

ISSN 2410-3950

Volumen 7, Número 22 – Enero – Junio – 2020

Revista de  
Sistemas  
Experimentales

**ECORFAN<sup>®</sup>**

## **ECORFAN-Bolivia**

### **Editor en Jefe**

BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD

### **Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

### **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

### **Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

### **Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

### **Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

### **Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

### **Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Revista de Sistemas Experimentales**, Volumen 7, Número 22, de Enero a Junio - 2020, es una revista editada semestralmente por ECORFAN-Bolivia. Loa 1179, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia. WEB: [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editor en Jefe: BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD ISSN-2410-3950. 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 2020.

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

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional del Derecho de Autor

# **Revista de Sistemas Experimentales**

## **Definición del Research Journal**

### **Objetivos Científicos**

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Biología y Química, en las Subdisciplinas de química analítica, química farmacéutica, química física, química inorgánica, química, macromolecular, química nuclear, física de fluidos, física, estadística, física molecular, física teórica.

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

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

### **Alcances, Cobertura y Audiencia**

Revista de Sistemas Experimentales es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Bolivia, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de química analítica, química farmacéutica, química física, química inorgánica, química, macromolecular, química nuclear, física de fluidos, física, estadística, física molecular, física teórica con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Biología y Química. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

## **Consejo Editorial**

CARVAJAL - MILLAN, Elizabeth. PhD  
École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier

CÓRDOVA - GUERRERO, Iván. PhD  
Universidad de la Laguna

ARMADO - MATUTE, Arnaldo José. PhD  
Universidad de los Andes

RIVERA - BECERRIL, Facundo. PhD  
Institut National de la Recherche Agronomique

CRUZ - REYES, Juan. PhD  
Instituto de Catálisis y Petroleoquímica

LOPEZ - ZAMORA, Leticia. PhD  
Universidad Politécnica de Valencia

STILIANOVA - STOYTCHEVA, Margarita. PhD  
Universidad de Tecnología Química y Metalurgia de Sofia

CORNEJO - BRAVO, José Manuel. PhD  
University of California

SOTERO - SOLIS, Victor Erasmo. PhD  
Universidade de São Paulo

OROPEZA - GUZMÁN, Mercedes Teresita. PhD  
National Polytechnique de Toulouse

## **Comité Arbitral**

ALVARADO - FLORES, Jesús. PhD  
Universidad Autónoma de Aguascalientes

DE LEON - FLORES, AneD. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

MARTÍNEZ - QUIROZ, Marisela. PhD  
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica

MAGANA - BADILLA, Héctor Alfonso. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

VALDEZ - CASTRO, Ricardo. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

QUIROZ - CASTILLO, Jesús Manuel. PhD  
Universidad de Sonora

SANTACRUZ - ORTEGA, Hisila del Carmen. PhD  
Instituto Tecnológico de Tijuana

MENDOZA - CASTILLO, Didilia Ileana. PhD  
Instituto Tecnológico de Aguascalientes

OCHOA - TERÁN, Adrián. PhD  
Tecnológico Nacional de México

FRONTANA - VAZQUEZ, Carlos Eduardo. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

SALDARRIAGA, Hugo. PhD  
Universidad Autónoma del Estado de México

## **Cesión de Derechos**

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

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

## **Declaración de Autoría**

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

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

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

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

## **Detección de Plagio**

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

## **Proceso de Arbitraje**

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

## **Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación**

### **Área del Conocimiento**

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Métodos lógicos, métodos de investigación, método hipotético-deductivo, método de la observación científica, método de la medición, experimentación científica, climatología geología, geoquímica, acústica y a otros temas vinculados a las Biología y Química.

## **Presentación del Contenido**

Como primer artículo presentamos, *Aplicación de la energía solar mediante sistema termosolar y sistema solar fotovoltaico, para proceso de purificación de agua para uso humano, en función de utilizar un recurso solar promedio de al menos 3.0 horas solar pico*, por BARRAGÁN-BUENO, Miguel, como segundo artículo presentamos, *Diseño y construcción de un sistema de humidificación para un banco de celdas de combustible PEM*, por MARTÍNEZ-CRUZ, Salvador, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús, DUARTE-MOLLER, José y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan, como tercer artículo presentamos, *Efectos de la temperatura en la eficiencia de un módulo fotovoltaico*, por MESSINA-LOPEZ, Víctor, DIBENE-ARRIOLA, Luis y PAREDES-VAZQUEZ, César, como último artículo presentamos, *Caracterización de un colector solar de tubos evacuados y de flujo continuo para aplicaciones industriales*, por LEMUS-HERNÁNDEZ, Julio, MONTER-ARREGUIN, Samuel y CASTAÑEDA-OLIVARES, Felipe.

## Contenido

<b>Artículo</b>	<b>Página</b>
<b>Aplicación de la energía solar mediante sistema termosolar y sistema solar fotovoltaico, para proceso de purificación de agua para uso humano, en función de utilizar un recurso solar promedio de al menos 3.0 horas solar pico</b> BARRAGÁN-BUENO, Miguel	1-7
<b>Diseño y construcción de un sistema de humidificación para un banco de celdas de combustible PEM</b> MARTÍNEZ-CRUZ, Salvador, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús, DUARTE-MOLLER, José y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan	8-13
<b>Efectos de la temperatura en la eficiencia de un módulo fotovoltaico</b> MESSINA-LOPEZ, Víctor, DIBENE-ARRIOLA, Luis y PAREDES-VAZQUEZ, César	14-22
<b>Caracterización de un colector solar de tubos evacuados y de flujo continuo para aplicaciones industriales</b> LEMUS-HERNÁNDEZ, Julio, MONTER-ARREGUIN, Samuel y CASTAÑEDA-OLIVARES, Felipe	23-30

## Aplicación de la energía solar mediante sistema termosolar y sistema solar fotovoltaico, para proceso de purificación de agua para uso humano, en función de utilizar un recurso solar promedio de al menos 3.0 horas solar pico

### Application of solar energy by solar thermal system and photovoltaic solar system, for water purification process for human use, depending on using an average solar resource of at least 3.0 peak solar hours

BARRAGAN-BUENO, Miguel†\*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Miguel, Barragan-Bueno*

DOI: 10.35429/JOES.2020.22.7.1.7

Recibido: Enero 10, 2020; Aceptado: Junio 30, 2020

#### Resumen

La ingesta de agua para las personas es de 2.0 litros promedio diario, este vital líquido, debe estar purificado o al menos hervido. Considerando que en nuestro país existen comunidades que se encuentran muy alejadas, donde no cuentan con el suministro de energía eléctrica ni de gas LP, para el proceso de cocción de alimentos o en este caso para hervir agua para consumo, estas razones, nos permiten apegarnos a los Objetivos del Desarrollo del Milenio, elaborados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, que consiste en eliminar la pobreza y la desigualdad, es necesario dotar a todas estas comunidades marginadas en el mundo de acceso a los servicios modernos de energía. Una parte importante para atender estas irregularidades en estas comunidades marginadas, corresponde a que al menos pudiesen contar con agua purificada para su ingesta, además de contar con un recurso energético gratuito, como es la aplicación de las energías renovables, en especial, el uso de la energía solar, mediante el diseño de un sistema solar fotovoltaico o de un colector solar o calentador solar, capaces de poder purificar el agua, mediante el proceso de hervido o ebullición de agua. Las consideraciones para el diseño de estos modelos, fueron utilizar un recurso solar de al menos 3.0 horas solar pico (HSP), aún y sabiendo que el estándar nacional es de 5.0 HSP. Con esto, lograr el objetivo de poder purificar hasta 200 litros por día de agua, mediante el proceso de hervido, utilizando la Energía Solar.

**Energías Renovables, Energía Solar, Recurso Solar, Colector Solar, Sistema Solar Fotovoltaico, Hora Solar Pico**

#### Abstract

The intake of water for the people is of 2.0 litres average daily, this vital liquid, must be purified or at least boiled. Considering that in our country there are communities that are too far away, where they do not have the supply of electric power or LP gas, for cooking of food or in this case to boil drinking water, these reasons, allow us to adhere to the the development of the Millennium, prepared by the United Nations development programme which consists of eliminating poverty and inequality, it is necessary to provide all these marginalized communities in the world of access to modern energy services. An important part to address irregularities in these marginalized communities, corresponds to that it could at least count on purified water for your intake, in addition to a free energy resource, as it is the application of renewable energy sources, in particular, the use of solar energy, through the design of a photovoltaic solar system or solar heating or solar collector, capable of to be able to purify the water, through the process of boiled or boiling of water. The considerations for the design of these models, were using a resource solar of at least 3.0 hours solar peak (HSP), still and knowing that the standard national is of 5.0 HSP. The goal of can purify up to 200 litres per day of water through the brewing process, using Solar energy with this.

**Renovable energies, Solar energy, solar resources, Solar system**

**Citación:** BARRAGAN-BUENO, Miguel. Aplicación de la energía solar mediante sistema termosolar y sistema solar fotovoltaico, para proceso de purificación de agua para uso humano, en función de utilizar un recurso solar promedio de al menos 3.0 horas solar pico. Revista de Sistemas Experimentales. 2020. 7-22:1-7.

\* Correspondencia al Autor: (Correo electrónico: mikebb180269@hotmail.com)

† Investigador contribuido como primer autor.

## Introducción

La ingesta de agua para las personas es de aproximadamente de 2.0 litros promedio diario, pero debemos saber que este líquido vital, debe estar purificado o al menos hervido, para que no se genere algún problema de salud en las personas que lo ingieren. Ahora si consideramos que en nuestro país existen comunidades que se encuentran muy alejadas, donde ni cuentan con el suministro de energía eléctrica ni de gas LP para el proceso de cocción de alimentos o en este caso para hervir agua para consumo, toda vez que a pesar del gran avance tecnológico y económico que la humanidad ha experimentado durante el siglo XX. Esta falta de acceso a los servicios energéticos modernos, no solo cancela sus posibilidades de escapar de la pobreza, sino que impide el acceso a otros servicios esenciales como salud y educación. Para alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio, elaborados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de eliminar la pobreza y la desigualdad, es necesario dotar a todas las comunidades marginadas en el mundo de acceso a los servicios modernos de energía. No es posible disponer de agua potable de calidad, sin un bombeo adecuado o de los combustibles para el proceso en esencia del purificado del agua. En general, las actividades productivas generadoras de ingreso requieren agua y energía limpias, por lo que dotar de estos bienes a las comunidades marginadas es uno de los grandes desafíos que enfrenta la humanidad. México, aunque cuenta con una cobertura de electrificación estimada en cerca del 97 %, existen todavía más de 3 millones de personas sin acceso a la red eléctrica, las cuales están ubicadas en alrededor de 70 000 localidades, principalmente en zonas rurales y marginadas.

En general, carecen de los servicios básicos de agua potable, acceso a la energía, infraestructura para recolección, tratamiento y disposición de residuos sólidos y líquidos, así como pobreza alimentaria y de vivienda. Son comunidades pequeñas que se encuentran ubicadas en lugares remotos para los que la instalación de la red eléctrica resulta extremadamente costosa o del suministro de gas LP, por lo cual no se les otorga de este servicio.

Una parte importante para atender a estas irregularidades, correspondientes en estas zonas o comunidades marginadas, corresponde a que al menos pudiesen contar con agua purificada para su ingesta y con esto disminuir al menos gran parte de los problemas de salud que les aquejan, además de contar con un recurso energético gratuito como es con la aplicación de las energías Renovables, en especial el uso de la energía solar en favor de las mismas, todo esto, mediante los diseños de algunos Sistemas Solares Fotovoltaicos o de un colectores solares (calentadores solar), capaces de poder purificar el agua de uso diario, mediante el proceso de hervido o ebullición de agua. Es decir, mediante la aplicación de la Energía Solar, la cual no nos cuesta, podamos enfocarla exclusivamente para este fin, mediante la aplicación de modelos de colectores solares o calentadores solares y también, mediante el uso de sistemas fotovoltaicos. Las consideraciones para el diseño de estos modelos, con la consideración de utilizar un recurso solar promedio de al menos 3.0 horas solar pico (HSP), aún y sabiendo que el estándar nacional del recurso solar es de 5.0 HSP, es decir, para el diseño de estos sistemas, tanto termo solares como fotovoltaicos, solo se considera un recurso solar del 60 por ciento, del establecido como promedio en nuestro país.

Con estas consideraciones, se puedan logran los objetivos de poder purificar ya sea desde 150 litros al día por un sistema termo solar o hasta 200 litros por día de agua purificada por el empleo de un sistema solar fotovoltaico.

Estos prototipos pueden utilizarse en cualquier comunidad del país, recordando que México cuenta con un Recurso Solar muy bueno, considerado de hasta 5.0 HSP, recordar que el diseño propuesto se basó en un Recurso Solar de solo 3.0 HSP, lo que es mejor, puede contribuir con el desarrollo sustentable de las mismas comunidades, además de que el agua calentada estará libre de organismos que pueden dañar la salud de las personas, no contaminan, puesto que no se genera ni un solo gramo de CO<sub>2</sub>, por el calentamiento del agua mediante el uso de estos prototipos (colector solar y sistema solar fotovoltaico), esto contribuye considerablemente con el medio ambiente y por supuesto contra el cambio climático que cada vez genera más estragos en las poblaciones.

### Cálculos y diseño del colector o calentador solar

Para el diseño y dimensionamiento del colector solar, el cual se basa principalmente para calentar agua hasta temperaturas por encima del grado de ebullición del agua, es decir, teniendo la consideración que corresponde a la temperatura final del agua sometida a este proceso de 110 °C, partiendo de utilizar una temperatura ambiente del agua de 15 °C, así como, el volumen de 150 litros por día y la parte esencial de utilizar solamente para este diseño, un recurso solar de 3.0 horas solares pico, equivalentes a 10.8 MJ/m<sup>2</sup>, para lo que podemos decir que, el diseño propuesto está establecido, mediante los siguientes cálculos realizados, partiendo inicialmente de los datos técnicos que a continuación se mencionan:

Datos técnicos del diseño:

- Volumen de agua a calentar 150 litros.
- Temperatura ambiente del agua 15 °C.
- Temperatura final o requerida del agua 110 °C.
- Calor específico del agua 4.1868 kJ/kg °C.
- Densidad del agua 1.0 kg / l.
- Recurso Solar considerado para diseño 3.0 HSP = 10.8 MJ/m<sup>2</sup>.
- Considerando que 1.0 HSP = 3.6 MJ
- Superficie que se espera obtener del colector solar del diseño 6.0 m<sup>2</sup>.
- Aportación energética de 1 kg de gas LP = 48 MJ.



**Figura 1** Diseño de Colector Solar de 1.5 m<sup>2</sup>

Solución del problema:

- 1.- Determinación de la Cantidad de Energía Requerida para calentar el volumen establecido a la temperatura establecida.

Para la determinación de este parámetro, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{req}} = V \cdot \delta \cdot q \cdot \Delta T \quad (1)$$

Donde:

$Q_{\text{req}}$  corresponde a la cantidad de energía requerida para calentar el fluido a la temperatura requerida.

$V$  corresponde al volumen de agua que se pretende calentar.

$\delta$  corresponde a la densidad del fluido, en este caso, es la densidad del agua.

$q$  corresponde al calor específico del fluido, en nuestro caso corresponde al agua

$\Delta T$  corresponde a la diferencia de temperatura, entre la temperatura requerida del fluido y la temperatura del fluido a temperatura ambiente.

Es decir:  $\Delta T = T_{\text{req}} - T_{\text{amb}}$

Ahora, al sustituir los valores de las variables en la ec. 1, tendremos lo siguiente:

$$Q_{\text{req}} = (150 \text{ l}) \cdot (1.0 \text{ kg/l}) \cdot (4.1868 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) \cdot (110^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{req}} = 59,661.9 \text{ kJ} = 59.66 \text{ MJ}$$

Es decir, requerimos de 59.66 Mega Joules de Energía, para poder calentar los 150 litros de agua a la temperatura de 110 °C.

El siguiente paso, corresponde al dimensionamiento del colector solar, el cual se determinará con la siguiente ecuación:

$$A_{\text{col}} = Q_{\text{req}} / R.S. \quad (2)$$

Donde

$A_{\text{col}}$  corresponde al área o superficie del colector solar.

$Q_{req}$  corresponde a la cantidad de energía requerida para calentar el fluido a la temperatura requerida.

R.S. corresponde al recurso solar de la localidad, en nuestro caso, se determinó utilizar solamente un recurso solar de  $3.0 \text{ HSP} = 10.8 \text{ MJ/m}^2$ .

Sustituyendo los valores en la Ecuación 2, obtenemos lo siguiente:

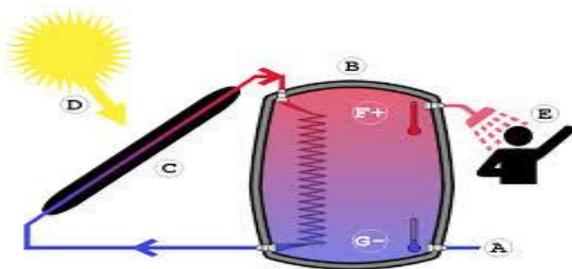
$$A_{col} = (59.66 \text{ MJ}) / (10.8 \text{ MJ/m}^2)$$

$$A_{col} = 5.52 \text{ m}^2$$

Es decir, necesitamos un colector solar con una superficie de captación de 5.52 metros cuadrados, aproximándolo a los 6.0 metros cuadrados, esto con fines de establecer unidades enteras. El esquema general del diseño de un colector solar casero se muestra en la Figura 2.

Funcionamiento del colector solar:

- A- Entrada de Agua fría suministrada del Tinaco hacia el Colector solar.
- B- Tanque de Almacenamiento.
- C- Colector de Agua Solar Casero orientado hacia el Sur con una inclinación que puede variar desde los 15 hasta los 30°.
- D- Aprovechamiento de la Radiación Solar Gratuita, para calentar agua.
- E- Usuario final. Para nuestro caso consiste en purificación del agua.
- F- Agua a temperatura alta dentro del Tanque, lista para su uso final.
- G- Agua a temperatura baja (Temperatura ambiente del agua).



**Figura 2** Esquema del funcionamiento de un calentador solar convencional

### Consideraciones y datos del diseño propuesto

El sistema del colector solar propuesto está integrado por, un colector solar, un recipiente de agua fría o tinaco de volumen variable, situado al menos a 1.5 metros de altura con respecto de la entrada de agua al colector, en este caso se ejemplifica con un garrafón de 20 litros en color azul, el colector solar, el cual está integrado por un bastidor metálico rectangular que contiene en su interior una tubería de cobre en T pintada en color negro mate, la cual recibe por la parte superior la radiación solar que atraviesa el vidrio, calentando así la tubería y esta a su vez, transfiere al agua fría, este prototipo también se auxilió de espejos, colocados en un ángulo de 45° para calentar la tubería, por los costados y la parte inferior de esta, con esto logramos incrementar el área de calentamiento en los tubos, para que así, se pueda incrementar la eficiencia del colector, por último, ya que el agua recibió la transferencia de calor de los tubos, por un efecto convectivo en los fluidos, es decir, el agua caliente al ser menos densa que el agua fría, circula hacia la parte superior del Colector Solar, en donde, se encuentra la salida de la misma y con una temperatura muy superior a la de la entrada, se puede decir, que la temperatura de salida del agua, no es adecuada para exponerse a tomar un baño directamente pero si para cocinar alimentos, esto se comprobó mediante la preparación de una sopa instantánea.

La tercera etapa llamada Tanque de Almacenamiento se compone de un recipiente que recibe el agua caliente y la almacena hasta su posterior uso. El volumen del tanque depende de la cantidad de agua requerida diariamente, este tanque se encuentra aislado respecto del exterior mediante un material aislante o de baja conductividad térmica, ya sea aire o fibras especiales al alcance de todos, en donde puede permanecer a una temperatura en equilibrio térmico durante un tiempo considerable mientras no exista transferencia de calor entre el Tanque de Almacenamiento y el Colector solar. Para ello se auxilia del aislamiento de las tuberías de los muebles hidráulicos desde el tanque hasta su destino final.

### Cálculos y diseño del sistema Solar Fotovoltaico (aislado de la red)

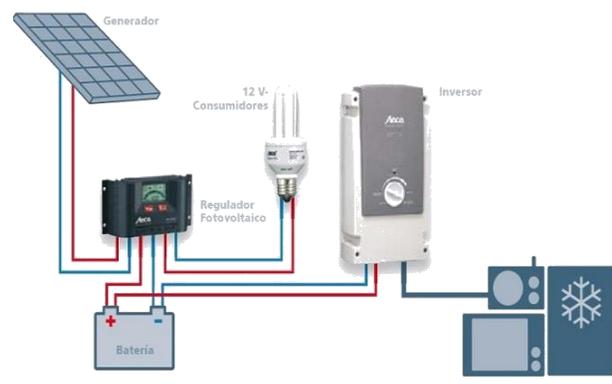
Para el diseño y dimensionamiento del Sistema Solar Fotovoltaico, con el cual se generará la energía eléctrica necesaria para usarse en el uso de la resistencia eléctrica, es decir, por cada sesión de hervido de agua en la cual la resistencia recomendada se puede utilizar para hervir hasta 20 litros, durante un tiempo aproximado de 12 minutos por sesión, esta tiene un consumo de 500 Wh, además de considerar que diariamente podamos hervir hasta 200 litros, tendríamos un uso de 10 sesiones, o el equivalente a dos hora de uso, para cubrir esta demanda de energía eléctrica, equivalente a los 1000 Wh, y la parte esencial de utilizar solamente un recurso solar de 3.0 HSP, equivalentes a 3.0 kWh/m<sup>2</sup>, para lo que podemos decir que, el diseño propuesto está establecido, mediante los siguientes cálculos realizados, partiendo inicialmente de los datos técnicos que a continuación se mencionan:

#### Datos técnicos del diseño:

- Carga total requerida por el uso diario de la resistencia eléctrica 1000 Wh.
- Carga requerida por resistencia 500 Wh.
- Uso diario de resistencia 2 horas.
- Carga requerida por sesión de hervido de 20 litros de agua es de 100 Wh.
- Cantidad de agua por sesión de uso de resistencia, 20 litros.
- Duración aproximada en hervir agua con resistencia, 12 minutos.
- Recurso Solar considerado para diseño 3.0 HSP = 3.0 kWh/m<sup>2</sup> por día.
- Considerando que 1.0 HSP = 1.0 kWh/m<sup>2</sup>
- Potencia pico de los módulos a utilizar, esta deberá ser en función de los que encontremos en el mercado y de acuerdo con la potencia pico de estos, para este caso se consideran módulos de 200 Wp.
- Controlador de carga 12/24 V, potencia máxima de entrada de 500W.

- Características de la batería a utilizar 115Ah, 12 V.
- Potencia acumulada en baterías al 100 %, 1380 Wh.

En el siguiente esquema observamos de forma general, el Sistema Solar Fotovoltaico aislado de la Red, en cual se muestran los elementos principales del SSFV, como son, los módulos fotovoltaicos, el controlador de carga, las baterías, y el inversor.



**Figura 3** Esquema de un Sistema Solar Fotovoltaico aislado de la red

#### Solución del problema:

- 1.- Determinación de la demanda de energía eléctrica diaria para el hervido de agua, utilizando resistencia eléctrica de 500 Wh, por sesión aproximada de 12 minutos, con la cual calentaremos un volumen de agua de 20 litros hasta su punto de ebullición.
- 2.- Tenemos que para lo anterior requerimos de 100 Wh, para cubrir la demanda energética de hervir 20 litros de agua, en un tiempo aproximado de 12 minutos.
- 3.- Calculo del sistema SSFV, mediante el uso de 3.0 HSP.

$$\text{SSFV} = P_T / R. S. \quad (3)$$

Donde:

SSFV corresponde a la potencia pico del sistema solar fotovoltaico (Wp o kWp).

P<sub>T</sub> es la Potencia Eléctrica total o energía eléctrica total (Wh/día o kWh/día).

R.S. es el Recurso Solar, utilizado para el dimensionamiento. Por lo regular debe corresponder al Recurso Solar promedio de la localidad donde será instalado el SSFV (HSP/día ó kWh/m<sup>2</sup> / día).

Sustituyendo los valores en la Ec. 3 obtenemos, el dimensionamiento del SSFV:

$$\text{SSFV} = (1000 \text{ Wh/día}) / (3.0 \text{ HSP/día})$$

$$\text{SSFV} = 333.33 \text{ Wp}$$

Determinación de número de módulos FV:

$$\text{No. Mod.} = \text{SSFV} / P_{p_{\text{mod}}} \quad (4)$$

No. Mod. Corresponde a la cantidad de módulos FV requeridos para cubrir la potencia pico requerida por el SSFV.

SSFV corresponde a la potencia pico del sistema solar fotovoltaico (Wp o kWp).

$P_{p_{\text{mod}}}$  corresponde a la potencia pico del módulo (Wp).

Sustituyendo los valores en la Ec. 4, se obtiene:

$$\text{No. Mod.} = (333.33 \text{ Wp}) / (200.0 \text{ Wp})$$

$$\text{No. Mod.} = 1.667$$

La cantidad de 1.667 módulos no la podemos utilizar para el dimensionamiento del SSFV, por la razón de que no podemos utilizar una fracción de un módulo, sin embargo, este valor lo acercamos al valor de 2 módulos FV, por lo tanto, el sistema solar fotovoltaico estará dimensionado en 400 Wp (sabiendo que utilizaremos módulos de 200 Wp), con este valor, así como con el Recurso Solar considerado de 3.0 HSP, se pretende que por día el SSFV, genere una potencia total de 1,200 Wh o 1.2 kWh al día.

### Agradecimiento

Agradecimiento a las Autoridades de la Universidad Tecnológica de Morelia, por haberme otorgado los recursos para poder participar en este Evento.

### Conclusiones

Se puede decir que, de los resultados obtenidos, mediante la realización de los cálculos anteriores podremos tener la oportunidad de diseñar, un colector o calentador de agua solar, el cual deberá de tener al menos una superficie de 6 m<sup>2</sup>, con el cual garantizar la purificación 150 litros de agua, para consumo humano. Debemos tener en cuenta, que para este volumen de agua hervido, estaríamos consumiendo un aproximado de hasta 1.37 kilogramos de gas LP. Se tienen en cuenta varios puntos estratégicos que se pueden atender y se explican a continuación.

**El Beneficio Directo:** El usuario contará con el suministro de agua hervida, es decir, agua con las condiciones de poder ser ingerida, sin el riesgo de contraer alguna enfermedad intestinal por el consumo de agua sin hervir. Además, hará uso directo de la aplicación de las energías renovables, tendrá posibilidad de tener un desarrollo sostenible, participar de forma directa en la conservación del medio ambiente y contra el cambio climático.

**La Calidad:** El diseño de los sistemas se establecen bajo los parámetros de un recurso solar de solo 3.0 HSP, recordemos que en México, el recurso solar promedio es de 5.0 HSP, es decir, el diseño del colector se estableció en condiciones de que contemos solamente con el 60 % del recurso solar promedio nacional. Garantizando conseguir el objetivo de este proyecto.

**La Viabilidad:** Esta radica en la fácil construcción de los prototipos, ya que se emplean para su elaboración con materiales diversos, pero que son disponibles en cualquier lugar, no son tóxicos, son de fácil y poco mantenimiento, duraderos y maniobrables.

**El Producto final:** Contar con prototipos que puedan solventar las necesidades de agua hervida para ingesta humana, suficiente como cubrir la demanda de comunidades pequeñas y marginadas.

El Potencial: Estos prototipos pueden utilizarse en cualquier comunidad del país, recordando que México cuenta con un Recurso Solar muy bueno, considerado de hasta 5.0 HSP, recordar que el diseño propuesto se basó en un Recurso Solar de solo 3.0 HSP, lo que es mejor, puede contribuir con el desarrollo sustentable de las mismas comunidades, además de que el agua calentada estará libre de organismos que pueden dañar la salud de las personas, no contaminan, puesto que no se genera ni un solo gramo de CO<sub>2</sub>, por el calentamiento del agua mediante el uso de estos prototipos (colector solar y sistema solar fotovoltaico), esto contribuye de forma considerable con el medio ambiente y por supuesto contra el cambio climático que cada vez genera más estragos en las poblaciones.

Cabe mencionar que estos prototipos están con la posibilidad de ser mejorados, en cuanto a diseño y elementos que los integran. Puesto que se presentan marcas o modelos determinados.

### Referencias

Termodinámica, 6ta edición, Yunus A Sengel & Michael A. Boles.

Procesos termosolares, en baja, media y alta temperatura, Pedro Fernández Díez, libros redsausage.net

Irradiación en Morelia, Mich. Recurso disponible para poder integrar Sist. FV, Miguel Barragán Bueno, Editorial Académica Española. Comunidades marginadas Centro Mario Molina [http://centromariomolina.org/wpcontent/uploads/2014/01/REBID\\_Comunidades-Marginadas](http://centromariomolina.org/wpcontent/uploads/2014/01/REBID_Comunidades-Marginadas) [http://siteresources.worldbank.org/INTMEXICO/Resources/La\\_Pobreza\\_Rural\\_en\\_Mexico](http://siteresources.worldbank.org/INTMEXICO/Resources/La_Pobreza_Rural_en_Mexico)

## Diseño y construcción de un sistema de humidificación para un banco de celdas de combustible PEM

### Design and construction of a humidification system for a bank of PEM fuel cells

MARTÍNEZ-CRUZ, Salvador\*†, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús, DUARTE-MOLLER, José y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Salvador, Martínez-Cruz*

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Jesús, García-Gallegos*

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *José, Duarte-Moller*

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Juan, Olivares-Ramírez*

DOI: 10.35429/JOES.2020.22.7.8.13

Recibido: Enero 15, 2020; Aceptado: Junio 30, 2020

#### Resumen

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos eficientes que además de producir electricidad y calor, producen agua como subproducto durante su operación, pero poco se ha investigado acerca de la producción de agua a partir de una celda de combustible. En este proyecto se diseñó y construyó una celda de combustible de membrana de intercambio protónico (PEM) para determinar y comparar con datos experimentales la cantidad de agua producida por ésta. Se investigó acerca de los antecedentes en las metodologías de diseño de celdas de combustible de intercambio protónico. Seguidamente se dio paso a la etapa de diseño, la cual involucró cálculos para la determinación del agua producida, análisis de gráficos y tablas, cálculo y selección de materiales e insumos necesarios para la construcción de la celda de combustible. Posteriormente se llevó a cabo el modelado de la celda, en donde se pudo visualizar el comportamiento de la celda de combustible bajo diferentes condiciones de operación, se efectuaron mediciones del voltaje generado y corriente que circula por la celda de combustible y finalmente se compararon los resultados teóricos obtenidos con los experimentales de una celda de combustible de características similares.

**Celda de combustible, membrana de intercambio protónico (PEM), sistema de humidificación**

#### Abstract

Fuel cells are efficient electrochemical devices that besides producing electricity and heat, produce water as a byproduct during operation, but little research has been done on the production of water from a fuel cell. This project was designed and built a fuel cell proton exchange membrane (PEM) to determine and compare experimental data with the amount of water produced by it. He researched about the background in design methodologies fuel cell proton exchange. Then he gave way to the design stage, which involved calculations for determining the water produced, analysis of graphs and tables, calculation and selection of materials and supplies needed for the construction of the fuel cell. Parallel was carried out modeling of the cell, where they could visualize the behavior of the fuel cell under various operating conditions, measurements of generated voltage and current flowing through the fuel cell were made and finally the results were compared obtained with experimental theoretical a fuel cell similar characteristics.

**Fuel Cells, proton exchange membrane (PEM), humidification system**

**Citación:** MARTÍNEZ-CRUZ, Salvador, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús, DUARTE-MOLLER, José y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan. Diseño y construcción de un sistema de humidificación para un banco de celdas de combustible PEM. Revista de Sistemas Experimentales. 2020. 7-22:8-13.

\* Correspondencia al Autor: (Correo electrónico: jmolivaresr@utsjr.edu.mx)

† Investigador contribuido como primer autor.

## Introducción

La distribución de la temperatura y la humedad en una celda de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM) son factores críticos que influyen en el rendimiento de la celda. El contenido de agua y de la conductividad de la membrana de intercambio de protones afecta directamente el rendimiento (Le Canut, Abouatallah, & Harrington, 2006) (Hinds, Stevens, Wilkinson, de Podesta, & Bell, 2009), porque el exceso de agua en el canal de flujo puede causar inundaciones y evitar la difusión del gas: Las temperaturas excesivamente altas o bajas pueden causar la deshidratación de la membrana de intercambio de protones, y empeorar el rendimiento de la celda de combustible. Liu demostró que la acumulación de columnas de agua líquida en los canales de flujo del cátodo reduce el área de reacción electroquímica efectiva, lo que limita la transferencia de masa y empeora el de rendimiento de las celdas (Liu, Guo, & Ma, 2006). Wang señaló que la gestión del agua en estado líquido afecta significativamente el desempeño PEM, especialmente en alta densidad de corriente (Wang & Zhou, 2011). Trabold aplica imágenes de neutrones para la investigación de la distribución de las inundaciones de agua, la detección in situ la variación en la cantidad de agua que se produce en una celda de combustible en funcionamiento (Wang & Zhou, 2011). Las pruebas realizadas por Zhang reveló que el rendimiento empeora gradualmente a medida que la humedad relativa disminuyó desde 100% a 25% (Zhang, y otros, 2008). La mayoría de las investigaciones de tensión y la humedad en las PEMFC implican la inserción de sensores pequeños en las celdas. Por ejemplo, David examinó la distribución de la temperatura en las celdas de combustible que utilizan fibra Bragg una tecnología de división.

El resultado reveló una diferencia entre las temperaturas de la entrada y la de salida de 1°C (David, Wild, Hu, & Djilali, 2009). Inman midió "in situ" la temperatura de reacción en una celda de combustible en funcionamiento colocando cinco sensores de temperatura de fibra en ella (Inman, Wang, & Sangeorzan, 2010). Hinds emplean sensores de temperatura y humedad comerciales, con una gran área activa, en una sola celda PEM (Hinds, Stevens, Wilkinson, de Podesta, & Bell, 2009).

Wang utiliza un dispositivo de infrarrojos para medir la distribución de la temperatura exterior con diferentes condiciones de operación (Wang, Guo, & Ma, 2006). Karimi observa la distribución de agua dentro de las celdas de combustible. Sus resultados de las simulaciones revelaron que el aumento de la humedad promovió inundaciones de agua (Karimi, Jafarpour, & Li, 2009). Shimpalee realizó variaciones simuladas de temperatura, humedad, y la corriente en una PEM. Sus resultados demostraron que las inundaciones de agua afectan la reacción de la celda de combustible, reduciendo indirectamente la temperatura y corriente (Shimpalee & Zee, 2007). Con este trabajo se pretende determinar y hacer una comparación con datos experimentales de la cantidad de agua producida por una celda de combustible de membrana de intercambio protónico. Para tal fin, los objetivos específicos están enmarcados en el diseño y construcción de una PEM, la determinación teórica de la cantidad de agua producida por ésta bajo diferentes condiciones de operación y la validación de los resultados (cantidad de agua producida) comparándolos con los resultados experimentales existentes de una celda de combustible de características similares.

## Funcionamiento de la Celda de Combustible

Las celdas de combustibles son dispositivos electroquímicos que convierten la energía contenida en un combustible directamente en electricidad, sin la necesidad de pasar por una combustión previa.

Se podría pensar que las baterías normales y de uso comercial son también dispositivos generadores de corriente eléctrica, pero la diferencia principal es que las celdas de combustible mantienen un suministro constante de electricidad siempre que exista aporte de combustible, mientras que las baterías cesan su producción cuando se agotan los reactivos químicos que contienen. Sin embargo, existen baterías que se pueden recargar con electricidad una vez agotadas.

Desde este punto de vista, los motores de combustión actuales podrían ser también considerados como generadores de electricidad, pero esto no sucede de forma directa, sino que se la energía contenida en el combustible debe pasar por varias transformaciones antes de convertirse en electricidad; este proceso se resume en el siguiente esquema:

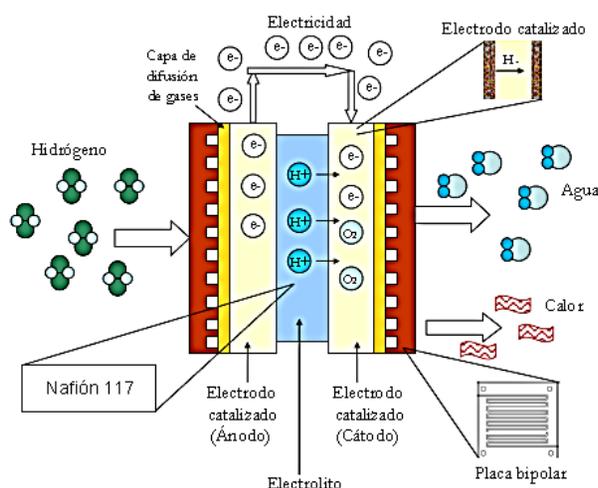
MARTÍNEZ-CRUZ, Salvador, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús, DUARTE-MOLLER, José y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan. Diseño y construcción de un sistema de humidificación para un banco de celdas de combustible PEM. Revista de Sistemas Experimentales. 2020

### E. Química → E. Térmica → E. Mecánica → E. Eléctrica

La celda de combustible transforma directamente en electricidad la energía contenida en un combustible, mediante un proceso isoterma que aprovecha la entalpía libre interna del combustible a temperatura de operación.

### E. Química → E. Eléctrica

De este modo, no está afectada por las limitaciones que imponen el segundo principio de la termodinámica y el ciclo de Carnot.



**Figura 1** Esquema general de funcionamiento de una celda PEM. Se pueden observar los diferentes elementos que intervienen en la reacción electroquímica, así como los componentes básicos de la estructura (electrodos, electrolito, placas bipolares y membranas difusoras)

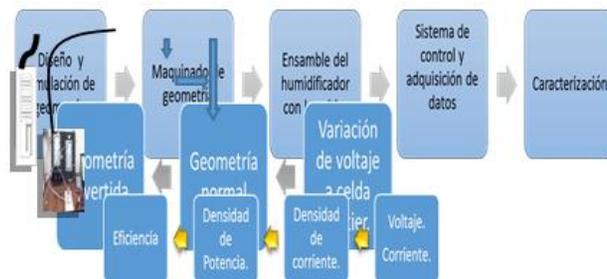
Fuente: (Vishnyakov, 2006)

Para el desarrollo experimental y la fabricación de la MEA donde se busca probar el modelo obtenido. El ensamble debe fabricarse de tal forma que la estructura de las capas permita a los gases llegar a los sitios reactivos, así que se desea que la MEA cuente con alta conductividad eléctrica, alta conductividad iónica para los protones y fácil remoción del agua líquida formada en la reacción catódica. El Ensamblaje Membrana-electrodo o MEA (Membrane Electrode Assembly) puede considerarse el corazón de una PEM. La MEA está típicamente entre las dos placas bipolares. La MEA consta de la membrana de intercambio protónico en su centro, las capas de catalizador a cada lado y, en sus extremos, las GDL (Gas Diffusion Layers) las capas de difusión de gas. Estos componentes se fabrican típicamente por separado, y son compactados en una sola unidad a altas presiones y temperaturas.

El resultado final tiene un espesor de menos de un milímetro (KREUER., 2001).

### Fabricación del humidificador

Un humidificador tiene la función de mantener constante la humedad relativa del combustible y oxidante, muy importante en una celda de combustible, se diseñó un modelo que se pudiera construir y así realizar un prototipo que nos ayude a elevar o disminuir la humedad relativa de los gases utilizados en una celda de combustible PEM, para ello fue necesario utilizar Solid Works versión 2014 para realizar diferentes diseños los cuales consisten en un serpentín que nos ayuda a incrementar el recorrido del gas, y en algunos casos también cuenta con un depósito de agua que nos pudiera permitir tener agua de ser necesario. El proceso para la fabricación de nuestro sistema se explica de manera general en el siguiente diagrama de flujo.



**Figura 2** Diagrama de flujo para la fabricación de nuestro prototipo

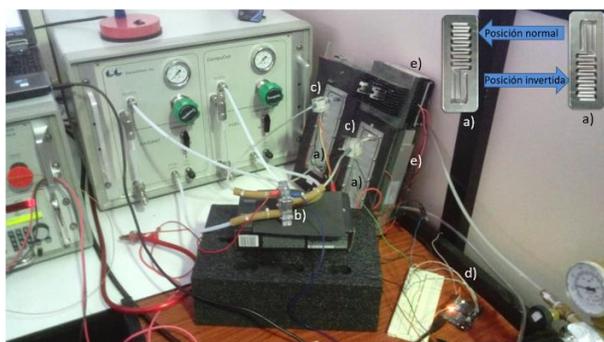
### Fabricación del ensamble

El ensamble fue fabricado con Nafion 115, el cual fue sumergido en peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) al 5% durante 1 hora, posteriormente enjuagada en agua des-ionizada en ebullición por 1 hora, la activación se realizó en ácido sulfúrico 1 Molar durante 3 horas y nuevamente enjuagada en des-ionizada en ebullición por 30 minutos. La tela de carbón fue recortada a 3.1 x 3.1 cm, tratada con teflón GDLT 1200-W y secada en una mufla por 30 minutos a 100°C.

La tinta catalítica fue elaborada con una solución acuosa de nafion líquido 115 al 5%, Platino-Vulcan a una razón de 0.5 mg/cm<sup>2</sup> de Pt y aplicado mediante la técnica de brushing. Para el ensamble de la membrana electrodo se realizó en una prensa con 2 Toneladas de presión a una temperatura de 75 °C durante 5 minutos.

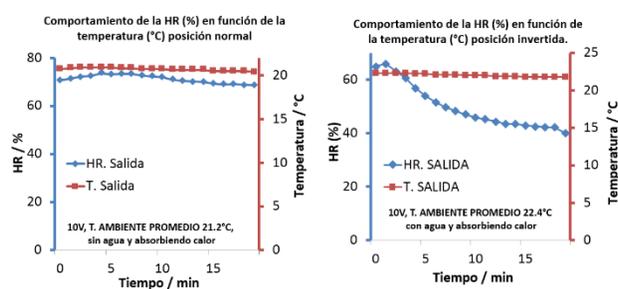
## Resultados

La variación de humedad no dependió directamente de la temperatura de las placas, también fue función de la posición, a las cuales se les llamo posición normal y posición invertida como se muestra en la Figura 3.



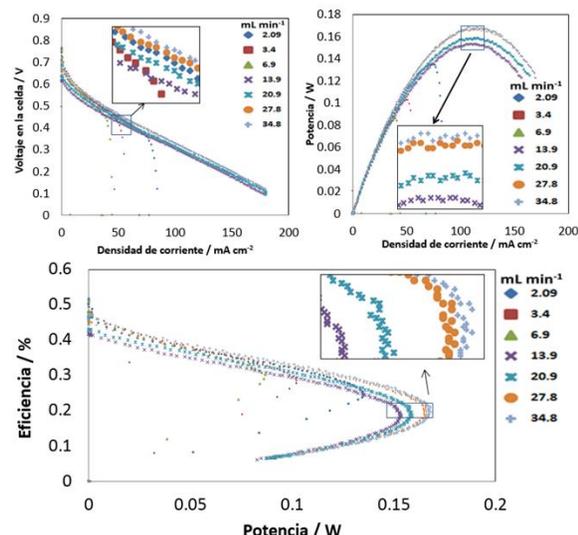
**Figura 3** Sistema de caracterización de celdas de combustible con humidificador construido acoplado; a) placas, b) celda de combustible, c) sensor de humedad y temperatura, d) sistema de adquisición de datos y e) Peltiers para absorción o adición de calor

Los resultados del comportamiento de la humedad relativa muestran que es posible la estabilización de la humedad por lo cual el combustible adicionado a la celda tipo PEM estará bajo control. En la gráfica 1 los primeros 9 minutos es el decremento de la humedad relativa, aplicando 20V a la peltier y absorbiendo calor, después tiende a estabilizarse siempre y cuando la temperatura no siga bajando, cuando la temperatura es estable la humedad relativa también es estable.



**Gráfico 1** Comportamiento de la HR con respecto a la temperatura posición normal e invertida del serpentín

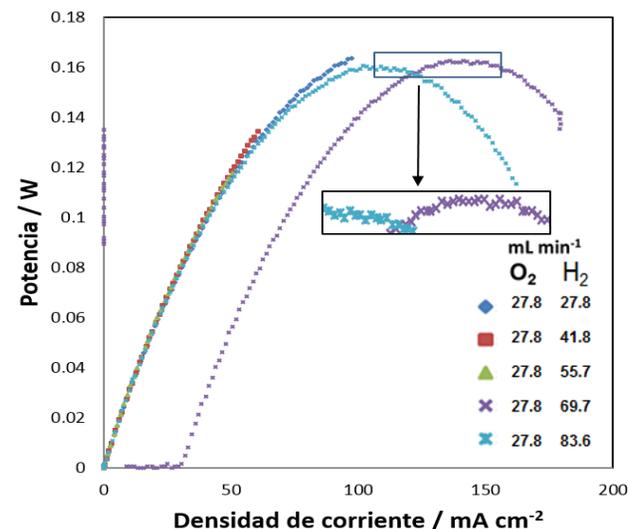
Una vez que se tiene la humedad relativa estable con la posición normal del serpentín, determinamos el mejor flujo como se puede observar en la siguiente grafica 2.



**Gráfico 2** Variación del flujo en la celda de combustible, donde es la misma cantidad de flujo tanto para el oxidante como para el combustible

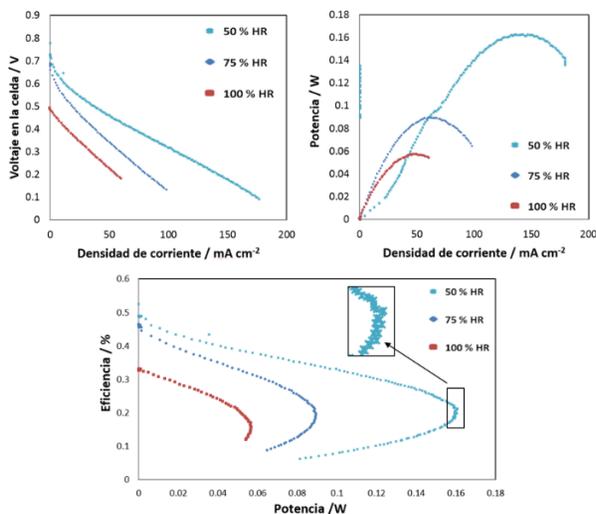
El mejor flujo desarrollado fue de 27.8 mL min<sup>-1</sup>, debido a que logran mayores potencias, sin embargo, comparado con el flujo de 34.8 mL min<sup>-1</sup>, este es aún mejor, pero es poca la diferencia con el anterior optando por descartarlo ya se desperdiciaría tanto combustible como oxidante.

Una vez que se determinó el flujo de trabajo, se caracterizó la celda de combustible para determinar la estequiometría óptima. En la figura 8 se muestra el comportamiento dando como resultado que la mejor combinación fue de 27.8 mL min<sup>-1</sup> para el oxidante y de 69.7 mL min<sup>-1</sup> para el combustible, de acuerdo a la teoría esto debería ser una proporción del doble, el resultado experimental muestra que la mejor relación es de no del doble si no de 2.5.



**Gráfico 3** Variación del flujo estequimétrico

Una vez definida la estequiometría óptima se realiza la verificación de la hipótesis del presente trabajo. La gráfica 4 muestra que el mejor comportamiento se obtiene con una humedad del 50%. Al tener una humedad del 100% rápidamente se inundarán los canales de agua impidiendo principalmente el flujo del oxidante.



**Gráfico 4** Determinación de la mezcla según la mejor configuración estequiometría en la MEA

### Agradecimiento

Este trabajo se pudo realizar gracias al apoyo de PRODEP/103.5/13/10573 (JHGG)

### Conclusiones

El contexto original de este trabajo fue el de diseñar y desarrollar un sistema en el que pudiéramos controlar la humedad y temperaturas de los flujos en una celda de combustible tipo PEM, para ello, se realizaron los diseños para absorción o des absorción de humedad quedando finalmente un canal serpentin y un depósito para el agua dentro de un rectángulo con un área de 74mmX190mm. Los resultados de la simulación muestran que se puede obtener gradientes de temperatura de hasta 14.3 °C. El humidificador diseñado debe de cambiar de posición y las Peltier podrán absorber o des absorber calor, dependiendo de la humedad necesaria. La parte experimental realizada muestra que podemos variar la humedad relativa en nuestro sistema desde 50% hasta 100%.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos de manera experimental, así como los de las simulaciones realizadas para el diseño de este prototipo, es posible realizar de manera económica y eficiente, un sistema de control de humedad y temperatura para la medición de celdas de combustible tipo PEM, donde, en comparación con la estación de pruebas, podemos modificar nuestro sistema de manera más sencilla dependiendo de nuestras necesidades. Esto lo vuelve mucho más flexible y educativo si se implementa en una institución.

### Referencias

David, N., Wild, P., Hu, J., & Djilali, N. (2009). In-fibre Bragg Grating sensors for distributed temperature measurement in a polymer electrolyte membrane fuel cell. *J. Power Sources*, 376-380.

Hinds, G., Stevens, M., Wilkinson, J., de Podesta, M., & Bell, S. (2009). Novel in situ measurements of relative humidity in a polymer electrolyte membrane fuel cell. *J. Power Sources*, 52-57.

Inman, K., Wang, X., & Sangeorzan, B. (2010). Design of an optical thermal sensor for proton exchange membrane fuel cell temperature measurement using phosphor thermometry. *J. Power Sources*, 4753-4757.

Karimi, G., Jafarpour, F., & Li, X. (2009). Characterization of flooding and two-phase flow in polymer electrolyte membrane fuel cell stacks. *J. Power Sources*, 156-164.

KREUER., K. D. (2001). "On the Development of Proton Conducting Polymer Membranes for Hydrogen and Methanol Fuel Cells". *Membrane Science*, 29-39.

Le Canut, J., Abouatallah, R., & Harrington, D. (2006). Detection of membrane drying, fuel cell flooding and anode catalyst poisoning on PEMFC stacks by electrochemical impedance spectroscopy. *J. Electrochem. Soc.*, A857-A864.

Liu, X., Guo, H., & Ma, C. (2006). Water flooding and two-phase flow in cathode channels of proton exchange membrane fuel cells. *J. Power Sources*, 267-280.

Ryan O'Hayre, S.-W. C. (2009). *Fuel Cell Fundamentals*. Wiley.

MARTÍNEZ-CRUZ, Salvador, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús, DUARTE-MOLLER, José y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan. Diseño y construcción de un sistema de humidificación para un banco de celdas de combustible PEM. *Revista de Sistemas Experimentales*. 2020

Shimpalee, S., & Zee, J. (2007). Numerical studies on rib & channel dimension of flow-field on PEMFC performance. *Int. J. Hydrogen Energy*, 842-856.

Trabold, T., Owejan, J., Jacobson, D., Arif, M., & Huffman, P. (2006). In situ investigation of water transport in an operating PEM fuel cell using neutron radiography: Part 1— Experimental method and serpentine flow field results. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 4712-4720.

Vishnyakov, V. (2006). Proton exchange membrane cells. *Vacuum*, 1053-1065.

Wang, M., Guo, H., & Ma, C. (2006). Temperature Distribution on the MEA surface of a PEMFC with serpentine channel flow bed. *J. Power Sources*, 181-187.

Wang, X., & Zhou, B. (2011). Liquid water flooding process in proton exchange membrane fuel cell cathode with straight parallel channels and porous layer. *J. Power Sources*, 1776-1794.

Zhang, J., Tang, Y., Song, C., Xia, Z., Li, H., Wang, H., & Zhang, J. .. (2008). PEM fuel cell relative humidity (RH) and its effect on performance at high temperatures. *Electrochim.*

## Efectos de la temperatura en la eficiencia de un módulo fotovoltaico

### Effects of temperature on the efficiency of a photovoltaic module

MESSINA-LÓPEZ, Víctor\*†, DIBENE-ARRIOLA, Luis y PAREDES-VÁZQUEZ, César.

*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Víctor, Messina-López

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Luis, Dibene-Arriola

ID 2<sup>do</sup> Coautor: César, Paredes-Vázquez

DOI: 10.35429/JOES.2020.22.7.14.22

Recibido: Enero 20, 2020; Aceptado: Junio 30, 2020

#### Resumen

Diversos factores son los que pueden afectar la eficiencia de un panel fotovoltaico, entre ellos, la temperatura. Este trabajo se centra en concentrar 30 lecturas de temperatura usando sensores LM35, provenientes de un solo módulo de los 24 en que consiste el SFV instalado en la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, con una potencia eléctrica de 6 kWp. Estos 30 sensores darán una temperatura individual y otro promedio con un muestreo por minuto hasta llegar a 10 muestras que arrojarán el promedio individual de la celda y del panel en su totalidad. Otros 12 sensores de temperatura estarán dispuestos en puntos estratégicos, los cuales nos darán una temperatura promedio individual, la cual, será comparada y analizada por medio de tarjetas de adquisición de datos (DAQ), con interfaz a Labview® para su visualización. Los fabricantes indican y la literatura nos dice que la eficiencia de una célula fotovoltaica vs el panel en su totalidad difiere de un 1 a 3% respectivamente. Por tal motivo, los resultados obtenidos en este trabajo nos darán la pauta para poder inquirir en dicha información para la toma de decisiones en lo que a orientación óptima se refiere a la hora de implementar estos sistemas.

**Temperatura, eficiencia, fotovoltaico, sensor**

#### Abstract

Several factors are those that can affect the efficiency of a photovoltaic panel, including temperature. This paper focuses on concentrating 30 readings using LM35 temperature sensors from a single module 24 that is the SFV installed at the Technological University of Bahía de Banderas, with an electrical output of 6 kWp. These 30 sensors give an individual temperature and other average with sampling per minute up to 10 samples that throw the average individual cell and panel in full. Another 12 temperature sensors shall be arranged at strategic points, which will give us an average individual temperature, which will be compared and analyzed using data acquisition card (DAQ) with Labview® interface for viewing. Manufacturers indicate and literature tells us that the efficiency of a photovoltaic cell vs the panel, differs from 1 to 3% respectively. Therefore, the results obtained in this study will give us the pattern to inquire into this information for making decisions on what to optimum orientation refers to when implementing these systems.

**Temperature, efficiency, photovoltaic, sensor**

**Citación:** MESSINA-LÓPEZ, Víctor, DIBENE-ARRIOLA, Luis y PAREDES-VÁZQUEZ, César.. Efectos de la temperatura en la eficiencia de un módulo fotovoltaico. Revista de Sistemas Experimentales. 2020. 7-22:14-22.

\* Correspondencia al Autor: (Correo electrónico: vmessinal@utbb.edu.mx)

† Investigador contribuido como primer autor.

## Introducción

La Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas (UTBB) cuenta desde el año 2015 con un sistema fotovoltaico interconectado a la red de 3kWp en su primera etapa de gestación. Este sistema se encuentra dentro de sus instalaciones, específicamente en la azotea del laboratorio de mantenimiento industrial.



**Figura 1** Sistema fotovoltaico de 3kWp en las instalaciones de la UTBB, primera etapa

En mayo de 2016 concluyó la segunda etapa, en la cual, se instaló de nueva cuenta 3kWp adicionales para contar a la fecha con un sistema fotovoltaico interconectado a la red de 6kWp que contribuyen de manera modesta, al consumo interno, pero con una importante trascendencia en el ámbito académico.



**Figura 2** Sistema fotovoltaico de 6 kWp en las instalaciones de la UTBB, segunda etapa

Uno de los factores más relevantes en la eficiencia de un módulo fotovoltaico es la temperatura. La zona geográfica en la que se encuentra la UTBB brinda parámetros a considerar.

Mes	Temperatura diaria mínima	Temperatura diaria máxima	Total de lluvia (mm)	Numero de días de lluvia
Enero	16.7	28.8	33.8	2.2
Febrero	16.3	29	5.3	0.7
Marzo	16.9	29.2	2	0.6
Abril	17.2	29.9	1.5	0.2
Mayo	20.2	31	15.4	1
Junio	22.8	32.3	187.6	10.8
Julio	22.9	33.3	328.1	16.4
Agosto	23	33.7	312.4	15.2
Septiembre	22.9	33.6	370	15.6
Octubre	22.2	33.6	93.8	5.1
Noviembre	19.7	32.6	19.8	1.4
Diciembre	18	29.9	22.5	1.9

**Tabla 1** Temperaturas y total de lluvia para la región de Bahía de Banderas, Nayarit

Fuente: (World Weather, 2016)



**Figura 3** Información climatológica

La potencia de salida de un módulo fotovoltaico depende, entre otros, de los materiales del módulo y de la cantidad de luz solar que incide sobre la superficie del panel, la cual varía día a día y de una región geográfica a otra y es producto de muchas variables.

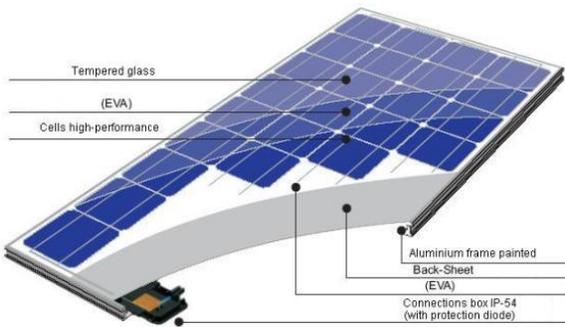
También se ve afectada por la temperatura del módulo, pérdidas por el cableado, y por condiciones ambientales como altos niveles de polvo atmosférico. Cada variable puede contribuir con una pérdida en la eficiencia que puede dar como resultado una dramática reducción en el rendimiento general del panel fotovoltaico (Ali Al Shehri, 2016).

## Fundamentos

El Sol irradia una gran cantidad de energía, misma que llega a la superficie terrestre en una ínfima parte, (aproximadamente dos millonésimas partes). Pero esa parte minúscula en términos relativos supone un flujo extraordinario de energía solar de  $10^{18}$  kilovatios-hora (kWh) anual. Una cantidad que supera con creces, no solo nuestro consumo de energía anual, sino la propia energía contenida en todas las reservas conocidas de energías fósiles. El flujo de energía procedente del Sol es unas 10,000 veces mayor que nuestro consumo energético actual. O dicho en otras palabras, bastaría utilizar el 0.01% de ese flujo energético para cubrir nuestra demanda. (Vallina, 2011).

MESSINA-LÓPEZ, Víctor, DIBENE-ARRIOLA, Luis y PAREDES-VÁZQUEZ, César.. Efectos de la temperatura en la eficiencia de un módulo fotovoltaico. Revista de Sistemas Experimentales. 2020

Un panel fotovoltaico es un conjunto interconectado de células solares y es el componente básico de un sistema fotovoltaico. Un panel o módulo fotovoltaico se compone de una parte frontal transparente, con un perfil de goma, un vidrio frontal, un material de incrustamiento, encapsulado, células solares y lámina posterior. Está enmarcado con un marco de aluminio anodizado, en ocasiones con un acero inoxidable o con un marco de plástico.



**Figura 4** Componentes de un módulo fotovoltaico

El material de la parte delantera (superestrato) es generalmente baja en hierro y el vidrio templado. Los materiales posteriores comúnmente utilizados (sustratos) son EVA (etileno-vinilo-acetato) y PVB (polivinilo butiral). De acuerdo con la tecnología utilizada en las células solares, los paneles fotovoltaicos están clasificados como monocristalinos, policristalinos y paneles solares amorfos, y estos últimos también se conocen como paneles de película delgada (Thin film) o capa fina.

El rendimiento de un panel fotovoltaico es generalmente medido en condiciones standard de ensayo (Standard Test Conditions o STC): radiación de 1,000 W/m<sup>2</sup> (incidencia normal), distribución espectral AM 1.5 y temperatura de la célula a 25° C.

Las características eléctricas de los paneles solares, incluyen numerosos parámetros, por citar algunos, incluye el tipo de célula y número, así como su interconexión. Caja de conexiones, tipo y grado IP de protección, la potencia nominal, máxima y mínima garantizada, el voltaje de circuito abierto, intensidad de cortocircuito, corriente y tensión máxima de potencia y tensión máxima del sistema interconectado. También el fusible, diodos bypass, cableado de conexión y longitud, los conectores y tipo, eficiencia del panel, la tolerancia de la potencia máxima y los coeficientes de temperatura.

En cuanto a la temperatura existe una variable que es la temperatura de operación nominal de las células (NOCT o Nominal Operation Cell Temperature): radiación de 800 W/m<sup>2</sup> (incidencia normal), distribución espectral AM 1.5, temperatura ambiente de 20° C y velocidad del viento de 1 m/s.

La medida más interesante es la eficiencia del panel, o qué porcentaje de energía de la luz que incide en el panel se convierte en electricidad. Usted debe ser consciente, sin embargo, que la eficiencia de la célula solar no es igual a la eficiencia del panel.

La eficiencia del panel es generalmente de 1 a 3% inferior a la eficiencia de células solares debido a la reflexión de vidrio, marco de sombra, las temperaturas más altas, etc. Por eso algunos fabricantes pueden hablar de la eficiencia de su célula en lugar de la eficiencia del panel.

Una segunda medida del rendimiento es la tolerancia de potencia, que indica el rango de potencia nominal que el fabricante puede garantizar. Por ejemplo, una tolerancia final -3% inferior significa que la potencia pico real podría ser 3% inferior a la potencia nominal indicada.

La tercera medida importante es el rendimiento de los coeficientes de temperatura que muestran cómo los resultados del panel seguirán los cambios de temperatura. Tres coeficientes de temperatura más comunes están disponibles en las hojas de datos del panel, y deben considerarse como parámetros importantes en la etapa de diseño de los sistemas fotovoltaicos.

Los paneles solares deben soportar el calor, el frío, lluvia y granizo durante muchos años. Muchos fabricantes de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino ofrecen garantías que garantizan una producción eléctrica durante 10 años en el 90% de la producción de potencia nominal y 25 años en un 80%.

Estos datos son aproximados, por lo que hay que tener prudencia y asegurarse la garantía de potencia en el contrato de compraventa o por lo menos del fabricante.

La certificación de los paneles, es imprescindible tanto en Europa como en América. Estos, además de asegurar la calidad del producto, sirven para obtener la aprobación de los descuentos federales y estatales en los EE.UU. Cada uno de los países y los estados tienen un conjunto específico de normas que deben cumplir los paneles solares ya sea para uso casero o de uso público. Las normas de certificación más comunes son (APS Valencia Energías Renovables, 2012):

- TÜV Certificate (Alemania)
- IEC 61215 (crystalline silicon performance), 61646 (thin film performance) y 61730 (safety class II)
- UL 1703 (Underwriters Laboratories Inc. EEUU)
- Marcado C
- E (Normas de la Unión Europea)
- El certificado TÜV indica que los paneles han superado las pruebas de las normas IEC, mientras que el certificado UL implica la prueba UL 1703.

**Desarrollo**

El desarrollo de la investigación se centra en la toma de 30 lecturas de temperatura en un módulo fotovoltaico integrante del sistema con el que se cuenta en la UTBB, para determinar cómo afecta la temperatura la eficiencia del dispositivo en su conjunto. La toma de dichas lecturas procederá de sensores de temperatura LM35, los cuales, tendrán una disposición específica con el fin de poder obtener datos más precisos de la temperatura total del módulo en cuestión. Estos datos de salida serán concentrados en tarjetas DAQ's (Data Adquisition), por sus siglas en Ingles para ser analizados individualmente y en su conjunto por medio de interfaz a Labview®. El sistema fotovoltaico interconectado a la red es de una potencia de 6kWp y consta de dos inversores con una potencia de 3kW cada uno, 24 módulos fotovoltaicos marca Solartec®, con una potencia individual de 250W.



Figura 5 SFV interconectado a la red en la UTBB

**225 - 250W SOLAR PANEL**  
EXCEPTIONAL EFFICIENCY AND PERFORMANCE / EFICIENCIA Y DESEMPEÑO EXCEPCIONAL

---

**BENEFITS / BENEFICIOS**

**High Efficiency / Alta Eficiencia**  
High cell efficiency of up to 16.8%.  
Lider en la industria empleando celdas policristalinas con eficiencias de hasta 16.8%.

**More Power / Mayor Potencia**  
Delivers up to 50% more power per unit area than conventional solar panels and 100% more than thin film solar panels.  
Ofrece hasta un 50% más de potencia por unidad de área a comparación de los paneles solares convencionales y un 100% más que los paneles solares de película delgada.

**Reduces Installation Cost / Reducción en Costos de Instalación**  
More power per panel means fewer modules per installation. This saves both time and money.  
Más potencia por panel representa menos módulos por instalación. Esto ahorra tanto tiempo como dinero.

**Reliable and Robust Design / Diseño Robusto y Confiable**  
Certified materials, tempered front glass, and a sturdy anodized frame allows the module to operate reliably in multiple mounting configurations.  
Materiales certificados, cristal templado y un robusto marco anodizado el cual permite al módulo operar en múltiples configuraciones de montaje.

**S60PC**  
60 Cell Modules

S60PC-225, S60PC-230, S60PC-240, S60PC-245, S60PC-250

**Solartec 225 - 250W solar modules provide industry leading efficiency and performance.**  
Utilizing 60 next generation solar cells and an optimized module design, Solartec S60PC solar module deliver an unprecedented total conversion efficiency of 15.29%. Solartec 225 - 250W modules reduced voltage - temperature coefficient, and exceptional low - light performance attributes, provide far higher energy delivery at peak power than conventional modules.

Los módulos solares Solartec de 225 - 250W poseen un liderazgo incomparable en la industria gracias a su eficiencia y desempeño. El módulo solar Solartec S60PC utiliza 60 celdas solares de última generación.

---

**225 - 250W SOLAR PANEL**  
EXCEPTIONAL EFFICIENCY AND PERFORMANCE / EFICIENCIA Y DESEMPEÑO EXCEPCIONAL

---

Specifications / Especificaciones		IV Curve																																																														
Number of cells / Número de celdas	60 (6 x 10)	<p>Current / voltage characteristic with dependence on module and module temperature. Máximo sistema voltaje / Máximo sistema potencia / Corriente máxima en cortocircuito</p>																																																														
Module dimensions / Dimensiones del módulo	1640mm x 910mm																																																															
Weight / Peso	23.9 kg																																																															
Cable / Cable	50 cm long double MC4 leads, TÜV Certified, 4.5mm <sup>2</sup>																																																															
Connectors / Conexión	MC4 Type IV Junction box with 6 bypass diodes, MC4 Type Plus, TÜV Certified																																																															
Back Sheet / Hoja Trasera	White/Black/Blue TPT or Glass																																																															
Frame / Marco	Aluminum (40 mm) or Welded frame																																																															
Fire Rating / Certificación de fuego	Class C																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <thead> <tr> <th colspan="6">150mm Polycrystalline Silicon Cells Solar Module / Panel Solar con Celdas de 150mm de Silicio Policristalino</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Test Conditions / Condiciones de Medición</th> <th colspan="2">S60PC-225</th> <th colspan="2">S60PC-230</th> <th colspan="2">S60PC-240</th> </tr> <tr> <th>STC</th> <th>NOCT</th> <th>STC</th> <th>NOCT</th> <th>STC</th> <th>NOCT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Open circuit voltage (V<sub>oc</sub>) / Voltaje en circuito abierto</td> <td>37.69 V</td> <td>34.90 V</td> <td>37.17 V</td> <td>34.30 V</td> <td>37.51 V</td> <td>34.80 V</td> </tr> <tr> <td>Optimum operating voltage (V<sub>mp</sub>) / Voltaje en punto de máxima potencia</td> <td>29.12 V</td> <td>27.30 V</td> <td>29.52 V</td> <td>27.60 V</td> <td>29.72 V</td> <td>28.38 V</td> </tr> <tr> <td>Short circuit current (I<sub>sc</sub>) / Corriente de cortocircuito</td> <td>8.22 A</td> <td>6.65 A</td> <td>8.31 A</td> <td>6.73 A</td> <td>8.48 A</td> <td>6.94 A</td> </tr> <tr> <td>Optimum operating current (I<sub>mp</sub>) / Corriente en punto de máxima potencia</td> <td>7.73 A</td> <td>6.07 A</td> <td>7.84 A</td> <td>6.14 A</td> <td>8.03 A</td> <td>6.37 A</td> </tr> <tr> <td>Maximum power (P<sub>max</sub>) / Potencia máxima</td> <td>225 W</td> <td>184.4 W</td> <td>230 W</td> <td>188.2 W</td> <td>240 W</td> <td>195.4 W</td> </tr> <tr> <td>Module efficiency / Eficiencia del módulo</td> <td>13.76%</td> <td>14.07%</td> <td>14.09%</td> <td>14.09%</td> <td>14.96%</td> <td>15.29%</td> </tr> </tbody> </table>				150mm Polycrystalline Silicon Cells Solar Module / Panel Solar con Celdas de 150mm de Silicio Policristalino						Test Conditions / Condiciones de Medición	S60PC-225		S60PC-230		S60PC-240		STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	Open circuit voltage (V <sub>oc</sub> ) / Voltaje en circuito abierto	37.69 V	34.90 V	37.17 V	34.30 V	37.51 V	34.80 V	Optimum operating voltage (V <sub>mp</sub> ) / Voltaje en punto de máxima potencia	29.12 V	27.30 V	29.52 V	27.60 V	29.72 V	28.38 V	Short circuit current (I <sub>sc</sub> ) / Corriente de cortocircuito	8.22 A	6.65 A	8.31 A	6.73 A	8.48 A	6.94 A	Optimum operating current (I <sub>mp</sub> ) / Corriente en punto de máxima potencia	7.73 A	6.07 A	7.84 A	6.14 A	8.03 A	6.37 A	Maximum power (P <sub>max</sub> ) / Potencia máxima	225 W	184.4 W	230 W	188.2 W	240 W	195.4 W	Module efficiency / Eficiencia del módulo	13.76%	14.07%	14.09%	14.09%	14.96%	15.29%
150mm Polycrystalline Silicon Cells Solar Module / Panel Solar con Celdas de 150mm de Silicio Policristalino																																																																
Test Conditions / Condiciones de Medición	S60PC-225		S60PC-230		S60PC-240																																																											
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT																																																										
Open circuit voltage (V <sub>oc</sub> ) / Voltaje en circuito abierto	37.69 V	34.90 V	37.17 V	34.30 V	37.51 V	34.80 V																																																										
Optimum operating voltage (V <sub>mp</sub> ) / Voltaje en punto de máxima potencia	29.12 V	27.30 V	29.52 V	27.60 V	29.72 V	28.38 V																																																										
Short circuit current (I <sub>sc</sub> ) / Corriente de cortocircuito	8.22 A	6.65 A	8.31 A	6.73 A	8.48 A	6.94 A																																																										
Optimum operating current (I <sub>mp</sub> ) / Corriente en punto de máxima potencia	7.73 A	6.07 A	7.84 A	6.14 A	8.03 A	6.37 A																																																										
Maximum power (P <sub>max</sub> ) / Potencia máxima	225 W	184.4 W	230 W	188.2 W	240 W	195.4 W																																																										
Module efficiency / Eficiencia del módulo	13.76%	14.07%	14.09%	14.09%	14.96%	15.29%																																																										
<p>Temperature Coefficients / Coeficientes de Temperatura</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <thead> <tr> <th>of V<sub>oc</sub> / de V<sub>oc</sub> (°C)</th> <th>of V<sub>mp</sub> / de V<sub>mp</sub> (°C)</th> <th>of P<sub>max</sub> / de P<sub>max</sub> (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>+0.062% / °C</td> <td>-0.336% / °C</td> <td>-0.45% / °C</td> </tr> </tbody> </table>		of V <sub>oc</sub> / de V <sub>oc</sub> (°C)	of V <sub>mp</sub> / de V <sub>mp</sub> (°C)	of P <sub>max</sub> / de P <sub>max</sub> (°C)	+0.062% / °C	-0.336% / °C	-0.45% / °C																																																									
of V <sub>oc</sub> / de V <sub>oc</sub> (°C)	of V <sub>mp</sub> / de V <sub>mp</sub> (°C)	of P <sub>max</sub> / de P <sub>max</sub> (°C)																																																														
+0.062% / °C	-0.336% / °C	-0.45% / °C																																																														
<p>Dimensions / Dimensiones</p> <p>Aluminum Frame / Marco de Aluminio</p>																																																																
<p>Guarantees / Garantías</p> <p>Materials comprising photovoltaic modules and any possible defects due to the manufacturing process for 10 years. Materiales que componen los módulos fotovoltaicos y los posibles defectos que se cubren en garantía por un periodo de 10 años.</p> <p>At least 90% output power provided by the photovoltaic module over 10 years. Generación mínima del 90% de la potencia de salida nominal del módulo a los 10 años.</p> <p>At least 80% output power provided by the photovoltaic module over 25 years. Generación mínima del 80% de la potencia de salida nominal del módulo a los 25 años.</p> <p>Measured under standard test conditions and normal operating cell temperature (STC: 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, air 1.5, RHCT: 6000hPa, 45°C, air 1.5). Medido en condiciones de prueba estándar y temperatura normal de operación (STC de 1000 W/m<sup>2</sup> de irradiancia, 25°C de la temperatura de operación, humedad relativa de 1.5, presión atmosférica de 1013 hPa, 45°C de la temperatura ambiente).</p> <p>The electric characteristics of each photovoltaic module are individually monitored leaving the results available to the customer. <b>Warranty: 10 years / 10 años.</b> Las características eléctricas de cada módulo fotovoltaico son monitoreadas individualmente dejando los resultados a disposición del cliente. <b>Garantía: 10 años / 10 años.</b></p>																																																																
<p>Approved by / Aprobado por</p> <p>Builds / Construye</p> <p>Safe from fire and theft</p> <p>Easy to install and use</p> <p>Easy to transport</p> <p>Simple to handle</p>																																																																

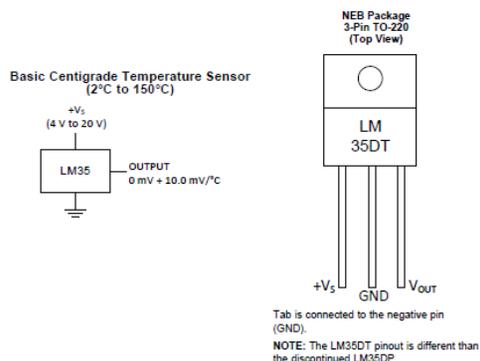
Contact / Contacto

**Solartec S.A. de C.V.**  
info@solartec.mx

Carretera Libramenta Norte Km 4.6  
Lote No. 9, Parque Industrial Apolo  
Irapuato, Gto. México CP 36526  
Phone Number: +52 (462) 635 9828

Figura 6 Hoja de datos técnicos, modulo fotovoltaico Solartec® 250W

El sensor empleado para esta investigación es el LM35, debido a su amplio rango de operación, y a su sencilla implementación.



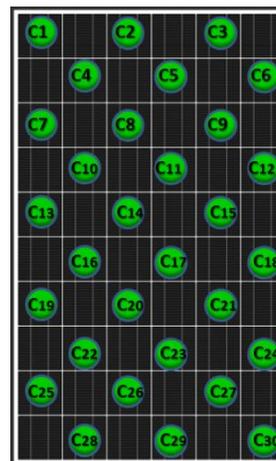
**Figura 7** Sensor LM35, diagrama de conexión y encapsulado

El rango de operación se muestra en la siguiente tabla, la cual indica que su operación incrementa o decrementa 10mV por cada grado centígrado de temperatura.

°C	mV
125	1,250
....	....
45	450
40	400
35	350
30	300
25	250
20	200
15	150
10	100
5	50
0	0
-10	-10
....	....
-40	-400

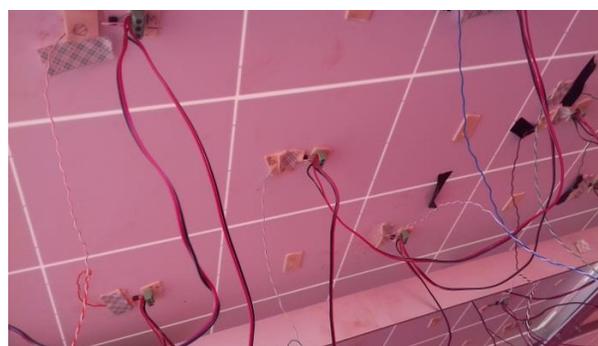
**Tabla 2** Rangos de temperatura del sensor LM35.

Los 30 sensores de temperatura estarán adheridos con cinta de doble propósito a la parte interna del módulo fotovoltaico, el cual cuenta para el modelo S60PC con 60 células individuales por modulo. En la figura 7 se muestra la disposición de cada uno de los sensores en el módulo.



**Figura 8** Ubicación de los sensores de temperatura en el módulo fotovoltaico

En la siguiente figura se observa de manera física la conexión y disposición de los sensores de temperatura en la parte inferior del módulo fotovoltaico con un salto entre celdas.

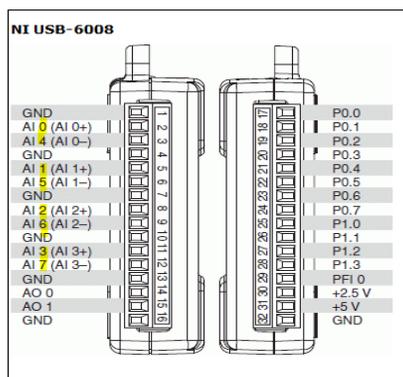


**Figura 9** Vista interior de los sensores de temperatura en el módulo fotovoltaico

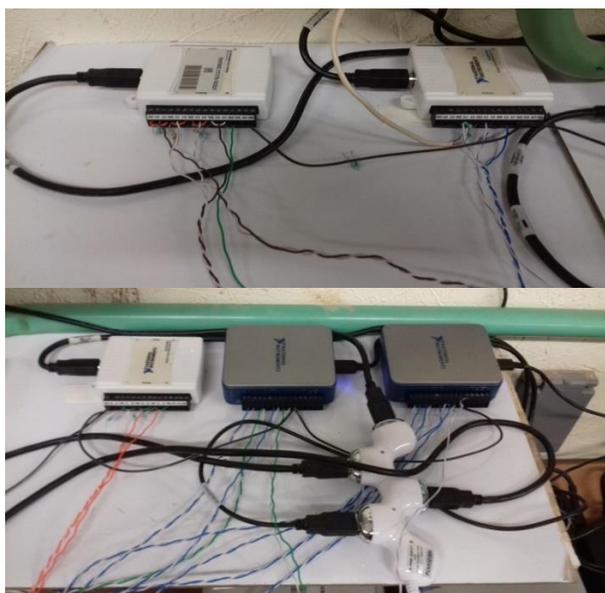
Con este arreglo, se pretende abarcar la mayor área posible del módulo fotovoltaico con el fin de ver el comportamiento de cada una de las temperaturas en las distintas zonas del panel debido a su inclinación con el que fue diseñado, (aproximadamente 20°), y que en nuestro caso, coincide con la latitud de 20°38'30.1"N, mirando hacia el sur geográfico.(NASA, 2014).

Los datos de salida provenientes de los sensores de temperatura serán conectados por medio de cableado a tarjetas DAQ NI USB300, las cuales, concentraran a una PC la información.

Este modelo cuenta con 8 entradas análogas por lo cual se utilizaron 5 tarjetas de adquisición de datos con conexión USB.

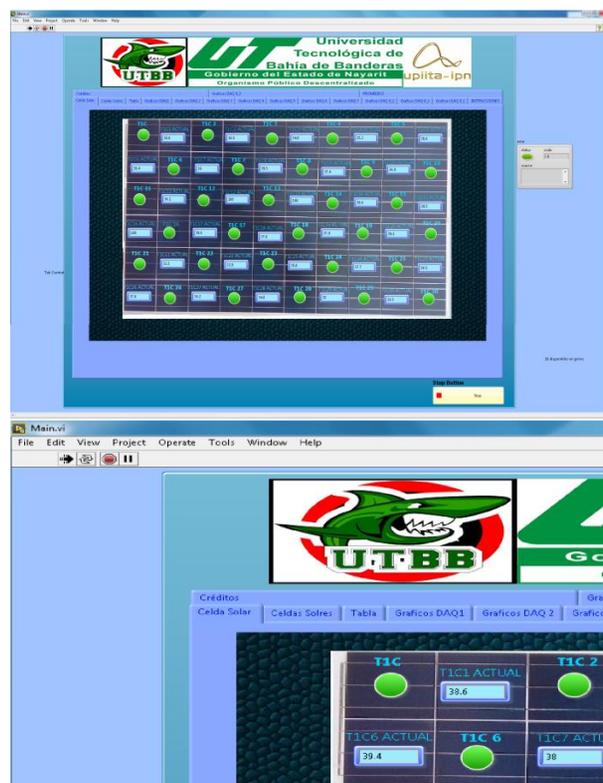


**Figura 10** Tarjeta de Adquisición de Datos, DAQ por sus siglas en Inglés NI USB 6008, con 8 puertos de entrada analógicos



**Figura 11** Tarjetas de adquisición de datos utilizada para la concentración de la información hacia la PC

La programación de los comandos e interpretación de los datos provenientes de los sensores se realizó con la interfaz Labview®, en la cual, se implementó un programa específico que tomara lecturas con un espacio de 10 minutos por sensor para dar un promedio de lectura en los 30 instalados en el módulo fotovoltaico, así como también el promedio general del sistema en su conjunto. Los datos de salida se pueden ver de forma gráfica en el programa o también se pueden descargar en archivo de Excel \*.xls, para su análisis e interpretación.



**Figura 12** Pantalla principal del programa para la toma de lecturas de los sensores de temperatura en Labview®

El programa muestra virtualmente las mediciones provenientes de los sensores LM35 ubicados en el módulo fotovoltaico, tal y como se muestra en la figura anterior, con la diferencia que el módulo en la ventana se muestra de manera horizontal para fines prácticos, y su ubicación real es 90° hacia la derecha. Las siglas para los sensores son TC, y van del TC1 al TC30, con un color verde (simulando un LED), para temperaturas que oscilan en los rangos de 10° a los 40°C, cualquier temperatura inferior o superior respectivamente se visualizara con un color rojo para su rápida identificación.



**Figura 13** Pantalla principal del programa con lecturas fuera de rango u anómalas

Las lecturas del día se muestran en la siguiente tabla de la interfaz Labview®, donde muestra el número de lectura, fecha de la lectura, hora de la lectura y los 30 sensores en cuestión.



Figura 14 Pantalla con la tabla de datos

Adicionalmente, el programa muestra las gráficas individuales de cada uno de los 30 sensores para ver su tendencia con respecto al tiempo, y una gráfica para el promedio total. A la izquierda de la gráfica se muestran las últimas 7 lecturas registradas por el programa.



Figura 15 Grafica de cuatro sensores operando simultáneamente.

**Resultados**

La temperatura óptima de operación de los módulos fotovoltaicos Solartec nos dice lo siguientes:

Condiciones de Operación	
Temperatura	-40 hasta + 90°C
Carga máxima	50 psf (2,400 pascales)
Resistencia al impacto	Granizo - 25mm (1in.) a 23m/s
Normado con	IEC 61215 / IEC 61730 / NMX-J-618

Tabla 3 Condiciones de operación del módulo Solartec S60PC

Donde la eficiencia del panel es del 15.29% a una temperatura de prueba estándar de 25°C, y (Solartec, 2016) radiación de 1,000 W/m<sup>2</sup> (incidencia normal), distribución espectral AM 1.5 y velocidad del viento de 1 m/s.(Solartec, 2016)

La temperatura registrada por los sensores se realizó entre el 12 de agosto y el 9 de septiembre, los meses más calurosos del año en la región de Bahía de Banderas, Nayarit.

Para fines prácticos el análisis se tomó el día 12 de septiembre, el cual, tuvo momentos intermitentes de sol y nubes debido al temporal de lluvias.

Los resultados fueron analizados en un programa de hoja de cálculo para ver el comportamiento del módulo a través del tiempo que se tomó para la realización de esta investigación.

Los registros de temperatura en las siguientes tablas nos muestran distintos rangos en las células fotovoltaicas del módulo señalad

09/12/2016	07:30:00 p.m.	19.49	18.95	18.93
09/12/2016	07:40:00 p.m.	18.65	18.03	18.35
09/12/2016	07:50:00 p.m.	18.25	17.53	17.87
09/12/2016	08:00:00 p.m.	17.60	16.96	17.47
09/12/2016	08:10:00 p.m.	17.00	16.29	16.94
09/12/2016	08:20:00 p.m.	17.14	16.34	16.98
09/12/2016	08:30:00 p.m.	17.73	16.97	17.70
09/12/2016	08:40:00 p.m.	17.62	16.82	17.56
09/12/2016	08:50:00 p.m.	16.88	16.04	16.79
09/12/2016	09:00:00 p.m.	17.18	16.29	17.01
09/12/2016	09:10:00 p.m.	17.58	16.69	17.34
09/12/2016	09:20:00 p.m.	17.14	16.23	16.87
09/12/2016	09:30:00 p.m.	17.35	16.48	17.17
09/12/2016	09:40:00 p.m.	19.28	18.43	19.18
09/12/2016	09:50:00 p.m.	19.12	18.24	18.93
09/12/2016	10:00:00 p.m.	16.85	15.92	16.54
09/12/2016	10:10:00 p.m.	15.83	14.86	15.51
09/12/2016	10:20:00 p.m.	15.31	14.50	15.22
09/12/2016	10:30:00 p.m.	15.17	14.29	15.01
09/12/2016	10:40:00 p.m.	15.66	14.75	15.34
09/12/2016	10:50:00 p.m.	15.14	14.26	14.89
09/12/2016	11:00:00 p.m.	15.00	14.18	14.89
09/12/2016	11:10:00 p.m.	15.08	14.28	15.05
09/12/2016	11:20:00 p.m.	15.03	14.21	14.95
09/12/2016	11:30:00 p.m.	15.05	14.26	15.10
09/12/2016	11:40:00 p.m.	15.09	14.27	15.06
09/12/2016	11:50:00 p.m.	14.94	14.17	15.02

Tabla 4 Temperatura registrada en celdas solares con un rango de 0 a 20°C

En la tabla se obtuvo que los sensores T1, T2 y T3, registraron temperaturas inferiores a los 20°C, siendo estos los que se encuentran en la parte superior del módulo fotovoltaico, con intervalos desde las 3:30 p.m, hasta el final del día de medición.

09/12/2016	07:30:00 p.m.	28.11	29.77
09/12/2016	07:40:00 p.m.	27.19	28.69
09/12/2016	07:50:00 p.m.	25.95	27.42
09/12/2016	08:00:00 p.m.	24.60	25.98
09/12/2016	08:10:00 p.m.	23.81	25.12
09/12/2016	08:20:00 p.m.	22.97	24.32
09/12/2016	08:30:00 p.m.	22.28	23.64
09/12/2016	08:40:00 p.m.	22.38	23.69
09/12/2016	08:50:00 p.m.	22.59	23.88
09/12/2016	09:00:00 p.m.	22.48	23.82
09/12/2016	09:10:00 p.m.	22.41	23.75
09/12/2016	09:20:00 p.m.	21.78	23.19
09/12/2016	09:30:00 p.m.	22.54	23.89
09/12/2016	09:40:00 p.m.	22.52	23.82
09/12/2016	09:50:00 p.m.	22.58	24.01
09/12/2016	10:00:00 p.m.	23.53	24.98
09/12/2016	10:10:00 p.m.	23.12	24.63
09/12/2016	10:20:00 p.m.	22.56	23.99
09/12/2016	10:30:00 p.m.	22.14	23.56
09/12/2016	10:40:00 p.m.	22.23	23.69
09/12/2016	10:50:00 p.m.	22.30	23.77
09/12/2016	11:00:00 p.m.	22.19	23.66
09/12/2016	11:10:00 p.m.	22.39	23.84
09/12/2016	11:20:00 p.m.	22.10	23.54
09/12/2016	11:30:00 p.m.	22.07	23.53
09/12/2016	11:40:00 p.m.	22.53	23.98
09/12/2016	11:50:00 p.m.	22.43	23.88

**Tabla 5** Temperatura registrada en celdas solares con un rango de 20 a 30°C

En la tabla anterior se muestran las temperaturas que estuvieron en los rangos de 20 a 30°C, que es la temperatura en que se realizan las pruebas a los módulos fotovoltaicos, estando solamente 10 de las 60 celdas dentro de estos parámetros de temperatura.

Fecha	Hora	TIC1	TIC2	TIC3	TIC4	TIC5	TIC6	TIC7
09/12/2016	09:50:00 a.m.	28.19	27.86	25.03	26.38	35.18	37.80	55.56
09/12/2016	10:00:00 a.m.	31.14	30.87	27.29	28.86	38.35	41.18	72.78
09/12/2016	10:10:00 a.m.	32.81	32.58	28.37	30.19	39.63	42.80	86.60
09/12/2016	10:20:00 a.m.	33.66	33.66	29.06	34.79	40.10	43.41	73.08
09/12/2016	10:30:00 a.m.	34.30	34.59	29.99	76.99	41.44	44.39	42.36
09/12/2016	10:40:00 a.m.	35.44	35.93	30.87	61.16	42.42	45.50	48.26
09/12/2016	10:50:00 a.m.	36.83	37.13	32.30	34.04	44.40	46.74	44.79
09/12/2016	11:00:00 a.m.	38.82	39.42	33.34	35.57	45.53	48.69	48.54
09/12/2016	11:10:00 a.m.	36.82	36.81	33.11	40.00	44.93	46.38	44.38
09/12/2016	11:20:00 a.m.	37.45	37.89	33.94	46.26	45.99	47.65	45.21
09/12/2016	11:30:00 a.m.	40.98	41.29	36.71	49.47	49.43	51.37	59.75
09/12/2016	11:40:00 a.m.	38.57	37.79	35.98	42.02	48.11	48.34	46.35
09/12/2016	11:50:00 a.m.	38.36	37.78	36.04	44.56	49.00	48.42	46.21
09/12/2016	12:00:00 p.m.	37.91	37.56	35.74	44.58	48.02	47.93	47.86
09/12/2016	12:10:00 p.m.	37.31	37.87	35.42	44.93	47.16	47.81	51.96
09/12/2016	12:20:00 p.m.	37.09	37.08	35.17	48.02	47.27	47.36	47.28
09/12/2016	12:30:00 p.m.	37.58	37.72	35.77	48.79	48.05	48.05	54.45
09/12/2016	12:40:00 p.m.	38.09	37.99	35.58	45.91	47.55	48.33	48.00
09/12/2016	12:50:00 p.m.	39.83	39.92	36.90	45.99	49.10	49.83	47.14
09/12/2016	01:00:00 p.m.	39.88	39.27	37.40	52.30	49.14	49.23	46.87
09/12/2016	01:10:00 p.m.	38.83	38.84	36.47	49.30	48.49	49.14	48.21
09/12/2016	01:20:00 p.m.	40.63	40.04	37.62	47.77	48.99	49.54	47.07
09/12/2016	01:30:00 p.m.	39.36	39.10	37.17	49.69	48.77	49.11	61.40
09/12/2016	01:40:00 p.m.	41.75	41.92	38.46	53.20	51.19	52.05	49.25
09/12/2016	01:50:00 p.m.	39.85	39.88	37.00	46.63	49.03	49.81	50.97
09/12/2016	02:00:00 p.m.	39.11	39.04	36.84	47.01	48.37	49.17	57.07
09/12/2016	02:10:00 p.m.	39.93	40.36	37.13	47.42	48.80	50.12	48.87
09/12/2016	02:20:00 p.m.	39.26	39.36	36.62	44.72	48.52	49.36	76.07
09/12/2016	02:30:00 p.m.	41.51	41.85	37.54	44.76	49.64	51.70	64.10
09/12/2016	02:40:00 p.m.	39.16	39.49	36.41	44.58	48.02	49.36	67.79
09/12/2016	02:50:00 p.m.	39.95	40.07	36.69	41.14	48.31	50.05	73.44
09/12/2016	03:00:00 p.m.	38.35	38.07	35.76	48.77	46.95	48.10	79.26
09/12/2016	03:10:00 p.m.	34.33	34.53	31.44	37.47	46.91	48.73	81.75

**Tabla 6** Temperatura registrada en celdas solares con un rango de 30 a 50°C.

Las temperaturas en el módulo fotovoltaico entre los 30 y los 50°C son las temperaturas que predominaron en los registros, incluso se registraron temperaturas en estos rangos en la que no recibían radiación solar.

09/12/2016	11:30:00 a.m.	51.80	50.66	52.13	50.23	52.02
09/12/2016	11:40:00 a.m.	49.33	49.49	52.05	48.43	49.10
09/12/2016	11:50:00 a.m.	49.91	50.39	53.01	49.88	49.84
09/12/2016	12:00:00 p.m.	49.10	49.70	52.38	48.91	49.00
09/12/2016	12:10:00 p.m.	48.79	48.89	51.50	48.14	48.84
09/12/2016	12:20:00 p.m.	48.68	48.87	51.66	48.09	48.53
09/12/2016	12:30:00 p.m.	49.46	49.73	52.50	48.89	49.06
09/12/2016	12:40:00 p.m.	49.44	49.48	52.09	48.70	49.36
09/12/2016	12:50:00 p.m.	50.87	50.84	53.44	49.94	50.74
09/12/2016	01:00:00 p.m.	50.66	51.05	54.06	49.98	50.18
09/12/2016	01:10:00 p.m.	50.36	50.39	53.00	49.25	49.89
09/12/2016	01:20:00 p.m.	50.77	50.70	53.64	49.66	50.48
09/12/2016	01:30:00 p.m.	50.43	50.75	53.71	49.68	50.19
09/12/2016	01:40:00 p.m.	53.19	53.00	55.35	51.97	53.04
09/12/2016	01:50:00 p.m.	51.02	50.88	53.53	49.85	50.74
09/12/2016	02:00:00 p.m.	50.40	50.31	53.05	49.27	50.09
09/12/2016	02:10:00 p.m.	51.10	50.93	53.38	49.77	50.95
09/12/2016	02:20:00 p.m.	50.54	50.71	53.06	49.58	50.48
09/12/2016	02:30:00 p.m.	52.21	53.24	53.55	50.46	52.48
09/12/2016	02:40:00 p.m.	50.37	50.49	52.42	49.03	50.26
09/12/2016	02:50:00 p.m.	50.71	50.38	52.71	49.43	50.93
09/12/2016	03:00:00 p.m.	48.99	49.18	51.51	48.08	49.00
09/12/2016	03:10:00 p.m.	49.34	62.72	50.89	48.25	49.83
09/12/2016	03:20:00 p.m.	50.52	65.30	52.18	49.36	50.70

**Tabla 7** Temperatura registrada en celdas solares con un rango > a 50°C

Las celdas solares con temperaturas arriba de los 50°C se reparten entre las horas de mayor incidencia solar que comprende de las 11:30 a.m, a las 16:40

**Conclusiones**

La temperatura promedio que nos arrojó el módulo fotovoltaico con los 30 sensores dispuestos en 30 células de las 60 que lo componen fue de  $\approx 25.65^\circ\text{C}$  en el transcurso del día. Diversos factores son los que afectan la temperatura de los módulos instalados, entre ellas se analizaron:

1. La temporada de verano en la zona de la investigación.
2. La temperatura del panel que llega a incrementarse por arriba de los 50°C
3. Temperaturas de hasta 30°C por las noches.
4. La inclinación del módulo fotovoltaico, 20°, orientación sur.
5. El remanente de calor de la losa que transfiere al módulo fotovoltaico.

6. La temporada de lluvias que hace descender la temperatura de los paneles.
7. La nubosidad.

Las horas solares pico que se registran en la entidad son las siguientes.(R. Almanza S)

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Jal/Nay	PV/BAdB A	5.2	5.7	6	5.8	5.7	5.5	5.6	5.7	5.5	5.6	5.2	4.7	4.7	6	5.5

**Tabla 8** Horas solares pico para la región de Bahía de Banderas, Nayarit

Para el mes en que se realizó el estudio el promedio de horas solares se encuentran en el orden de las 5.65 al día, con lo que las temperaturas que mayoritariamente se encuentran en ese rango de producción del sistema fotovoltaico son las encontradas entre los 30 y los 50°C, por lo que el sistema trabaja en regiones superiores a las que el fabricante especifica una eficiencia de 15.29%, a una temperatura de 25°C.

### Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo y a los integrantes del cuerpo académico de Innovación y Aplicación Tecnológica, por los comentarios y sugerencias que permitieron la mejora del artículo.

### Referencias

APS Valencia Energías Renovables . (22 de Febrero de 2012). Obtenido de <https://apsvalencia.com/2010/02/22/eficiencia-y-rendimiento-de-un-panel-solar-certificaciones/>

Ali Al Shehri, B. P. (2016). Impact of dust deposition and brush-based dry cleaning on glass. Solar Energy, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/solener](http://www.elsevier.com/locate/solener), 8.

Aparicio, M. P. (2010). Energía Solar Fotovoltaica. Barcelona: Marcombo.

Asociación de la industria fotovoltaica. (2010). Sistemas de Energía Fotovoltaica Manual del Instalador. Sevilla, España: PROGNSA.

Basant Raj Paudyal, S. R. (2016). Dust accumulation effects on efficiency of solar PV modules for off grid. Solar Energy, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/solener](http://www.elsevier.com/locate/solener), 8. Gobierno de la República. (2013). Reforma Energética Resumen Ejecutivo.

Gujarati, D. (1997). Econometría. Bogotá: MacGraw-Hill.

<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>. (26 de noviembre de 2014). Surface meteorology and Solar Energy - NASA. Recuperado el 01 de junio de 2016, de <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Juan Carlos Vega de Kuyper, S. R. (2015). Fuentes de energía, renovables y no renovables. Aplicaciones. México, D. F.: Alfaomega.

Maza, M. Á. (2013). Energía Solar Fotovoltaica (Segunda ed.). México: LIMUSA.

NASA. (26 de noviembre de 2014). Surface meteorology and Solar Energy - NASA. Recuperado el junio de 2016, de <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Óscar Perpiñán Lamigueiro, A. C. (2012). Diseño de sistemas fotovoltaicos. España: PROGNSA.

Pilar Pereda Suquet, A. P. (2009). Proyecto y Cálculo de Instalaciones Solares Térmicas. Madrid, España: Ediciones de arquitectura.

R. Almanza S, E. C. (s.f.). Reportes de insolación de México, Southwest Technology Development Institute, . NMSU.

Rizo, J. F. (2014). Energías Renovables, la única solución. México, DF: De La Salle ediciones.

Solartec. (2016). Solartec. Obtenido de <http://www.solartec.mx/products.php>

Vallina, M. M. (2011). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Madrid: Paraninfo.

Wethe, D. (2012). Super fracking. Bloomberg Businessweek.

## Caracterización de un colector solar de tubos evacuados y de flujo continuo para aplicaciones industriales

### Characterization of a solar collector of evacuated and continuous flow pipes for industrial applications

LEMUS-HERNÁNDEZ, Julio\*†, MONTER-ARREGUIN, Samuel y CASTAÑEDA-OLIVARES, Felipe

*Universidad de Guanajuato, División de Ciencias Económico-Administrativas, Guanajuato, Guanajuato, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Julio, Lemus-Hernández*

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Samuel, Monter-Arreguin*

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Felipe, Castañeda-Olivares*

DOI: 10.35429/JOES.2020.22.7.23.30

Recibido: Enero 25, 2020; Aceptado: Junio 30, 2020

#### Resumen

Este trabajo describe la caracterización de un sistema colector solar de tubos evacuados y de flujo continuo que utiliza LabView como interface y puntas de termopar como sensores de temperatura para las condiciones climáticas de San Juan del Río, Querétaro, México. Se determinaron las  $\Delta T$  y eficiencias térmicas del Sistema y sus posibles aplicaciones. Los resultados experimentales fueron comparados con los obtenidos mediante una simulación numérica. Se obtuvieron mejores resultados de eficiencia para el arreglo en paralelo. En la actualidad continúa la tendencia de diversificar las fuentes de energías para procesos industriales y las energías renovables están tomando un papel cada vez más importante en el mediano plazo. El sistema que se propone permite bombear un fluido a través de un sistema colector para proveer de energía suplementaria al proceso industrial.

**Energía Solar, Transferencia de calor por radiación, Eficiencia energética**

#### Abstract

The characterization of a solar collector with evacuated tubes and continuous flow water heating, was measured by thermocouples and LabView interface data acquisition is presented. Weather conditions for San Juan del Río, Querétaro, México.  $\Delta T$  and the system efficiency is obtained and its possible applications are considered. The experimental results were compared with a numerical solution. The best results were obtained by parallel system. A trend in renewable energy is diversification of sources and it may have good prospects in the medium term, as the flow through pumps hot fluid can be exploited to a greater distance in an industrial process and provide supplemental energy form for industrial processes.

**Solar energy, Radiation heat transfer, Energy efficiency**

**Citación:** LEMUS-HERNÁNDEZ, Julio, MONTER-ARREGUIN, Samuel y CASTAÑEDA-OLIVARES, Felipe. Caracterización de un colector solar de tubos evacuados y de flujo continuo para aplicaciones industriales. Revista de Sistemas Experimentales. 2020. 7-22:23-30.

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: jclmush@utsjr.edu.mx)

† Investigador contribuido como primer autor.

## Introducción

Los colectores solares de tubos evacuados representan en la actualidad una alternativa de calentamiento de agua muy importante. Se han realizado muchas investigaciones alrededor del mundo tratando de optimizar éste y otros mecanismos de captación de energía solar. Es sabido que la irradiancia del sol varía dependiendo de factores como las condiciones atmosféricas y ambientales de la zona o lugar, la situación geográfica, la época del año y la situación de la Tierra respecto al Sol. (Roldán Vilorio, 2012)

Los principales aparatos que se usan con la energía solar térmica son los calentadores de agua y las estufas solares. Los colectores solares, tanques de almacenamiento y fluidos de transferencia de calor son los tres componentes básicos en aplicaciones de calentadores de agua solares. (Jamar, Majid, Azmi, Norhafana, & Razak, 2016). Para llevar a cabo el estudio realizado se documentaron las últimas investigaciones realizadas y sus vertientes.

En los sistemas de colección de tubos evacuados (ETCs) se ha demostrado que la combinación de una superficie selectiva y un espacio evacuado dan como resultado un desempeño excelente para la colección de energía solar a altas temperaturas. El vacío reduce las pérdidas de calor por conducción y convección al ambiente. Su geometría permite lograr excelentes niveles de colección en ángulos de incidencia bajos. (Kalogirou, 2009) Las variables en el diseño de un colector solar de tubos evacuados se concentran en los siguientes aspectos:

- a) La geometría y arreglos del colector solar. Uno de los principales temas estudiados es el efecto de la relación de aspecto del tubo (relación longitud-diámetro) sobre la eficiencia de la temperatura del agua en el tubo de vidrio evacuado.

Los resultados muestran que la relación longitud-diámetro tiene un efecto significativo en la eficiencia de este tipo de calentadores solares de agua. A mayor relación longitud-diámetro, menor es la eficiencia de ellos. (Yekta, Veysi, & Shojaeizadeh, 2015).

El uso de software con simulaciones numéricas se ha ocupado en la identificación de formas para mejorar la eficiencia de los colectores solares y poder ser utilizado para la optimización de las configuraciones geométricas según Min Thant, Myat Soe, & Maw Htay en 2015.

Opciones como el uso de una serie de tubos inclinados conectados a un tanque de cabecera, o dos filas de tubos horizontales en cada lado de un colector central fueron evaluadas por Thomas en 2015. Encontrando mejores resultados para el arreglo en paralelo del sistema.

Existe una tecnología denominada Heat Pipe, que consiste en el uso de dos materiales de transferencia de calor. Esta tecnología se utiliza principalmente para la generación de agua caliente con una mayor eficiencia, menos pérdida de calor y menos fricción. (Parmar & Bhojak, 2016). Li y colaboradores (2016) diseñaron un nuevo tubo al vacío con microcanales, que da algunas ventajas como las altas temperaturas y una baja pérdida de calor.

Recientemente se han escrito varios reviews que evalúan todas las tecnologías disponibles como la de los colectores de placa plana, de tipo parabólico, tubos de vacío, parabólica comedero, lente de Fresnel, antena parabólica y Heliostato colector de campo (HFC). Se encontró que el colector plano es el más adecuado debido a la mayor eficiencia y economía en el sistema de calentador de agua solar. (Patil & Deshmukh, 2016) (Patil, Deshmukh, & Paul, A Review on Different Collectors Performance, 2016). La misma idea pero trabajada en SolidWorks fue realizada por Bellos y colaboradores en 2015.

La modelación de sistemas de colectores solares se ha realizado también con tubos en "U", logrando elevar los coeficientes de transferencia de calor y por lo tanto la capacidad de absorción de energía térmica. (Kiran Naik, Varshney, Muthukumar, & Somayaji, 2015). El uso de aletas arroja que su orientación no influye en la temperatura alcanzada por el fluido usando tubos de cobre, sin embargo reduce los tiempos de espera para ello. (Krumholz, Agavo, & Dundon, 2016) (Mishra, 2015)

- b) El tipo de arreglo de flujo

Cambios en el caudal y su efecto han sido reportados por la Universidad Aleksandras Stulginskis en 2015, donde el aumento de la velocidad del caudal en el sistema ha reducido las pérdidas de calor en la tubería, pero con más energía utilizada por la circulación del agente de transferencia de calor (Agua). También se han realizado pruebas de flujos en tubos evacuados colocados en paralelo y en serie, dando ventaja a los arreglos en paralelo según Ricci y colaboradores en 2015. Lo cual comprueba Daghigh & Shafieian en 2016, al reportar menor eficiencia aplicando convección forzada.

### c) Análisis financiero

Ayompe, Duffy, McCormack, & Conlon en 2011, Nájera Trejo, Martín Domínguez, & Escobedo Brenato en 2016 y Ghoneim, Shabana, Shaaban, & Mohammedeln en 2016 usaron TRNSYS que es una herramienta de simulación dinámica para el diseño y optimización de sistemas energéticos y simulación térmica. Con ello han podido predecir el rendimiento a largo plazo del calentamiento solar de agua en diferentes lugares. Simular corridas del sistema en distintas condiciones meteorológicas y condiciones de operación.

Y optimizar el tamaño del sistema solar de calentamiento de agua para que coincida con diferentes perfiles de carga. Diversos estudios evalúan las eficiencias de los colectores solares en diversas regiones del mundo, tal como Daghigh & Shafieian en 2016 quienes encontraron el número óptimo de tubos (15 tubos) para las condiciones estudiadas por ellos. Bouzenada y colaboradores en 2016, compararon en pruebas simultáneas el efecto geográfico de los colectores probados en Asia, Medio Oriente y América del Norte, encontrando la región de Túnez como la mejor opción para el sistema evaluado.

La caracterización del colector solar de tubos evacuados en flujo continuo se ha realizado con anterioridad, sin embargo, en la información disponible hasta el momento, no se había realizado aplicando el flujo en paralelo y en serie con el uso de una bomba en ambos casos. Lo cual industrialmente puede ser atractivo al tener más aplicaciones al permitir transportar el fluido de calentamiento más lejos hasta el lugar de aplicación.

Para evaluarlo se usó el software de LabView de National Instrument. Realizado en las condiciones climáticas predecidas por el software Meteonorm 5.1, para la región de San Juan del Río, Querétaro. México. En abril de 2016.

El objetivo es caracterizar un colector solar basado en tubos evacuados y serpentín con flujo de agua en arreglos en serie y en paralelo, con convección forzada y con la finalidad de evaluar su posible aplicación en procesos industriales.

### Metodología

El sistema general está compuesto por cinco elementos principales:

1. Colector con 4 Tubos de borosilicato de 58 mm de diámetro externo, tubo absorbedor de 42 mm de diámetro y 1.8 m de longitud. Cada tubo cuenta con un serpentín de tubo de cobre de 3/8" de diámetro externo.
2. Un soporte para tubos diseñado y construido con la capacidad de ajustar su orientación a la trayectoria del sol en un eje.
3. Un sistema de transmisión de flujo de agua en circuito cerrado con venteo. La distribución del agua de alimentación se realiza mediante Tubing de teflón 3/8" OD aisladas térmicamente. Para las necesidades previstas, el sistema permite cambiar fácilmente a un arreglo de tubos en serie o en paralelo. Utiliza una bomba peristáltica de flujo variable marca MasterFlex L/S Mod. 7523-40 de 10 a 600 RPM, 115 VCA. 2.3 A. con capacidad de regular flujos de 0 a 1700 mL/min.
4. Sistema de medición y control de variables. Se utilizó la tarjeta de adquisición de datos DAQ NI-USB6008 de 12 bits de National Instruments. Se programó para proporcionar lecturas de temperatura promedio cada 10 segundos. Termopares tipo K y compensadores de temperatura de punta fría AD595 de marca Analog Devices. Su instalación al centro de la tubería permite sensor directamente la temperatura del fluido.

5. Estación Meteorológica de CEA instalada en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río. Proporciona la información de variables meteorológicas tales como la temperatura ambiente, velocidad de aire y Radiación solar.

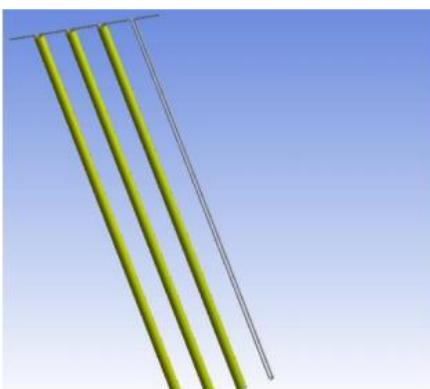
La estación está instalada a 30 metros de donde se ubicó el colector. En la Figura 1 se presenta una fotografía del sistema sin deflectores y en la figura 2 el arreglo de conexión entre los 4 tubos evacuados en serie.

Para este estudio se utilizó agua desionizada como fluido de trabajo por su alto valor de  $C_p$ , disponibilidad y su punto de ebullición de 96 °C. Además por su inocuidad, su bajo factor de incrustación y bajo riesgo ambiental. En las corridas experimentales se estudiaron flujos de agua de 50 hasta 500 mL/min. Las condiciones de radiación solar fueron variantes obteniéndose en instantes máximos de hasta 1100 W/m<sup>2</sup>. La salida del colector se conectó a un dissipador de calor enfriado por aire con el fin de simular la carga térmica demandada por una unidad de proceso. Su salida se retorna al colector.

Para concluir con la caracterización se obtuvo la solución numérica de las ecuaciones de transferencia de calor con la ayuda del software ESS por su versatilidad y capacidad de proporcionar propiedades termodinámicas.



**Figura 1** Sistema del colector solar de tubos evacuados



**Figura 2** Arreglo de serpentines en el sistema

### Simulación numérica del desempeño del colector

Antes de presentar las ecuaciones que describen el modelado es necesario enunciar las siguientes consideraciones. Se consideraron tres nodos de temperatura en cada tubo evacuado:

Temperatura exterior del tubo, temperatura superficial del tubo absorbedor y temperatura del tubo de cobre. Además, se omite la resistencia de transferencia de calor por conducción a través de los tubos de borosilicato y tubo de cobre. Se desprecia el fenómeno de retromezclado del fluido dentro del tubo de cobre. Además se supone una condición de estado estacionario. De acuerdo con (Ricci, y otros, 2015) el coeficiente de transmitancia del borosilicato y coeficiente de absorción del tubo colector son de 0.92 y 0.95 respectivamente. A continuación se presentan las ecuaciones para realizar los balances de energía térmica en un tubo colector basadas en los modelos propuestos por Ndiaye (2015).

Tubo exterior:

$$Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 = 0 \quad (1)$$

$$Q_1 = \alpha_g A_{sup} G \quad (2)$$

$$Q_2 = A_p \sigma \varepsilon (T_p^4 - T_{sup}^4) \quad (3)$$

$$Q_3 = A_{sup} \sigma \varepsilon (T_{sup}^4 - T_{sky}^4) \quad (4)$$

$$Q_4 = A_{sup} h_{amb} (T_{sup} - T_a) \quad (5)$$

Y de acuerdo con la ecuación de Swinbank citado por Ndiaye (2015):

$$T_{sup} = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (6)$$

Y también por la ecuación de Churchill y Bernstein:

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62 Re^{1/2} Pr^{1/3}}{[1 + (0.4/Pr)^{2/3}]^{1/4}} B \quad (7)$$

$$B = \left[ 1 + \left( \frac{Re}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad (8)$$

Tubo absorbedor:

$$Q_5 - Q_2 - Q_6 = 0 \quad (9)$$

$$Q_5 = \tau_g \alpha A_p G \quad (10)$$

$$Q_6 = \dot{m} c_p \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h_i A_t}{\dot{m} c_p}\right) \right] (T_p - T_1) \quad (11)$$

Fluido:

$$T_2 = T_p - (T_p - T_1) \exp\left(-\frac{h_i A_t}{\dot{m} c_p}\right) \quad (12)$$

Eficiencia térmica:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_p G} \quad (13)$$

$$Q_u = \dot{m} c_p (T_p - T_1) \quad (14)$$

O también por:

$$\eta = a_1 - a_2 \left( \frac{T_1 - T_a}{G} \right) \quad (15)$$

Nomenclatura:

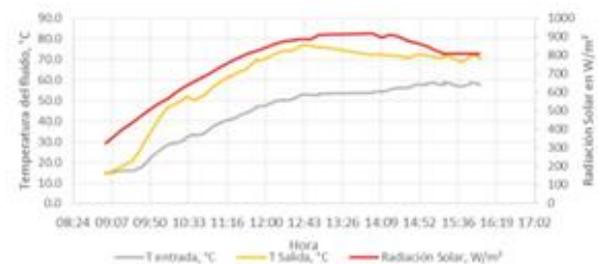
$A_{sup}$  = Área superficial del tubo externo ( $m^2$ )  
 $A_i$  = Área del tubo absorbedor ( $m^2$ )  
 $B$  = Factor de la ecuación de Churchill y Berstein.  
 $C_p$  = Capacidad calorífica promedio del fluido ( $J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )  
 $G$  = Radiación solar ( $W \text{ m}^{-2}$ )  
 $h_{amb}$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección en el exterior ( $W \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ )  
 $h_i$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el tubo de cobre y el fluido ( $W \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ )  
 $\dot{m}$  = Flujo másico ( $\text{kg s}^{-1}$ )  
 $Nu$  = Numero de Nusselt  
 $Pr$  = Numero de Prandtl  
 $Q_1$  = Energía solar absorbida por el absorbedor ( $W$ )  
 $Q_2$  = Radiación de calor intercambiado entre el tubo absorbedor y tubo exterior ( $W$ )  
 $Q_3$  = Energía emitida al cielo ( $W$ )  
 $Q_4$  = Perdidas de calor por convección al ambiente ( $W$ )  
 $Q_5$  = Energía recibida por el tubo absorbedor ( $W$ )  
 $Q_6$  = Energía retirada por el fluido por convección ( $W$ )  
 $Re$  = Numero de Reynolds  
 $T_p$  = Temperatura del tubo absorbedor ( $K$ )  
 $T_{sup}$  = Temperatura superficial externa ( $K$ )  
 $T_a$  = Temperatura ambiente ( $K$ )  
 $T_1$  = Temperatura de entrada ( $K$ )  
 $T_2$  = Temperatura de salida ( $K$ )  
 $T_{sky}$  = Temperatura del cielo ( $K$ )  
 $\alpha$  = Absortividad de radiación solar  
 $\epsilon$  = Emisividad de tubo borosilicato  
 $\sigma$  = Constante de Stefan - Boltzmann ( $W \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ )  
 $\tau_g$  = Transmitancia del tubo de borosilicato.  
 $\eta$  = Eficiencia energética

## Resultados

En la Gráfica 1 podemos observar la variación de las temperaturas experimentales que se obtuvieron a lo largo de una jornada desde las 9:00 horas hasta las 15:40 horas. Se puede observar la correlación directa entre la ganancia de energía térmica por el fluido y la radiación solar en  $W/m^2$  presente en ese instante.

En este gráfico se alcanza a apreciar la diferencia de temperatura que alcanza el fluido a su paso por el colector. Se observan  $\Delta T$  del orden de los  $20^\circ\text{C}$  desde las 11:30 hasta las 14:00 de ese día, en un solo paso. La  $\Delta T$  del sistema máxima en recirculación fue de  $70^\circ\text{C}$ , con una temperatura máxima alcanzada de  $85^\circ\text{C}$ .

Esta diferencia de Temperatura es la que se podrá disponer como recurso energético en una aplicación industrial. Durante los análisis de resultados se determina que la potencia de calentamiento de un tubo evacuado ofrece una potencia de calentamiento máximas (14) registradas de  $150 \text{ W}$  con una media de  $120 \text{ W}$ , considerando que este valor depende de las condiciones de radiación solar, la temperatura de entrada del fluido de trabajo y del arreglo serie o paralelo instalado.

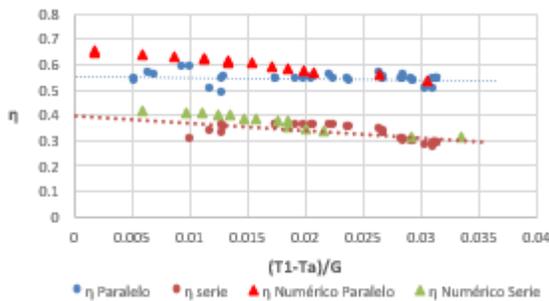


**Gráfico 1** Perfil de temperaturas a un flujo de  $100 \text{ mL/min}$   
Fuente: Estación meteorológica CEA Universidad Tecnológica de San Juan del Río. 11 de Abril del 2016. <https://www.wunderground.com/personalweatherstation/dashboard?ID=IQUERETA29#history/tdata/s20140411/e20140411/mdaily>

A su vez, el Gráfico 2 muestra evidencia que el arreglo en paralelo ofrece mayor eficiencia en todas las corridas, este mismo resultado se observa con la simulación numérica (1-15). Las ecuaciones que describen su desempeño son las siguientes tomando el modelo de (15):

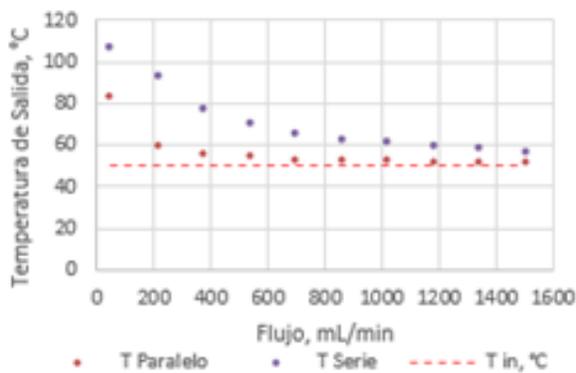
$$\eta_{paralelo} = 0.5544 - 0.5373 \left( \frac{T_1 - T_a}{G} \right) \quad (15)$$

$$\eta_{serie} = 0.3992 - 2.9754 \left( \frac{T_1 - T_a}{G} \right) \quad (16)$$

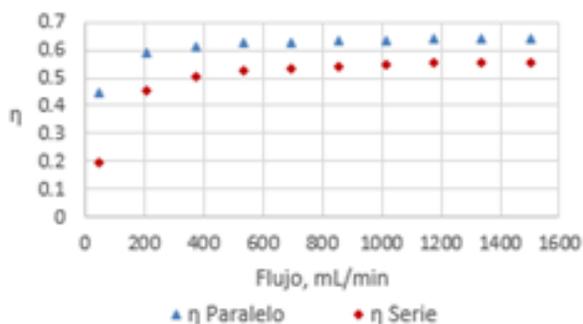


**Gráfico 2** Correlación de la eficiencia del arreglo Serie y Paralelo en función del factor  $(T_1 - T_a)/G$  y los estimados con la correlación numérica.

El análisis de variación de temperatura de salida contra los flujos volumétricos y de la eficiencia contra el mismo flujo volumétrico se representan en los Gráficos 3 y 4 respectivamente. Como se puede observar el  $\Delta T$  en el arreglo en serie es mayor, sin embargo, la eficiencia del colector es mayor con el arreglo en paralelo.



**Gráfico 3** Perfil de temperaturas en función del tipo de arreglo serie o paralelo con una alimentación de  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  y Radiación solar de  $864\text{ W/m}^2$



**Gráfico 4** Variación de la eficiencia en función del flujo de alimentación para los arreglos de serie y paralelo

La caracterización del colector solar de tubos evacuados fue posible de llevar a cabo, arrojando información relevante para el prototipo construido.

En flujos de entre  $100\text{--}150\text{ mL/min}$ , se obtuvo la máxima ganancia energética cuando fue acoplado a un secador de alimentos, obteniendo a su vez productos aceptables en términos de cantidad de humedad. En términos de eficiencia y considerando una posible aplicación industrial, el arreglo en paralelo respecto al arreglo en serie tiene el 100% más de eficiencia. Éste proyecto sirve de plataforma para diseñar y monitorear proyectos a mayor escala, pues ya se conocen parámetros de diseño que pueden ser escalados como la geometría y las relaciones de flujo con las eficiencias.

Cualquier aplicación industrial involucra el suministro de energía de forma más económica posible basado en las energías renovables. Se observa éste proyecto puede formar parte de las redes de suministro de energía que pueden ser diversas y tener un impacto en la elección de las tecnologías en la industria. Se coincide con lo que opinan Muster Slawitsch, y otros en 2016, sobre los procesos en la gestión de la energía total de las empresas, pues la meta es la diversificación.

De igual forma coincidimos con Porras Prieto en 2015, en que la utilización de un sistema único de suministro es inviable en la mayoría de los casos, especialmente a tasas de transferencia elevadas, al no ajustarse la demanda de agua caliente a la estacionalidad de la producción del sistema solar, y al existir muchos días sin producción de agua caliente por la ausencia de irradiación mínima.

## Referencias

Aleksandras Stulginskis University. (2015). Experimental investigation of energy characteristics of evacuated tube heat-pipe solar collector system. (A. Raupelienė, Ed.) Proceedings of the 7th International Scientific Conference Rural Development 2015, 1-6.

Ayompe, L. M., Duffy, A., McCormack, S. J., & Conlon, M. (2011). Validated TRNSYS model for forced circulation solar water heating systems. Applied Thermal Engineering, 31(8-9), 1536-1542. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.01.046>

- Bellos, E., Tzivanidis, C., Mitsopoulos, G., & Alexopoulos, I. (2015). Energetic, exergetic and financial evaluation of. Athens, Greece: Department of Thermal Engineering, National Technical University of Athens, Zografou, Heron Polytechniou.
- Bouzenada, S., McNevin, C., Harrison, S., & Kaabi, A. (1 de Abril de 2016). Performance of a liquid desiccant air-conditioner driven by evacuated-tube, flat-plate, or hybrid solar thermal arrays. *Energy and Buildings*, 117, 53-62. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.002>
- Cervantes Anaya, A. I., & García Carbajal, H. E. (2013). Horno automático de precisión para el soldado de componentes electrónicos de montaje superficial. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Daghigh, R., & Shafieian, A. (Agosto de 2016). Energy and exergy evaluation of an integrated solar heat pipe wall system for space heating. *Sādhanā*, 1-10. doi:10.1007/s12046-016-0517-4
- Daghigh, R., & Shafieian, A. (25 de Junio de 2016). Theoretical and experimental analysis of thermal performance of a solar water heating system with evacuated tube heat pipe collector. *Applied Thermal Engineering*, 103, 1219-1227. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.034>
- Ghoneim, A. A., Shabana, H. M., Shaaban, M. S., & Mohammedeln, A. M. (Abril de 2016). Performance Analysis of Evacuated Tube Collector in Hot Climate. *European International Journal of Science and Technology*, 5(3), 8-21.
- Jamar, A., Majid, Z., Azmi, W., Norhafana, M., & Razak, A. (Agosto de 2016). A review of water heating system for solar energy applications. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 178-187. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.05.028>
- Kalogirou, S. (2009). *Solar Energy Engineering*. Cambridge, Massachusetts, United States: Academic Press.
- Kiran Naik, B., Varshney, A., Muthukumar, P., & Somayaji, C. (2015). Modelling and Performance Analysis of U Type Evacuated Tube. Guwahati, India: Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Guwahati.
- Krumholz, B., Agavo, M., & Dundon, W. (2016). *Fluid Analysis in Solar Heat Pipes*. San Luis Obispo, CA: Department of Mechanical Engineering, Cal Poly SLO.
- Li, G., Ji, J., Zhang, G., He, W., Chen, X., & Chen, H. (8 de June de 2016). Performance analysis on a novel micro-channel heat. *International Journal of Energy Research*, 1-12.
- Min Thant, Z., Myat Soe, M., & Maw Htay, M. (September de 2015). Numerical Study on Temperature Distribution of Water-in-Glass Evacuated Tubes Solar Water Heater. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 2(9), 1-7.
- Mishra, D. (2015). Experimental Analysis of Thermal Performance of Evacuated U-Tube Solar Collector. *Advance Physics Letter*, 2(3), 1-7.
- Muster Slawitsch, B., Prosinecki, T., Ahmad, Q., Sattler, C., Buchmaier, J., Lux, S., . . . Brunner, C. (2016). Potential Enhancement of Solar Process Heat by Emerging Technologies. Paris, France: *Solar Process Heat for Production and Advanced Applications*.
- Nájera Trejo, M., Martín Domínguez, I. R., & Escobedo Brenato, J. A. (2016). Economic feasibility of flat plate vs evacuated tube solar collectors. *Energy Procedia*, 91, 477-485. Obtenido de (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
- Ndiaye, D. (2015). Simplified Model for Dynamic Simulation of Solar Systems with Evacuated Tube Collector. (ELSEVIER, Ed.) *Procedia Engineering* (118), 1250 - 1257.
- Parmar, R. B., & Bhojak, K. (May-June de 2016). Performance of an evacuated tube collector with heat pipe technology. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 4(3), 71-90.

Patil , P. P., & Deshmukh, D. S. (2 de May de 2016). A Review on Collector Designs for Solar Water Heating System Performance Enhancement. *Pratibha: International Journal Of Science, Spirituality, Business and Technology (Ijssbt)*, 4(2), 71-77.

Patil, P. P., Deshmukh, D. S., & Paul, I. D. (2016). A Review on Different Collectors Performance. Jalgaon, India: International Conference on Global Trends in Engineering, Technology and Management (ICGTETM-2016).

ph.parker.com. (04 de 09 de 2016). Obtenido de <http://ph.parker.com/us/es/939-convoluted-ptfe-hose>

Porras Prieto, C. J. (2015). Evaluación de un sistema de energía solar térmica basado en colectores de tubos de vacío para suministro de agua a alta temperatura. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid

Ricci, M., Bocci, E., Michelangeli, E., Micangeli, A., Villarini, M., & Naso, V. (2015). Experimental Tests of Solar Collectors Prototypes Systems. *Energy Procedia*, 82, 744-751.

Roldán Viloría, J. (2012). Estudio de viabilidad de instalaciones solares. Madrid, España: Paraninfo.

Tang, R., Yang, Y., & Gao, W. (7 de 2011). Comparative studies on thermal performance of water-in-glass evacuated tube solar waters with different collector tilt-angles. *Solar Energy*, 85(7), 1381-1389.

Thomas, D. E. (December de 2015). Performance of horizontal water-in-glass evacuated tube. *Journal of Mechanical Engineering*, ME 45(2), 130-134.

Yekta, A., Veysi, F., & Shojaeizadeh, E. (2015). The Effect of Tube Aspect Ratio on the Efficiency of Water in Glass Evacuated Tube Solar Water Heaters. *Caspian Journals of Applied Sciences Research*, 4(8), 34-46.

# **Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación**

---

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

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2<sup>do</sup> Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3<sup>er</sup> Coautor

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

*International Identification of Science - Technology and Innovation*

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

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

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

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

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

---

### **Resumen (En Español, 150-200 palabras)**

Objetivos  
Metodología  
Contribución

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

### **Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)**

Objetivos  
Metodología  
Contribución

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

---

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

---

---

\* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del Artículo

## Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

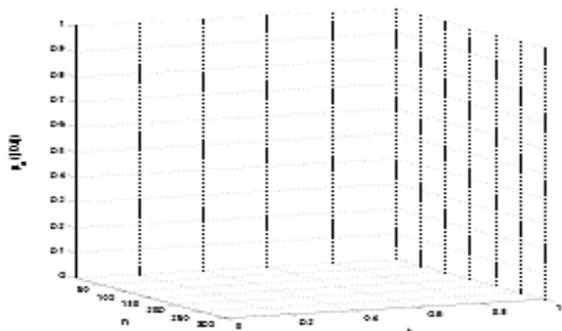
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

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

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

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

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



**Gráfico 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.



**Figura 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.


**Tabla 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

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

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

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

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

## Metodología a desarrollar

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

## Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

## Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

## Agradecimiento

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

## Conclusiones

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

## Referencias

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

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

## Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

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

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

## Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

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

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

## **Reserva a la Política Editorial**

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

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

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

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

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

Título del Artículo:

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

## Copyright y Acceso

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

Título del Artículo:

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

## Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

### Responsabilidades del Editor

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

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

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

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

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

### Responsabilidades del Consejo Editorial

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

### Responsabilidades del Comité Arbitral

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

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

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

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

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

### **Responsabilidades de los Autores**

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

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

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

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

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

### **Servicios de Información**

#### **Indización - Bases y Repositorios**

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

DULCINEA (Revistas científicas españolas)

UNIVERSIA (Biblioteca Universitaria-Madrid)

SHERPA (Universidad de Nottingham- Inglaterra)

#### **Servicios Editoriales**

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Artículo con PLAGSCAN

Evaluación de Artículo

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Artículo

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Traducción

Publicación de Obra

Certificado de Obra

Facturación por Servicio de Edición

#### **Política Editorial y Administración**

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre – Bolivia. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org) [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**ECORFAN®**

**Editor en Jefe**

BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD

**Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

**Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

**Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

**Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

**Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

**Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

**Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Publicidad y Patrocinio**

(ECORFAN® Bolivia), [sponsorships@ecorfan.org](mailto:sponsorships@ecorfan.org)

**Licencias del Sitio**

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

**Oficinas de Gestión**

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

# Revista de Sistemas Experimentales

“Aplicación de la energía solar mediante sistema termosolar y sistema solar fotovoltaico, para proceso de purificación de agua para uso humano, en función de utilizar un recurso solar promedio de al menos 3.0 horas solar pico”

**BARRAGÁN-BUENO, Miguel**

“Diseño y construcción de un sistema de humidificación para un banco de celdas de combustible PEM”

**MARTÍNEZ-CRUZ, Salvador, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús, DUARTE-MOLLER, José y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan**

“Efectos de la temperatura en la eficiencia de un módulo fotovoltaico”

**MESSINA-LOPEZ, Víctor, DIBENE-ARRIOLA, Luis y PAREDES-VAZQUEZ, César**

“Caracterización de un colector solar de tubos evacuados y de flujo continuo para aplicaciones industriales”

**LEMUS-HERNÁNDEZ, Julio, MONTER-ARREGUIN, Samuel y CASTAÑEDA-OLIVARES, Felipe**

