

***Dimensionamiento y estudio socioeconómico de la instalación de un calentador solar en una Casa-Habitación***

***Sizing and socio-economic study for the installation of a solar water heater in a residential home.***

Ilse Jusery Santa Rosa Vargas<sup>1</sup>, Alejandro Palacios Mendez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México. Campus Poza Rica

Corresponding autor: ilse.santarosa@itspozarica.edu.mx

**Resumen:** El calentador solar por gravedad está conformado por un colector solar, que captura y concentra la radiación solar, también cuenta con un sistema de almacenamiento de agua, que retiene y mantiene el agua caliente para su uso posterior. En el presente, se propone la implementación de un calentador solar para una casa-habitación ubicada en la ciudad de Poza Rica de Hidalgo; México, que tiene necesidades específicas de, temperatura, cantidad de personas que la habitan, tiempo de suministro de agua y caudal en la regadera. Con respecto a la ubicación, existen factores importantes a considerar en la implementación tales como; hora solar pico, evaluación y condiciones del clima. El propósito del trabajo es estimar la cantidad de tubos necesarios para satisfacer las necesidades del usuario. Además, se realizará un estudio socioeconómico que incluye una cotización del sistema completo a instalar, el flujo de efectivo y gráfico de retorno de inversión; esto con el propósito de mostrar la factibilidad de la implementación. Finalmente, se determina el número de tubos requeridos, se realiza la selección del calentador solar y con el propósito de maximizar la captura de energía solar y de determinar la disposición efectiva, se elabora un render para simular la instalación del calentador solar.

**Palabras clave:** Calentador, Radiación, Energía, Solar.

**Abstract:** The gravity solar heater is made up of a solar collector, which captures and concentrates solar radiation, it also has a water storage system, which retains and keeps the water hot for later use. In this paper, the implementation of a solar heater is proposed for a house located in the city of Poza Rica de Hidalgo; Mexico, which has specific needs for temperature, number of people living there, water supply time and shower flow. Regarding the location, there are important factors to consider in the implementation such as; peak solar time, evaluation and weather conditions. The purpose of the work is to estimate the number of tubes needed to meet the user's needs. In addition, a socioeconomic study will be carried out that includes a quote for the complete system to be installed, the cash flow and return on investment graph; this with the purpose of showing the feasibility of the implementation. Finally, the number of tubes required is determined, the solar heater is selected and in order to maximize the capture of solar energy and determine the effective layout, a render is created to simulate the installation of the solar heater.

**Keywords:** Heater, Radiation, Energy, Solar.

## 1. Introducción

Un calentador de agua es un dispositivo capaz de convertir el agua fría en agua caliente mediante el uso de la energía solar, está en forma de radiación electromagnética y con la ayuda del efecto termosifón, lo cual produce que el agua se caliente a través de él. (Conde y Ramos, 2014)

Hay dos tipos de calentadores solares por presión y por gravedad; el primero requiere bombeo para elevar la presión y pasar por la tubería, el segundo es para sistemas de tubería que funciona por gravedad que cuenta con un depósito de agua o tinaco, este es de los más comunes y debido a esto; se considera este calentador solar para el desarrollo del estudio. (Burbano et al., 2006)

Arias (2009) afirma que un sistema típico de calentador solar de agua consta básicamente de tres componentes:

- Serpentin: tubería de cobre donde circula el agua.
- Caja del colector: hecha de un marco de aluminio, hace efecto invernadero al interior de la caja y permite que sea absorbida una mayor cantidad de energía.
- Base: soportes metálicos que sostienen el termo tanque y la caja del colector.
- Termo tanque: permite circular el agua.

Dependiendo de las condiciones externas, algunos sistemas de calentamiento solar de agua requieren adicionalmente de una bomba. Estos sistemas funcionan bajo el principio de circulación forzada; los calentadores solares de agua a su vez evitan la emisión de contaminantes de otras energías utilizadas con el mismo fin, y en lugares fríos en donde el

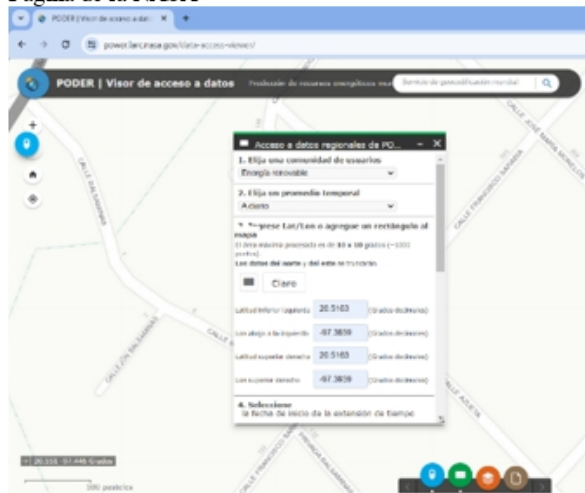
agua caliente es necesaria en la vida diaria resultan factibles económicamente.

El acceso al agua caliente en México puede denominar un factor económico mayormente inaccesible y de vital importancia en lugares vulnerables o con requerimientos especiales como lo son; los hospitales u hoteles; estos se basan en el consumo intensivo de combustibles fósiles, los cuales no son renovables además de que se están agotando. Es indispensable considerar el uso de las fuentes de energía renovables, para satisfacer la demanda energética. (Juantorea et al., 2017)

De acuerdo con las estimaciones de pobreza 2022 del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval), cerca de 48 millones de hogares en el país, es decir, la mitad del total, no cuentan con este aparato. Este estudio da visibilidad a la obtención y adquisición de un calentador solar la manera correcta al realizar su dimensionamiento.

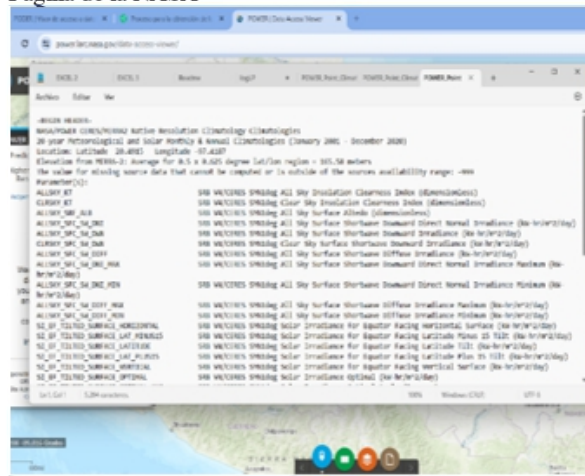
Algunos autores han realizado estudios respecto al uso, implementación, diseño, entre otros, de los colectores solares como; Carrión et al., (2022) resaltan la importancia de diversificar distintas fuentes de energía y de fomentar el uso de las fuentes renovables de energía, en su trabajo presentan una revisión de las principales tecnologías de colectores solares que, se pueden incorporar al sector industrial y enfatizan el ahorro que se logra tener con el uso de esta tecnología. Además, mencionan los factores que consideran el crecimiento de la implementación de los colectores solares. Parada (2023) presenta el diseño de un sistema de calentamiento de agua, junto con los criterios que considero para poder realizarlo, expone sistema con todos los elementos que lo conforman y estima el costo,

Figura 1  
Página de la NASA



Nota: Adaptado de la página de la NASA,  
<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>

Figura 2  
Página de la NASA



Nota: Adaptado de la página de la NASA,  
<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>

## 2.3 Demanda Energética

Se obtiene la demanda energética como está en la ecuación 1 (Barrientos et al., 2017)

$$E = mC_p(T_f - T_i) \quad (1)$$

Donde:

E: Demanda energética (kJ/día)

m: Masa de agua a calentar en un día (kg/día)

$C_p$ : Capacidad calorífica del agua (kJ/kg °C)

$T_f$ : Temperatura inicial del agua (°C)

$T_i$ : Temperatura de consumo del agua (°C)

La masa del agua está dada por la ecuación 2 (Barrientos et al., 2017)

$$m = n_p \rho_{H_2O} V_p \quad (2)$$

Donde:

$n_p$ : Número de personas (personas/día)

$\rho_{H_2O}$ : Densidad del agua (1,000 kg/m<sup>3</sup>)

$V_p$ : Volumen del agua per cápita (lt/persona)

El volumen del agua per cápita  $V_p$  es la cantidad de agua que necesita una persona diariamente; que puede variar de 15 a 60 litros dependiendo de la persona.

La capacidad calorífica o calor específico del agua  $C_p$  es de 4,186 J/(Kg\*°C) como se muestra en la tabla 3. El calor específico es numéricamente igual a la cantidad de calor necesaria para cambiar la temperatura de 1,001.00 kg de masa por 100°C.

Tabla 3 Capacidad Calorífica

| Material         | J/(kg*°C) |
|------------------|-----------|
| Aceite Vegetal   | 2,000     |
| Agua             | 4,186     |
| Aire             | 1,012     |
| Alcohol Etilico  | 2,460     |
| Alcohol Metilico | 2,549     |
| Aluminio         | 897       |
| Amoniaco         | 4,700     |

Nota: Adaptado de Cuarta Edición (p.545), por Y.A.Cengel, 2011, McGraw Hill.

## 2.4 Colectores

Es la determinación del número de tubos del sistema de calentamiento de agua necesarios para satisfacer el área determinada, este número de colectores dependerá del número de personas que habitan en una casa-habitación.

### 2.4.1 Área de captación

Es el área necesaria para captar la energía solar para satisfacer la demanda energética, esto se muestra en la Ecuación 3 (Barrientos et al., 2017).

$$A_{cap} = \frac{E}{RS} \quad (3)$$

Donde:

$A_{cap}$ : Área de captación ( $m^2$ )

E: Demanda energética (kJ/día)

RS: Recurso Solar ( $KJ/m^2$ )

#### 2.4.2 Número de Colectores

La cantidad de colectores necesarios para satisfacer la demanda energética, como se muestra en la Ecuación 4 (Barrientos et al., 2017).

$$N_c = \frac{A_{cap} * F.S}{A_c} \quad (4)$$

Donde:

$N_c$ : Número de colectores

$A_{cap}$ : Área de captación ( $m^2$ )

F.S: Factor de seguridad o de proyección de demanda (1-1.5)

$A_c$ : Área de un colector ( $m^2$ )

En el área de un colector  $A_c$ ; se considera el colector como un cilindro es por eso que se ocupa la fórmula del área cilindro, como se muestra en la Ecuación 5 (Barrientos et al., 2017)).

$$A_c = (\pi)(\phi)(h) \quad (5)$$

Donde:

$\phi$ : Diámetro del colector en m.

$h$ : Altura del colector en m

### 3 Resultados

#### 3.1 Cálculos de la demanda energética

Para la evaluación de dicha demanda se debe de tomar en cuenta la ecuación 2; con la que se calcula la masa del agua. El número de personas que van a emplear el calentador solar, son 4, el caudal de la regadera promedio considerado es de 2.5 litros/minuto, esto depende del tiempo que tardan en bañarse y el volumen del agua per cápita promedio de las

personas es de 17 minutos como se muestra a continuación:

$$m = (4 \text{ personas}) \left( 2.5 \frac{l}{min} \right) (17 \text{ min})$$

$$m = 170 \text{ litros}$$

Se conoce que 1 Litro = 1 Kg, por lo que 170 litros de la masa del agua se tomarán como 170 Kg.

Conociendo la masa del agua, se aplica la ecuación 1, para determinar la demanda de energía; se convierte el agua a unidades convenientes  $KJ/Kg * ^\circ C$  por tal motivo el agua es  $4.186 KJ/Kg * ^\circ C$ ; con este resultado, se obtiene la demanda:

$$E = (170 \text{ kg})(4.186 KJ/Kg * ^\circ C)(65^\circ C - 20^\circ C)$$

$$E = 32,022.9 KJ$$

#### 3.2 Cálculos del Recurso Solar

El recurso solar se toma dependiendo la zona donde se va a instalar el calentador solar y el valor encontrado en la página de la NASA; es  $4590 \frac{wh}{m^2}$ . Para estos fines se debe hacer una conversión de  $wh/m^2$  a  $J/m^2$ :

$$4590 \frac{wh}{m^2} \left( \frac{3600 s}{1 wh} \right) = 16,416,000 \frac{J}{m^2}$$

#### 3.3 Cálculos de los colectores

Se calcula el área de captación de la energía del sol; esta se obtiene mediante la ecuación 3, tomando en consideración para esta evaluación se debe de realizar la conversión de  $J/m^2$  a  $KJ/m^2$ , se toma el recurso solar de  $16,416 KJ/m^2$ .

$$A_{cap} = \frac{32,022.9 KJ}{16,416 KJ/m^2} = 1.95 m^2$$

Para obtener el área del colector se considera la ecuación 5; en este caso se toma en cuenta

el diámetro y la altura del colector propuesto que está en la tabla 4.

$$A_c = (\pi)(0.058m)(1.80m) = 0.3279m^2$$

El área total, no es el área donde los rayos del sol inciden. Al ser un cilindro, solo está aprovechando el 50% de su área, por lo que el resultado se divide entre 2.

$$A_c = \frac{0.3279}{2} = 0.16m^2$$

Con el área del colector, se calcula el número de tubos necesarios para satisfacer la demanda energética, esto se estima con la ecuación 4.

$$N_c = \frac{1.95m * 1}{0.16m} = 12.18 \text{ tubos}$$

Finalmente, a este valor le agrega un 15% de margen en caso de que se requiera más agua caliente, como se muestra a continuación:

$$12.18 \times 1.15 = 14.006 \text{ tubos}$$

Por lo que, se ocuparán 14 tubos.

Las dimensiones generales del calentador solar seleccionado se ilustran en la Figura 3.

En la tabla 4 se dan las especificaciones técnicas del calentador solar.

Figura 3 Ficha técnica del calentador solar, Green Solar,



Nota. Green Solar, 2019  
(<https://mundosolargdl.com/wp-content/uploads/2019/04/GRE-165L.pdf>)

Tabla 4. Ficha técnica del calentador solar

| <b>Especificaciones</b>               |                               |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Presión máxima de operación           | 0.3 kg/cm <sup>3</sup>        |
| Peso del equipo vacío y en operación  | 54 kg/219 kg                  |
| Diámetro tubería de entrada y salida  | ¾ pulgada                     |
| Diámetro exterior del termo tanque    | 460 mm                        |
| Material exterior del termo tanque    | Acero inoxidable grado 201-BA |
| Espesor de lámina de acero (exterior) | 0.3 mm                        |
| Diámetro interior del termo tanque    | 365 mm                        |
| Material interior del termo tanque    | Acero inoxidable grado 304-2B |
| Espesor de lámina de acero (interior) | 0.4 mm                        |
| Material aislante y espesor           | Poliuretano/57.5 mm           |
| Material de la estructura             | Acero inoxidable grado 201-BA |
| <b>Colectores</b>                     |                               |
| Cantidad                              | 14 tubos                      |
| Material                              | Cristal de borosilicato 3.3   |
| Longitud/ Diámetro                    | 1.8 mts./58 mm                |
| Recubrimiento selectivo               | Tricapa (Co/Al-N/Al)          |
| Tolerancia al congelamiento           | -15°C                         |
| Resistencia al impacto por granizo    | Granizo de hasta 25 mm        |
| Temperatura de arranque               | ≤ 25°C                        |

Nota. Green Solar, 2019  
(<https://mundosolargdl.com/wp-content/uploads/2019/04/GRE-165L.pdf>)

#### 4. Discusión

En base a los cálculos realizados, los resultados muestran que, para el calentador solar por gravedad, requerido para 4 personas de una casa-habitación, se debe de emplear un calentador solar de 14 tubos, en el presente trabajo se tomó en cuenta la selección del calentador de la marca GREENSOLAR. En la Tabla 5 se presenta la cotización del calentador.

Tabla 5. Cotización de la instalación del calentador solar.

| Cantidad | Material                                                 | Precio             |
|----------|----------------------------------------------------------|--------------------|
| 1        | Calentador solar de 14 tubos                             | \$6,599.00         |
| 1        | Paquete estándar de material PPR                         | \$1,800.00         |
| 1        | Estructura para calentador solar de 14 tubos             | \$1,650.00         |
|          | <b>Subtotal</b>                                          | <b>\$10,049.00</b> |
| 1        | Servicio de instalación y puesta en marcha 30% del total | \$3,014.70         |
|          | <b>Total</b>                                             | <b>\$13,063.7</b>  |

Nota. Elaborada por el autor.

El servicio de instalación y puesta en marcha se agrega después del equivalente al total del material utilizado; es un criterio propio del porcentaje añadido por el trabajo realizado y depende del instalador; se toma el 30% del porcentaje total.

Se hace un análisis socioeconómico; se realiza el retorno de inversión de la instalación del calentador solar. Esto depende del combustible utilizado anteriormente (Gas LP). Se calcula el gasto de Gas Lp anual y se realiza el ROI.

El consumo aproximado de un calentador de depósito que utiliza gas LP es de 0.3 kg por una ducha diaria, lo que equivale a 110 kg de este combustible al año; si usa gas natural es de 0.4 m<sup>3</sup> por un baño diario, lo que resulta 150 m<sup>3</sup> al año. Se obtiene un resultado de 440 kg/año. El precio del gas Lp por kg es de \$18.77 pesos mexicanos, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4 Precio del Gas Lp



| Región | Entidad Federativa              | Municipio                       | Precio por kilogramo con IVA | Precio por litro con IVA |
|--------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 202    | Puebla                          | Francisco Z. Mena               | \$18.64                      | \$10.06                  |
| 202    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Ixhuatlán de Madero             | \$18.64                      | \$10.06                  |
| 203    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Jamapa                          | \$19.23                      | \$10.39                  |
| 203    | Veracruz de Ignacio de la Llave | La Antigua                      | \$19.23                      | \$10.39                  |
| 203    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Marino Fabro Altamirano         | \$19.23                      | \$10.39                  |
| 203    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Paso de Ovejas                  | \$19.23                      | \$10.39                  |
| 203    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Puerto Nacional                 | \$19.23                      | \$10.39                  |
| 203    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Solidad de Doblado              | \$19.23                      | \$10.39                  |
| 203    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Ursulo Galván                   | \$19.23                      | \$10.39                  |
| 204    | Puebla                          | Pantepec                        | \$18.77                      | \$10.13                  |
| 204    | Puebla                          | Veracruz de Ignacio de la Llave | \$18.77                      | \$10.13                  |
| 204    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Alamo Temapache                 | \$18.77                      | \$10.13                  |
| 204    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Benito Juárez                   | \$18.77                      | \$10.13                  |
| 204    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Castillo de Teayo               | \$18.77                      | \$10.13                  |
| 204    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Cazones de Herrera              | \$18.77                      | \$10.13                  |
| 204    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Chicontepec                     | \$18.77                      | \$10.13                  |
| 204    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Coatzacoatlán                   | \$18.77                      | \$10.13                  |
| 204    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Gutiérrez Zamora                | \$18.77                      | \$10.13                  |
| 204    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Ixmiquilpan                     | \$18.77                      | \$10.13                  |
| 204    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Naranjos Amatlán                | \$18.77                      | \$10.13                  |
| 204    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Papantla                        | \$18.77                      | \$10.13                  |
| 204    | Veracruz de Ignacio de la Llave | Pozos de Hidalgo                | \$18.77                      | \$10.13                  |

Nota. Basado en la NORMA Oficial Mexicana NOM-200-SCFI-2017.

[https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/7464/seeco12/C/seeco12\\_C.html](https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/7464/seeco12/C/seeco12_C.html)

Anualmente, se tiene un gasto de \$8,258.80 por el uso de un calentador de agua de paso suministrado con gas LP.

Se realiza un flujo de efectivo de inversión inicial del calentador solar a diez años, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Flujo de efectivo de la inversión inicial con el costo anual del gas LP.

| Flujo efectivo | Cantidad (Pesos mexicanos) |
|----------------|----------------------------|
| 0              | \$ -13,067.00              |
| 1              | \$ -4,808.00               |
| 2              | \$3,451.00                 |
| 3              | \$11,709.00                |
| 4              | \$19,968.00                |
| 5              | \$28,227.00                |
| 6              | \$36,468.00                |
| 7              | \$44,745.00                |
| 8              | \$53,003.00                |
| 9              | \$61,262.00                |
| 10             | \$69,521.00                |

Nota. Elaborada por el autor.

En la Gráfica 1. Se muestra el flujo de efectivo en 10 años.

Gráfica 1 Flujo Efectivo en 10 años



Nota. Elaborada por el autor, mediante EXCEL.

En la Tabla 6 y Gráfica 1 se observa el tiempo de recuperación de la inversión total que se hará y se aprecia el ahorro que se estará haciendo; a partir del tercer año se ve reflejado que se está economizando y cuanto se ahorra económicamente en 10 años, viendo este panorama es factible este tipo de calentadores solares, contra el común de los calentadores con Gas LP.

En la Figura 5 se aprecia una representación de la ubicación del calentador, la representación se realizó con el Software Sketchup. Para la ubicación del colector en la casa habitación, se consideran dos factores:

1. Se debe colocar el colector solar en un ángulo de inclinación de  $10^\circ$ .
2. El colector solar debe de estar posicionado al Sur, donde sale el Sol.

Figura 5 Representación del calentador solar



Nota. Elaborada por el autor con el Software Sketchup

#### 4 Conclusiones

Basado en la página de la NASA, se calcula la radiación solar en la ciudad de Poza Rica, Veracruz con un valor promedio anual de  $4,590 \text{ Wh/m}^2$  con este valor, se determina el área de captación solar de  $1.92 \text{ m}^2$  y se calcula el número de tubos necesarios para el calentador solar con un total de 14 tubos para 4 personas.

En la estimación de costos fundado en los parámetros como el calentador solar seleccionado de 14 tubos, paquete estándar del material PPR entre otros; se llevó a un monto total de \$ 13,063.70.

En análisis socioeconómico de la instalación del calentador solar contra el Gas LP, donde anualmente el Gas LP tiene un costo de \$8,258.80 y el calentador solar de 14 tubos \$13,063.70; respecto al flujo efectivo de inversión a diez años, se determinó que a partir del tercer año, se ve reflejado el monto que se va ahorrar en diez años; es por eso que, los calentadores solares ofrecen un ahorro a largo plazo en los costos de energía, debido a que una vez instalados, requieren poco mantenimiento y utilizan una fuente de energía gratuita y renovable.

#### Referencias bibliográficas

- Conde, M., Ramos, Z. (2014). *Diseño de un calentador solar de placa de calor para calentamiento de agua para uso doméstico*, [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería.
- Burbano, J., Restrepo, Á., y Sabogal, F. (2006). Diseño y Construcción de un Calentador Solar de Agua Operando por Termosifón. *Scientia Et Technica*, 12 (31), 85-90.

Arias, O., (2009), *Diseño de un manual para el desarrollo de un calentador solar doméstico*, [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería.

Juantorea, A., Godínez, A., Hernández, G., y Rivera, M. (2017). Evaluación Experimental de un calentador solar de agua de tubos evacuados, *ECORFAN. Revista de Aplicación Científica y Técnica*, 3 (8), 24-34.

CONEVAL (2022). Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. <https://www.coneval.org.mx/paginas/principales.aspx>

Carrión, W., Murillo, W., y Montero, A. (2022). Una revisión de los últimos avances de los colectores solares térmicos aplicados en la industria, *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (27), 59-78.

Parada, C. (2023). Propuesta de diseño básico de un generador solar para la unidad de niños quemados del hospital de niños Benjamín Bloom, *Europub Journal of Health Research*, 4 (2), 20-30.

Taylor, W., De la Paz, J., Alberto, E., Filgueiras M. (2023). Propuesta de empleo de calentadores solares: Alternativa para reducción de consumo energético en residencia estudiantil, *RENIA. Revista Estudiantil Nacional de Ingeniería y Arquitectura*, 4 (1), 1-7.

Benítez, O., López, E., Vargas, M., Moreno E., Cundapí R. y Sánchez J. (2024). Diseño Geométrico De Un Concentrador Solar Parabólico Lineal, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8 (2), 8518-8532.