

## 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:

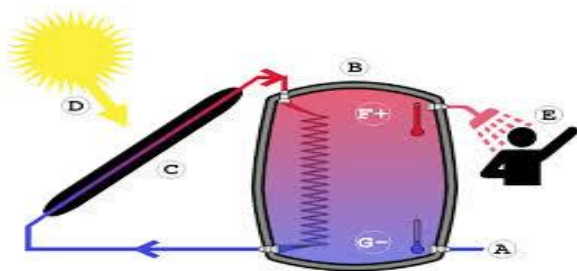
$$A_{col} = (59.66 \text{ MJ}) / (10.8 \text{ MJ/m}^2)$$

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

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)

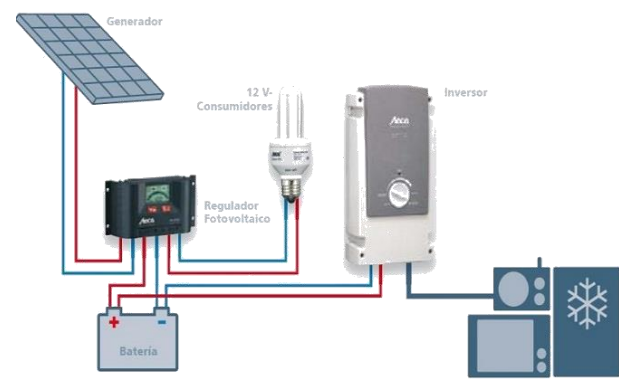
Para el diseño y dimensionamiento del Sistema Solar Fotovoltaico, con el cual se generará la energía eléctrica necesaria para usarse en el uso de la resistencia eléctrica, es decir, por cada sesión de hervido de agua en la cual la resistencia recomendada se puede utilizar para hervir hasta 20 litros, durante un tiempo aproximado de 12 minutos por sesión, esta tiene un consumo de 500 Wh, además de considerar que diariamente podemos 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)