valor fijo (ibid).

### Rendimiento de la reacción

Para la presente investigación el rendimiento de la reacción es la variable respuesta, expresada como la relación entre la masa de biodiesel obtenido y la masa de aceite vegetal utilizada.

### Diseño de experimentos

Se empleó un modelo factorial tipo 1k en donde k es el factor y 1 representa los niveles de cada factor, en este caso  $k = 2$  (cantidad de catalizador y relación alcohol/ aceite), las restricciones del sistema son: temperatura, velocidad de agitación, tiempo de reacción y de presión, para los cuales se asumieron valores fijos de 0.5 y 2% considerando un valor óptimo del 1% de catalizador, puesto que el rendimiento decrece y se favorece la saponificación usando valores mayores a este, por lo cual se tomó como un valor fijo, de igual forma, para la relación metanol/aceite, se reporta que una relación 6:1 se considera adecuada (Arbeláez & Rivera, 2007).

### Proceso de obtención del biodiesel

El procedimiento para la obtención de biodiesel, incluye los siguientes pasos: preparación del metóxido a través de una reacción de transesterificación con la que se separa el biodiesel de la glicerina por un proceso llamado decantación, para esto se utilizaron como reactivos hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH) como catalizador además de metanol, una vez decantado se agita con una velocidad angular de 300 rpm durante una 1.50 hr.

Posteriormente la mezcla se transvasa a un embudo de decantación para separar el biodiesel y glicerina.

### Biodiesel a partir de aceite vegetal

Después de estar separado se toma una muestra de aceite y se añade metanol llevándose a cabo la catálisis básica con hidróxido de potasio (KOH), luego se efectúa el proceso de transesterificación por medio de un agitador magnético. Se produce la solidificación del producto con lo que se obtienen los resultados esperados.

Para medir la calidad y caracterización del biodiesel se determinó una densidad 865 kg/m<sup>3</sup> a 23°C, la norma (ASTM D4052) exige que se deba medir a 15°C, temperatura a la cual el metil éster se solidifica. La ASTM ha especificado distintas pruebas que se deben de realizar a los combustibles para asegurar su correcto funcionamiento, la densidad se evaluó de acuerdo a la norma en ISO 3675 a 15°C y para la viscosidad la norma ISO 3104 a 40°C.

Adicionalmente se realizaron análisis por cromatografía a una muestra de biodiesel para analizar el contenido de ácidos grasos.

### Análisis de Costos de producción

Para lograr que el biodiesel sea una alternativa económicamente viable, se requiere que presente características similares al diesel de petróleo, además de obtener balances energéticos positivos que tenga costos similares al diesel convencional, este es uno de los principales obstáculos para su comercialización, ya que la principal causa son los altos costos de girasol o de aceites vegetales para su producción (Medina *et al.*, 2012). Los costos de producción (también llamados costos de operación) son los gastos necesarios para mantener un proyecto en funcionamiento.

Esto significa que el destino económico de una empresa esta asociado con el ingreso de los bienes obtenidos en el mercado y el costo de producción de los bienes vendidos. El costo de producción está estrechamente ligado con el sector tecnológico, en consecuencia, es necesario que el tecnólogo aceitero conozca los costos de producción.

Para nuestro caso clasificaremos los costos de producción en costos variables y costos fijos, los costos variables representan: materia prima, renta de una finca para la producción del biodiesel, adquisición de un camión; mientras que los costos fijos lo representan: salario operador, chofer, pago por concepto de Seguro Social, luz, agua, teléfono, gasolina, etc.

Tipo de producto	\$/kg del producto
Girasol	1.600
Metanol	4.25

**Tabla 2** Costos de producción para la producción de biodiesel

Fuente: Línea Base de biocombustibles líquidos en la Amazonía peruana (SNV)

Unidad	Precio unitario
Renta de finca	5000
Deposito de la finca	5000
Camioneta estaquita (Nissan)	120000
Maquinaria (reactor)	7500

**Tabla 3** Costos de automóvil, reactor y renta de local, necesarios para la producción de biodiesel

Fuente: Elaboración propia

El reactor producirá una cantidad de 100 lt/día, por lo que se necesitan 92.5 kg de girasol y alrededor de 6.25 lt de metanol, la tonelada de girasol tiene un estimado de \$1600.00 y el litro de metanol tiene un costo aproximado de \$4.25. Para la producción de 100 lt/día se requieren un total de: 6.25 lt de metanol, esto nos arroja un total de \$174.56 @ día, y por mes los costos de producción de materia prima: \$5236.87. Lo cual se requiere una inversión de: \$142,736.87 anual.

Para nuestro proyecto de producción de biodiesel de manera automatizada la planta piloto tendrá una producción de 100 lt/día y las especificaciones serían las siguientes:

- Peso: 440 kg
- Dimensiones: 1.40m \* 1.66m \* 0.93m
- Capacidad: 100 lt/día
- Potencia máxima: 6000 W
- Voltaje: 220 V
- Corriente: 27 A
- Presión Neumática: 90 psi

Los costos mensuales son los siguientes:

- Renta: \$5000.00
- Materia prima: \$5236.87
- Luz: \$500.00
- Agua: \$600.00
- Teléfono: \$700.00
- Sueldo operador: \$7500.00
- Chofer: \$6000.00
- Sueldo del inversionista: \$15000.00
- Seguro Social: \$6500.00
- Gasolina: \$10000.00
- Total: \$57036.87

Con una producción diaria de 100 lt de biodiesel, mensualmente tendríamos 3000 lt, para esto hablamos de 6.875 Ton de girasol lo cual nos indica que al día estaríamos invierto en girasol un total de \$174.56 por día y mensualmente \$5236.875.

El valor presente es la manera de valorar activos y su cálculo consiste en descontar el flujo futuro a una tasa de rentabilidad ofrecida por alternativas de inversión comparables, por lo general denominado costo de capital o tasa mínima. Por otra parte el valor a futuro es la cantidad de dinero que alcanzará una inversión en alguna fecha futura al ganar intereses a alguna tasa simple.

$$F = P(1 + i)^n \quad (1)$$

A modo de ejemplo, para nuestro caso de estudio el valor presente para el año cero y con una tasa de interés  $i$  del 15%, sería el siguiente:

$$Vp = -142736.87 - 684432 \left(\frac{P}{F}, 15, 1\right) - 787108.30 \left(\frac{P}{F}, 15, 2\right)$$

$$-905175.54 \left(\frac{P}{F}, 15, 3\right) - 1040950.72 \left(\frac{P}{F}, 15, 4\right)$$

$$-1197093.33 \left(\frac{P}{F}, 15, 5\right)$$

$$Vp = -142736.87 - 684432(0.8696) - 787108.30(0.7564)$$

$$-905175.54(0.6915) - 1040950.72(0.5718)$$

$$-1197093.33(0.4972)$$

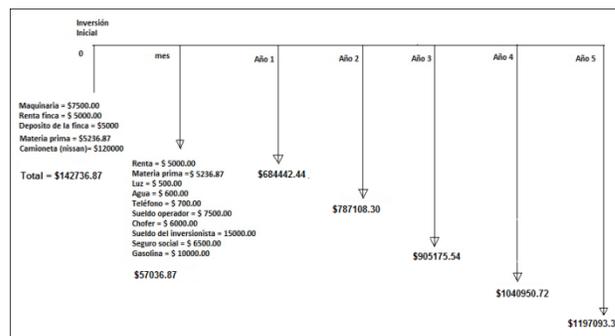
$$Vp = \$3149626.96$$

El valor anualizado permite obtener el costo anual uniforme equivalente  $A$  durante  $n$  años, de una inversión dada  $Vp$  cuando la tasa de interés es  $i$  (Blank & Tarquin, 1998).

$$Va = Vp \left(\frac{A}{P}, 15, 5\right) = \$3149626.96 * 0.29892$$

$$Va = \frac{941,486.49}{36000} = \$26.15$$

Para recuperar la inversión durante los 5 años, tendríamos que producir un total de: 35,000 lt anuales con un costo de \$26.00. Si lo vemos desde esta perspectiva no es un negocio rentable a menos que se produzcan como mínimo 70 m<sup>3</sup> @ año, con un costo de \$13.00 por litro.



**Figura 3** Diagrama de flujo de análisis de costo de producción, para una tasa de interés  $i = 15\%$  y un valor presente de 5 años

Fuente: Caro, 2017

## Resultados

La caracterización realizada a las materias primas, se pudo establecer que son de baja acidez lo que permitió experimentalmente obtener buenos resultados en la reacción de transesterificación, puesto que al usar un catalizador básico con materias primas de baja acidez se reduce la formación de jabones, y la saponificación del catalizador que puede tener lugar paralelamente a la transesterificación.

De las proporciones molares estudiadas en la reacción de producción del biodiesel se encontró que la proporción 1:12, con un catalizador NaOH al 1% en peso de metanol/aceite fue la que presentó mayor rendimiento de reacción con un  $88.046 \pm 0.641\%$ .

Se observó también que con la misma proporción 1:12 con catalizador de KOH al 1% en peso de metanol/aceite, se observa que presentó un rendimiento del 98.4% mayor que el de NaOH. Esto se debe a su pKa (fuerza que tienen las moléculas al disociarse), también se observó que a medida que aumenta el porcentaje de metanol, la producción de biodiesel se mejora significativamente.

Aunque no se justifica el mayor gasto de metanol, ya que disminuye el rendimiento de la reacción, debido a que el exceso de metanol dificulta la separación del glicerol por decantación (Umer, Farooq *et al.*, 2008). En otros estudios realizados con diversos tipos de aceites, se encontró la proporción 1:6 como la más adecuada para obtener altos rendimientos de producción, condición que no presentó el aceite de cocina usado que requirió un exceso de metanol para alcanzar altos rendimientos (véase tabla 4).

Proporción (metanol/aceite)	molar	Rendimiento biodiesel (%)
1:3		32.40 ± 0.657
1:6		67.90 ± 1.110
1:8		92.04 ± 0.641
1:10		91.31 ± 0.712
1:12		98.4

**Tabla 4** Proporciones molares de la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado  
Fuente: Lafont *et al.*, 2011

El biodiesel obtenido fue analizado mediante la técnica de GC-MS, encontrándose los siguientes compuestos: Araquidato de metilo, Linoleato de metilo, Oleato de metilo, Palmitato de metilo, Palmitoleato de Metilo, Miristato de metilo, Laureato de metilo, Capriato de metilo.

La tabla 5. Muestra los resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas para el biodiesel en términos de valor promedio y desviación estándar  $x \pm \sigma$  en la última columna, incluyendo el límite máximo permitido por la norma americana.

El biodiesel en estudio presentó una viscosidad cinemática de  $7,9 \pm 0,02$  mm<sup>2</sup>/s, que resulta ser alta en comparación con los valores reportados para biodiesel producido de otras materias primas (Demirbas, 2008).

Propiedad fisicoquímicas	Método ASTM	Limite Máximo	Biodiesel en estudio
Viscosidad cinemática (20 ° C, mm <sup>2</sup> /s)	ASTMD445	6.5-9	7.93
Densidad 15°C, kg/m <sup>3</sup>	ASTM D1298	860-900	886
Número ácido mgKOH/g muestra.	ASTMD664	0.800	0.800
Punto nube °C	ASTM D2005	Variable	2000
Cantidad de jabón ppm	ASTM D2896	500	250

**Tabla 5** Relación entre las propiedades fisicoquímicas del biodiesel en estudio y la norma ASTM  
Fuente: Franco, 2013

Con estas pruebas realizadas en el laboratorio de Bioremediación de la UPZMG se confirma la funcionalidad del biodiesel para realizarse en forma continua por medio de una planta piloto, con la necesidad de contribuir al cuidado del medio ambiente, donde se ha demostrado que nuestra planta piloto de manera automatizada, integra varias tecnologías de la ingeniería tanto química, como de control y regulación (PLC modelo Arduino 5260), mecánica e informática donde el usuario puede comprobar y demostrar desde una visión global una ingeniería de detalle en todos los aspectos. La información generada por medio del PLC Arduino 5260, además de los relevadores será la fuente de alimentación externa, uno para la salida del motor y otra para la electroválvula mas un sensor adicional al final del proceso junto con los planos y diagramas de flujo, constituyen la base en la producción automatizada en la producción de biodiesel.

En función de los resultados obtenidos del algoritmo de control implementado en el PLC se concluye que es adecuado y práctico para las posibles aplicaciones cuando los tiempos de respuesta no son críticos, ya que el control y producción de biodiesel a través del PLC es una forma clara y sencilla de automatizar procesos como se ha demostrado es este trabajo.



**Figura 4** Reactores para para la producción de biodiesel mediante aceites vegetales

Fuente: Laboratorio de Bioprocesos de la UPZMG

## Conclusiones

A través de esta investigación, se produce un biocombustible alternativo que favorecerá a la protección y conservación del medio ambiente en la región, utilizando aceites de origen vegetal derivado de los hogares de la región, además se ha comprobado que producir biodiesel es práctico, sencillo y económico, se observó que el mejor rendimiento fue con KOH con un porcentaje del 98.4% el cual nos aporta un combustible alternativo para sustituir a los energéticos convencionales, con el objeto de disminuir los GEI basándonos en un producto doméstico, además el método para producir biodiesel por medio de un reactor utilizando un Controlador Lógico Programable PLC es práctico, sencillo y económico. En lo que respecta al tema de la sustentabilidad, al hacer combustión el biodiesel no genera gases tóxicos o de efecto invernadero, ya que está compuesto totalmente de productos 100% orgánicos.

## Referencias

Arbeláez, A. y Rivera, M. (2007). Diseño conceptual de un proceso para la producción de Biodiesel a partir de algunos aceites vegetales colombianos. Medellín, Colombia: Escuela de Administración y Finanzas e Instituto Tecnológico EAFIT.

Andersen, O. y Weinbach, J.E. (2010). Residual animal fat and fish for biodiesel production. Potentials in Norway. *Biomass and Bioenergy*, 34(8), 1183-1188.

Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohol and biodiesel) Applications as fuels for Internal Combustion Engines, en *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol. 33, número 3, junio 2007, Pp. 233-271.

Awad, S.; Paraschiv, M.; Varuvel, E. G. y Tazerout, M. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2070–2093.

Basha, S. A.; Gopal, K. R. y Jebaraj, S. (2009). Evaluación de las propiedades de superficie del óxido de zinc y su actividad catalítica en la transesterificación del aceite de palma con metanol. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.

Blank, L. & Tarquin, A. (1998). *Ingeniería Económica*, Edición 2, Mc Graw hill. Estados Unidos.

Caceres, E. & Guerreo, J. (2012). Sistema de Control Scada para el proceso de obtención de Biocombustible utilizando un PLC S7-200 y el Software Labview, Tesis de licenciatura de la Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil, Ecuador.

Carpintero, O. (2008). Biocombustibles y uso energético de la biomasa, en Sempere, J. y E. Tello, (coordinadores): *El final de la era del petróleo barato*, Barcelona, Icaria, Pp. 135-158.

Caro J, Ruiz M. Vizcaíno L. & Luján R. (2016). Biocombustibles (Energías Renovables) utilizando residuos plásticos. *Revista de Energía Química y Física*. ECORFAN-Bolivia.

Crespo, V., Martínez, M. Aracil, J. (2001). Biodiesel: Una alternativa real al gasóleo mineral. Revista: Ingeniería Química, (Pp. 135-145).

Darnoko, D. y Cheryan, M. (2000). Perspectivas para el biodiesel en Centroamérica: Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Honduras. Lc/Mex/L.791.7.

Demirbas, A. (2008). Relationship derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels Fuel, Issues 8-9, Pp. 1743-1748.

Encinar, J. M.; Sánchez, N.; Martínez, G. y García, L. (2011). Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor. JAOCS, 77(12), 1263-1267.

Espinoza, W., Goddard, M., Gutierrez, C. & Bonfil, C. (2009). Los Biocombustibles, Revista: ¿como ves?, (Pp. 10-14), Revista de Divulgación de la Ciencia de la UNAM.

Medina, I., Chavez, N. & Jauregui, J. (2012). Biodiesel, un combustible renovable. Revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes [En línea]. Mayo-Agosto 2012, no. 55. [Fecha de consulta: 26 de agosto 2016]. Disponible en: <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista55/Articulo%208.pdf>.

Rivera, I.; Villanueva, G. y Sandoval, G. (2009). Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine. Applied Energy, 86, 2114-2120.

Santos, R. Compri, I., Morandin, A. & Torres, R. (2011). Optimization of the transesterification reaction in biodiesel production and determination of density and viscosity of biodiesel/diesel blends at several temperatures. Journal of Chemical & Engineering Data Pp. 2030-2038.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2012). Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico, México, D.F.

Secretaría de Energía (SENER). (2012). Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026. México D. F.

Terron, J. & Pernía, R. (2007). Diseño y automatización de una planta piloto para producción de biodiesel, XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Septiembre 2007. Lugo, España. Pp. 1995-2006.

Soluciones en Bioenergía (SOLBEN). (2012) Disponible en: <http://www.solben.org.mx> <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>

## Diseño óptico y simulación mediante dinámica de fluidos computacional de un calentador solar de aire basado en colectores parabólicos compuestos

VENEGAS-REYES, Eduardo<sup>1†\*</sup>, RODRÍGUEZ-MUÑOZ, Norma A.<sup>1</sup>, MARTÍN-DOMINGUEZ, Ignacio R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cátedras CONACYT, en Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C. Calle CIMAV 110, Durango, Durango, 34147, México. (614) 439 4898

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C. Departamento de Ingeniería Sustentable, Calle CIMAV 110, Durango, Durango, 34147, México. (614) 439 4898

Recibido Abril 15, 2017; Aceptado Junio 23, 2017

### Resumen

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo el diseño óptico y simulación mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) de un calentador solar de aire de baja concentración. El calentador estudiado está basado en un Colector Parabólico Compuesto (CPC) del cual se desea conocer su comportamiento térmico. Se llevó a cabo el trazado de rayos en el software SolTrace para determinar la radiación incidente en el receptor cilíndrico, dentro del cual se hace circular aire. Posteriormente, se realizó un estudio de CFD para determinar el incremento de temperatura del aire que circula por el receptor y la influencia del uso de aletas que se encuentran en contacto con su pared interior. Una ventaja de esta configuración sobre la de un colector solar plano, es que se puede hacer circular el aire directamente mediante un soplador sin necesidad de un difusor, reduciendo la caída de presión y la pérdida de presión por fugas de aire en las uniones. La contribución de este trabajo es el estudio de la influencia del incremento del área de intercambio de calor mediante el uso de aletas. Las cuales se encuentran en contacto con las paredes internas del tubo receptor del concentrador solar.

**Calentador solar de aire, Colector parabólico compuesto, Trazado de rayos**

### Abstract

The objective of this work is to carry out the optical design and simulation by means of computational fluid dynamics (CFD) of a low concentration solar air heater. The studied heater is based on a Compound Parabolic Collector (CPC), from which its thermal behaviour is still to be known. The ray tracing was performed in the SolTrace software to determine the incident radiation on the cylindrical receiver, where air is circulating. Afterwards, a CFD study was carried out to determine the increase in the circulating air temperature within the receiver. Additionally the influence of the use of fins in contact with the interior wall of the receiver is calculated. An advantage of this configuration over a flat solar collector is that the air can circulate directly through a blower without the need of a diffuser; reducing the pressure drop and losses by air leakage at the joints. The contribution of this work is the study of the influence on the increase of the heat exchange area by the use of fins. The fins are in contact with the inner walls of the receiver tube of the solar concentrator.

**Solar air heater, Compound parabolic collector, Ray tracing**

**Citación:** VENEGAS-REYES, Eduardo, RODRÍGUEZ-MUÑOZ, Norma A, MARTÍN-DOMINGUEZ, Ignacio R. Diseño óptico y simulación mediante dinámica de fluidos computacional de un calentador solar de aire basado en colectores parabólicos compuestos. Revista de Energía Química y Física. 2017.4-11:28-35.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: eduardo.venegas@cimav.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

## Introducción

Un problema importante de los productos agrícolas es que son perecederos. Una forma de conservarlos es secándolos, sin embargo, el secado de productos agrícolas es costoso y emite gases de efecto de invernadero, ya que generalmente se hace mediante la quema de combustibles como el gas. Por otro lado los productores agrícolas tienen que vender sus productos a precios bajos debido a que estos tienen caducidad.

El secado de estos productos les da valor agregado y permite que los productores puedan obtener mejores ganancias con estos. Una forma de secar productos es calentando el aire que circula por ellos, este aire se puede calentar mediante energía solar. Se han hecho esfuerzos para el uso de energía solar en el secado de productos agrícolas (Torres et al., 2016), (Terres et al., 2016). La tecnología más desarrollada para esto son los colectores planos, sin embargo estos tienen algunas desventajas; por ejemplo es más difícil que estén sellados perfectamente, por lo que tienen fugas de aire y caídas de presión. Existen diferentes tecnologías de concentración solar, como el colector parabólico compuesto (CPC), canal parabólico, fresnel lineal e incluso heliostatos (Ledezma, 2016).

El Colector Parabólico Compuesto (CPC) es una tecnología que ya se ha usado en calentadores solares de aire. Antonelli et al. (2016) propone una metodología para estimar las pérdidas térmicas dentro de un colector CPC para ser usado en el diseño y validación de nuevos colectores, conceptos y materiales. En Wang et al. (2014) se llevó a cabo la simulación y experimentación de un colector solar para calentar aire basado en CPC y un receptor de tubo evacuado con intercambiador de calor de cobre en forma de U.

En Wang et al. (2015) se diseñó un calentador solar de aire basado en CPC e intercambiador de calor de tubo evacuado concéntrico, para calentar el aire de 150 °C - 230 °C para producción industrial. Por otro lado, se han llevado a cabo estudios con dinámica de fluidos computacional usando el software comercial FLUENT®. Wadhawan et al. (2017) diseñaron un sistema de almacenamiento de calor con cambio de fase para un calentador de aire. Sharma y Kalamkar (2017) realizaron un estudio numérico de la transferencia de calor convectiva forzada en un calentador solar con aletas delgadas, se probaron diferentes geometrías de aletas y condiciones de flujo. Menasria et al. (2017) realizaron un estudio numérico del desempeño termo-hidráulico de un calentador solar de aire plano, equipado con deflectores rectangulares.

También se han llevado a cabo estudios con otros programas. Kumar y Chand (2017) desarrollaron un modelo teórico de un calentador solar de aire basado en la ecuación de balance de energía, el software usado en la simulación fue Matlab®. Thakur et al. (2017) llevaron a cabo la simulación en 3D y validación experimental de un calentador solar de aire con costillas hiperbólicas.

Las predicciones del modelo están acordes con las correlaciones de Blasius, Dittus-Boelter y los resultados experimentales. Paradis et al. (2015) desarrollaron un modelo térmico unidimensional de un colector solar de aire de tubos evacuados bajo condiciones transitorias. Jin et al. (2017) llevaron a cabo el estudio numérico de un calentador de aire solar rugoso con costillas en forma de V. Se llevaron a cabo simulaciones en tercera dimensión para diferentes geometrías variando la distancia escalonada; la altura de las costillas, el ángulo de ataque, la inclinación y el número de Reynolds.

Algunos desarrollos se han evaluado experimentalmente. Yeh (1994) desarrolló un colector solar para calentar aire con aletas y deflectores, lo que mejora significativamente la transferencia de calor. Li et al. (2015) desarrollaron un colector solar para calentamiento de aire con protuberancias hemisféricas en el plato absorbedor con el fin de mejorar su eficiencia. Se analizó su desempeño tanto en el aspecto óptico como en el termodinámico. Liu et al. (2013) desarrollaron un colector solar de aire de tubos evacuados acoplados a CPCs simplificados.

El receptor de tubo evacuado trabaja por efecto termosifónico usan líquido que entra en contacto con un serpentín donde se hace pasar aire. Pramuang y Exell (2005) llevaron a cabo la evaluación experimental de un calentador de aire basado en un concentrador parabólico compuesto truncado y un absorbedor plano. Alam y Kim (2017) presentan una revisión de varias técnicas usadas para incrementar el desempeño de calentadores solares de aire de doble paso. Abdullah y Bassiouny (2014) llevaron a cabo un estudio teórico y experimental de un calentador de aire solar cilíndrico flexible.

El colector solar está hecho con películas de polietileno de baja densidad (LPDE por sus siglas en inglés), actuando como absorbedor negro, un aislamiento trasero y cubiertas transparentes dobles sellados juntos en las orillas. El colector se infla cuando se sopla aire a través de él. Acir et al. (2017) identificaron los parámetros óptimos que afectan las eficiencias de energía y exergía para un nuevo diseño de calentador solar de aire usando un análisis relacional gris (GRA por sus siglas en inglés). Finalmente Alam y Kim (2017) presentan una revisión de varias técnicas usadas para incrementar el desempeño de calentadores solares de aire de doble paso. Se categorizaron los diferentes parámetros de los sistemas y su operación para entender su desempeño.

La literatura revela que numerosas técnicas se han enfocado en mejorar la transferencia de calor.

En el presente trabajo se llevaron a cabo: el diseño óptico y la simulación de dinámica de fluidos computacional de un calentador de aire solar basado en un Colector Parabólico Compuesto (CPC) y un receptor cilíndrico. Para determinar la energía incidente en el receptor cilíndrico se llevó a cabo el trazado de rayos considerando una radiación incidente de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Se llevó a cabo la comparación de la transferencia de calor sin y con aletas dentro del receptor cilíndrico, donde se espera que al incrementarse el área de intercambio de calor mejore la transferencia de calor, sin embargo, debe existir un límite para dicha área.

En la sección dos se describe la metodología, la cual se basa en el diseño óptico del CPC, la técnica de trazado de rayos y en dinámica de fluidos computacional. En la sección tres se muestran los resultados y finalmente en la sección cuatro las conclusiones.

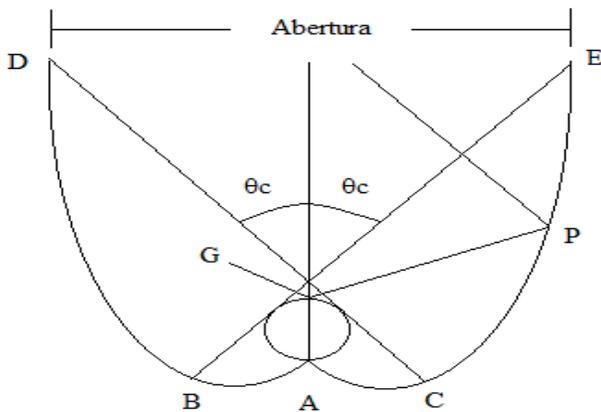
## Metodología

En esta sección se muestra la metodología para el diseño óptico y la obtención de la potencia incidente sobre el receptor cilíndrico. Posteriormente se llevó a cabo la simulación en dinámica de fluidos computacional para obtener los perfiles de temperatura y los flujos de calor hacia el aire que circula por el receptor cilíndrico.

## Diseño óptico

Un CPC está compuesto por dos parábolas truncadas, en este caso el perfil del CPC se proyecta a lo largo de un canal. La figura 1 muestra un CPC con receptor cilíndrico,  $\theta_c$  es el ángulo medio de aceptación. Las porciones del colector AB y AC son circulares, mientras que las porciones BD y CE son parabólicas.

En este diseño se requiere que en la porción parabólica que en cualquier punto P, la normal del colector debe bisecar el ángulo entre la línea tangente PG al receptor y y el rayo incidente en el punto P a un ángulo  $\theta_c$  con respecto al eje del colector.

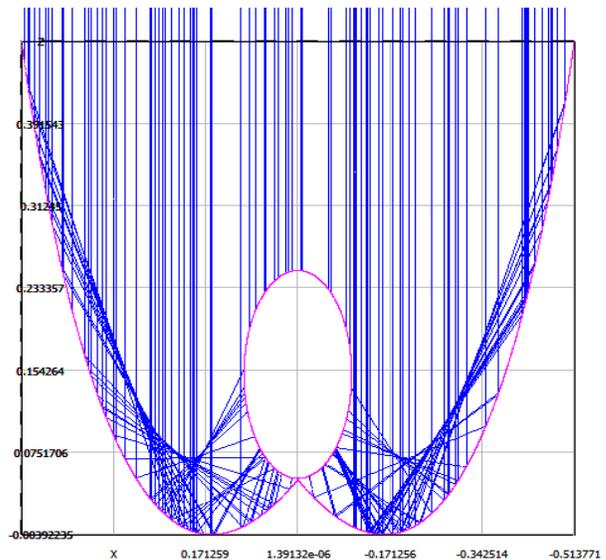


**Figura 1** Diagrama del calentador de aire basado en CPC  
Fuente: *Elaboración propia*

El CPC se diseño para tener una abertura de 1.0 m y una altura aproximada de 0.47 m. Se considero un receptor cilíndrico de aluminio con 0.2 m de diámetro exterior, una longitud de 2.44 m, un ángulo medio de aceptación  $\theta_c = 35^\circ$  y una razón de concentración geométrica  $C = 1.59$  (baja concentración).

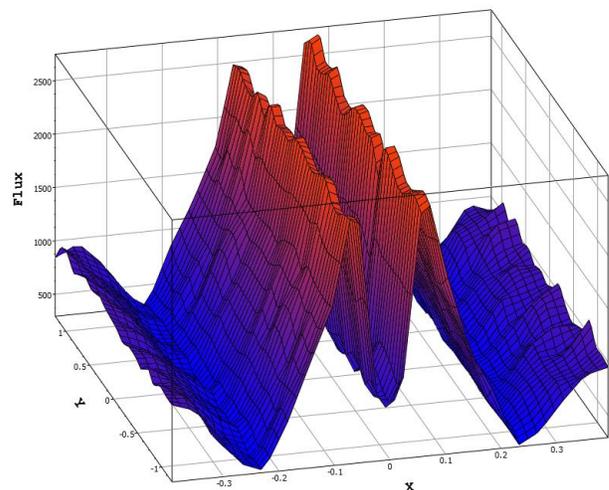
### Trazado de Rayos

Con los parámetros de diseño mencionados arriba se llevó a cabo el trazado de rayos con el software SolTrace. Se consideraron un error especular de  $\sigma_{esp} = 3$  mrad y un error de pendiente  $\sigma_{pend} = 9$  mrad. Adicionalmente se considero una radiación incidente normal a la abertura del colector de  $1000 \text{ W/m}^2$ . En el gráfico 1 se puede ver el trazado de rayos donde el factor de interceptación fue  $\gamma = 0.73$ .



**Gráfico 1** Trazado de rayos  
Fuente: *Elaboración propia*

En el gráfico 2 se puede observar la distribución del flujo radiativo a lo largo del tubo receptor de 0.2 m de diámetro, cuyo valor promedio es  $1,096 \text{ W/m}^2$ , tomando en cuenta el flujo promedio y el área del receptor  $A = 1.53 \text{ m}^2$  se determino que la radiación incidente en el receptor es de  $1676.9 \text{ W}$ .

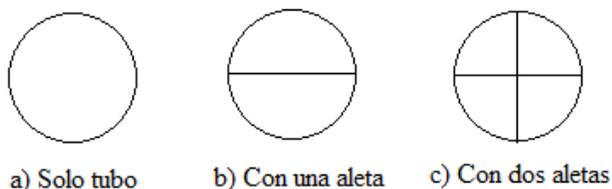


**Gráfico 2** Distribución de flujo radiativo en el receptor  
Fuente: *Elaboración propia*

Con el dato de radiación incidente sobre el receptor se puede llevar a cabo la simulación en CFD.

## Simulación en CFD

Para la simulación en CFD se consideró un receptor cilíndrico de aluminio de 0.2 m de diámetro exterior y una pared de 1 mm de espesor. De acuerdo al estándar ANSI ASHRAE 1993-2003 cuyo requerimiento superior de flujo de aire es de  $0.03 \text{ m}^3/\text{s m}^2$  y tomando en cuenta un área transversal de  $0.0314 \text{ m}^2$  se determinó una velocidad de flujo del aire que circula al interior del tubo receptor de 2.33 m/s. La figura 2 muestra las tres geometrías consideradas para el tubo receptor: a) solo el tubo, b) con una aleta interior y c) con dos aletas interiores.



**Figura 2** Geometrías consideradas en la simulación para el tubo receptor

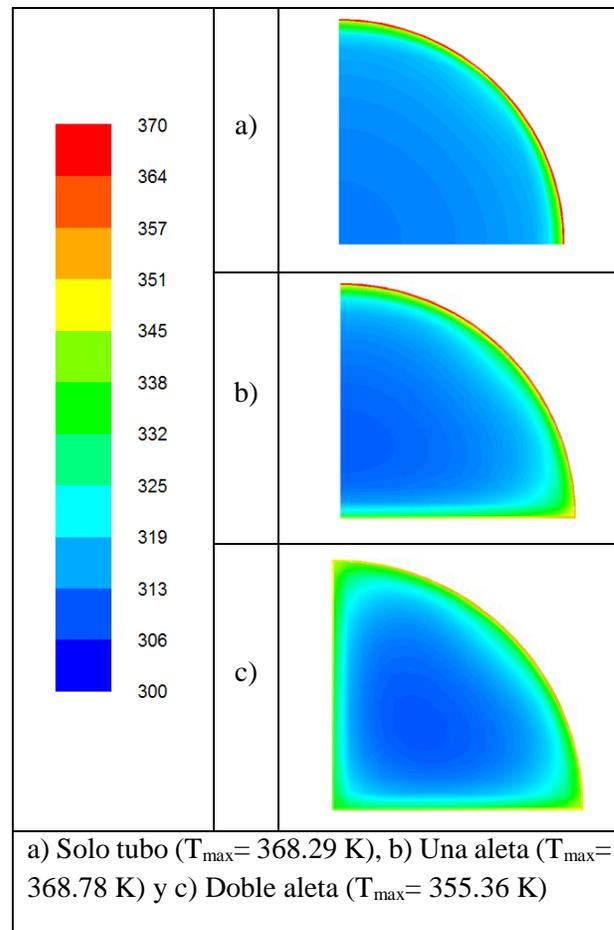
Fuente: Elaboración propia

## Resultados

Se llevaron a cabo las simulaciones correspondientes a cada geometría descrita anteriormente. Para ahorrar recursos de cómputo se considero solo un cuarto del cilindro, ya que en FLUENT® se puede aplicar la simetría. En el gráfico 3 se pueden ver los perfiles de temperatura para las diferentes geometrías consideradas.

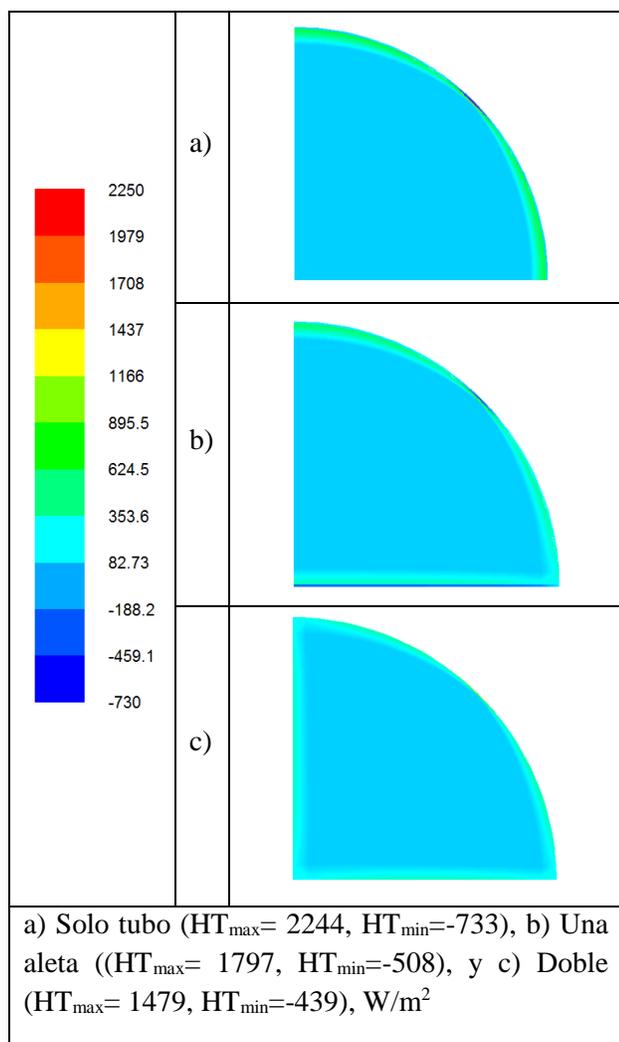
Si bien en las geometrías a) y b) se obtuvieron temperaturas máximas de 368.29 K y 368.78 K respectivamente se puede observar que la cantidad de aire caliente es mayor en la geometría c) de dos aletas, aun cuando su temperatura máxima fue menor (355.36 K), esto se debe a que hay una mejor transferencia de calor de las paredes hacia el aire.

En el gráfico 4 se observa que el flujo de calor pico fue mayor en el caso a) donde solo esta el tubo y en los casos b) y c) decrecieron los flujos pico, sin embargo nuevamente se observa que al haber más área de contacto el flujo total se incrementa conforme se va aumentando el número de aletas interiores.



**Gráfico 3** Perfiles de temperatura en el aire para a) solo tubo, b) con una aleta interior y c) con dos aletas interiores.

Fuente: Elaboración propia



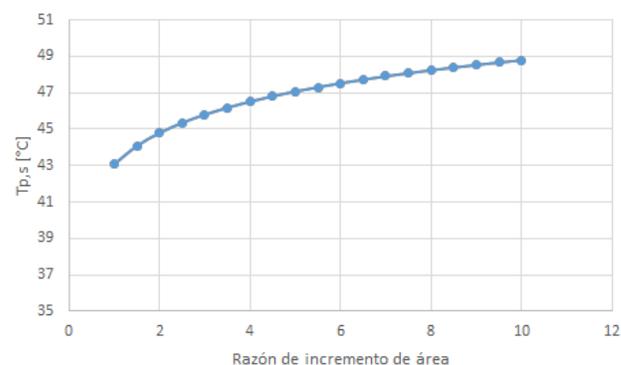
**Gráfico 4.** Perfiles de flujo de calor para a) solo tubo, b) con una aleta interior y c) con dos aletas interiores  
Fuente: *Elaboración propia*

Se calculó la temperatura promedio a la salida para cada caso de la figura 2. En la tabla 1 se muestran las temperaturas promedio del aire a la salida del receptor en función a una razón de incremento de área, la cual resulta de dividir el área total de intercambio de calor entre el área interior original del tubo sin aletas.

Caso	Razón de incremento de área	Temp prom aire
Sin aletas	1.00	43.0
Una aleta	1.63	44.5
Dos aletas	2.27	45.0

**Tabla 1** Temperaturas promedio del aire a la salida del receptor en función del incremento de área

Con los datos de la tabla 1 se obtuvo una línea de interpolación logarítmica, con la que se puede estimar el incremento de temperatura del aire a la salida  $T_{p,s}$  al aumentar el área de intercambio de calor. En el gráfico 5 se muestra dicha estimación.



**Gráfico 5** Estimación de la temperatura a la salida  
Fuente: *Elaboración propia*

En el gráfico 5 se observa que la temperatura se va incrementando de manera logarítmica, donde se incrementa dos grados cuando se incrementa al doble el área de intercambio de calor, posteriormente para incrementar otros dos grados la temperatura se tiene que incrementar el área de 2 a 5 veces y para incrementar otros dos grados de temperatura se tiene que incrementar el área de 5 a 10 veces. De acuerdo a lo anterior se puede deducir que no tiene sentido seguir incrementando el área de intercambio de calor.

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que al incrementarse el área de intercambio de calor entre la pared del receptor y el aire se mejora la transferencia de calor, adicionalmente la distribución de temperaturas en el aire tiende a homogenizarse. Adicionalmente se observó que el incremento de temperatura con respecto a la razón de incremento de área de intercambio de calor, tiene un comportamiento logarítmico, lo cual implica que para incrementar la temperatura en dos grados sucesivamente requiere cada vez mayor área de energía por lo que no tiene sentido seguir incrementando el área de intercambio de calor.

## Agradecimientos

A los técnicos académicos del Departamento de Ingeniería Sustentable del CIMAV: M.C. Jorge A. Escobedo-Bretado y al M.C. Mario Nájera Trejo por el apoyo brindado en las simulaciones. Se agradece el apoyo económico recibido por parte del: Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CeMIE-Sol), A través del Proyecto: P13 "Laboratorios de pruebas para baja y media temperatura, laboratorio para el diseño e integración de sistemas termo solares asistido por computadora" Pertenece a la Convocatoria 2013-02, del: FONDO SECTORIAL CONACYT - SENER - SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA.

## Referencias

Abdullah A.S., Bassiouny M.K. (2014). Performance of cylindrical plastic solar collectors for air heating. *Energy Conversion and Management*, 88, 88–95.

Acir A., Canlı M. E., Ata I., Çakiroglu R. (2017). Parametric optimization of energy and exergy analyses of a novel solar air heater with grey relational analysis. *Applied Thermal Engineering*, 122, 330–338.

ANSI/ASHRAE Standard 93, (2003). *Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors*.

Antonelli M., Francesconi M., Di Marco P., Desideri U.. (2016). Analysis of heat transfer in different CPC solar collectors: A CFD approach. *Applied Thermal Engineering*, 101, 479-489.

Gulcimen F., Karakaya H., Durmus A. (2016). Drying of sweet basil with solar air collectors. *Renewable Energy*, 93, 77-86.

Jin D., Zuo J., Quan S., Xu S., Gao H. (2017). Thermohydraulic performance of solar air heater with staggered multiple V-shaped ribs on the absorber plate. *Energy*, 127, 68-77.

Kumar R., Chand P. (2017). Performance enhancement of solar air heater using herringbone corrugated fins. *Energy*, 127, 271-279.

Ledezma-Jaime R., Rodríguez-Sánchez M. Ferrer-Almaráz M. A., Ramos-López H. (2016). Análisis dinámico estructural de un helióstato concentrador de energía solar. *Revista de Energía Química y Física*, 3, 1-11.

Li Shui-lian, Meng Xiang-rui, Wei Xin-li. (2015). Heat transfer and friction factor correlations for solar air collectors with hemispherical protrusion artificial roughness on the absorber plate. *Solar Energy*, 118, 460–468.

Liu Z. H., Hua R. L., Lu L., Zhao F., Xiao H. S. (2013). Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluid for evacuated tubular high temperature air solar collector. *Energy Conversion and Management*, 73, 135–143.

- Menasria F., Zedairia M., Moumami A. (2017). Numerical study of thermohydraulic performance of solar air heater duct equipped with novel continuous rectangular baffles with high aspect ratio. *Energy*, 133, 593-608.
- Paradis P. L., Rouse D. R., Hallé S., Lamarche L., Quesada G. (2015). Thermal modeling of evacuated tube solar air collectors. *Solar Energy*, 115, 708–721.
- Pramuang S., Exell R.H.B. (2005). Transient test of a solar air heater with a compound parabolic concentrator. *Renewable Energy*, 30, 715–728
- Sharma S. K., Kalamkar V. R. (2017). Experimental and numerical investigation of forced convective heat transfer in solar air heater with thin ribs. *Solar Energy*, 147, 277–291.
- Tabish A., Man-Hoe K. (2017). Performance improvement of double-pass solar air heater – A state of art of review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 779–793.
- Thakur D. S., Khan M. K., Pathak M. Solar air heater with hyperbolic ribs: 3D simulation with experimental validation. *Renewable Energy*, 113, 357-368.
- Terres H., Vaca M., Lizardi A. López R. (2016). Análisis energético y exergético del secado de hierbas aromáticas con energía solar. *Revista de Prototipos Tecnológicos*, 2, 1-9.
- Torres J., Hernández O., Arce G. y Vizuet J. (2016). Secado de nopal (*Opuntia ficus*) utilizando secador solar con sistema de reflectores. *Revista de Energía Química y Física*, 3, 39-46.
- Wadhawan A., Dhoble A.S., Gawande V.B. (2017). Analysis of the effects of use of thermal energy storage device (TESD) in solar air heater. *Alexandria Engineering Journal*. Article in Press.
- Wang P. Y., Guan H. Y., Liu Z. H., Wang G. S., Zhao F., Xiao H. S. (2014). High temperature collecting performance of a new all-glass evacuated tubular solar air heater with U-shaped tube heat exchanger. *Energy Conversion and Management*, 77, 315–323.
- Wang P. Y., Li S. F., Liu Z. H. (2015). Collecting performance of an evacuated tubular solar high-temperature air heater with concentric tube heat exchanger. *Energy Conversion and Management*, 106, 1166–1173.
- Yeh H. M.. (1994). Efficiency of upward-type baffled solar air heaters. *Energy*, 19, 443-448.

**[Título en Times New Roman y Negritas No.14]**

Apellidos en Mayusculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor  
*Correo institucional en Times New Roman No.10 y Cursiva*

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

---

**Resumen**

Título

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

**Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman  
y Negritas No.11**

**Abstract**

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

**Keyword**

---

**Cita:** Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor. Título del Paper.  
Título de la Revista. 2015, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

---

---

† 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

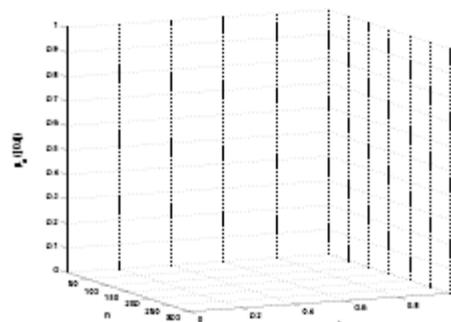
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

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

### Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

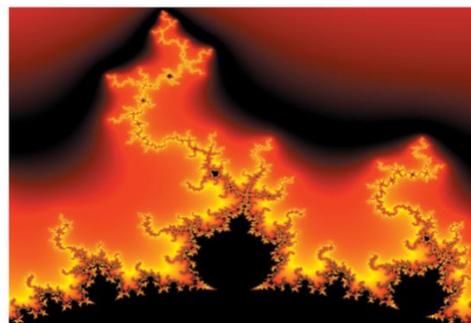
En el *contenido del artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

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



**Grafico 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.

### **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.

### **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

Referencia

## Formato de Originalidad



Sucre, Chuquisaca a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 20\_\_\_\_

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

---

Firma (Signature):

---

Nombre (Name)

**Formato de Autorización**



Sucre, Chuquisaca a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 20\_\_\_\_

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN-Bolivia a difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN-Bolivia to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

\_\_\_\_\_  
Firma (Signature)

\_\_\_\_\_  
Nombre (Name)

# Revista de Energía Química y Física

## " Estudio de perfiles de radiación solar de pantanos de Centla"

PÉREZ-UC, Daniel Alejandro , PEDRERO-HERNÁNDEZ, Sandra Elena,  
PÉREZ-DURÁN, Marco Antonio y ZARATE, Marco Antonio  
*Instituto Tecnológico Superior de Centla*

## " Transferencia de tecnología hidráulica para suministro de agua a comunidades rurales de alta marginación, en el Municipio de Centla Tabasco (Ejido el Faisán) "

PEREZ-DURAN, Marco Antonio , ZARATE, Marco Antonio, PÉREZ-UC,  
Daniel Alejandro y PEDRERO-HERNÁNDEZ, Sandra Elena  
*Instituto Tecnológico Superior de Centla*

## "Generación de Biodiesel a partir de residuos de aceites, utilizando un reactor con PLC para la automatización del proceso"

CARO-BECERRA, Juan Luis<sup>1</sup>, CASTELLANOS-RANGEL, libier<sup>1</sup>,  
ROMERO-GONZALEZ, Fernando<sup>2</sup> y RUIZ-MORALES, María Del Rosario<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> *Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara*  
<sup>2</sup> *Centro Universitario Guadalajara LAMAR*

## " Diseño óptico y simulación mediante dinámica de fluidos computacional de un calentador solar de aire basado en colectores parabólicos compuestos"

VENEGAS-REYES, Eduardo<sup>1</sup>, RODRÍGUEZ-MUÑOZ, Norma A.<sup>1</sup>,  
MARTÍN-DOMINGUEZ, Ignacio R.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> *Cátedras CONACYT, en Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.*  
<sup>2</sup> *Centro de Investigación en Materiales Avanzados*



[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)