



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**Diseño y construcción de un sistema de aprovechamiento de energía solar  
para calentar agua de uso doméstico con materiales económicos no  
convencionales.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

PRESENTA:

Antonio Maldonado Mendoza

ASESOR:

Ing. Oscar Ezequiel Cárdenas Cervantes

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de despertar día a día hasta este momento tan importante en mi vida.

A la UNAM y en forma puntual a la FES Cuautitlán por permitirme estar dentro de esta institución, la Máxima casa de estudios. Me siento orgulloso de mi Universidad.

A mis padres, Sergio y Rosa Francisca por traerme a la vida, por su apoyo incondicional, por hacer de mí una persona con principios, por su unión que siempre me dio la confianza para poder seguir adelante. Gracias por todo, los amo.

A mi hermano Sergio por su apoyo y cariño, sé que siempre contare contigo.

A mis otros dos hermanos que no necesitan ser de sangre: Mauricio y Oscar, por todo lo que hemos vivido, por ayudarme a culminar con esta etapa de mi vida, por confiar e impulsarme. Recuerden que siempre pueden contar conmigo.

A mi esposa y amiga Fanny, te agradezco tu amor y comprensión en los momentos felices y tristes de mi vida, tu apoyo y persistencia en realizar nuestras metas me sirve de mucho. Te amo mi vida, siempre saldremos adelante.

A mis hijas Fernanda y Zurian, que son el motor de mi vida, siempre estaré para ustedes y todo lo que realizo es para que disfruten de una vida mejor.

A mi abuelo Salomón<sup>†</sup> que me enseñó a ver el lado bueno a las cosas de la vida, por su cariño y muy lindos recuerdos que perduraran en mi corazón.

A mis amigos Lalo Garduño, Pablo Rodríguez, Blanca, Ana María, Katy, Evelin, Aidé, Carolina, Ricardo, Lalo, Toño, Coché, Antolín, Amistad, por todas las experiencias que nos tocó vivir, siempre los recuerdo con mucha alegría

## ÍNDICE

RESUMEN	5
ABSTRACT	7
OBJETIVOS	8
JUSTIFICACION	8
HIPÓTESIS	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO 1: LA ENERGÍA COMO RECURSO	12
1.1 Evolución en el uso recursos energéticos	12
1.2 Clasificación de la energía	13
1.2.1 Energía no renovable	14
1.2.2 Energía renovable	14
1.3 Consumo de energía en México	15
CAPÍTULO 2: CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA	20
2.1 Potencial del calentamiento de agua con energía solar en México	20
2.2 Programas y acciones para incentivar el uso de energía solar en México	22
2.3 Tecnologías para el calentamiento solar de agua	25
2.3.1 Generalidades de los colectores solares	26
2.3.1.1 Colector solar plástico	27
2.3.1.2 Colector solar plano	27
2.3.1.3 Colector solar de tubos al vacío	30
2.3.1.4 Colector solar de tubos heat pipe	32
CAPÍTULO 3: PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA FÍSICA PARA UN CALENTADOR SOLAR	35
3.1 Transferencia de calor	35
3.1.1 Conducción	36
3.1.2 Convección	37
3.1.3 Radiación	38
3.2 Efecto invernadero	41
3.3 Vasos comunicantes	42

CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL CALENTADOR SOLAR	44
4.1 Dimensionamiento de un colector solar plano	44
4.2 Selección de materiales	48
4.3 Construcción del calentador solar	49
RESULTADOS	58
CONCLUSIONES	60
REFERENCIAS	62

## **RESUMEN**

Este proyecto de tesis se realizó en Cuautitlán Izcalli, estado de México. Se plantea el aprovechamiento de la energía solar para la elaboración de un prototipo de calentador solar, de tal manera que se pueda aprovechar el uso de esta energía y con ello disminuir los costos de consumos energéticos y nuestra huella ecológica.

En el presente trabajo se hace un análisis de la problemática que representa la utilización de combustibles fósiles y de electricidad en la vida cotidiana tanto por el alto costo económico que representa y el impacto ecológico que ha generado el abuso de dichos recursos.

El diseño del calentador contempla fundamentos teóricos, físicos y termodinámicos necesarios para lograr que la funcionalidad y eficiencia del prototipo sea óptima y la selección de materiales reciclados sean los adecuados para brindar un servicio eficiente de agua caliente al momento de ser requerida.

La propuesta no solo va dirigida a las personas de bajos recursos, sino a cualquiera que quiera disminuir su huella ecológica, y aprovechar el recurso energético que el sol nos proporciona día con día de manera gratuita, y para el que quiera disminuir la utilización de combustibles fósiles por los altos costos que representan en la actualidad.

El ahorro del combustible usando el calentador solar plano se ha estimado en un 70% aproximadamente, por lo que en la actualidad se está incrementando la fabricación de estos dispositivos; dichos dispositivos comerciales tienen una eficiencia térmica de aproximadamente 90 % ya que alcanzan temperaturas máximas de 80 °C cuando las condiciones del clima son favorables, en un tiempo aproximado de 1 hora, también se ha observado que la temperatura del agua en el termotanque cuando desciende por la tarde y noche se mantiene dentro de un rango de 56 a 60° C [1].

Las lecturas obtenidas del presente prototipo mostraron que las temperaturas más altas se obtienen dentro de un horario de las 12:00 horas (59° C) a las 15:00 horas (65° C), registrándose la temperatura más alta en 65° C y la más baja en 23° C obtenida a las 22:45.

Con base en los datos experimentales obtenidos se puede concluir que la eficiencia de este calentador solar al ser del 58.9% es moderadamente eficiente para la solución del consumo de agua caliente para uso doméstico, por lo que es conveniente el uso complementario con un sistema tradicional.

## **ABSTRACT**

This thesis project was carried out in Cuautitlán Izcalli, state of Mexico. The use of solar energy for the development of a prototype of solar heater is considered, so that the use of this energy can be used, thereby reducing energy consumption costs and our ecological footprint.

In the present work an analysis of the problematic that represents the use of fossil fuels and of electricity in the daily life is made so much by the high economic cost that it represents and the ecological impact that has generated the abuse of these resources.

The design of the heater contemplates theoretical, physical and thermodynamic fundamentals necessary to achieve that the functionality and efficiency of the prototype is optimal and the selection of recycled materials are adequate to provide an efficient service of hot water when it is required.

The proposal is not only aimed at low-income people, but anyone who wants to reduce their ecological footprint, and take advantage of the energy resource that the sun gives us day by day for free, and for those who want to decrease the use of fuels Fossils because of the high costs they represent today.

The fuel savings using the flat solar heater has been estimated at approximately 70%, so the manufacture of these devices is currently increasing; These commercial devices have a thermal efficiency of approximately 90% since they reach maximum temperatures of 80 ° C when the weather conditions are favorable, in an approximate time of 1 hour, it has also been observed that the temperature of the water in the hot water tank when it descends In the evening and night stays within a range of 56 to 60 ° C.

The readings obtained from this prototype showed that the highest temperatures are obtained from 12:00 o'clock (59 ° C) to 3:00 p.m. (65 ° C), with the highest temperature being recorded at 65 ° C And the lowest in 23 ° C obtained at 10:45 p.m.

Based on the experimental data obtained, it can be concluded that the efficiency of this solar heater at 58.9% is moderately efficient for the solution of domestic hot water consumption, so it is convenient to use complementary with a traditional system.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Presentar el proceso de diseño y construcción de un calentador solar para calentamiento de agua de consumo doméstico con materiales económicos no convencionales, operando por termosifón y efecto invernadero.

### **Particulares**

- Describir el diseño numérico
- Colectar el material de selección
- Construir el termotanque
- Construir el panel solar
- Instalar las partes del calentador
- Evaluar el rendimiento

## **JUSTIFICACIÓN**

Debido al incremento en el precio del petróleo y por ende de sus derivados como el gas, así como el efecto negativo que tienen los gases de efecto invernadero, resultados de la combustión del uso excesivo del petróleo, hacen evidente la necesidad de retomar las energías limpias, como el calentador solar.

## **HIPÓTESIS**

El calentador solar plano, construido con materiales reciclados aprovechará la energía solar alcanzara temperaturas por arriba de los 45 °C de manera constante durante las 24 horas del día, ya que es la temperatura ideal para tomar un baño.

## INTRODUCCIÓN

El calentamiento solar de agua para consumo doméstico, como alternativa para sustituir los calentadores tradicionales (eléctricos o de gas), es una opción atractiva desde el punto de vista de ahorro energético, ya que en estos sistemas, la fuente de calor es la radiación solar, la cual sustituye el uso de combustibles fósiles o de electricidad que hoy en día satisfacen más del 80% de la demanda de energía del planeta [1]. Debido a que los combustibles fósiles no son renovables y se prevé el agotamiento del petróleo a mediados del presente siglo, además el uso indiscriminado de estos está causando un daño ecológico irreversible, es como adquiere especial importancia la alternativa de suplir dichas energías por fuentes renovables. El objetivo del uso de la energía solar, junto a otras energías renovables, es aproximarse a un desarrollo sustentable, sustituyendo el consumo de recursos fósiles y dar soluciones energéticas en zonas aisladas o no conectadas a las redes de distribución de energías convencionales.

A pesar de que México se encuentra en una de las franjas de mayor insolación del planeta, superiores a  $5.0 \text{ kWh/día/m}^2$  [2], estudios realizados en los últimos años [3] indican que los principales problemas para el uso masivo de calentadores solares de agua en México son: el alto costo de la inversión inicial, lo cual se traduce en la necesidad de esquemas adecuados de comercialización y financiamiento; la falta de normas y procedimientos para garantizar la calidad en su instalación y funcionamiento; así como la ausencia de estrategias de difusión, promoción y divulgación de la tecnología.

Cabe destacar que las energías alternas o limpias no son nada nuevo ya que desde 1860 había sido planteada como el remedio que resolvería de tajo toda la carencia de energéticos, pero al demostrarse lo caro que era construir dichas tecnologías y lo poco eficientes que eran, aunado al bajo costo del petróleo y la cantidad que existía de dicho hidrocarburo es que se fueron relegando. Sin embargo, el problema de que actualmente se importen tecnologías de empresas transnacionales (aquellas que actualmente invierten en investigación y han desarrollado equipos sofisticados y eficientes), es que además de ser inaccesibles para la población promedio, estas fueron desarrolladas para otras condiciones climatológicas. Es así

que en México se encuentran comercializando algunos tipos de calentadores solares de tubos de vidrio al vacío, que son de los más eficientes. Sin embargo, al ser modelos Europeos no contemplan situaciones comunes en la Ciudad de México, como el suministro irregular de agua, el cual termina siendo perjudicial para los tubos de vidrio, ya que estos no soportan los choques térmicos que se producen cuando se vacía el depósito de agua, y como en el interior del tubo al vacío se conserva una temperatura de 95 °C o más, una vez que comienza a llenarse el depósito con agua fría ocasiona la ruptura de los tubos [3].

La construcción del calentador solar que aquí se describe, es un claro ejemplo de los conocimientos adquiridos dentro de la carrera de Ingeniería, que propone un diseño que puede ayudar al lector interesado en construir un calentador solar plano con materiales reciclados, de una manera muy fácil y práctica; se pretende esquematizar el armado del calentador solar presentando así una alternativa tangible que busca resolver una necesidad. Este calentador solar pese a estar hecho de materiales reciclados de metal, madera, acero, vidrio y tetrapack, está diseñado considerando las características propias del lugar y las necesidades del consumidor como un costo accesible, un periodo de vida largo, no requiere mantenimiento caro, y no sería afectado por choques térmicos en caso de quedarse sin suministro de agua.

Para el diseño se estableció que los materiales a usar debían ser de fácil obtención, bajo costo y de preferencia reciclados. Es así como se selecciona, preliminarmente, tubería CPVC a pesar de su bajo coeficiente de conductividad térmica (0.1 W/m K), en comparación con la del cobre (400 W/m K) utilizada en calentadores de placa plana, lo que haría pensar en una baja eficiencia. Sin embargo, con un valor bajo de conductividad permite comportarse como un aislante térmico, lo que podría ser beneficioso una vez calentada el agua dentro del tubo. Para la caja se utilizó madera extraída de tarimas cuya base será una placa de absorción de acero galvanizado. El acabado que se dará a la placa será de pintura negra mate, para obtener así una mejor absorción. El material que se utilizará como aislante térmico del colector serán envases de tetrapack, cuya reutilización ayuda a la conservación del medio ambiente. El material que constituirá la cubierta del colector es vidrio plano claro, ya que presenta buenas propiedades de resistencia a la degradación y una transmitancia aceptable, la distancia

entre la placa de absorción y la cubierta, se establecerá tomando en cuenta las recomendaciones de Orozco [4].

# CAPÍTULO 1: LA ENERGÍA COMO RECURSO

---

## 1.1 Evolución en el uso de recursos energéticos

Las principales fuentes de energías durante miles de años, hasta hace alrededor de 200 años, fueron la madera, usada tanto en la casa como en la industria, la energía hidráulica, aprovechadas en corrientes de río o en cascadas para mover molinos y la energía eólica, en donde todos conocemos los famosos molinos que se usaban para los granos. Después de estos cientos de años en donde la madera fue la principal fuente energética de las personas (y que como todo en exceso los bosques sufrieron talas sin control, el carbón pasó a ser el sustituto perfecto, ya que tiene un mayor poder calorífico por unidad). Durante alrededor de 100 años, el carbón fue la principal fuente energética, usada para mover barcos, trenes, para cocinas y calentar hogares. Pero a partir de la invención de la electricidad y la invención del motor de combustión, el petróleo y la electricidad se convirtieron en las principales fuentes de energía. En la Figura 1 se puede ver como a partir de que entramos en la era del petróleo, el consumo energético se dispara gracias al bajo costo del petróleo en esos días y lo que incita a un consumo excesivo y despilfarrador de energía.

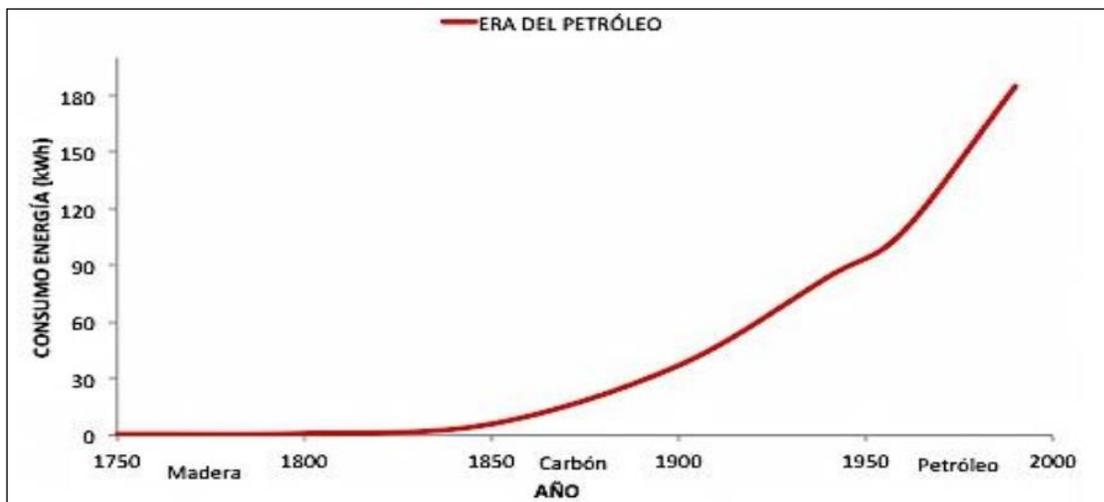


Figura 1. Evolución en el consumo y uso de recursos energéticos. Fuente Hormiga solar

Pero desde finales de los años 80, el precio del petróleo comienza a subir y nuevas fuentes de energía empezaron a ser investigadas, principalmente las energías renovables.

Es hasta principios de este nuevo siglo XXI, que los precios del petróleo superan lo que las personas pueden costear, y es donde las energías renovables salen a relucir y comienza el boom de este tipo de energías limpias.

## 1.2 Clasificación de las energías

Las energías se clasifican en dos grandes grupos, las energías primarias y las energías secundarias.

La diferencia entre una y otra es que en las primarias se obtienen directamente de la fuente, mientras que en las secundarias necesitan sufrir al menos una transformación de la energía primaria para aprovechar la energía.

A continuación se mencionan a las energías según su clasificación.

### ENERGÍA PRIMARIA

Carbón

Petróleo

Biomasa

Hidráulica

Geotérmica

Solar

### ENERGÍA SECUNDARIA

Electricidad

Nuclear

Cabe señalar que algunas energías pueden ser flexibles en su clasificación. Como la energía hidráulica, que si se está usando para generar electricidad es secundaria, ya que necesita de transformadores para generarla; pero sí se pone un molino dentro del caudal de un río es primaria, ya que se está usando su energía directamente para mover el molino.

Existe otra forma de dividir a las energías y esto es en renovables y no renovables.

### **1.2.1 Energías no renovables**

Las energías no renovables o energías convencionales son aquellas que se encuentran en la naturaleza en cantidades limitadas y cuya velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración. Existen varias fuentes de energía no renovables, como son:

- Los combustibles fósiles: carbón, petróleo, gas natural
- La energía nuclear.

### **1.2.2 Energías renovables.**

Las energías renovables son aquellas que provienen de recursos naturales que no se agotan y a los que se puede recurrir de manera permanente. Son llamadas también como energías limpias.

Las más importantes son:

- Energía eólica.

Esta energía actualmente se aprovecha a partir de aerogeneradores o turbinas de viento. Un aerogenerador consiste en una torre muy elevada en cuya punta se colocan unos alabes que giran al impactar el viento y mueven un generador que convierte este movimiento en energía eléctrica

- Biomasa.

Consiste en la energía producida por la fotosíntesis de los vegetales. El aprovechamiento de esta energía consiste en cultivar especies vegetales apropiadas para la obtención de madera o residuos vegetales que pueden servir como combustible.

- Hidráulica.

Para generar energía hidráulica se tienen que tener dos factores en cuenta, un desnivel y un caudal. El principal uso de esta energía se logra al construir presas, en donde se genera un desnivel, la energía cinética del agua cayendo es aprovechada para mover turbinas que generan electricidad.

- Mareomotriz.

Las mareas y las olas producen fuerzas constantes, estables e inagotables que pueden utilizarse para la generación de energía eléctrica. El agua, al pasar por el canal de carga hacia el mar, acciona la hélice de la turbina y ésta al girar mueve un generador que produce electricidad.

- Energía solar.

La mayor parte de energía que llega a nuestro planeta procede del Sol, en forma de radiación electromagnética.

La energía solar se aprovecha en forma directa cuando no se requiere ningún dispositivo en específico para captar la energía del sol, lo que también se conoce como forma pasiva, que se ha utilizado tradicionalmente para el secado de la ropa y productos alimenticios, la iluminación de recintos, entre otros.

El aprovechamiento activo se puede clasificar en dos categorías:

- **Energía solar térmica.** Se aprovecha principalmente la radiación infrarroja que se transforma en calor por medio de un dispositivo que calienta un fluido.

- **Energía solar fotovoltaica.** La energía proveniente del sol, en especial del espectro visible de la luz, se transforma en energía eléctrica en una celda fotovoltaica en las que en el principio de funcionamiento es el efecto fotoeléctrico.

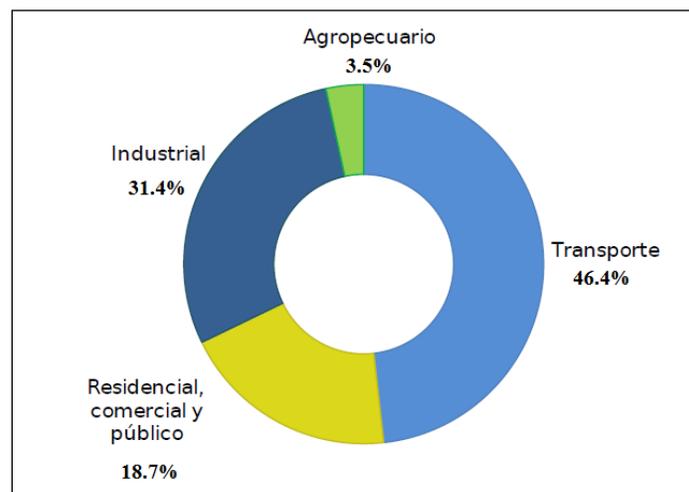
Las aplicaciones de la energía solar térmica son diversas y se pueden dividir en tres categorías en función de la temperatura que alcanza el fluido de trabajo, para cada intervalo de temperatura hay diferentes sistemas de captación:

- **Baja temperatura.** Aplicaciones para temperaturas que van desde unos grados arriba de la temperatura ambiente a menos de 100° C. En esta categoría se encuentra el calentamiento solar de agua sanitaria, el calentamiento de aire, la calefacción de recintos, la refrigeración solar, el secado solar, la destilación solar, entre otros. Se usan los colectores de plástico, los planos y los de tubos.

- **Media temperatura.** El rango de temperatura va desde 100° C hasta aproximadamente 250 ° C. Se tienen aplicaciones en procesos industriales como lavado, pasteurización, precalentamiento de agua para calderas, etc., y tecnologías de colectores concentradores como los concentradores CPC y los concentradores de canal parabólico y las estufas solares para cocción de alimentos.
- **Alta temperatura.** La temperatura que alcanza el fluido de trabajo puede ser superior a 300° C. Ejemplos son las tecnologías de concentración y seguimiento como la de plato parabólico y heliostatos para la generación de energía eléctrica principalmente.

### 1.3 Consumo de energía

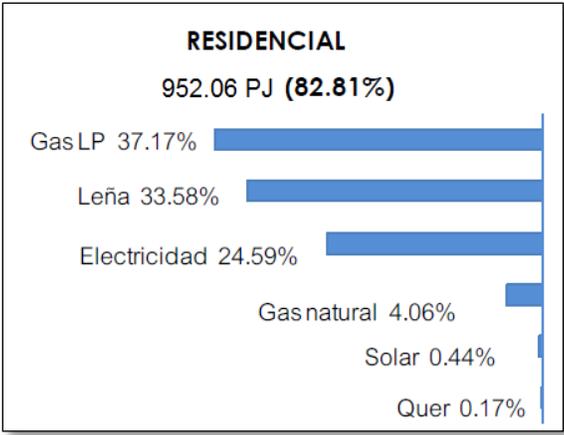
De acuerdo al Balance Nacional de Energía para el año 2015, el consumo energético total fue de 5,283.13PJ (petajoules). La figura 2 muestra el desglose de dicho consumo por sector, donde el sector transporte consumió el 46.4% del consumo energético total, seguido por el sector industrial con un 31.4% mientras que el conglomerado formado por el sector residencial, comercial y público tuvo un consumo del 18.7% y finalmente el sector agropecuario tuvo una participación del 3.5%.



**Figura 2. Consumo energético final 2015 en México por sectores. Fuente Balance Nacional de Energía 2015 SENER.**

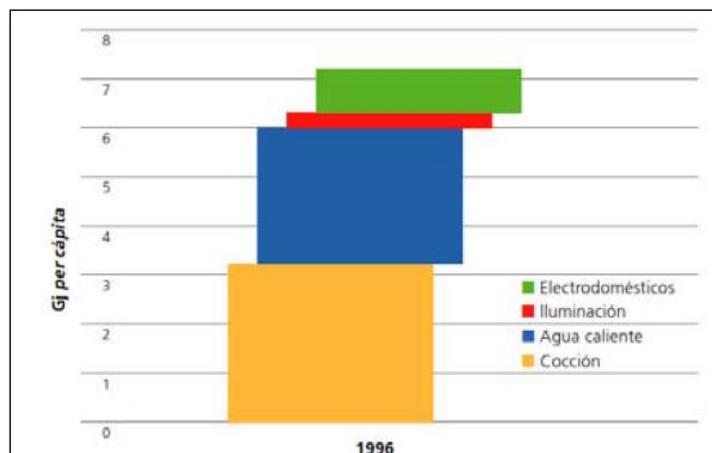
En conjunto, el sector residencial, comercial y público requirió de 952.06 PJ, pero de manera desagrupada, el sector residencial tuvo un consumo energético de 754.14 PJ, en el sector comercial el consumo fue de 151.99 PJ y para el sector público fue de 32.39 PJ.

Dentro del sector residencial, el cual está compuesto por las viviendas en zonas rurales y urbanas del país, el energético de mayor consumo es el gas LP (33.89%), seguido de la leña (33.48%), la electricidad (26.98%) y el gas natural (4.96%); la energía solar tan solo representa el 0.44% como se aprecia la Figura 3. Cabe destacar, que en las viviendas los usos principales de la energía son la cocción de alimentos, el calentamiento de agua, iluminación, uso de diversos electrodomésticos para la refrigeración entre otros.



**Figura 3. Consumo energético del sector residencial y su participación porcentual dentro de su sector. Fuente Sistema de Información energética SENER 2015**

Tanto para el sector residencial como el comercial, el energético de mayor consumo es el gas LP y su principal uso es para la cocción de alimentos y el calentamiento del agua, tal como se aprecia en la Figura 4, por lo que hay una enorme área de oportunidad para la implementación de energía solar térmica en estos sectores. A nivel mundial, México ocupó el segundo lugar en el consumo per cápita de gas LP, al ubicarse aproximadamente en 65 kg por habitante.

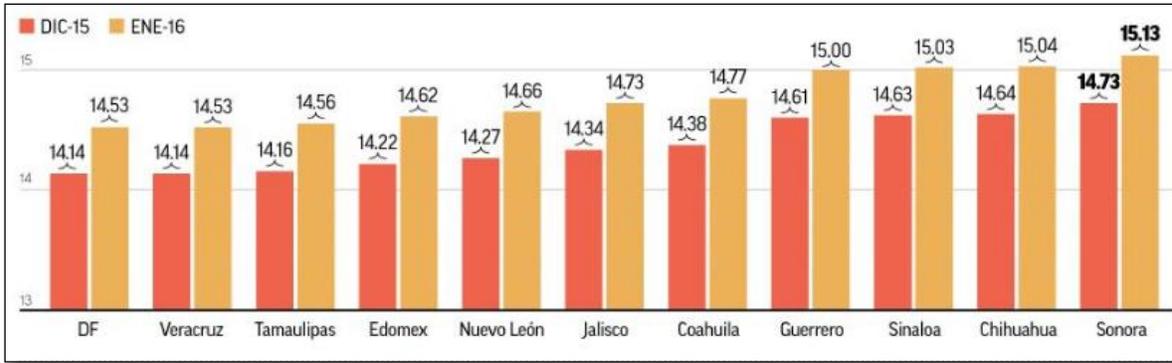


**Figura 4. Usos finales de la energía en la vivienda per cápita en México desde 1996. Fuente “Guía para el uso de la energía en la vivienda”. CONAVI 2006**

Es importante mencionar que el consumo de gas LP tiene un componente estacional relevante y está asociado a las condiciones climáticas en las distintas regiones del país. El consumo de gas LP aumenta cuando las temperaturas disminuyen. En los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero el consumo de gas LP se incrementa mientras que en los meses restantes el consumo promedio es menor a los meses de invierno.

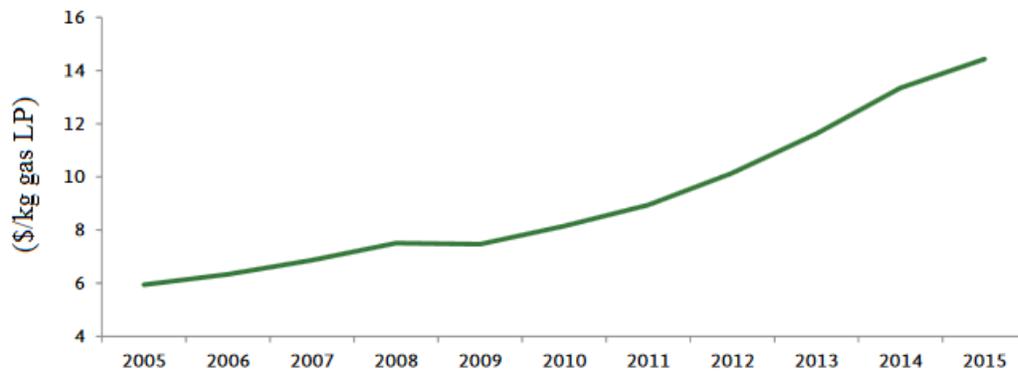
Por otro lado la prospectiva de gas LP 2016-2030 de la secretaria de energía SENER, contempla que los sectores residenciales y servicios se mantendrán como los más importantes en cuanto a consumo de gas LP. También continuará el proceso de sustitución de gas LP por gas natural en algunas zonas del país. Las mejoras en eficiencia de calentadores de agua y el crecimiento de calentadores solares contrarrestará significativamente el incremento de la demanda de combustibles derivada del aumento de la población.

En cuanto a los precios del gas LP, el país se divide en regiones y a cada una se les asigna un precio como lo indica la Figura 5. En el caso de los precios al público se encarga la Secretaría de Economía.



**Figura 5. Variación del precio al público de gas LP entre diciembre de 2015 y enero de 2016 por estado. Fuente Sistema de Información Energética SINER**

En la figura 6 se observa el precio ponderado nacional al público del gas LP para el periodo 2005-2015, en pesos por kilogramo y antes del IVA. Se puede observar cómo ha incrementado el precio por kilogramo de gas LP, tendencia que continuará al paso de los años.



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Variación porcentual (%) 2015/2014
Precio final real con IVA	5.95	6.34	6.87	7.51	7.47	8.16	8.95	10.16	11.62	13.35	14.44	8.14

Fuente Sistema de Información Energética, SENER.

**Figura 6. Precio promedio nacional del gas LP en pesos por kilogramo (antes del IVA) para el periodo 2005-2015. Fuente Sistema de Información Energética, SINER.**

# CAPÍTULO 2: CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA

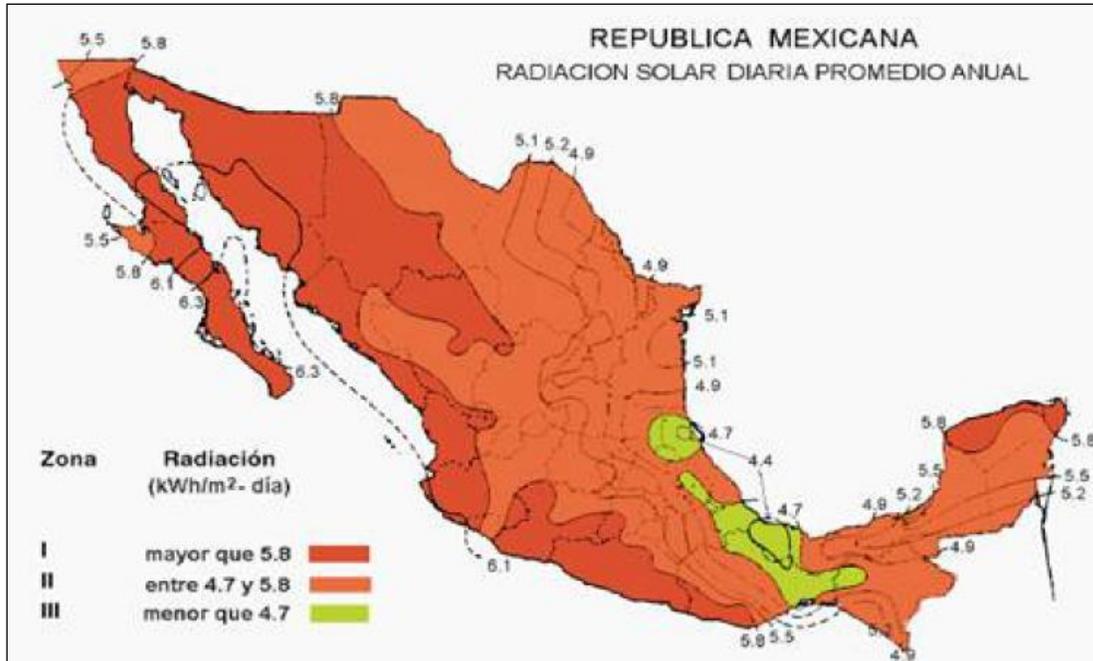
---

## 2.1 Potencial del calentamiento de agua con energía solar en México.

Desde hace varias décadas, en diversas partes del mundo se han utilizado tecnologías solares para el calentamiento de agua para el consumo residencial, por lo que dichos equipos son muy conocidos y confiables. Por ejemplo, a finales de 2014 se registró una superficie de captación instalada a nivel mundial de 164 Mm<sup>2</sup>, donde China presenta 38% de la capacidad instalada, siendo así el país número uno del mundo en la utilización de energía solar para calentamiento de agua, seguido por Estados Unidos con 17% y Japón en tercer lugar con 4.7%. Por lo que respecta a la Unión Europea, en su conjunto representa el 10.4% del mercado internacional donde Alemania, Grecia y Australia son los principales países que utilizan estas tecnologías [5].

Si se acumulara la producción anual de todo el campo de captadores solares instalados en el 2014, la cual fue un poco más de 68,000 GWh (244,800 TJ), se vería que tal cantidad es equiparable a 10.8 billones de litros de petróleo, con lo cual se obtiene una disminución de 29.6 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> [6].

En México existe un gran potencial de aprovechamiento de la energía solar, ya que alrededor de tres cuartas partes del territorio nacional son zonas con una insolación media del orden de los 5 kWh/m<sup>2</sup>-día, con índices que van de los 4.4 kWh/m<sup>2</sup> por día en la zona centro, a los 6.3 kWh/m<sup>2</sup> y cuya distribución se observa en la figura. 7.



**Figura 7. Distribución por zona de la radiación solar diaria promedio anual en la república mexicana. Fuente Instituto de Investigaciones Eléctricas**

Se ha estimado que con un promedio de radiación solar de  $5 \text{ kWh/m}^2$  por día que ingrese en un captador solar que presente un área de  $1 \text{ m}^2$ , con una eficiencia térmica del 50%, es posible recibir diariamente el equivalente de la energía contenida en un metro cúbico de gas natural, o la de 1.3 litros de gas LP. Asimismo, si para el consumo anual de agua caliente en nuestro país se utilizaran colectores solares, el área que se tendría instalada sería cercana a  $70 \text{ Mm}^2$ , lo cual se podría traducir en un ahorro aproximado de 5 millones de toneladas de gas LP y  $640,200 \text{ m}^3$  de gas natural, con una importante disminución de 4 millones de toneladas en emisiones de  $\text{CO}_2$  al ambiente [7]. Por ello, debemos valorar la conveniencia de fomentar el uso de los calentadores solares, tomando en cuenta que cada vez resulta una inversión más rentable debido a los constantes aumentos en los precios de los combustibles fósiles.

Lamentablemente en México no ha sido posible lograr el aprovechamiento del gran potencial de la energía solar, a pesar de importantes iniciativas que se han llevado a cabo en los últimos años, así como de la actual rentabilidad en la aplicación de los calentadores solares.

De acuerdo con la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) existen diversas barreras que han limitado el aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua en México, entre las cuales se encuentra la desconfianza de los posibles usuarios y compradores. Es por ello que, desde hace varios años, las instituciones encargadas trabajan para establecer un marco regulatorio que permita asegurar a los usuarios una adecuada calidad en los sistemas y sus instalaciones.

## **2.2 Programas y acciones para incentivar el uso de la energía solar en México.**

En México el uso de calentadores solares es cada vez más común en especial en el sector residencial, ello debido a que en los últimos años se han implementado una serie de programas para promover y acrecentar el uso de la energía solar, entre los cuales podemos mencionar:

- PROCALSOL, Programa para la promoción de calentadores solares de agua (2007-2012) donde dentro de los resultados obtenidos, además de la instalación de calentadores solares, se desarrolló y publicó la “Norma Térmica de Competencia Laboral para Instalación del Sistema de Calentamiento Solar de Agua”, contribuyó en la Norma NMX-ES-003-NORMEX-2007 sobre requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos para calentamiento de agua. La CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) prevé que dará continuidad y un nuevo impulso al PROCALSOL con el Programa de Calentamiento Solar de Agua en México 2013-2018.
- Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda. Son una serie de especificaciones que deben cumplir los sistemas de calentamiento solar de agua que sean destinados a programas como el de Hipoteca Verde, igualmente establece los métodos de prueba para su verificación y los requisitos de mercado y etiquetado.
- Programa Hipoteca Verde del Instituto de Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT) que consistió en créditos del INFONAVIT y FOVISSSTE que otorgaba un monto adicional al derechohabiente que lo solicitara para la compra y uso de ecotecnologías para ahorrar agua, energía eléctrica y gas. A partir del 2011, todos los créditos son nombrados “verdes” por lo que ahora todas las

viviendas que se compren, construyan, amplíen o remodelen con un crédito INFONAVIT y FOVISSSTE deberán estar equipadas con ecotecnologías.

- Programa de Vivienda Sustentable del Distrito Federal (2007-2012). El objetivo general de este programa era impulsar el manejo de ecotecnologías en los programas de vivienda nueva y en las ya construidas a través de créditos accesibles. Este programa sirvió como referencia para que algunos municipios dieran créditos y apoyos para la adquisición de un calentador solar.

Hoy en día existe un proyecto de norma oficial mexicana (NOM) en materia de calentamiento solar de agua, y cuatro normas mexicanas (NMX) vigentes y de carácter voluntario aplicables a la fabricación e instalación de colectores y sistemas de calentamiento solar de agua.

- **PROY-NOM-027-ENER/SCFI-2016. Rendimiento térmico, ahorro de gas y requisitos de seguridad de los calentadores de agua solares y de los calentadores de agua solares con respaldo de un calentador de agua que utiliza como combustible gas L.P. o gas natural. Especificaciones, métodos de prueba y etiquetado.**

Este proyecto de norma oficial mexicana establece las especificaciones de rendimiento térmico de los calentadores de agua solares, para uso doméstico o comercial, tipo termosifón que cuente con un tanque térmico cuya capacidad sea menor que 500 L; el ahorro de gas de los calentadores de agua solares con un calentador de agua a gas como respaldo; así como los requisitos de seguridad, etiquetado y los métodos de prueba.

- **NMX-ES-001-NORMEX-2005 Rendimiento térmico y Funcional de Colectores Solares para Calentamiento de Agua. Métodos de prueba y etiquetado.**

Esta norma tiene por objetivo establecer los métodos de prueba para determinar el rendimiento térmico y las características de funcionalidad de los colectores solares que utilizan como flujo de trabajo agua, comercializados en México. Aplica solo a la determinación de las características de colectores solares planos metálicos y de plástico.

- **NMX-ES-002-NORMEX-2007 Definiciones y terminología.**

Esta norma presenta la terminología y recopila definiciones de los conceptos más usados en el campo de investigación y la tecnología solar con la finalidad de homogenizar el lenguaje en los ámbitos científicos, técnicos y comerciales.

- **NMX-ES-003-NORMEX-2007. Requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos, para calentamiento de agua.**

Esta norma tiene como objetivo fijar las condiciones técnicas mínimas que deben cumplir las instalaciones de sistemas para calentamiento solar de agua, especificando los requisitos de durabilidad, confiabilidad y seguridad.

- **NMX-ES-004-NORMEX-2010 Evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua- Método de ensayo.**

Establece el método de ensayo (prueba) para evaluar y comparar el comportamiento térmico de sistemas de calentamiento de agua solares, principalmente para uso doméstico hasta una capacidad máxima de 500 litros y hasta una temperatura máxima de 90° C como dominio de temperatura de agua caliente. Esta norma incluye a los colectores de tubos evacuados con o sin superficies reflejantes y colectores con concentradores tipo parabólico compuesto (CPC).

Esta norma es más general y completa que la NMX-ES-001-NORMEX-2005 ya que evalúa un sistema completo conformado por el colector y el tanque, no solo el colector. Además toma en cuenta varios tipos de colectores y no solo planos. La norma describe las diferentes pruebas de caracterización térmica de los sistemas de calentamientos solar de agua, en los periodos diurnos y nocturnos, prueba de choque térmico externo e interno, resistencia al impacto y prueba de presión hidrostática.

Laboratorios de prueba

Las normas NMX-ES-001-NORMEX-2005 y NMX-ES-004-NORMEX-2010 contienen procedimientos de pruebas específicas que deben ser aplicados a los colectores solares. Para llevar a cabo dichas pruebas, surgió la necesidad de tener laboratorios de prueba.

En México existen 2 laboratorios de pruebas que dependen de una institución de educación superior y uno privado:

- **Laboratorio de prueba de la Universidad de Guanajuato**  
Está encargado de realizar pruebas para la certificación de la norma voluntaria NMX-ES-001-NORMEX-2005.
- **Laboratorio de pruebas del IER de la UNAM**  
El Instituto de Energías Renovables (IER), cuenta con el Laboratorio de Pruebas de Calentamiento Solar donde lleva a cabo las pruebas para calentadores de acuerdo a la norma NMX-ES-004-NORMEX-20010.
- **MEXOLAB**  
Laboratorio privado ubicado en Arandas, Jalisco que ofrece la realización de pruebas a colectores y sistemas de calentamiento solar de agua de acuerdo a las normas NMX-ES-001-NORMEX-2005 y NMX-ES-004-NORMEX-2010 para el dictamen técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda.

## 2.3 Tecnologías para el calentamiento solar de agua

Una instalación solar térmica se constituye de ciertos elementos que en su conjunto proveen de agua caliente que son [8]:

- Un sistema de captación formado por los colectores solares que son los encargados de capturar la radiación solar y transformarla en calor útil.
- Un sistema de almacenamiento, construido por uno o varios depósitos que almacenan el agua caliente hasta su uso. El agua se encarga de almacenar energía térmica en forma de calor sensible.
- Sistema de intercambio o intercambiador: realiza la transferencia de calor entre los fluidos que circulan por circuitos diferentes. Puede ir instalado dentro o fuera del acumulador.
- Un circuito hidráulico completo de tuberías, válvulas, accesorios y bombas.
- Un sistema de control, necesario en instalaciones que requieran controlar automáticamente válvulas y/o bombas, generalmente en sistemas grandes.

Los sistemas pueden ser de uso doméstico o de gran tamaño para grandes volúmenes de abastecimiento de agua caliente. Dependiendo del tipo y tamaño del sistema, puede que no sean necesarios todos los elementos enlistados arriba.

De acuerdo al tipo de circulación del agua entre el colector y el tanque se tienen dos sistemas de calentamiento solar de agua:

- **Natural:** El tanque de almacenamiento se coloca muy cerca y a una altura mayor que los colectores, incluso el tanque puede estar integrado al colector. No requiere de bomba para que se establezca un flujo continuo a través de los colectores hacia el tanque de almacenamiento sino que la circulación de forma natural aprovechando el fenómeno de termosifón. El agua que se calienta en el interior del colector, sube a la parte superior del tanque, y por diferencia de densidades el agua más fría se va a la parte inferior del tanque y entra al colector estableciéndose una circulación continua entre tanque y colector.
- **Forzada** son los que utilizan una bomba para la circulación del fluido desde los colectores hacia el tanque y viceversa. En estos sistemas el tanque no necesita estar en la parte superior del colector, puede ubicarse en algún otro lugar. La bomba es controlada por un sistema de control automático.

De acuerdo al tipo de circuito entre el sistema de calentamiento solar y el agua de consumo, se puede clasificar en:

- **Circuito directo**, el fluido que circula por los colectores es el que se dirige hacia los servicios.
- En un **circuito indirecto**, el flujo que se calienta en los colectores intercambia calor con el agua que se usará en los servicios.

### 2.3.1 Colectores solares

El colector solar es un dispositivo que capta y aprovecha la energía proveniente del Sol, transformándola en calor útil que se transfiere a un fluido. Las tecnologías disponibles hoy en día son diversas. A continuación se describen las de baja temperatura y las más comerciales:

### 2.3.1.1 Colector solar plástico

Son colectores fabricados de plástico sin cubierta ni marco, como se aprecia en la figura 8. Algunas de sus ventajas es que son ligeros y son fabricados en una sola pieza, por lo que no existen. La temperatura común de operación de estos colectores es de alrededor de 40° C en climas cálidos. Su uso principal es para el calentamiento solar de agua para albercas y jacuzzi.

El material de los colectores plásticos es polipropileno con recubrimiento que da protección contra los rayos UV para una mayor durabilidad por estar expuesto directamente a la radiación solar.



Figura 8. Colector solar plástico. Fuente enerwork.com

### 2.3.1.2 Colector solar plano

Un colector solar plano se compone de las siguientes partes (ver figura 9):

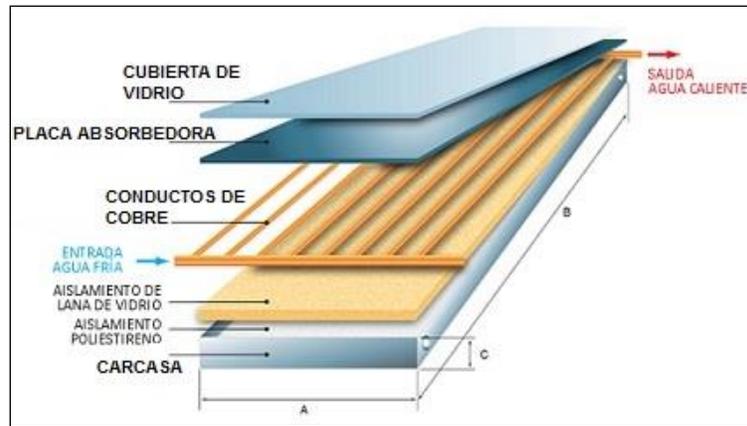
- *Placa de Absorción:* Esta es una placa metálica formada por aletas típicamente de cobre unidas a tubos de cobre. Es el elemento encargado de absorber la energía disponible del sol y transformarla en energía térmica para luego ser transferida al agua, generalmente está hecha de un metal y deben poseer una conductividad térmica mayor a 125 W/m° C.

- *Cubierta transparente*: Es una lámina de material transparente montada en la parte superior del absorbedor, en la parte superior del colector, creando un espacio (2 a 2.5 cm) entre la placa y ella. El material utilizado en la cubierta debe poseer las siguientes características: elevada transmitancia dentro del espectro solar; baja transmitancia para longitudes de onda largas (mayores a 3  $\mu\text{m}$ ) y elevado índice de reflexión, además, bajo índice de absorción en cualquier longitud de onda, por lo general es de vidrio templado.

- *Aislante Térmico*: Es el punto básico para disminuir las pérdidas de calor por conducción en la parte inferior y lateral del colector por lo que éste se coloca por debajo de la placa de absorción y alrededor de las paredes de la caja que contiene la placa. Las características que debe poseer el material utilizado para ser un buen aislante son: No debe deteriorarse, gasificarse o vaporizarse a temperaturas alrededor de los 200°C, resistencia a la repetición de los ciclos térmicos entre 35°C y 120°C, baja conductividad térmica (menor de 0.040W/m °C en el rango de 20 a 120°C) [9], no debe desplomarse, compactarse o adherirse cuando se repiten los ciclos térmicos y de humedad y no debe absorber o retener agua.

-*Caja, Junturas y Selladores*: La caja es el elemento que soporta todos los componentes del colector, la cual impide que la humedad, polvo y aire penetren por el colector y disminuyan su eficiencia. Para su diseño se deben tomar en cuenta tres elementos: hermeticidad para los aislantes y la placa de absorción, posibilidad de fijación del colector a la estructura donde va ser instalado y apoyo seguro para la cubierta. Los materiales para su construcción son muy variados: aluminio, lámina galvanizada, madera, termoplásticos para alta temperatura o fibra de vidrio laminada.

-*Recubrimiento selectivo*. La película selectiva depositada sobre la placa le proporciona una mayor absorbancia de la radiación solar y disminuye su emitancia. Hay diferentes recubrimientos como el cromo negro, el TINOX o el CERMET (óxidos de metal en una matriz cerámica).

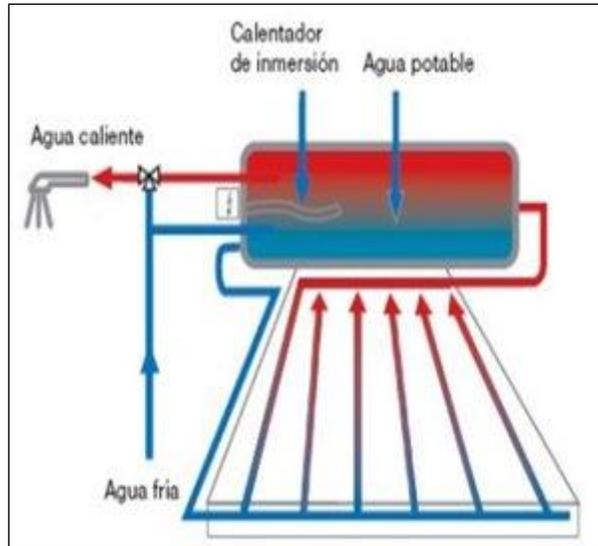


**Figura 9. Componentes de un calentador solar plano. Fuente ingemecanica.com**

El funcionamiento de un colector solar plano como se observa en la figura 10 es el siguiente: la energía solar que atraviesa la cubierta llega a la placa de absorción, ésta se calienta y el calor se transfiere por conducción desde las aletas y las paredes de tubo al fluido que circula en el interior.

La cubierta permite el ingreso en gran parte de la radiación a la placa ya que es transparente a la longitud de onda corta de la radiación solar que entra, pero no permite la salida de la radiación de longitud de onda larga emitida por la placa, también tiene la función de reducir la pérdida de calor por convección y por radiación desde la placa hacia el exterior.

La placa de absorción generalmente es de cobre al igual que los tubos por ser buenos conductores de calor y resistentes. En general, las placas de absorción pueden estar formadas por tubos con aletas individuales (aumentan el área de captación y aceleran la transferencia de calor) o bien utilizando una sola placa a la cual se le integran tubos. En ocasiones las aletas son de aluminio. Sobre la disposición de los tubos, ésta puede ser en forma de parrilla o de serpentín.



**Figura 10. Esquema del funcionamiento de un colector solar plano. Fuente energía solar fototermica.blogspot.**

Entre las aplicaciones más frecuentes de este tipo de colectores solares son el calentamiento solar de agua para uso sanitario, de espacios y albercas.

### **2.3.1.3 Colector solar de tubos al vacío**

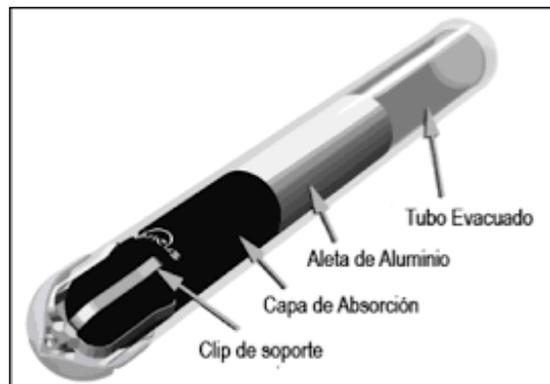
El colector solar de tubos se compone de una serie de tubos de vidrio montados paralelamente sobre una base como se observa en la figura 11.

Un tubo se forma de dos tubos de vidrio transparente concéntricos, uno dentro del otro y unidos por el extremo abierto o boca de tubo. Al espacio entre ambos tubos se le extrae el aire para hacer vacío a fin de reducir al mínimo las pérdidas de calor.

Los tubos son de vidrio borosilicato que es transparente a la radiación, como se aprecia en la figura 12, un extremo está abierto que es por donde entra el agua y el otro extremo está cerrado y termina en forma semiesférica con punta; en la parte interior del tubo se deposita una superficie absorbente como el nitrato de aluminio o nitrato de cobre que se encarga de retener la radiación solar. El grado de vacío que hay entre los tubos permite conservar mejor el calor.



**Figura 11. Colector solar de tubos al vacío. Fuente skenta.com**



**Figura 11. Composición de los tubos al vacío de un colector solar. Fuente skenta.com**

Se dice que son tubos sencillos o de flujo directo porque en su interior circula agua. Dependiendo la aplicación y tamaño del sistema, la boca de los tubos se inserta directamente en el tanque de almacenamiento o bien en un cabezal para la circulación del agua. Estos calentadores solares están diseñados para funcionar directamente cuando la presión de agua de alimentación baja, menor a 1kilogramo-fuerza por centímetro cuadrado ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ).

El funcionamiento de estos colectores es el siguiente: los tubos se llenan de agua que se calienta al estar en contacto con la pared interna del tubo la cual puede alcanzar muy altas temperaturas. Se crean dos corrientes dentro del mismo tubo, la caliente que asciende por la pared superior del tubo hacia el tanque o cabezal y la inferior que es agua fría a contra flujo que entra y desciende por el centro y por la pared inferior del tubo e incrementa su temperatura conforme recorre su trayecto.

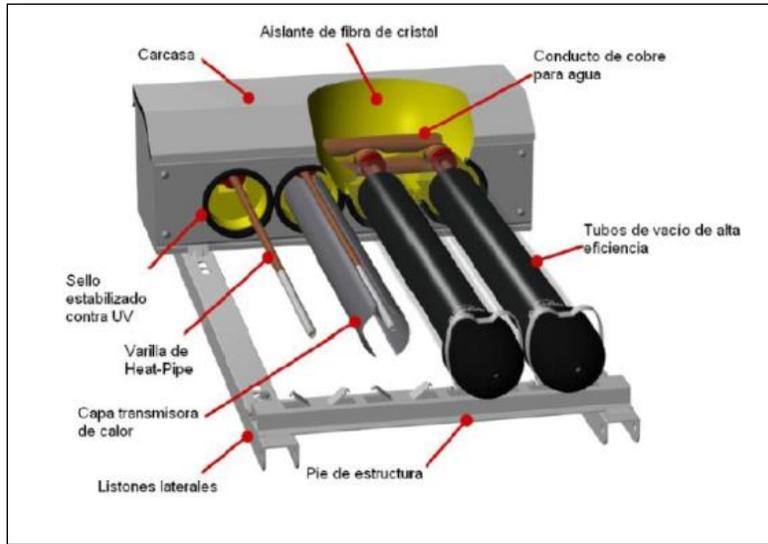
Cuando el agua caliente entra al tanque, por el principio de termosifón, sube a la parte superior desplazando el agua fría a la parte inferior del tanque por diferencia de densidades, el agua más fría se concentra en la parte más baja y entra a los tubos a reemplazar el agua caliente que salió hacia el tanque. Este ciclo se repite hasta que se eleva la temperatura de toda el agua contenida.

En el fondo del tubo existe una zona de líquido estancado a temperatura de ebullición que impide que el fluido entrante llegue hasta el fondo, entonces el agua fría solo recorre una porción del tubo e intercambia calor con el agua en ebullición. Al paso de los años, es necesario sacar los tubos del tanque y lavarlos por dentro para eliminar los sedimentos que se acumularon en el fondo ya que reducen el área de transferencia de calor.

Entre las aplicaciones más frecuentes de este tipo de colectores solares son el calentamiento solar de agua para uso sanitario. Su principal ventaja es que el agua alcanza mayores temperaturas en comparación con los colectores planos, debido al vacío que existe entre los tubos que reduce las pérdidas de calor y la forma cilíndrica de los tubos que brinda mayor ángulo de captación de la radiación solar. Su principal desventaja, es que son susceptibles a mayor cantidad de rupturas que un colector plano.

#### **2.3.1.4 Colector solar de tubos heat pipe**

Un colector de tubos heat pipe también llamado tubos de calor o caloriductos es un conjunto de tubos al vacío de flujo directo con la diferencia de que en su interior no circula agua sino que están sellados, únicamente sobresale una punta de cobre. En su interior se encuentra una varilla de cobre por una aleta de aluminio como se aprecia en la figura 13.

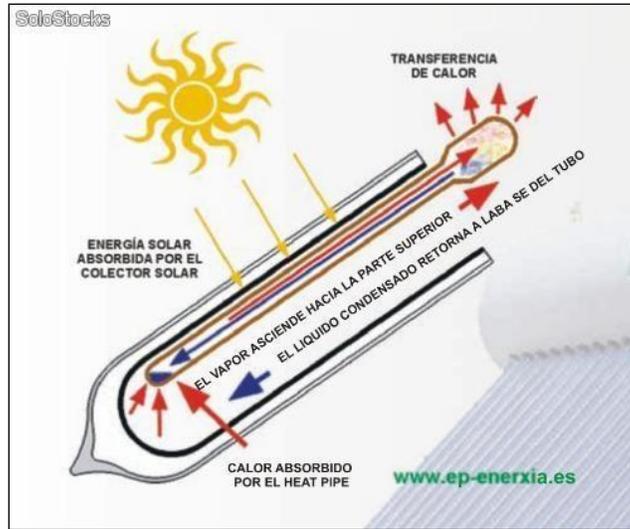


**Figura 13. Componentes de un colector de tubos heat pipe. Fuente sogaltecsolar.com**

La varilla de cobre está hueca y sellada, en su interior contiene un líquido con bajo punto de ebullición que se evapora al calentarse por efecto de la radiación solar. El vapor sube por convección natural hasta la punta (zona de condensación) donde cede calor al agua (calor latente) que circula a su alrededor y cuando el vapor se enfría, éste se condensa y desciende de nuevo en forma líquida para empezar de nuevo el ciclo.

El fluido en el interior de la varilla de cobre no entra en contacto con el agua en la zona de condensación porque la varilla está sellada, únicamente se da el intercambio de calor entre la punta de cobre y el fluido circulante que puede estar dentro de un cabezal o bien dentro de un tanque de almacenamiento como se observa en la figura 14.

Funcionan para sistemas de suministro de agua desde  $0.5 \text{ kgf/cm}^2$  hasta  $6 \text{ kgf/cm}^2$  y se aplican al calentamiento de agua para uso sanitario, como precalentamiento de agua para calderas, procesos de secado, lavado, pasteurización, etc.



**Figura 14. Funcionamiento de un colector de tubo heat pipe. Fuente ep enerxia.es**

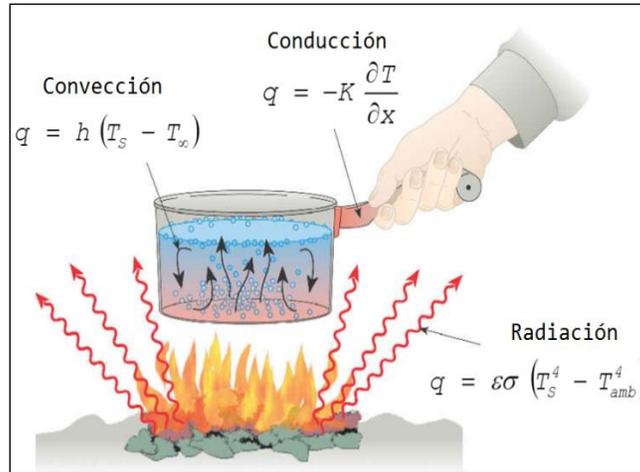
# CAPÍTULO 3: Principios básicos de la física de un calentador solar:

---

## 3.1 Transferencia de calor

Si un cuerpo caliente se pone en contacto con otro cuerpo frío, el primero se enfría y el segundo se calienta hasta que ambos llegan a una misma temperatura; esto es debido a una transferencia de energía del cuerpo caliente al frío. Es decir si el calor es un fenómeno y se considera al cuerpo caliente como un sistema y el frío como otro, entonces se concluye que ni un cuerpo ni otro contienen calor, pero sí energía. Al poner ambos sistemas en comunicación el calor es transferido del caliente al frío hasta que hay equilibrio de temperatura.

Existen tres formas por las cuales el calor puede pasar de un cuerpo a otro por medio de mecanismos de transferencia de calor, cada uno descrito por una ecuación y representados en la figura 15 : conducción, que caracteriza flujos térmicos a través de la materia (Ley de Fourier), convección, asociada con el movimiento de fluidos debido a los efectos gravitacionales o flujo (Ley de enfriamiento de Newton) y radiación, con transferencia de energía térmica a través de ondas electromagnéticas (Ley de Stefan-Boltzmann), los cuales deben ser considerados para la construcción del calentador solar [10].



**Figura 15. Representación esquemática de los mecanismos de transferencia de calor.**

**Fuente [esss.com.br](http://esss.com.br)**

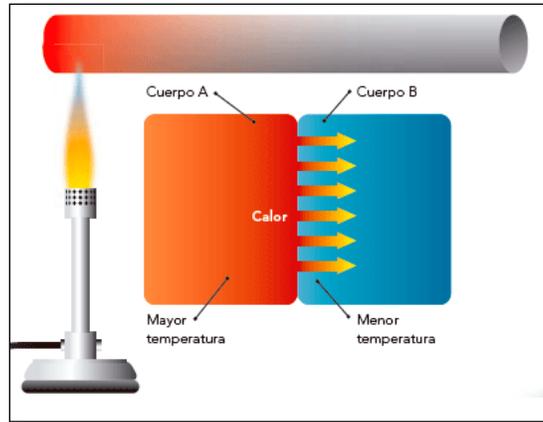
### 3.1.1 Conducción:

Siempre que existe un gradiente de temperatura en un medio sólido, el calor fluirá desde la región con mayor temperatura hacia la región con menor temperatura. Así pues, si se calienta un extremo de una placa de metal aumentando su temperatura, el calor se transfiere hasta el otro extremo por conducción como se esquematiza en la figura 16. La Ley de Fourier indica que la energía se ha transferido por conducción y que el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente de temperatura y al área a través de la cual se transfiere el calor:

$$\dot{Q} = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

Dónde:

- $\dot{Q}$  Flujo de calor por unidad de área ( $\text{kJ/m}^2$ )
- $A$  Área de superficie de contacto ( $\text{m}^2$ )
- $k$  Constante de proporcionalidad o conductividad térmica ( $\text{W/mK}$ )
- $\frac{\partial T}{\partial x}$  Gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor



**Figura 16. Simulación de transferencia de calor por conducción. Fuente [termocalor.blogspot.mx](http://termocalor.blogspot.mx)**

La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. La rapidez de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él.

### 3.1.2 Convección:

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por la diferencias de densidades del fluido; o forzada, cuando el fluido es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo el aire con un ventilador o el agua con una bomba. Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio.

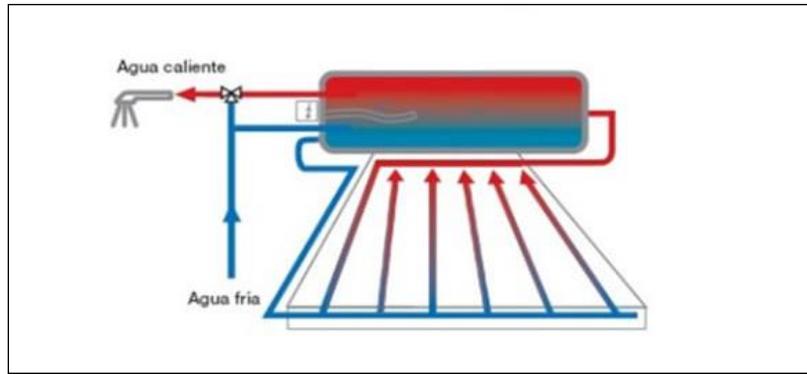
La figura 17 muestra una simulación de la convección natural en un calentador solar donde el agua caliente al ser menos denso asciende, mientras que el agua fría al ser más denso desciende.

Para expresar el efecto global de la convección, se utiliza la ley de enfriamiento de Newton.

$$\dot{Q}=h(T_s-T_\infty) \quad (2)$$

Dónde:

$\dot{Q}$	Calor transmitido por unidad de tiempo (J/s, W)
$h$	Coefficiente de transferencia de calor por convección ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )
$A$	Área del cuerpo en contacto con el fluido ( $\text{m}^2$ )
$T_s$	Temperatura en la superficie del cuerpo ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\infty}$	Temperatura del fluido lejos del cuerpo ( $^{\circ}\text{C}$ )



**Figura 17. Simulación de transferencia de calor por convección natural en un calentador solar. Fuente [energía solar fototermica.blogspot](http://energía solar fototermica.blogspot).**

### 3.1.3 Radiación

La radiación térmica es energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada. Esta energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas y transportadas por ondas electromagnéticas o fotones que se hallan en un determinado rango de frecuencias. La radiación puede tener lugar tanto en presencia como en ausencia de materia (en el vacío). La emisión tiene lugar en todas direcciones y un cuerpo puede reflejarla, absorberla o transmitirla. Se denomina radiación térmica a la que resulta exclusivamente de la temperatura (puede haber radiación debido a bombeo de electrones, descargas eléctricas, etc).

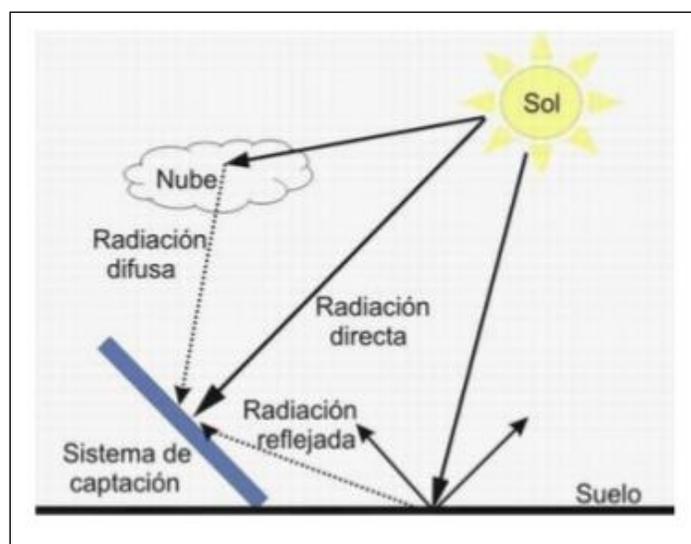
A diferencia con la conducción, la radiación no precisa diferencia de temperatura entre cuerpos, o entre dos partes de un mismo cuerpo, la emisión de energía radiante se produce siempre. Basta que su temperatura sea mayor que  $0^{\circ}\text{K}$  (Ley de Prevost) [11]. Sin embargo, las superficies opacas pueden absorber o reflejar la radiación incidente; casi siempre las

superficies mates absorben más calor que las superficies brillantes, y las superficies brillantes reflejan más energía radiante que las superficies mates.

La radiación no es calor, pero se convierte en él mediante la absorción de las ondas electromagnéticas por la materia, por lo que deja de ser radiación para fluir como calor hacia el interior del sólido por conducción.

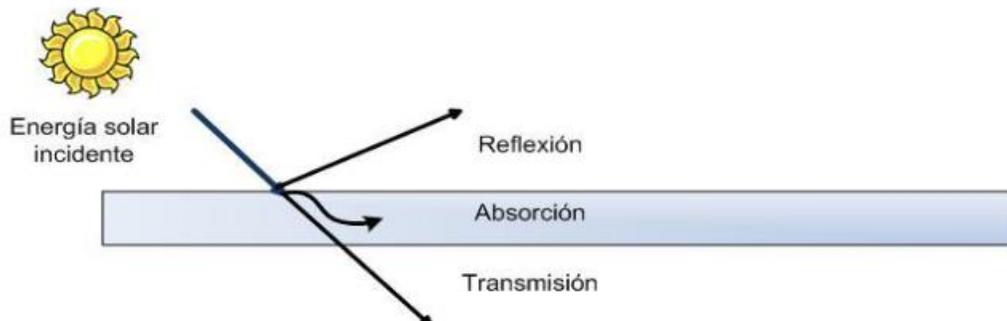
La energía solar puede ser captada de tres formas: radiación directa, radiación difusa y radiación reflejada.

La radiación directa, se compone de rayos paralelos que vienen directamente del sol hasta el punto sobre la superficie en estudio sin ser desviada en ningún punto a lo largo de su trayectoria, esta radiación produce sombras en días despejados; la radiación difusa se compone de rayos dispersos no paralelos que provienen originalmente de la radiación que llega de forma directa a la atmósfera pero que al chocar con las partículas presentes en la misma se difunde y refleja en todas direcciones; de todas las direcciones; este tipos de radiación hace que el cielo se vea azul en días despejados y gris en días brumosos; y la radiación refleja es energía solar que llega desde las superficies adyacentes a los edificios o desde el suelo; depende en gran medida de la forma y textura de los alrededores. En la figura 18 se muestra la manera en la que esto ocurre.



**Figura 18. Formas de radiación solar. Fuente unet.edu.ve**

La radiación solar tanto directa como difusa, es la energía a absorber. Su magnitud es función de las características geográficas (latitud, altura sobre nivel del mar, sombras, cobertura nubosa), climatológicas, ángulo de instalación y época del año del lugar de implementación. El funcionamiento del sistema se basa en las leyes básicas de la radiación, que se propaga en longitudes de onda corta. Cuando incide en una superficie transparente, parte de ella se absorbe, otra se refleja y en mayor proporción se transmite como se aprecia en la figura 19.



**Figura 19. Radiación incidente sobre una superficie transparente. Fuente Manual de energía solar térmica es.slideshare.net**

La parte de la energía radiante incidente absorbida por la superficie del cuerpo ( $A$ ) se transforma en un aumento de su energía interna ( $+\Delta U$ ) y, por tanto, en un momento de su temperatura ( $+\Delta T$ ). La absorción de radiación es un fenómeno superficial y no un fenómeno de volumen, de forma que en el interior del sólido no afecta la absorción. Sin embargo, el calor generado en la absorción puede fluir hacia el interior del sólido por conducción.

Según el principio de conservación de la energía:

$$E = A + R + T$$

Dividiendo esta expresión por la energía incidente ( $E$ ):

$$1 = \frac{A}{E} + \frac{R}{E} + \frac{T}{E}$$

O bien:

$$1 = \alpha + \rho + \tau$$

Siendo:

$\alpha = A/E$  = fracción de la radiación que es absorbida = poder absorbente = **absortividad**.

$\rho = R/E$  = fracción de la radiación que se refleja = poder reflexivo = **reflectividad**.

$\tau = T/E$  = fracción de la radiación que se transmite = poder transmisivo = **transmisividad**.

La mayor parte de los sólidos con los que se trabaja en ingeniería y arquitectura son *cuerpos opacos* a la radiación, es decir, poseen una transmisividad tan baja que puede considerarse nula frente a la absorptividad y reflectividad. Para éstos se verifica:

$$\tau = 0 \Rightarrow \alpha + \rho = 1$$

Sin embargo, el vidrio, ciertos materiales plásticos y algunos minerales, así como los gases, tienen una transmisividad muy alta y, por tanto, baja absorptividad y reflectividad. En el caso del aire (seco y limpio) las radiaciones térmicas lo atraviesan como si fuera el vacío, verificándose:

$$\tau \approx 1 \Rightarrow \alpha \approx \rho \approx 0$$

## 3.2 Efecto invernadero

El efecto invernadero consiste en la entrada de la radiación solar a un lugar cerrado través de una placa translúcida que impide que una cantidad de radiación infrarroja se escape al exterior. El fenómeno descrito dependerá de las características de los materiales.

La absorptividad determina la cantidad de radiación incidente que puede absorber.

La absorbancia representa en sí la fracción de radiación incidente que es absorbida.

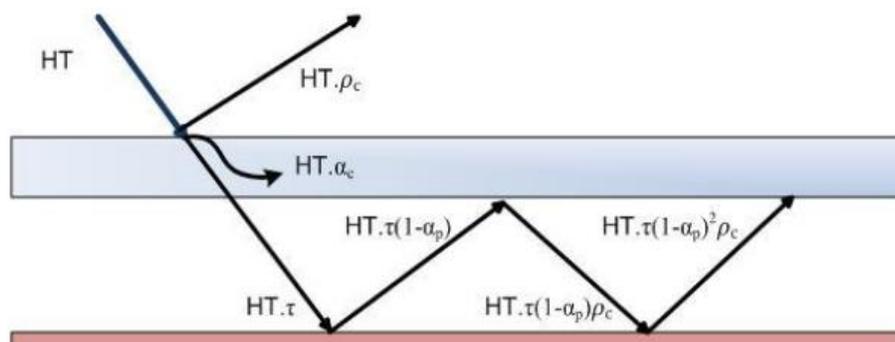
La emisividad es aquella proporción entre la energía radiada y la energía que radiaría un cuerpo negro ideal, a la misma temperatura y con la misma superficie.

La reflectividad representa la fracción de la radiación incidente que es reflejada por una superficie. Se considera ésta una propiedad direccional porque depende de la direcciones de las radiaciones incidente y reflejada, además de su longitud de onda.

Algunos enfoques diferencian la reflectividad de la reflectancia en que la primera es un valor aplicable a capas reflejantes gruesas, mientras que la segunda se aplica a capas delgadas. Si ocurre en capas delgadas, los efectos de la reflexión interna pueden ocasionar que la reflectancia sea una función del grosor de la superficie.

La transmitancia es un valor que expresa la cantidad de radiación solar que puede atravesar una superficie transparente, comparada con la radiación solar que incide sobre esta.

Dentro de un colector, una vez que la energía se transmite a través de la cubierta, esta se dirige hacia la placa absorbidora y tubos, quienes absorben una parte y aumentan su temperatura. La porción de energía no absorbida es emitida como radiación térmica en el espectro infrarrojo y luego reflejada hacia la cubierta transparente. Dicha cubierta en estas condiciones de temperatura es opaca a la radiación infrarroja, por lo que es nuevamente reflejada hacia la placa absorbidora. Este proceso se repite en varias oportunidades y es el denominado “efecto invernadero” dentro del colector, como se aprecia en la figura 20 dónde  $\alpha_p$  es la absorptancia de la placa de la cubierta transparente,  $\alpha_c$ ,  $\tau$  y  $\rho_c$  son respectivamente, la absorptancia, transmitancia y reflectividad difusa; mientras que HT es la energía solar total incidente.



**Figura 20. Efecto invernadero dentro de un colector. Fuente propiedades ópticas de materiales utilizados en procesos térmicos de energía solar pfernandezdiez.es**

### 3.3 Vasos comunicantes

El líquido alcanza la misma altura en los diversos recipientes que se comunican entre sí sin importar la forma o el volumen que estos tengan, siempre y cuando todos estén llenos y no contengan en su interior aire o un líquido con distinta densidad dentro de ellos. Este principio es una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática que se representa esquemáticamente en la figura 21.

$$h_A \cdot \rho_A = h_B \cdot \rho_B$$

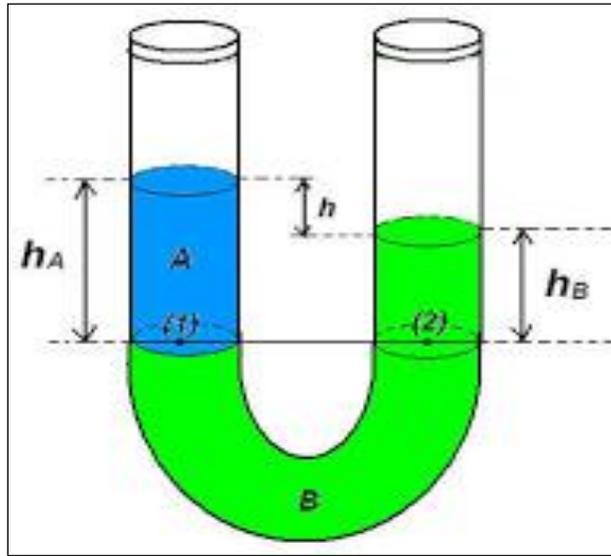


Figura 21. Vasos comunicantes. Fuente [fisicacienciayeducacion.blogspot.mx](http://fisicacienciayeducacion.blogspot.mx)

Fuente [fisicacienciayeducación.blogspot.mx](http://fisicacienciayeducación.blogspot.mx)

# CAPÍTULO 4: Diseño del calentador solar

---

## 4.1 Dimensionamiento de un colector solar plano.

Para el dimensionamiento de un sistema de calentamiento solar de agua adecuado a las necesidades de los usuarios se requiere de cierta información como: el perfil del uso del agua caliente, disponibilidad del recurso solar en el lugar de instalación, factores climáticos locales, entre otros. Sin embargo, uno de los más importantes es la demanda de agua caliente requerida.

### A) Determinación de las necesidades del usuario

Puesto que el calentador solar se construyó para una vivienda multifamiliar, se utilizó para su diseño el criterio de demanda del Código Técnico de Edificación (CTE), en el que se establece que el consumo mínimo de agua caliente a una temperatura de 60° C es de 22 litros diarios por persona [12], y el cual esta expresado en la siguiente tabla 1.

Criterio de consumo		Litros/día
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hoteles (4 estrellas)	70	por cama
Hoteles (3 estrellas)	55	por cama
Hoteles/Hostales (2 estrellas)	40	por cama
Campings	40	por emplazamiento
Hoteles/Pensiones (1 estrella)	35	por cama
Residencias (ancianos, estudiantes)	55	por cama
Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Fábricas y talleres	15	por persona
Oficinas	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

**Tabla 1. Consumo unitario. Fuente CTE coitigr.com.**

Debido a que en la vivienda donde se construyó el calentador habitan 3 personas, el consumo por día se estimó en 66 litros.

#### B) Evaluación del recurso solar y datos meteorológicos

Para el dimensionamiento de una instalación solar se necesita conocer la radiación solar global sobre la superficie de captación y temperatura ambiente del lugar.

Los datos de radiación solar se pueden conocer ya sea por medio de cálculos con modelos matemáticos, consultando datos medidos que publican centros de investigación como el Instituto de Geofísica de la UNAM, el Servicio Meteorológico Nacional o el sitio especializado de la NASA. Lo más común es emplear valores diarios representativos (medios) de cada mes.

En esta tabla 2 se muestran todas las temperaturas necesarias que hay que tener en cuenta en el proyecto, así como los valores promedio mensuales para todo el año de la radiación solar total. Tales valores expresan la cantidad de energía que incide sobre el calentador solar, los cuales están representados como MJ/m<sup>2</sup>. La temperatura ambiente se publica por el Servicio Meteorológico Nacional para diversas localidades.

Mes	TEMPERATURAS (°C)		RADIACIONES(MJ/m <sup>2</sup> )	
	T. agua red	T. amb	Rad. horiz.	Rad. Inclín.
Ene	14.2	14.6	16.43	19.89
Feb	14.0	16.3	19.26	21.92
Mar	14.17	18.0	21.69	22.88
Abr	15.5	20,8	21.22	20.67
May	16.2	21.1	20.99	19.42
Jun	16.5	18.7	18.86	17.17
Jul	16.4	18.7	18.86	17.17
Ago	15.9	19.1	18.06	17.24
Sep	16.0	18.7	16.28	16.43
Oct	15.8	17.7	16.34	17.80
Nov	15.5	15.7	16.55	19.62
Dic	14.7	16.8	15.27	18.97
ANUAL	15.4	16.3	18.3	19.1

**Tabla 2. Datos meteorológicos: Temperaturas y radiaciones. Fuente Estación meteorológica ENP (Escuela Nacional Preparatoria).**

### C) Métodos de dimensionamiento

A partir de los datos de consumo de agua caliente, de la temperatura requerida del agua caliente y de la temperatura inicial del agua de la red, se calcula la cantidad de calor que se tiene que suministrar.

El parámetro más importante a determinar es el área de la placa de absorción, y el punto de partida es la carga térmica anual y la radiación promedio del lugar, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$A_C = \frac{L_{UA}}{\eta H_T} = \frac{Q_{UA} + Q_T}{\eta \bar{H}_T} \quad (3)$$

Dónde:

$A_C$ :	Área de la placa de absorción [m <sup>2</sup> ]
$L_{UA}$	Carga térmica anual [MJ/año]
$\dot{Q}_{UA}$	Calor requerido para calentar el agua [MJ/año]
$\dot{Q}_T$	Perdidas del tanque [MJ/año]
$\eta$	Eficiencia del colector
$\bar{H}_T$	Radiación global promedio anual en la superficie inclinada [MJ/m <sup>2</sup> ]

Para la evaluación de los términos de la ecuación (3), se deben hacer las siguientes apreciaciones:

- 1) Se realizan los cálculos tomando en cuenta el promedio anual de la radiación solar en la superficie inclinada que es de 19,1 MJ/m<sup>2</sup> según los datos proporcionados en la tabla 2.
- 2) Para el dimensionamiento del colector y del tanque es necesario calcular la carga térmica mensual ( $L_{CA}$ ), la cual está conformada por el calor necesario para obtener los 65 litros de agua a 60°C ( $\dot{Q}_{UA}$ ); así como las pérdidas en el tanque acumulador ( $Q_T$ ), de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$L_{CA} = Q_{UA} + Q_T \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{UA} = mNC_P (T_f - T_o) \quad (5)$$

$$\dot{Q}_T = (UA)_T \times (T_f - T_a) \quad (6)$$

Dónde:

$M$	Consumo diario de agua caliente: 65 kg/día
$N$	Días del año: 365
$C_P$	Calor específico del agua: 4190 J/kg °C
$T_f$	Temperatura final del agua: 60 °C
$T_o$	Temperatura inicial del agua: 15.5 °C
$T_a$	Temperatura ambiente: 16.3 °C

En un principio se calculará el calor necesario para obtener los 65 litros de agua a 60°C con base a la ecuación (5):

$$\dot{Q}_{UA} = 65 \times 365 \times 4190 \times (60 - 15.5) = 4, 423.6 \text{ MJ/año}$$

Se requieren entonces 4, 423. 6 MJ anuales para satisfacer las necesidades de agua caliente de la vivienda, sin tener en cuenta las pérdidas presentadas en el tanque. Para calcular dichas perdidas se tomaron las dimensiones del termotanque, cuyo diámetro es de 40 cm y su altura de 80 cm.

Por lo que su área exterior es:

$$A_T = \frac{\pi D^2}{2} + \pi Dh = \frac{\pi(0.40)^2}{2} + \pi(0.40)(0.80) = 1.257 \text{ m}^2$$

Para la evaluación de pérdidas de calor en el tanque, se siguió el procedimiento de Winn, donde el coeficiente de pérdidas en el tanque ( $U_T$ ) usando el criterio de ASHRAE [13], es:

$$U_T = 763.346 \text{ J/m}^2\text{h}^\circ\text{C} = 0.212 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Por tanto, con base en la ecuación (6), el calor perdido en el tanque durante un año es:

$$\dot{Q}_T = 763.346 \text{ J/m}^2\text{h}^\circ\text{C} (1.257 \text{ m}^2) (60^\circ\text{C} - 16.3^\circ\text{C}) = 41,739.3 \text{ J/h}$$

$$\text{Días} = 365 = 8760 \text{ horas}$$

$$\dot{Q}_T = 41,739.3 \text{ J/h} (8760 \text{ h}) = 365.6 \text{ MJ}$$

Conociendo los datos obtenidos anteriormente y suponiendo una eficiencia media del cincuenta por ciento ( $\eta = 0.5$ ) debido a que los calentadores solares presentan en promedio una eficiencia de 50%, se calculó el área de la placa de absorción [14], de acuerdo a la ecuación (3):

$$A_c = \frac{4,423.6 \frac{\text{MJ}}{\text{año}} + 365.6 \frac{\text{MJ}}{\text{año}}}{0.5 \times 19.1 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}}} = 1,373 \text{ m}^2$$

Se calculó entonces que la placa de absorción requería ser de  $1.4 \text{ m}^2$  para calentar el agua.

## 4.2 Selección de Materiales

Para el diseño se estableció que los materiales a usar debían ser de fácil obtención, bajo costo y de preferencia reciclados. Es así como se escoge, preliminarmente, tubería CPVC a pesar de su bajo coeficiente de conductividad térmica ( $0.1 \text{ W/m K}$ ), en comparación con la del cobre ( $400 \text{ W/m K}$ ) utilizada en calentadores de placa plana, lo que haría pensar en una baja eficiencia. Sin embargo, con un valor bajo de conductividad permite comportarse como un aislante térmico, lo que podría ser beneficiosos una vez calentado el agua dentro del tubo. El acabado que se le dará junto con la placa de absorción será de pintura negra mate, para obtener así una mejor absorción.

Para la caja se utilizó madera extraída de tarimas con una base fue una placa de absorción de acero galvanizado.

Se utilizaron como aislante térmico del colector envase de tetrapak (tanto de leche o jugo de 1 litro), cuya reutilización ayuda a la conservación del medio ambiente.

El material que constituyó la cubierta del colector fue vidrio plano claro, ya que presenta buenas propiedades de resistencia a la degradación y una transmitancia aceptable, la distancia entre la placa de absorción y la cubierta fue de 2.5, de acuerdo las recomendaciones de Orozco [4].

Para los sellos, se seleccionó una masilla elástica sellante y adhesiva, de un componente con base en poliuretano el cual tiene una conductividad térmica 0.026 W/m K.

La configuración de los conductos seleccionada es conocida como “en paralelo”. La selección de este tipo de configuración se basa en que de esta forma es más aprovechable el efecto termosifón. Los conductos se colocarán en contacto con la placa de absorción para aprovechar una mayor y más eficiente transferencia de calor de la placa al fluido.

### **4.3 Construcción del calentador solar**

En la construcción de este calentador, se utilizaron materiales reciclados, de bajo costo y de fácil obtención.

La construcción del calentador se dividió en 3 aspectos:

1. Colector solar:

Elemento que es capaz de captar la radiación solar incidente y transformarla en energía térmica durante el día. Para su construcción se fabricaron y ensamblaron los elementos que lo componen:

- Placa de absorción:

Componente encargado de la captación o absorción de la energía solar incidente sobre su superficie y transformarla en energía térmica para luego ser transferida al fluido que circula por los conductos dispuestos en su cara superior.

Según los cálculos establecidos para dimensionamiento se requería de una placa de 1.3 m<sup>2</sup> sin embargo se consiguieron 2 láminas para tejado que fueron aplanadas y cortadas de tal manera que a la hora de ensamblarlas tuvieran la medida calculada Figura 22



**Figura 22. Placa de absorción. Fuente elaboración propia**

- Radiador:

Conductos que transfieren la energía térmica por medio de la placa expuesta a la radiación solar, adopta una configuración de radiador. Fue construido con 16 tubos de CPVC de 1 metro de largo y 22 tubos de 3 cm para las uniones, 22 TEES y 2 codos, todos de ¾ de pulgadas; se lijaron los bordes y una vez limpios de impurezas se procedió a unir los conductos con las TEES y los codos en forma de radiador Figura 23 Se usó pegamento para CPVC para dicho fin.

Tanto al radiador como a la lámina de acero galvanizado que fungirá como placa de absorción se les dio un acabado con pintura negra mate para que obtengan una mayor absorbancia.



**Figura 23. Configuración del radiador ensamblado. Fuente elaboración propia**

- Caja:

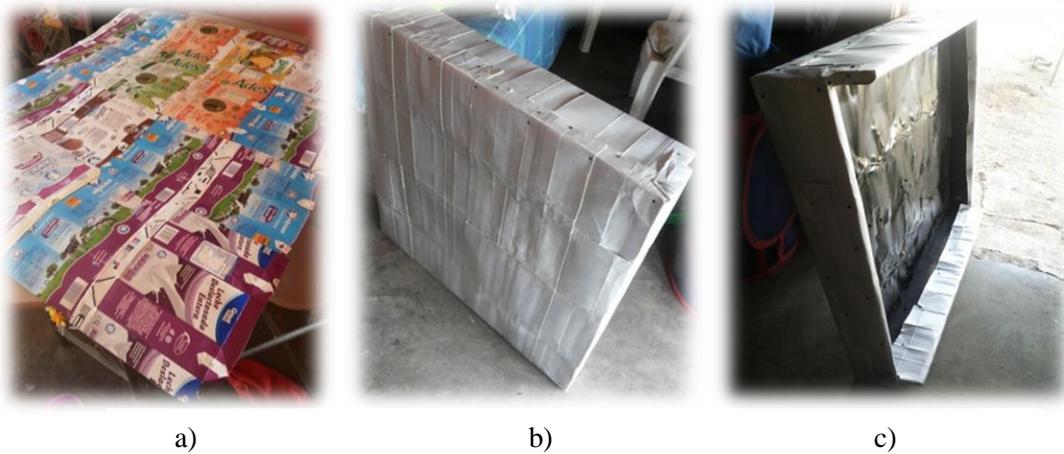
Elemento que soporta todos los componentes del colector, la cual impide que la humedad, polvo y aire penetren por el colector y disminuyan su eficiencia. Para su diseño se tomaron en cuenta tres elementos: hermeticidad para los aislantes y la placa de absorción, posibilidad de fijación del colector a la estructura donde va ser instalado y apoyo seguro para la cubierta.

Para su construcción se usaron tablas de madera de una tarima previamente desmontada. Las dimensiones de la caja fueron determinadas a través de la medida de la placa de absorción, la cual fue fijada a la caja con pijas. A la caja se le hicieron dos perforaciones laterales para la salida de los tubos del radiador Figura 24.



**Figura 24. Construcción de la caja. Fuente elaboración propia**

La caja se recubrió con una lámina prefabricada con envases de tetrapak, la cual funge como aislante térmico del colector Figura 25; elemento básico para disminuir las pérdidas de calor por conducción en la parte inferior y lateral del colector.



**Figura 25. Construcción de la caja: a) lámina formada de tetrapaks. b) caja aislada. c) lámina con recubrimiento negro mate. Fuente elaboración propia**

- Cubierta:

Superficie frontal o de incidencia de la luz solar del colector, cuya función es generar un efecto invernadero, permitiendo el paso de la radiación solar absorbida por la placa y disminuyendo la cantidad de radiación infrarroja que se escapa al exterior, disminuyendo las pérdidas de calor del colector.

Una vez preparado el cajón del colector e instalado el radiador en el cajón con la lámina se procedió a colocar una cubierta de vidrio plano reciclado de 6 mm. Para su completa hermeticidad se sellaron los bordes con silicón Figura 26 , el cual es resistente a la radiación ultravioleta y a la intemperie, no se vuelve quebradizo, tiene buena adhesión y resistencia a la repetición de los ciclos térmicos de estirarse y comprimirse en forma adecuada para soportar las dilataciones y contracciones debidas a la diferencia entre los coeficientes de dilatación térmica de los elementos.



**Figura 26. Cubierta de vidrio reciclado reconstruido y sellado con silicón. Fuente elaboración propia.**

## 2. Tanque de almacenamiento

Acumulador de energía térmica que permite obtener servicio de agua caliente durante las horas en que el colector solar tiene poco o nulo rendimiento, por ejemplo en las horas nocturnas. Debido a lo anterior el mayor requerimiento técnico del tanque es su total

aislamiento, con el fin de conservar la temperatura requerida en el agua. Se recomienda colocar una válvula de seguridad para limitar la presión de vapor en el depósito para cuando sea necesario.

Para su construcción se utilizó un tambo de plástico de polietileno de alta densidad de 65 litros como depósito portador del agua caliente, al cual se le hicieron tres orificios para la colocación de las tuberías de entrada y salida del agua caliente y la de recirculación al panel solar Figura 27. Se colocaron las bridas y las conexiones hembras para su posterior conexión-instalación. El tambo fue colocado dentro de otro tambo metálico con aislante (fibra de vidrio) y sellado por completo para retener la energía térmica.



**Figura 27. Termotanque: partes y ensamblado. Fuente elaboración propia.**

Este termotanque es un acumulador de circuito abierto debido a que no depende de un intercambiador de calor y el flujo se recibe del colector solar de manera directa

### 3. Instalación:

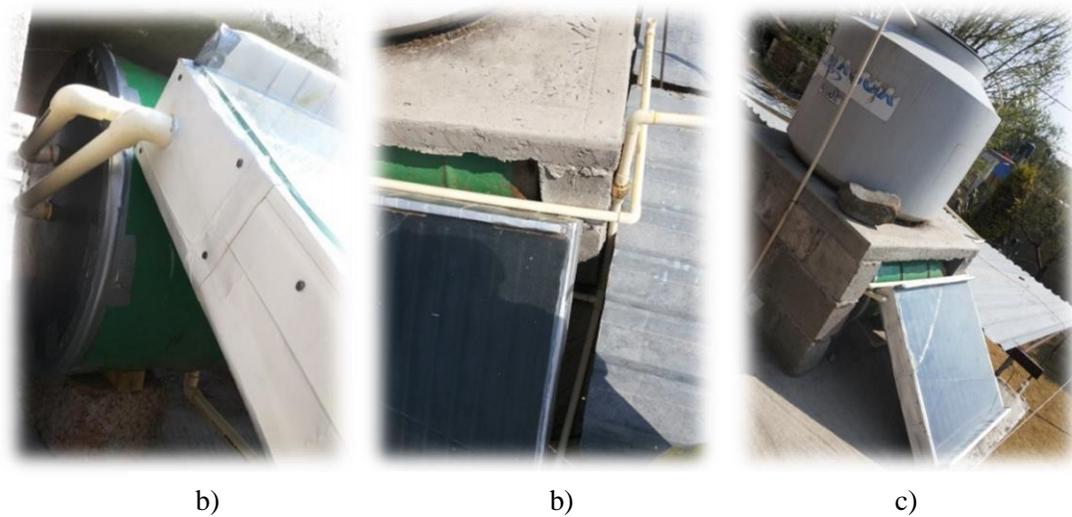
- Tubería:

Se instaló el tubo de regreso de agua del termotanque hacia el panel para recalentar el agua y hacerla recircular por medio de diferencia de densidades por efecto térmico y así mantener la temperatura del termotanque Figura 28. Se instaló una válvula check para impedir el paso de agua de alimentación hacia el termotanque.



**Figura 28. Instalación de tubería para agua fría: de llenado y retroalimentación. Fuente elaboración propia**

Se conectaron los tubos de salida del agua caliente del termotanque hacia el calentador de gas y la tubería de entrada de agua caliente al termotanque desde el colector Figura 29.



**Figura 29. Instalación de tubería para agua caliente: a) salida del colector y del recmotanque b) recorrido hacia la conexión de la regadera c) visualización final.**

- Angulo de inclinación:

El colector se oriento al sur-suroeste tomando en cuenta la posición del cenit (Traslación desde la salida hasta la puesta de sol) del invierno. El ángulo de inclinación del colector fue de 45 °C debido a la escases de espacio en el techo (ver figura 30), pese que para hacerlo mas optimo con respecto a la captación de los rayos que deben llegar en forma perpendicular para obtener la mayor eficiencia en el calentamiento de agua debió de ser de 20° C según recomendaciones de la CTE.



**Figura 30. Posición y angulo de inclinación del calentador solar. Fuente elaboración propia.**

La normativa española (CTE), establece que para la inclinación óptima deberá elegirse un valor en función de las tres condiciones presentadas en la tabla 3. Considerando que el calentador solar pretende ser utilizado durante todo el año.

Periodo de utilización	Ángulo de inclinación
Consumo constante todo el año	Latitud del lugar
Preferentemente en invierno	Latitud del lugar +10°
Preferentemente en verano	Latitud del lugar -10°

**Tabla 3. Ángulos de inclinación establecidos dado el periodo de utilización. Fuente CTE.**

- Altura:

La ubicación del termotanque es importante, ya que de ésta, depende la eficiencia del termosifón y evitar el fenómeno de flujo inverso. El tanque de alimentación (tinaco) debe de estar al menos 20 centímetros arriba del termotanque.

- Llenado:

El llenado de agua del termotanque se realizó con una circulación muy baja para que al agua le dé tiempo de calentarse de tal manera que el termotanque solo se llena de agua caliente en un transcurso de 6 horas; una vez llenado el termotanque entrara en función la tubería de recirculación por la diferencia de densidades y la válvula check trabajara para impedir que el agua entre directamente por la línea de recirculación al tinaco, sin embargo el tinaco alimentará al termotanque cerrando un circuito. Se dejó trabajar el sistema 24 horas antes de ser utilizado y una vez lleno el termotanque se debe abrir completamente la llave de salida de agua caliente del colector a la entrada del depósito. Finalmente se procedió a hacer lectura de las temperaturas tanto de entrada como de salida del calentador, para ello se hizo uso de un termómetro de multímetro.

## RESULTADOS

### Valores de temperatura

Los valores de temperatura obtenidos durante 12 horas de funcionamiento en promedio de una semana se muestran en la tabla 4.

Hora	Temperatura entrada colector (°C)	Temperatura salida colector (°C)	Temperatura entrada deposito (°C)	Temperatura salida depósito (°C)	Temperatura salida regadera (°C)
09:00	14	39	31	26	24
11:00	14	40	32	27	25
12:00	14	72	64	59	57
13:45	15	78	70	65	63
15:00	16	79	71	66	65
16:00	16	62	54	49	45
16:45	16	62	54	48	43
17:30	15	58	50	48	44
18:00	15	55	47	42	42
19:00	15	53	45	44	40
19:30	14	47	39	38	36
20:00	14	40	32	27	25
20:45	13	38	30	25	23

### Rendimiento del calentador solar

El rendimiento es la cantidad de energía extraída por el agua que circula en el calentador, expresada en fracciones de la cantidad total de energía solar que incide sobre el calentador, es decir, si el calentador recibe 5 kWh de energía solar y contribuye con 2.5 kWh al calentamiento del agua, esto quiere decir que el calentador trabaja con una eficiencia del 50%. Generalmente los calentadores trabajan con una eficiencia que va del 30% al 70%.

El rendimiento de los calentadores planos se conoce por lo general bien, éste y la eficiencia del mismo se mide como la razón entre la energía útil y la energía que incide sobre el calentador expresada:

Energía captada/ energía disponible x 100= % de eficiencia del calentador

## Eficiencia de un colector solar plano

La ecuación de la eficiencia térmica instantánea de un colector se puede expresar como:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_C \cdot H_T} \quad (7)$$

Dónde:

$Q_u$	Energía útil obtenida en kJ
$H_T$	Irradiación solar global recibida en kJ/m <sup>2</sup>
$A_C$	Superficie de captación en m <sup>2</sup>

La expresión (7) describe el desempeño del captador como el cociente de la energía útil obtenida  $Q_u$  en kJ y la energía total suministrada, la cual se define como el producto de la superficie de captación  $A_C$  en m<sup>2</sup> por la irradiación solar global recibida en kJ/m<sup>2</sup> en el mismo periodo de tiempo.

$$\eta = \frac{837,936 \text{ kJ}}{1093,333 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2} \times 1.3 \text{ m}^2} = 0.589 \times 100 = 58.9\%$$

Así pues con los valores referidos en la tabla 2 y la expresión 3 obtuvimos una eficiencia térmica del 58.9%.

## CONCLUSIONES

En el presente proyecto se presentó el proceso de diseño y construcción de un colector solar para calentamiento de agua de consumo doméstico con materiales económicos no convencionales.

Este proyecto ha cumplido con las expectativas que se tenían, ya que desde que se instaló, el servicio que ha brindado ha sido bueno y por ende se ha disminuido el consumo de gas natural (medio tanque de 20 kg por mes aproximadamente), el cual se ve reflejado en el recibo de pago a la compañía de gas (\$90.00 pesos). Dicho ahorro ha estado pagando el costo de la construcción del calentador, por lo que se puede decir que al final se pagará solo.

Pese a que se usaron materiales reciclados, el costo de la construcción fue elevado (\$1,200.00 MN), sin embargo no sobrepasa el presupuesto de un calentador comercial (\$2,700.00 a 6,360.00 MN para 3-4 personas dependiendo la tecnología), los cuales son elevados y requieren de un costo adicional de instalación (). Cabe destacar que este fue un sistema de fácil construcción. Sin embargo, ya sea por la falta de interés o la ausencia de estrategias de difusión, promoción y divulgación de la tecnología o por la modernización y consumismo en el que vivimos, es que se han ignorado y por lo que las empresas extranjeras los venden a un alto precio. Debido a lo anterior es que nos corresponde difundir este proyecto y concientizar a la sociedad en el uso de las energías renovables, retomándolas como principios que se olvidaron por una modernización desenfrenada y dependiente de los combustibles fósiles.

Al reducir el consumo de gas natural, también se ha dejado de quemar varios metros cúbicos de gas, con lo cual se ha reducido la producción de bióxido de carbono y con ello la huella ecológica que dejamos sobre el planeta, por lo tanto el uso de este tipo de energías contribuyen a la conservación del medio ambiente.

Es de suma importancia tener en cuenta una serie de consideraciones para poder obtener la mejor eficiencia posible del calentador tales como:

-La colocación del tinaco de alimentación de la casa, el cual debe de tener una altura promedio al termotanque, basados en el principio de los vasos comunicantes de Pascal, ya que si el tinaco está muy por debajo nunca se llenará el depósito y si está muy por arriba

siempre se llenara al 100% del equipo lo que implica un riesgo, ya que con la temperatura alta se tendrá una expansión de los gases y este necesita un espacio que no tendría.

-El ángulo de inclinación del colector, el cual sirve para tener una captación lo más amplia posible de las tres radiaciones solares y depende de la latitud del lugar en donde se pretende colocar el calentador.

En cuanto a la eficacia y de acuerdo con los ensayos iniciales, se puede concluir que el sistema solar para el calentamiento de agua alcanza las condiciones de temperatura requeridas para ser usada en el consumo doméstico de manera medianamente eficiente (58%) debido a que en días nublados alcanzó temperaturas de 30 °C, cuando se debían esperar valores de 40°C o más de manera constante sin importar las condiciones climáticas adversas.

En cuanto al uso del calentador, es importante mencionar que es necesario modificar los hábitos de aseo, ya que si la ducha se toma en la noche o en la madrugada, el relleno del termotanque a esas horas enfriará el agua que se calentó durante el día, disminuyendo la eficiencia del mismo. Así mismo, debido a que el funcionamiento del calentador se afecta con las variaciones climatológicas, se sugiere hacer una instalación alterna, para que el agua proveniente del calentador solar pase también y de manera independiente al calentador de gas, ello para seguir aprovechando el calor generado, porque no es lo mismo calentar agua de 15 °C a 60 °C que de 40 °C a 60°C y de esta manera también se vería reflejado un ahorro energético considerable.

## REFERENCIAS

- [1] HUGHES, William F (1970). “Teoría y problemas de dinámica de fluidos”. Panamá: McGraw-Hill
- [2] IBAÑES Plana, Manuel (2005). “Tecnología solar”. Madrid: Mundi-Prensa. p 544
- [3] SARDÓN José Ma. De Juana (2001). “Energías renovables para el desarrollo”. Madrid: Paraninfo. P 311
- [4] OROZCO HINCAPIE, Carlos A (2010). “Elementos de Ingeniería Solar”. Pereira, Colombia: Publicaciones U.T.P.
- [5] KREITHM Frank (2001). “Principios de transferencia de calor”. México: Thomson Learning 6ª ed. p 700
- [6] DUFFIE, Jhon A y William Beckman (1980). “Solar Engineering of Thermal Process”. New York: Jhon Wiley, 1980
- [7] G.N, Tiwari (2009). “Solar Energy. Fundamentals, Design, Modelling and Applications”. Narosa Publishing House. New Delhi.
- [8] GODFREY, Boyle (2004). “Renewable Energy, Power for a sustainable future” 2nd edition, United Kingdom Oxford University.
- [9] DELYANNIS, E and A. El-Nasahar (2003). “a short historical reviews of renewable energy, Water and Electricity Authority (WEA)”, Abu-Dhabi, UAE.
- [10] ORTEGA, Rodríguez (2000). “Energías Renovables Energía Solar Térmica”, p. 328. Madrid: Paraninfo.
- [11] MARGEVICIUS, José (1981). “La Energía Solar y su Aplicación en Calentadores Solares”. República Dominicana: Universidad Carolica.
- [12] CENGEL, Yunus A (2003). “Termodinámica”, Editorial Mc Graw Hill, Cuarta edición, México.
- [13] MONTES, Pita (2008). “Análisis y propuestas de sistemas solares de alta exergía que emplean agua como fluido calorífero”. Tesis. España Universisas Politécnica de Madrid. Madrid, 2008.
- [14] CENGEL, Y (2007). “Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico”. Mc Graw Hill. México.
- [15] MANRIQUE, José A. 1984. “Energía Solar”. México: Editorial Harla S. A. 1984.

<http://biblioteca.indict.villaclara.cu/UserFiles/File/Articulos%20de%energia%renovable/89.es/>

<http://www.cespt.gob.mx/cultura/artconcumos.html>

[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energía\\_y\\_ciencia/2008/01/07/173531.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energía_y_ciencia/2008/01/07/173531.php)

<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia09/HTML/articulo03.htm>

<http://www.textoscientificos.com/energia/calentador-solar/construcción-tres-calentadores-solares-agua>

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177621/Balance\\_Nacional\\_de\\_Energía\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177621/Balance_Nacional_de_Energía_2015.pdf)

[http://www.cie.unam.mx/~ipf/pub/5.%20Fuentes\\_de\\_informacion\\_V.%20Estrada.pdf](http://www.cie.unam.mx/~ipf/pub/5.%20Fuentes_de_informacion_V.%20Estrada.pdf)

<http://wrdc-mgo.nrel.gov>

<http://www.enerwork.com/productos/energia-solar-termica/sector-albercas-residenciales-y-comerciales-2/>

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html>

<http://energia-solar-fototermica.blogspot.mx/>

<http://www.skenta.com.ar/colectores-solares/Productos>

[http://www.sogaltecsolar.com/colectores\\_de\\_tubos\\_de\\_vacio\\_heat\\_pipe.htm](http://www.sogaltecsolar.com/colectores_de_tubos_de_vacio_heat_pipe.htm)

<http://www.esss.com.br/blog/es/2017/01/analisis-termico-por-el-metodo-de-elementos-finitos/>

