



ISBN: 978-99961-50-54-8

## INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

# Calentador Solar de Agua para Usos Domésticos con Control de Variables y Funcionamiento con Arduino

**DOCENTE INVESTIGADOR PRINCIPAL:  
ING. CARLOS ROBERTO BARRIENTOS MÓNICO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL**

FEBRERO 2017



**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA-FEPADE**  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL  
SANTA TECLA, LA LIBERTAD, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA





INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

Calentador Solar de Agua para Usos Domésticos con  
Control de Variables y Funcionamiento con Arduino

**DOCENTE INVESTIGADOR PRINCIPAL:  
ING. CARLOS ROBERTO BARRIENTOS MÓNICO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL**

FEBRERO 2017



**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA-FEPADE**  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL  
SANTA TECLA, LA LIBERTAD, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA



**Rectora**

Licda. Elsy Escolar SantoDomingo

**Vicerrector Académico**

Ing. Carlos Alberto Arriola Martínez

**Vicerrectora Técnica Administrativa**

Inga. Frineé Violeta Castillo

**Dirección de Investigación  
y Proyección Social**

Ing. Mario Wilfredo Montes, Director

Ing. David Emmanuel Ágreda

Inga. Lorena Victoria Ramírez de Contreras

Sra. Edith Aracely Cardoza

**Director Escuela de**

**Ingeniería Eléctrica y Electrónica**

Ing. Ricardo Salvador Guadrón Gutierrez

621.47

B275c

sv

Barrientos Mónico, Carlos Roberto, 1957-

Calentador solar de agua para usos domésticos con control de variables y funcionamiento con Arduino / Carlos Roberto Barrientos Mónico. -- 1ª ed. -- Santa Tecla, La Libertad El Salv. : ITCA Editores, 2017.

33 p. : il. ; 28 cm.

ISBN : 978-99961-50-54-8

1. Energía solar 2. Recursos energéticos renovables 3. Colectores solares I. Título.

**Autor**

Ing. Carlos Roberto Barrientos Mónico

**Docente de Apoyo**

Téc. Carlos Geovany Meléndez Molina

Tiraje: 13 ejemplares

Año 2017

Este documento técnico es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE; tiene el propósito de difundir la Ciencia, la Tecnología y la Innovación CTI, entre la comunidad académica y el sector empresarial, como un aporte al desarrollo del país. El contenido de este informe de investigación no puede ser reproducido parcial o totalmente sin previa autorización escrita de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE. Para referirse al contenido debe citar el nombre del autor y el título del documento. El contenido de este Informe es responsabilidad de los autores.

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

Km 11.5 carretera a Santa Tecla, La Libertad, El Salvador, Centro América

Sitio web: [www.itca.edu.sv](http://www.itca.edu.sv)

TEL: (503)2132-7423

---

## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	4
2.	ESTADO DE LA TÉCNICA Y ANTECEDENTES .....	4
3.	JUSTIFICACIÓN.....	5
4.	OBJETIVOS .....	6
4.1.	OBJETIVO GENERAL .....	6
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
5.	HIPÓTESIS.....	7
6.	MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
6.1.	APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR .....	7
6.2.	UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	9
6.3.	EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS.....	9
6.4.	CAPTURA DIRECTA DE ENERGÍA SOLAR .....	10
6.5.	EL CALENTADOR SOLAR .....	10
6.6.	CALENTAMIENTO DE AGUA PARA USO HOGAREÑO .....	11
6.7.	TECNOLOGÍAS SOLARES PARA COLECTORES.....	12
6.7.1.	COLECTOR SOLAR.....	12
6.7.2.	COLECTOR SOLAR PLANO .....	13
6.7.3.	COLECTORES DE CONCENTRACIÓN .....	14
6.7.4.	COLECTORES TUBULARES .....	14
6.8.	MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS.....	15
6.8.1.	POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	15
6.8.2.	FIBRAS MINERALES .....	15
6.9.	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	16
6.9.1.	TERMÓMETROS .....	16
6.9.2.	MEDICIONES DE PRESIÓN .....	17
6.10.	VÁLVULAS .....	19
6.11.	ESCALAS DE TEMPERATURA .....	20
6.12.	BOMBAS PARA AGUA.....	21
6.13.	PLATAFORMA ARDUINO .....	21
6.14.	SENSORES DE TEMPERATURA.....	22
7.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	23
7.1.	CONSUMO DE AGUA CALIENTE EN UNA CASA .....	23
7.2.	CÁLCULO DEL ÁREA DEL COLECTOR SOLAR.....	23
7.3.	DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR.....	24
7.4.	CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA.....	25
7.4.1.	CÁLCULO DEL ÁREA DEL COLECTOR SOLAR.....	25
7.5.	MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN .....	26
7.6.	CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR DE CALOR .....	27
7.7.	COLOCACIÓN DE MATERIAL AISLANTE. ....	29
8.	CONCLUSIONES .....	32
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32
10.	ANEXOS .....	33

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El Salvador es un país que posee un alto nivel de consumo de energía eléctrica y se encamina a que ésta crezca cada día más; desgraciadamente para su generación, muchas de las fuentes que se utilizan son a base de hidrocarburos, que como se ha comprobado ocasionan efectos secundarios dañinos al medio ambiente y a la salud. Además, este tipo de combustible representa una fuente no renovable de energía, que a futuro irá incrementando su valor y finalmente se agotará.

Lo anterior indica que a medida se utilizan los recursos no renovables estos tienden a decrecer; y así mismo, provocan una búsqueda de nuevas fuentes de energía, entre éstas las renovables, como el calor emitido por el sol.

Ciertas instituciones educativas como la Universidad Nacional (Proyecto solar de la escuela de física y matemática) y la Universidad Politécnica de El Salvador (trabajo de graduación del año 2000), han realizado estudios de colectores, pero no se ha llegado a la construcción de un prototipo que compruebe un beneficio de ahorro energético y un recurso más de energía renovable aplicable a uso residencial.

En las instalaciones residenciales la demanda de agua caliente producida con duchas eléctricas constituye un elevado consumo de energía eléctrica para el hogar; este uso para un hogar de 4 personas, considerando que utilizan agua caliente por 15 minutos cada uno por día y que en el mes se repite esa rutina 20 veces, representa una facturación de 80 kwh solo en calentamiento de agua.

Por esta razón, el calentamiento de agua mediante energía solar, va más allá de ser una alternativa ecológica, se ha convertido en una tecnología económicamente atractiva.

Por tanto, la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de ITCA-FEPADE Sede Central realizó el diseño y construcción de un prototipo de colector solar, en donde se definen los principios y conceptos básicos para contar con una buena tecnología que en realidad no es reciente, sino poco atendida en nuestro medio. Se ha determinado que este tipo de colector se encuentre al alcance de una familia de clase media.

## 2. ESTADO DE LA TÉCNICA Y ANTECEDENTES

En la Universidad Politécnica de El Salvador se realizó un trabajo de graduación denominado “aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua para grandes consumos (hospitales y hoteles) en El Salvador”, diciembre de 2000. El estudio se basó en un colector solar para el precalentamiento de agua para un hotel, en este trabajo se describe el diseño de un prototipo tomando en cuenta costos, mano de obra calificada y principalmente que se implantaría como una sustitución para precalentar agua sin utilizar diesel.

Tomando como referencia los datos de mantenimiento se pudo verificar que los costos para un sistema diesel son altos, y que la etapa de precalentamiento utilizando la energía del sol logra disminuirlos en gran medida. Como su nombre lo indica este trabajo fue enfocado en el aprovechamiento de la energía pero en el área de hoteles y hospitales, presentando sistemas de captación solar, no llevando el trabajo a la zona residencial.

Como segundo antecedente, en la Escuela de Física, Ciencias Naturales y Matemáticas de la Universidad Nacional de El Salvador se realizó un proyecto solar (Prototipo de colector), como lo muestra la Fig. 1.



Fig. (1) Rótulo del proyecto solar UES

En la figura 2 se muestra un colector de placa plana que consiste en tubos paralelos formando una especie de escalera quedando unidos por tubos de mayor sección para facilitar el paso de agua.



Fig. (2) Colector solar de placa plana.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La electricidad es una fuente de energía que fue incorporada al final del siglo XIX, desde sus inicios, el ingeniero electricista, el estudiante de Ingeniería eléctrica y el personal que está relacionado con esta área, es inducido al desarrollo de nuevas propuestas de ahorro energético y alternativas de fuentes de energía renovables.

Lo anterior indica que, como impulsores de nuevas propuestas se toma una gran fuente de energía que para el caso es la solar, puesto que el sol es una fuente inagotable, lógico resulta tratar de aprovecharlo al máximo con el fin de no consumir otras fuentes de energía que por lo general resultan ser limitadas, escasas y altamente contaminantes.

---

En países totalmente industrializados o de primer mundo la energía solar, son tecnologías que ya son toda una realidad como fuentes principales para reducir costos, daños al ecosistema, pese a su enorme inversión inicial, pero que se cubre a medio plazo el garantizar una fuente de energía limpia, inagotable y gratis.

Con toda propiedad se puede asegurar que al utilizar energía solar se ahorra energía eléctrica generada por otros medios; pues en el caso del calentamiento de agua ya no es necesario consumir energía eléctrica de la red de abastecimiento y por lo tanto no es necesario pagar un alto consumo en las facturas, pues la energía solar es gratis.

Un punto más a favor es que calentando agua por colectores solares el país ahorra divisas, puesto que no tenemos que comprar combustibles fósiles para obtener los kilowatts-hora necesarios para calentarla.

Con el fin de proporcionar un prototipo para realizar la construcción de un calentador solar de agua se elaborará un diseño partiendo de las ideas, materiales, pruebas y la información que se pueda encontrar y analizar para este proyecto.

Se debe tomar en cuenta que el enorme potencial solar que tiene nuestro país se desperdicia, perdiendo la oportunidad de poder eliminar gradual y progresivamente la energía en base a combustibles fósiles no renovables y hacer una transición hacia las energías limpias y renovables.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

- J) Implementar el aprovechamiento de la energía solar para la producción de agua caliente de uso en el sector residencial.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Establecer las características y parámetros para la construcción de un prototipo de calentador solar de agua.
- b) Clasificar los materiales más idóneos y de fácil obtención, para la construcción y montaje del sistema de calentamiento.
- c) Determinar los costos económicos tomando en cuenta material y mano de obra para la construcción de un sistema de calentador solar de agua.
- d) Implementar un sistema de monitoreo que brinde información del comportamiento del sistema completo.
- e) Analizar la incidencia de las variables atmosféricas en la producción de agua caliente.



---

## 5. HIPÓTESIS

El diseño y construcción de un colector solar para calentar agua de uso residencial permitirá el ahorro de energía al evitar la utilización de calentadores eléctricos.

## 6. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

### 6.1. APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR

Entre los aprovechamientos de la energía solar se encuentra la conversión directa de la radiación solar en calor y en electricidad, llamadas conversión fototérmica y fotovoltaica, respectivamente. La energía solar es la causa indirecta de que pueda aprovecharse la energía que proporcionan las plantas y los animales, mejor conocida como biomasa.

También al sol se deben los movimientos de las diferentes masas de aire que ocasionan los vientos; así, la energía eólica o de los vientos es indirectamente energía solar. Además, el depósito de organismos que alguna vez estuvieron vivos en las capas de la corteza terrestre no es otra cosa que los componentes del petróleo, gas y el carbón.

De esa manera, los combustibles fósiles son también indirectamente producto de la energía solar. Finalmente, la energía hidroeléctrica proviene de una enorme máquina térmica, cuyo combustible es precisamente la energía solar. Cuando los rayos del sol calientan el agua de la Tierra se produce vapor de agua; éste se eleva formando nubes; ahí, el vapor de agua se condensa y se precipita, lo que aumenta el nivel de agua de, por ejemplo, un embalse hidroeléctrico.

Mediante su radiación, el sol aporta directa o indirectamente toda la energía que mantiene la vida en la tierra, porque todo el alimento y el combustible proceden en última instancia de las plantas que utilizan la energía de la luz del sol.

Esta energía radiante es el resultado de reacciones nucleares que dan como subproductos luz y calor.

Los sistemas solares pueden clasificarse como

- a) Fotovoltaicos
- b) Fototérmicos

Los sistemas fotovoltaicos transforman la luz del sol en energía eléctrica; estos sistemas funcionan con baterías para el almacenamiento de la energía producida por los paneles y su aplicación es idónea para zonas donde no hay tendidos eléctricos. También hay sistemas que se conectan a las redes de energía eléctrica, estos no utilizan baterías pues parte de la energía producida es inyectada a la red.

En los fototérmicos, la temperatura puede ser baja, intermedia o alta; dependerá de la aplicación que tenga. Para sistemas en viviendas, el rango de temperaturas anda entre los 50°C y 65°C; en sistemas industriales las temperaturas pueden sobrepasar los 100°C, esto dependerá de la tecnología utilizada y no necesariamente será con agua.

---

Las aplicaciones por calentamiento solar pueden ir desde calentar agua para residencias (agua caliente para baños) pasando por uso terapéutico en hospitales, uso comercial en hoteles, uso industrial para el precalentamiento de calderas hasta aplicaciones para generar energía eléctrica a través de turbinas movidas por vapor.

Las aplicaciones descritas fortalecen la utilización de energía renovable proveniente del sol y contribuyen a disminuir el consumo de derivados del petróleo causantes de contaminación al aire y efecto invernadero.

El calor puede transferirse de un lugar a otro por tres métodos diferentes: conducción en sólidos, convección en fluidos (líquidos o gases) y radiación a través de cualquier medio transparente a ella. El método elegido en cada caso es el que resulta más eficiente. Si hay una diferencia de temperatura el calor siempre viajará del lugar más caliente al más frío.

La **conducción** tiene lugar cuando dos objetos a diferentes temperaturas entran en contacto. El calor fluye desde el objeto más caliente hasta el más frío, hasta que los dos objetos alcanzan a la misma temperatura. La conducción es el transporte de calor a través de una sustancia y se produce gracias a las colisiones de las moléculas.

En el lugar donde los dos objetos se ponen en contacto, las moléculas del objeto caliente, que se mueven más deprisa, colisionan con las del objeto frío, que se mueven más despacio. A medida que colisionan las moléculas rápidas dan algo de su energía a las más lentas. Estas a su vez colisionan con otras moléculas en el objeto frío. Este proceso continúa hasta que la energía del objeto caliente se extiende por el objeto frío. Algunas sustancias conducen el calor mejor que otras. Los sólidos son mejores conductores que los líquidos y éstos mejor que los gases. Los metales son muy buenos conductores de calor, mientras que el aire es muy mal conductor.

Puede experimentar como el calor se transfiere por conducción siempre que toca algo que está más caliente o más frío que su piel, por ejemplo, cuando se lava las manos en agua caliente o fría.

En líquidos y gases la **convección** es usualmente la forma más eficiente de transferir calor. La convección tiene lugar cuando áreas de fluido caliente ascienden hacia las regiones de fluido frío. Cuando esto ocurre, el fluido frío desciende tomando el lugar del fluido caliente que ascendió. Este ciclo da lugar a una continua circulación en que el calor se transfiere a las regiones frías. Puede ver como tiene lugar la convección cuando hierve agua en una olla. Las burbujas son las regiones calientes de agua que ascienden hacia las regiones más frías de la superficie. Probablemente estemos familiarizado con la expresión: "el aire caliente sube y el frío baja" - que es una descripción del fenómeno de convección en la atmósfera. El calor en este caso se transfiere por la circulación del aire.

Tanto la conducción como la convección requieren la presencia de materia para transferir calor. La **radiación** es un método de transferencia de calor que no precisa de contacto entre la fuente y el receptor del calor. Por ejemplo, podemos sentir el calor del Sol aunque no podemos tocarlo. El calor se puede transferir a través del espacio vacío en forma de radiación térmica. Esta, conocida también como radiación infrarroja, es un tipo de radiación electromagnética (o luz). La radiación es por tanto un tipo de transporte de calor que consiste en la propagación de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz. No se produce ningún intercambio de masa y no se necesita ningún medio.

---

Los objetos emiten radiación cuando electrones en niveles de energía altos caen a niveles de energía bajos. La energía que se pierde es emitida en forma de luz o radiación electromagnética. La energía absorbida por los átomos hace que sus electrones "salten" a niveles de energía superiores. Todos los objetos absorben y emiten radiación. Cuando la absorción de energía está equilibrada con la emisión, la temperatura del objeto permanece constante. Si la absorción de energía domina, la temperatura del objeto aumenta, si la emisión domina, la temperatura disminuye.

## **6.2. UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA**

Se basa en la captación de la radiación por medio de un elemento denominado colector. Existen tres técnicas diferentes entre sí en función de la temperatura que puede alcanzar la superficie captora. Así se suelen distinguir: baja temperatura, media temperatura y alta temperatura, según que la captación sea directa.

La tecnología de baja temperatura va destinada al calentamiento de agua por debajo de su punto de ebullición. Hay que distinguir los siguientes subsistemas: Subsistema colector. Normalmente están integrados por los siguientes elementos: superficie captadora (normalmente de color negro), circuito por donde circula el fluido, cubierta transparente, aislamiento térmico y caja protectora. Subsistema de almacenamiento. Constituido por depósitos térmicos, siendo su objetivo almacenar el agua caliente que procede de los paneles para su uso posterior. Subsistema de distribución. Formado por redes de tuberías, válvulas, bombas y accesorios, y que tienen por finalidad transportar el agua caliente desde el sistema colector al de acumulación y desde aquí a los puntos de consumo. Subsistema de medida y control.

La tecnología de media temperatura va destinada a aquellas aplicaciones que requieren temperaturas superiores a los 100º C. Este tipo de sistemas se puede utilizar para la producción de vapor o para el calentamiento de otro tipo de fluido, pudiéndose alcanzar hasta los 300º C.

La tecnología de alta temperatura está dirigida a aquellas aplicaciones que requieren temperaturas superiores a los 300º C, fundamentalmente producción de energía eléctrica.

Producir energía térmica sin que exista un proceso de combustión supone, desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio y exento de cualquier tipo de contaminación.

Existen diversas aplicaciones:

- a) Invernaderos
- b) Secadores de grano
- c) En la industria en el precalentamiento de fluidos
- d) Producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS).

## **6.3. EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS**

La eficiencia de un colector solar se define como la relación entre la energía absorbida por el fluido portador del calor y la energía solar incidente sobre el área del mismo. Esto significa que un porcentaje de la radiación solar es transferido al agua para ser almacenada en el termo-depósito.

---

Siempre se pierde radiación debido a la reflexión y además sólo se considera el área de apertura, que es el área expuesta a la radiación incidente del sol.

La eficiencia total del sistema  $\eta$  se calcula como la fracción entre la energía total diaria entregada  $E_i$  y la energía incidente en el panel por el sol  $E_s$ .

Los valores que se pueden obtener van entre 0 y 1 idealmente, pero puede ser mayor a uno cuando se produzca un día soleado y al día siguiente nublado. La eficiencia se muestra en porcentaje al multiplicar por 100. Al medir la eficiencia se obtiene una manera de saber que tan bueno es el SST a modo global.

#### **6.4. CAPTURA DIRECTA DE ENERGÍA SOLAR**

La energía solar térmica de baja temperatura consiste en el aprovechamiento de la radiación proveniente del sol para el calentamiento de un fluido a temperaturas normalmente inferiores a 80°C. Esto se lleva a cabo con los llamados calentadores solares que se aprovechan de las cualidades de absorción de la radiación y transmisión de calor de algunos materiales, y del efecto invernadero que se produce cuando otro material (por ejemplo el vidrio) es transparente a la radiación de onda corta del sol y opaco a la radiación de onda larga que emiten los cuerpos que están calientes.

#### **6.5. EL CALENTADOR SOLAR**

Es un sistema que calienta agua sólo con la energía proveniente del sol y sin consumir gas o energía eléctrica.

Un calentador solar de agua consta principalmente de tres partes:

- a) El colector solar plano, que se encarga de capturar la energía del sol y transferirla al agua
- b) El termo-tanque, donde se almacena el agua caliente
- c) Y el sistema de tuberías por donde el agua circula.

En las ciudades donde se alcanzan temperaturas muy bajas durante las noches, los calentadores deben estar provistos de un dispositivo que evite el congelamiento del agua al interior del colector solar plano.

El funcionamiento de un calentador solar de agua es muy sencillo: se instala normalmente en el techo de la casa y orientado de tal manera que quede expuesto a la radiación del sol todo el día. Para lograr la mayor captación de la radiación solar, se coloca con cierta inclinación (13° de latitud norte para El Salvador), la cual depende de la localización de la ciudad donde sea instalado. El colector solar plano está formado por aletas captadoras conectadas a tubos por donde circula el agua, lo cual permite capturar el calor proveniente de los rayos y transferirlo al agua que circula en su interior.

Pero ¿cómo circula el agua por todo el sistema? Esto se logra mediante el efecto denominado “termosifón”, que provoca la diferencia de temperaturas; el agua caliente es más ligera que la fría y, por lo tanto, tiende a subir. Esto es lo que sucede entre el colector solar plano y el termo-tanque, con lo cual se establece una circulación natural, sin necesidad de ningún equipo de bombeo.

Los usos que se les pueden dar a los colectores solares son principalmente estos cuatro:

- a) Como sistema complementario en el hogar.
- b) Para calentar aguas de piscinas.
- c) Para calefacción.
- d) Para precalentamiento de agua para usos industriales.

## 6.6. CALENTAMIENTO DE AGUA PARA USO HOGAREÑO

En la figura 3 se muestra el esquema de instalación de un sistema de calentamiento de agua para uso hogareño, el sistema consta de:

- a) Un tanque domiciliario el cual contiene el agua fría que abastece a todo el sistema de calentamiento de agua
- b) Un colector plano con tubos paralelos que transportan el fluido a ser calentado (agua), posteriormente el agua sale a determinada temperatura del colector solar.
- c) Un tanque aislado térmicamente en el cual concurren el agua caliente y el agua fría, en el tanque aislado térmicamente existen dos entradas de agua: una entrada de agua fría y una caliente, lo que sucede es que el agua caliente tiene menos densidad y tiende a moverse hacia arriba del tanque, en cambio el agua fría tiene más densidad lo cual hace que se quede en el fondo del tanque y ejerce una fuerza sobre el agua caliente y la empuja hacia el termotanque.
- d) Un termotanque donde el agua debe estar disponible para el uso hogareño, pero la función principal de él es proporcionar agua caliente en días en los que el sol no ha logrado calentar lo suficiente.
- e) Finalmente están las tuberías, las tuberías azules corresponden a aquellas que transportan el agua fría y las tuberías de color rojo transportan el agua caliente.

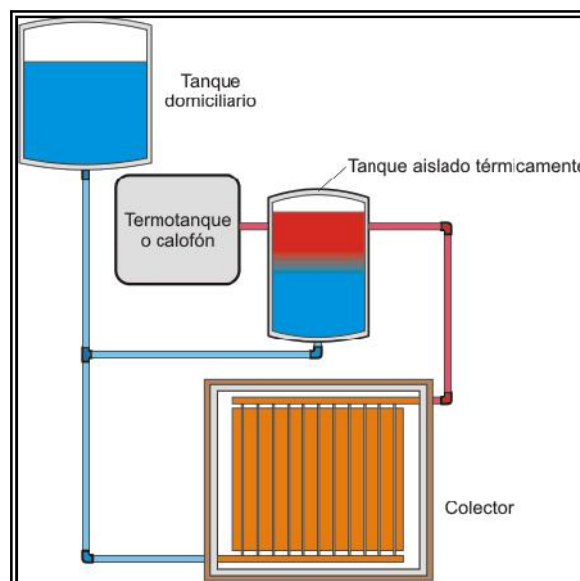


Fig. 3. Esquema de un sistema de calentamiento de agua para el uso del hogar.

## 6.7. TECNOLOGÍAS SOLARES PARA COLECTORES

La recepción directa de la energía solar requiere dispositivos artificiales llamados colectores solares que son diseñados para recoger energía, después de concentrar los rayos del Sol. La energía, una vez recogida, se emplea en procesos térmicos o fotovoltaicos. En los procesos térmicos, la energía solar se utiliza para calentar un gas o un líquido que luego se almacena o se distribuye. En los procesos fotovoltaicos, la energía solar se convierte en energía eléctrica sin ningún dispositivo mecánico intermedio

### 6.7.1. Colector solar

Un colector solar es un dispositivo que sirve para aprovechar la energía de la radiación solar, transformándola en energía térmica para usos domésticos o comerciales.

Los más utilizados son los colectores solares planos, que constan de dos cajas, una dentro de la otra, separadas por un aislante térmico las dimensiones dependerán del volumen de agua a calentar. En el fondo de la caja hay una placa de color negro, con una serie de conductos para llevar un líquido (generalmente agua). Funciona aprovechando el Efecto invernadero.

La radiación incide sobre el vidrio, el cual deja pasar la luz solar y calienta la placa negra que, a su vez, se convierte en emisora de radiación en onda larga (infrarrojos), por su escasa temperatura. El vidrio es opaco a esta radiación, por lo que el recinto de la caja se calienta por encima de la temperatura exterior, a pesar de las pérdidas por transmisión que sufre el vidrio (es un mal aislante térmico). El agua que circula por los conductos se calienta a su vez y transporta la energía térmica a donde se desee.

En la figura 4 se muestra el esquema de funcionamiento de un sistema de calentamiento de agua, el cual es un sistema muy sencillo que consta de un colector solar, un tanque domiciliario, un tanque aislado térmicamente y sus respectivas tuberías para el transporte del agua fría y caliente.

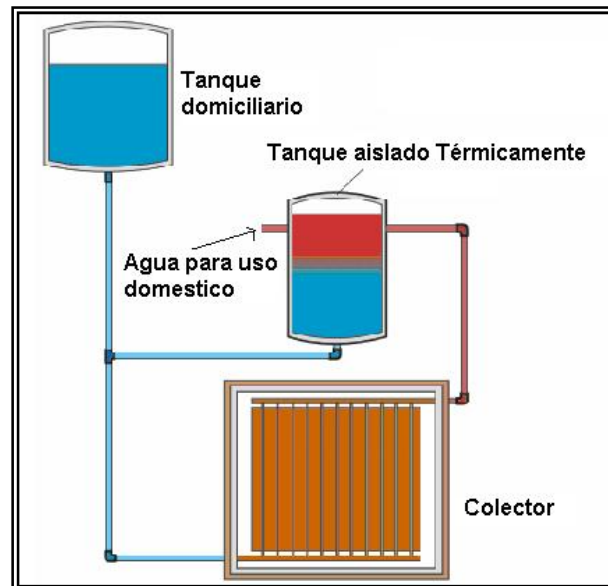


Figura 4

El rendimiento de los colectores mejora cuanto menor sea la temperatura exigida en el caloportador, puesto que a mayor temperatura dentro de la caja (en relación con la exterior), mayores serán las pérdidas por transmisión en el vidrio. También, a mayor temperatura de la placa negra (captadora) menor será la longitud de onda de su radiación y el vidrio tendrá más transparencia a ella

### 6.7.2. Colector solar plano

Los colectores solares planos son sistemas de captación energética en los que la energía solar incidente tiene que atravesar una o varias capas normalmente de vidrio o algún otro material transparente adecuado, antes de alcanzar la placa de absorción negra, que es el elemento más importante del colector solar, al cual está unido el tubo por donde circula en fluido térmico portador del calor.

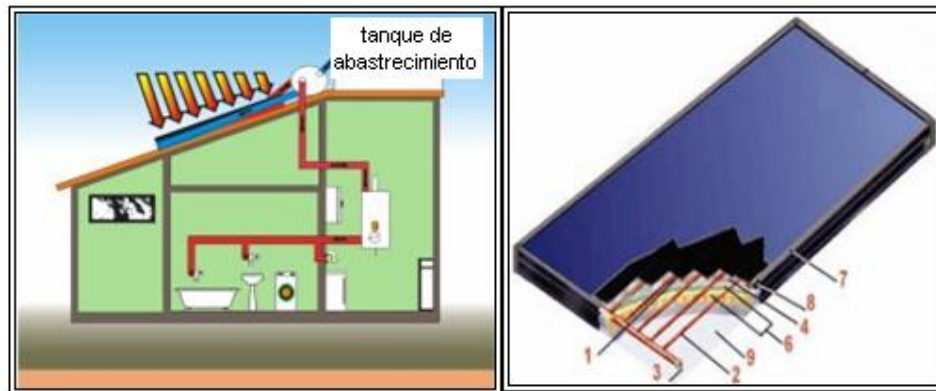


Fig. 5

Este calor, posteriormente es transferido por conducción hacia el fluido de trabajo, que es el que finalmente remueve la energía térmica del colector y la transfiere al tanque de almacenamiento térmico. El vidrio o su sustituto, además de permitir el paso de la radiación solar hasta la placa de absorción, sirve también para minimizar las pérdidas de calor por radiación y convección hacia el medio ambiente por la parte superior del colector, realizando pues un importante doble trabajo.

En cuanto a la configuración de los tubos que van dentro de los colectores solares que transportan el agua para ser calentada existen dos configuraciones muy comunes, una alternativa es la tubería en forma de serpentina y la segunda es construirla con tubos paralelos como los que se muestran en la figura 6

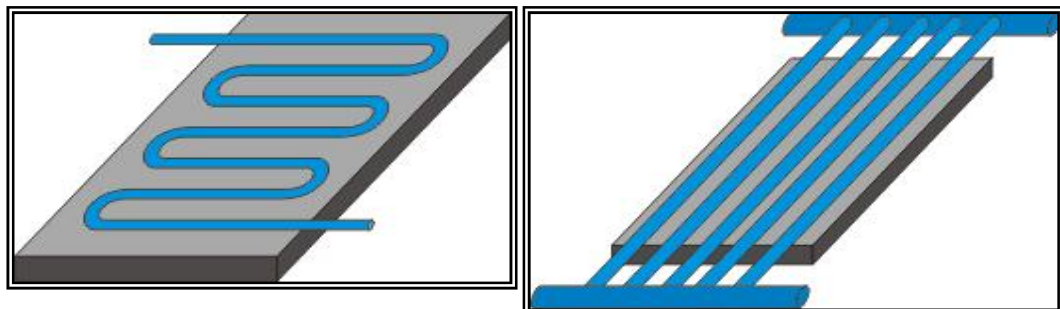


Fig. 6. Un colector de serpentina y uno de tubos paralelos

### 6.7.3. Colectores de Concentración

Estos colectores son usados para aplicaciones de aire acondicionado y para la generación central de energía y de calor para cubrir las grandes necesidades industriales. Los colectores de placa plana no pueden ser usados porque para estos fines se requiere de temperaturas de fluido más elevadas. Por ello se usan los colectores de concentración, dispositivos más complejos y costosos, que reflejan y concentran la energía solar incidente sobre una zona receptora pequeña que permite que la intensidad de la energía solar se incremente y las temperaturas del receptor (llamado 'blanco') pueden acercarse a varios cientos, o incluso miles, de grados Celsius. Para dar un ejemplo de aplicación de este tipo de colectores en la figura 7 se muestra un esquema simplificado de una central generadora de energía eléctrica utilizando colectores solares de concentración.

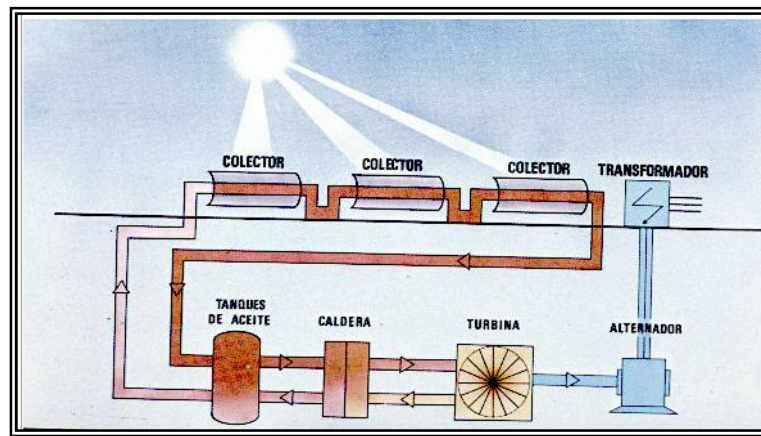


Fig. 7

### 6.7.4. Colectores tubulares

Estos consisten en dos o tres tubos, dos interiores de metal y uno exterior de vidrio, generalmente concéntricos. Entre el tubo de vidrio y el tubo metálico externo, que debe ser negro (y puede ser de cobre) se hace el vacío, ya que la forma tubular permite que los tubos soporten grandes presiones, así como captar la mayor cantidad de radiación solar. Debe señalarse que se hace el vacío para reducir las pérdidas de calor por conducción y convección, con lo cual se consiguen temperaturas más elevadas. El resultado final es que en los colectores tubulares la pérdida de calor por convección y conducción se reduce considerablemente, la temperatura de operación aumenta y su eficiencia real oscila entre 60 y 70%.

Los colectores planos y tubulares tienen la ventaja de que funcionan tanto con radiación difusa como directa. Los colectores de concentración, por su parte, reúnen la radiación solar en un punto o una línea y permiten alcanzar altas temperaturas; pueden estar fijos o seguir el movimiento del Sol. En la figura 8 se muestra un colector solar tubular y además se muestran algunas partes que lo conforman.



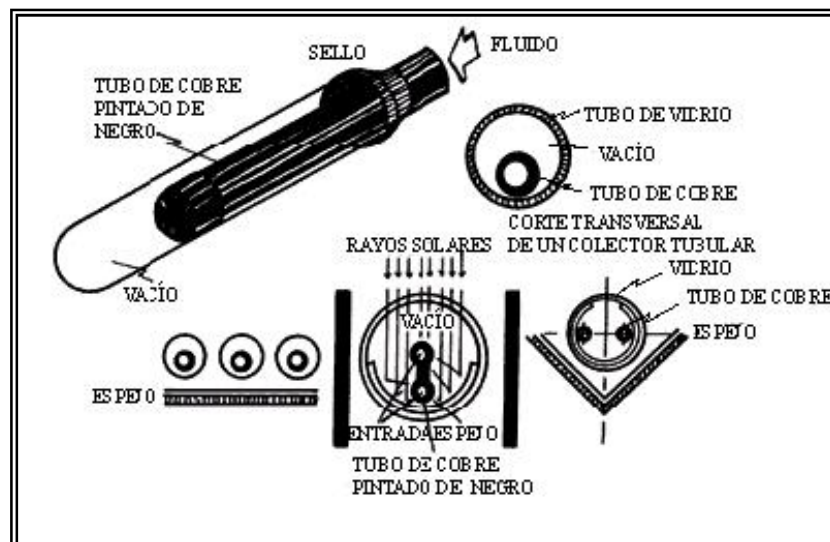


Figura 8

Esquema de un colector solar tubular y las partes que lo constituyen.

## 6.8. MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS

### 6.8.1. Poliéstireno expandido

Elaboradas en base a derivados del petróleo, están constituidas por un termoplástico celular compacto, con un 2% de material y un 98% de aire, lo que origina su alta capacidad de aislamiento térmico.

No dañan la capa de ozono son livianas, de color blanco, rígidas, y prácticamente impermeables al agua, lo que las hace mantener inalterable su capacidad de aislamiento térmico a través del tiempo. Son resistentes a hongos, insectos y roedores. Usadas en construcción, deben contener un ignífugo que las transforme en autoextinguibles (no propagadoras de llama).

### 6.8.2. Fibras minerales

Pueden ser de fibra de roca o de fibra de vidrio. Son ligeras, incombustibles y no inflamables. No emiten gases tóxicos, aún en caso de incendio. Su inconveniente es que absorben fácilmente la humedad, razón por la cual deben quedar siempre bien protegidas. Si están correctamente instaladas, no debieran compactarse, ceder ni deteriorarse con el paso del tiempo.

#### Lana mineral

Se fabrica en base a rocas ígneas con alto contenido de sílice y pequeñas cantidades de basalto y carbonato de calcio. Normalmente, es más densa que la fibra de vidrio. Su alto punto de fusión, les permite mantener sus propiedades aislantes inalteradas incluso a temperaturas muy elevadas.

#### Lana de vidrio

Se fabrica fundiendo arenas con alto contenido de sílice más carbonato de calcio, bórax y magnesio. Es generalmente muy liviana, flexible y de colores amarillo, rosado o blanco. Puede encontrarse suelta y en colchonetas, ya sea en forma de planchas o rollos.

---

### **Espumas de poliuretano**

Pueden venir en rollos o ser aplicadas en spray o mediante inyección en paneles aislantes compuestos. Este material es económico, rápido de instalar, liviano y sirve como barrera de humedad, pero debe ser cubierto o protegido contra incendio.

### **Materiales para temperaturas elevadas**

La conducción de calor es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas, que tienden a igualar su temperatura o estado de excitación térmica.

La conductividad térmica es una propiedad de los materiales que valora la capacidad de conducir el calor a través de ellos. Es elevada en metales y en general en cuerpos continuos.

### **Tubería de Cobre**

Este tipo de tuberías permite paredes lisas y tersas, esto aunado a que no admiten incrustaciones en su interior, permiten conducir los fluidos con un mínimo de pérdidas de presión, conservando el mismo flujo durante la vida útil de la instalación.

El cobre debido a sus características, es sin duda el metal apropiado para la fabricación de tuberías.

El cobre tiene la particularidad de cubrirse de una capa de óxido que penetra en el metal solo unas cuantas micras, esta capa sirve de protección indefinida, de ahí que las tuberías de cobre tengan un excelente comportamiento frente a la totalidad de los materiales de construcción y de los fluidos a conducir, asegurando así una larga vida útil.

### **Tubería CPVC.**

La tubería de CPVC está hecha de un termoplástico especial, conocido químicamente como Poli-Cloruro de Vinilo Clorado (CPVC). Es el resultado de una nueva tecnología que asegura una mejor resistencia del mismo. La tubería de CPVC está fabricada desde ½" hasta 2" generalmente; cumple la norma ATSM D - 28 46.2. El material, está especificado para una presión de trabajo de 7 kg/cm<sup>2</sup> (100 PSI) a 82°C hasta 28 kg/cm<sup>2</sup> (400 PSI) a 23°C,

### **Tubería galvanizada.**

Este tipo de tubería se usa para transportar agua, vapor de agua, aceites y gases y se utiliza muy comúnmente en aquellos casos donde halla altas temperaturas y presiones. Las tuberías de acero galvanizado se especifican por el diámetro interno.

## **6.9. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN**

### **6.9.1. Termómetros**

El termómetro es un instrumento de medición de la temperatura, que usa el principio de la dilatación, por lo que se prefiere el uso de materiales con un coeficiente de dilatación alto de modo que, al aumentar la temperatura, la dilatación del material sea fácilmente visible.

---

### **Termómetros de líquido**

Los termómetros de líquido encerrado en vidrio son, ciertamente, los más familiares: el de mercurio se emplea mucho para tomar la temperatura de las personas, y, para medir la de interiores, suelen emplearse los de alcohol coloreado en tubo de vidrio.

Los de mercurio pueden funcionar en la gama que va de  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$  (punto de congelación del mercurio) a  $357\text{ }^{\circ}\text{C}$  (su punto de ebullición), con la ventaja de ser portátiles y permitir una lectura directa. No son, desde luego, muy precisos para fines científicos.

El termómetro de alcohol coloreado es también portátil, pero todavía menos preciso; sin embargo, presta servicios cuando más que nada importa su cómodo empleo. Tiene la ventaja de registrar temperaturas desde  $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$  (punto de congelación del etanol, el alcohol empleado en él) hasta  $78\text{ }^{\circ}\text{C}$  (su punto de ebullición), cubriendo por lo tanto toda la gama de temperaturas que hallamos normalmente en nuestro entorno.

### **Termómetros de gas**

El termómetro de gas de volumen constante es muy exacto, y tiene un margen de aplicación extraordinario: desde  $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $1477\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pero es más complicado, por lo que se utiliza más bien como un instrumento normativo para la graduación de otros termómetros.

El termómetro de gas a volumen constante se compone de una ampolla con gas -helio, hidrógeno o nitrógeno, según la gama de temperaturas deseada- y un manómetro medidor de la presión. Se pone la ampolla del gas en el ambiente cuya temperatura hay que medir, y se ajusta entonces la columna de mercurio de la ampolla. La altura de la columna de mercurio indica la presión del gas. A partir de ella se puede calcular la temperatura.

### **Termómetros de resistencia de platino**

El termómetro de resistencia de platino depende de la variación de la resistencia a la temperatura de una espiral de alambre de platino. Es el termómetro más preciso dentro de la gama de  $-259\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $631\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y se puede emplear para medir temperaturas hasta de  $1127\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pero reacciona despacio a los cambios de temperatura, debido a su gran capacidad térmica y baja conductividad, por lo que se emplea sobre todo para medir temperaturas fijas.

### **Termómetros de líquido en vidrio**

El vidrio del termómetro debe elegirse por su estabilidad y debe estar bien recocido. El bulbo, a altas temperaturas y presiones, está expuesto a aumento permanente de volumen, ocasionando que la indicación del termómetro sea más baja de lo debido.

Los termómetros de mercurio más exactos están graduados y calibrados para inmersión total; esto es, con todo el mercurio, incluyendo el del tubo, a la temperatura que se está: midiendo.

## **6.9.2. Mediciones de presión**

Las mediciones de presión son las más importantes que se hacen en la industria; sobre todo en industrias de procesos continuos, como el procesamiento y elaboración de compuestos químicos. La cantidad de instrumentos que miden la presión puede ser mucho mayor que la que se utiliza en cualquier otro tipo de instrumento.

---

La presión es una fuerza que ejerce sobre un área determinada, y se mide en unidades de fuerzas por unidades de área. Esta fuerza se puede aplicar a un punto en una superficie o distribuirse sobre esta. Cada vez que se ejerce se produce una deflexión, una distorsión o un cambio de volumen o dimensión.

La intensidad de la presión medida por encima del cero absoluto se denomina presión absoluta. Evidentemente es imposible una presión absoluta negativa. Por lo común los manómetros se diseñan para medir intensidades de presión por encima o por debajo de la presión atmosférica, que se emplea como base.

Las presiones medidas en este modo se denominan presiones relativas o manométricas. Las presiones manométricas negativas indican la cantidad de vacío y en condiciones normales; al nivel del mar; son posibles presiones de hasta  $-14,7$  litros por pulgadas cuadradas (pero no más bajos) ( $-1$  atmósfera).

La presión absoluta es siempre igual a la manométrica más la atmosférica.

$$P \text{ absoluta} = P \text{ manométrica} + P \text{ atmosférica}$$

### **Manómetros.**

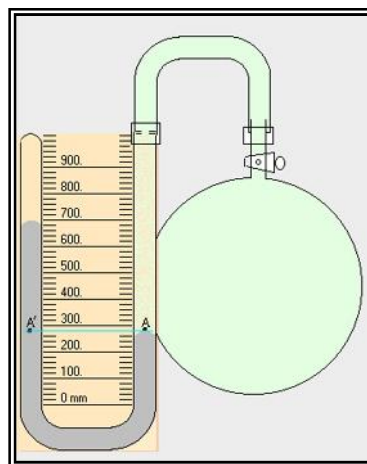
Un manómetro es un tubo; casi siempre doblado en forma de U, que contiene un líquido de peso específico conocido, cuya superficie se desplaza proporcionalmente a los cambios de presión, consiste en un aparato que sirve para medir la presión de los gases contenidos en recipientes cerrados. Existen, básicamente, dos tipos de manómetros: los de líquidos y los metálicos

En los manómetros de otros tipos, la variable de salida es un movimiento mecánico. Son apropiados para actuar sobre transmisores de señal o instrumentos de entrada en los controladores neumáticos.

### **Manómetro de líquido**

Son los instrumentos más antiguos para medir la presión. Se basan en el equilibrio de columnas líquidas. Actualmente se usan poco en procesos industriales en virtud de las desventajas que resultan de la presencia del líquido.

El Manómetro de tubo en U de ramas iguales permite medir la presión a la que se encuentra un gas; consta de un tubo en U con Hg. tapado por uno de sus extremos. Se conecta el tubo en U con el depósito que contiene el gas. A mayor presión del gas, mayor es la diferencia de alturas entre las dos ramas de Hg. Para medir la presión del gas basta con tener en cuenta que los puntos de líquido que estén a la misma altura (A y A') tienen la misma presión.



## Manómetros metálicos

Se basan en el uso de la elasticidad de los cuerpos, de manera que se conecta el fluido sujeto a la medición a un tubo metálico elástico tal que su curvatura se modifica con arreglo a la variación de la presión atmosférica como a continuación se muestra en la figura 9.

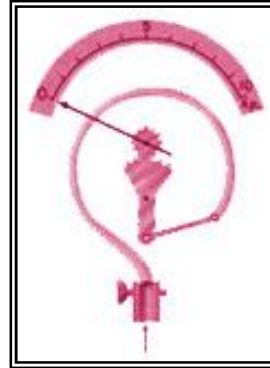


Fig. 9. Modelo esquemático de un manómetro metálico

## 6.10. VÁLVULAS

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos.

La palabra flujo expresa el movimiento de un fluido, pero también significa para nosotros la cantidad total de fluido que ha pasado por una sección determinada de un conducto. Caudal es el flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de fluido que circula por una sección determinada del conducto en la unidad de tiempo.

### Válvulas de retención (check).

La válvula de retención figura 10 está destinada a impedir una inversión de la circulación. La circulación del líquido en el sentido deseado abre la válvula; al invertirse la circulación, se cierra. Hay tres tipos básicos de válvulas de retención:

- 1) Válvulas de retención de columpio
- 2) De elevación
- 3) De mariposa.

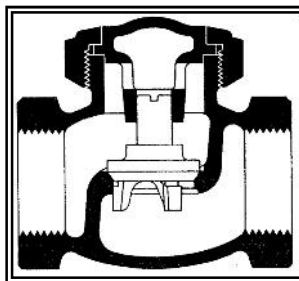


Fig. 10. Válvula de retención

## 6.11. ESCALAS DE TEMPERATURA

A partir de la sensación fisiológica, es posible hacerse una idea aproximada de la temperatura a la que se encuentra un objeto. Pero esa apreciación directa está limitada por diferentes factores; así el intervalo de temperaturas a lo largo del cual esto es posible es pequeño; además, para una misma temperatura la sensación correspondiente puede variar según se haya estado previamente en contacto con otros cuerpos más calientes o más fríos y, por si fuera poco, no es posible expresar con precisión en forma de cantidad los resultados de este tipo de apreciaciones subjetivas. Por ello para medir temperaturas se recurre a los termómetros.

### Escala Celsius

El científico sueco Anders Celsius (1701-1744) construyó por primera vez la escala termométrica que lleva su nombre. Eligió como puntos fijos el de fusión del hielo y el de ebullición del agua, tras advertir que las temperaturas a las que se verificaban tales cambios de estado eran constantes a la presión atmosférica. Asignó al primero el valor 0 y al segundo el valor 100, con lo cual fijó el valor del grado centígrado o grado Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) como la centésima parte del intervalo de temperatura comprendido entre esos dos puntos fijos.

### Escala Fahrenheit

En los países anglosajones se pueden encontrar aún termómetros graduados en grados Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). La escala Fahrenheit difiere de la Celsius tanto en los valores asignados a los puntos fijos, como en el tamaño de los grados. Así al primer punto fijo se le atribuye el valor 32 y al segundo el valor 212.

Para pasar de una a otra escala es preciso emplear la ecuación:

$$t(^{\circ}\text{F}) = 1,8 \cdot t(^{\circ}\text{C}) + 32$$

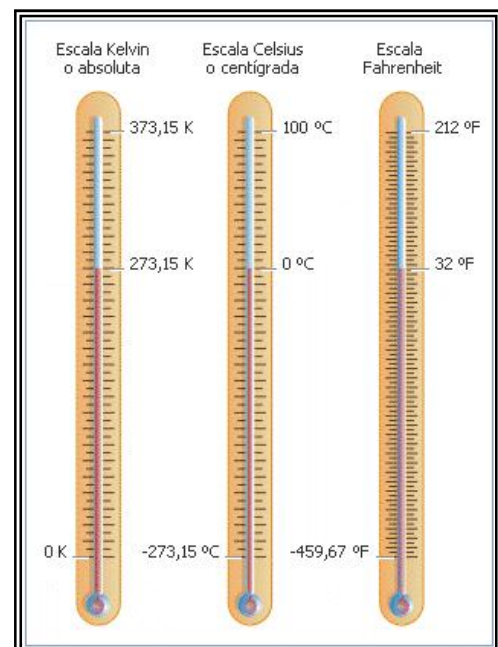
Donde  $t(^{\circ}\text{F})$  representa la temperatura expresada en grados Fahrenheit y  $t(^{\circ}\text{C})$  la expresada en grados Celsius.

### Escala Kelvin

La escala de temperaturas adoptada por el Sistema Internacional (SI) es la llamada escala absoluta o Kelvin. En ella el tamaño de los grados es el mismo que en la Celsius, pero el cero de la escala se fija en el  $-273,16^{\circ}\text{C}$ . Este punto llamado cero absoluto de temperaturas es tal que a dicha temperatura desaparece la agitación molecular, por lo que, según el significado que la teoría cinética atribuye a la magnitud temperatura, no tiene sentido hablar de valores inferiores a él. El cero absoluto constituye un límite inferior natural de temperaturas, lo que hace que en la escala Kelvin no existan temperaturas bajo cero (negativas).

La relación con la escala Celsius viene dada por la ecuación:

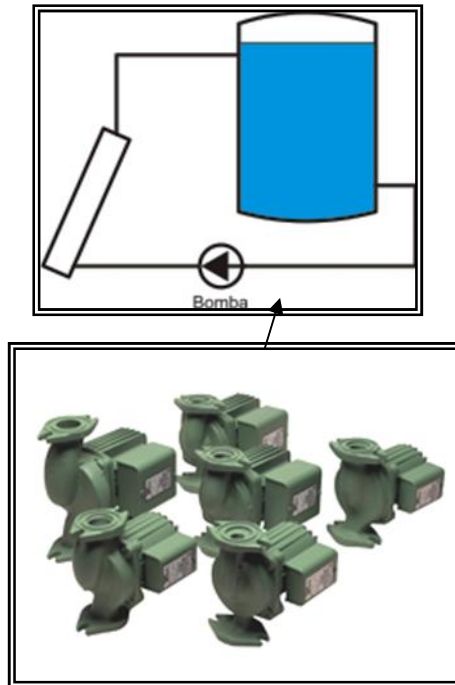
$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,16$  Siendo  $T(\text{K})$  la temperatura expresada en grados Kelvin o simplemente en Kelvin.



## 6.12. BOMBAS PARA AGUA

Se puede usar una pequeña bomba para la circulación del agua (circulación forzada). En este caso los colectores se pueden ubicar encima del techo y el tanque puede colocar algún lugar dentro del edificio. En el caso que el tanque esté ubicado abajo del colector, se necesita una bomba de 1/16 HP para la circulación.

Para este sistema se acude a una bomba que hace que el agua circule a través del colector y nuevamente hacia el acumulador. Los productos para circulación del agua se fabrican en una variedad de materiales, entre ellos bronce, hierro fundido y acero inoxidable.



Bombas típicas utilizadas para la circulación del agua

## 6.13. PLATAFORMA ARDUINO

Es una plataforma de prototipos para electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos.

Arduino puede “sentir” el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El microcontrolador de la placa se programa usando el *Arduino Programming Language* (basado en Wiring) y el *Arduino Development Environment* (basado en Processing). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo con *Flash*, *Processing*, *MaxMSP*, etc.). Las placas se pueden ensamblar a mano o encargarlas preensambladas; el software se puede descargar gratuitamente. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, por lo que es libre adaptarlas a las necesidades.



## 6.14.      **SENSORES DE TEMPERATURA**

La temperatura se puede medir utilizando un sensor de temperatura de los diferentes tipos que existen. Todos ellos infieren la temperatura al detectar algún cambio en una característica física. Hay seis tipos de sensor: termopares, dispositivos de temperatura resistivos (RTD y termistores), radiadores infrarrojos, dispositivos bimetálicos, dispositivos de dilatación de líquido, y dispositivos de cambio de estado.

### **Termopares**

Los termopares consisten esencialmente en dos tiras o alambres hechos de metales diferentes y unidos en un extremo. Los cambios en la temperatura en esa junta inducen un cambio en la fuerza electromotriz (FEM) entre los otros extremos.

A medida que la temperatura sube, esta FEM de salida del termopar aumenta, aunque no necesariamente en forma lineal.

### **Sensor de temperatura por resistencia RTD**

Los dispositivos termométricos de resistencia aprovechan el hecho de que la resistencia eléctrica de un material cambia al cambiar su temperatura. Dos tipos de sensores de temperatura clave son los dispositivos metálicos (normalmente conocidos como RTD) y los termistores. Como su nombre indica, los RTD confían en el cambio de resistencia en un metal, con la resistencia aumentando en forma más o menos lineal con la temperatura. Los termistores se basan en el cambio de resistencia en un semiconductor de cerámica; la resistencia cae en forma no lineal con el aumento en la temperatura.

### **Sensor de temperatura bimetálico**

Los dispositivos bimetálicos aprovechan la diferencia en la tasa de dilatación térmica entre diferentes metales. Se unen entre sí tiras o dos metales. Cuando se calientan, un lado se dilatará más que el otro, y la curvatura resultante se traduce a una lectura de temperatura mediante una articulación mecánica a un apuntador. Estos dispositivos son portátiles y no requieren una fuente de alimentación, pero normalmente no son tan sensibles como los termopares o RTD y no se prestan fácilmente al registro de temperatura.

### **Sensor de temperatura por dilatación de fluido**

Los dispositivos de dilatación de fluido, cuyo ejemplo típico es el termómetro doméstico, en general vienen en dos clasificaciones principales: el tipo de mercurio y el tipo de líquido orgánico. También hay disponibles versiones que usan gas en lugar de líquido. El mercurio se considera un riesgo ambiental, así



---

que hay regulaciones que rigen el embarque de dispositivos que lo contienen. Los sensores de dilatación de fluido no requieren energía eléctrica, no plantean riesgos de explosión y son estables incluso después de ciclos repetidos. Por otra parte, no generan datos que se registren o transmitan fácilmente, y no pueden hacer mediciones puntuales.

### **Sensor de temperatura por cambio de estado**

Los sensores de cambio de estado consisten en etiquetas, pellets o gránulos, crayones, lacas o cristales líquidos cuya apariencia cambia una vez que se alcanza cierta temperatura. Se usan por ejemplo con trampas de vapor: cuando una trampa supera una cierta temperatura, un punto blanco en una etiqueta de sensor adherida a la trampa se volverá negra. El tiempo de respuesta típicamente es de varios minutos, así que estos dispositivos con frecuencia no responden a los cambios de temperatura transitorios, y la precisión es más baja que con otros tipos de sensores. Además, el cambio en estado es irreversible, excepto en el caso de las pantallas de cristal líquido. Aun así, los sensores de cambio de estado pueden ser útiles cuando se necesita confirmación de que la temperatura en un equipo o material no ha superado un cierto nivel; por ejemplo, por razones técnicas o legales durante el embarque del producto.

## **7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **7.1. CONSUMO DE AGUA CALIENTE EN UNA CASA**

Para dimensionar un calentador, se debe definir cuánta agua caliente se requiere, tanto en forma simultánea como a lo largo del día.

Para el consumo de agua para la regadera se tiene normado (Sección Mexicana de International Solar Energy Society) un promedio de 9 litros/minuto

Una recomendación práctica para el dimensionamiento de un Colector Solar de Agua, es considerar el consumo de agua caliente para el baño (ducha) en 50 litros por persona/día.

### **7.2. CÁLCULO DEL ÁREA DEL COLECTOR SOLAR.**

Para este caso se calcula dicha área en base a la cantidad que se desea de agua caliente, las unidades se presentan en Litros para el caso del agua y m<sup>2</sup> para el caso del área del colector, entonces se determinan:

- a) Para el baño de las personas, cada una de esta utilizan como mínimo 50 litros (diariamente).
- b) Se determina la cantidad de energía requerida, en volumen de agua caliente.
- c) Definir el área del colector.

Entonces, se define, en litros, el volumen de agua que se requiere calentar, a partir de la siguiente expresión:

$$L = (M)(C_P)(T_C - T_F)$$

Donde:

**L** = Cantidad de energía requerida en el agua caliente (kJ/día)

**M**= Cantidad de agua caliente requerida (lt/día)

**Cp** = Calor específico del agua (4.2 kJ/kg °C)

**Tc** = Temperatura del agua caliente requerida (50 °C)

**Tf** = Temperatura del agua de la red pública (20°C) en el sitio

Una vez calculada la energía requerida en el agua caliente, se determina el tamaño del colector solar plano, utilizando la siguiente fórmula:

$$A = \frac{L}{(\eta_{\text{solar}}) (I_{\text{max}})}$$

Donde:

**A** = Área del colector solar requerido (m<sup>2</sup>).

**L** = Cantidad de energía que debe contener el agua caliente (kJ/día).

**η<sub>solar</sub>** = Eficiencia del colector solar (%).

**I<sub>máx</sub>** = Radiación solar máxima diaria (kWh/m<sup>2</sup>/día) - En el sitio-

**Nota:** Estas ecuaciones han sido obtenidas de los estudios realizados por la asociación Nacional de Energía Solar A.C (Sección Mexicana de International Solar Energy Society)

### 7.3. DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR

Como se mencionó anteriormente, existen diferentes tipos de colectores, dentro de estos se encuentran:

- a) Placa plana
- b) Concentración
- c) Tubular

También se puso de manifiesto dos tipos de sistemas que existen para el calentamiento de agua a base de colectores.

- a) Pasivo o por circulación natural (termosifón)
- b) Activo o por circulación forzada (bombeo)

Este diseño consistió en el colector tipo placa plana y de sistema activo (bombeo), la descripción del sistema es:

- a) Circulación forzada; que se realizará por medio de una bomba aproximadamente de 1/3 de hp que conllevará un flujo constante de agua, para que el ciclo pueda mantener siempre lleno el tanque de almacenamiento
- b) Válvula check; para evitar en su momento el regreso de agua caliente, a las tuberías suministradoras y así se evite afectar el sistema.
- c) Tuberías de CPVC; ya que están diseñadas para el transporte de agua caliente y comparada con el precio del cobre es más conveniente, accesorios de CPVC como codos y derivaciones en T.
- d) Dos cajas metálicas; que son las captadoras en donde la tubería se calentará para lograr así la mayor captación de energía térmica, se pintarán de negro para permitir con más facilidad el proceso anterior.
- e) Una placa de vidrio; ésta se encargará de dejar pasar los rayos infrarrojos del sol y no dejarlos salir, esta placa tiene que ser de un material resistente ya que estará a la intemperie.
- f) Tanque de almacenamiento; el cual consistirá en un barril aislado térmicamente con capacidad para 205 litros de agua.
- g) Fibra de vidrio; que se utilizó como material aislante para las cajas y para el tanque de almacenamiento.
- h) Rubatex; para aislar las tuberías y evitar las pérdidas de calor en el transcurso colector-tanque.

#### 7.4. CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA

##### 7.4.1. Cálculo del área del colector solar

Se tiene la ecuación

$$L = (M)(C_P)(T_C - T_F)$$

Datos para el caso de la construcción:

50 litros de agua (diariamente) para el baño de las personas

$M = 50 \times 4$  habitantes = 200 litros/ día.

$C_p$  = Calor específico del agua (4.2 kJ/kg °C)

$\Delta T = 30$  °C

$L = (200 \text{ ltrs/día}) (4.2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}) (30 \text{ } ^\circ\text{C})$

$L = 25200$  kJ/día el dato a ocupar en la ecuación del colector es anual

**Entonces:**

$L = (25200) (365 \text{ días})$

Se requerirá 9.072 millones de kJ/ año.

**L = 9.072 millones de kJ/ año.**

---

La cantidad de energía que se ha calculado en este punto es el total de energía que el agua contenida dentro del tanque térmico ha ganado durante todo el año.

#### Para el área del colector

De la ecuación

$$A = \frac{L}{(\eta_{\text{solar}}) (I_{\text{max}})}$$

$\eta_{\text{solar}} = 74\%$  eficiencia del colector (referencia boiler de gas) típica-usado

$I_{\text{máx}} = 5.58 \text{ Kwh /m}^2 \text{ /día}$  (Fuente CNE)

$$A = \frac{9.07}{.74 \mid 5.58}$$

**A= 2.19 m<sup>2</sup> ≈ 2.00 m<sup>2</sup>.**

El área del colector para poder calentar 200 litros de agua a una temperatura aproximada de 50 °C dentro del captador.

### 7.5. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

- a) Lámina galvanizada calibre 22
- b) Vidrio de 4 mm de grosor
- c) Pintura negra sin brillo
- d) Remaches pop de 3/16 x ½ pulgada
- e) Fibra de vidrio
- f) Tubo CPVC mas accesorios
- g) Pegamento para CPVC

La caja de lámina tiene las dimensiones de 1.85 m largo x .99m de ancho x 7 cm de alto, este material también fue adecuado a las dimensiones del vidrio mallado para tener una medida que este en concordancia para la construcción del colector solar.

## 7.6. CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR DE CALOR

Teniendo los materiales necesarios para la construcción, se pasa a tomar las medidas de los tubos en base de la caja, se colocan las “T” distribuidas en la caja haciendo la simulación que de esa manera se colocarán los tubos y dejando un margen de espacio de 3 cm. entre la caja y cada T, ver figura



Luego se pasa a tomar las medidas en los tubos, para este caso es de 1.74 mts.

El calor neto absorbido por la placa es transferido a los tubos verticales (por los que circulará el agua), **con una separación de 10cm entre ellos.**

Con el fin de aprovechar al máximo la radiación solar un mayor período durante el año, este colector debe colocarse con una inclinación de 10 a 15° respecto a la horizontal y hacia al Sur<sup>6</sup>.



Tubos de CPVC cortados a la medida de la caja colectora ya dispuestos para su uso.

Los tubos quedarán colocados paralelamente entre si, este paso se hace como una pequeña simulación para la verificación de las distancias entre tubos y su correcta instalación dentro de la caja.



Tubos de CPVC instalados provisionalmente en el colector.

Luego se miden las distancias de las “T” de centro a centro, para hacer una distribución uniforme en la colocación los tubos paralelos, para este caso fueron 10 cm.



Medición de las “T” dentro de la caja para su instalación.

Dentro de este paso, también se mide la separación para cortar los tubos y tener fracciones pequeñas que servirán de uniones entre las “T”, para este caso son 7cm de longitud. Luego se pasa a unir las piezas para tener una perspectiva acerca de cómo quedaría el sistema de tuberías interna de la caja colectora. En la figura se muestra las conexiones de las “T” y los tubos paralelos.



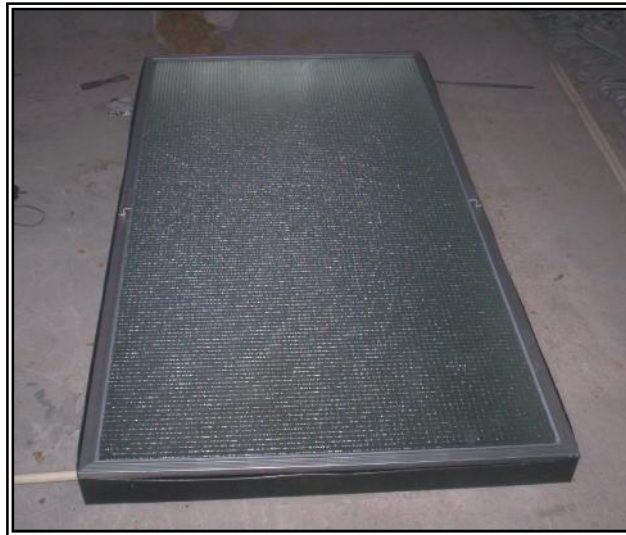
### 7.7. COLOCACIÓN DE MATERIAL AISLANTE.

Para este caso se utilizará fibra de vidrio en la caja 2 (caja externa), así este material servirá para darle la mayor concentración de calor y evitar pérdidas de calor en el colector.



Colocación de la caja 1 dentro de la caja 2.

Por último, se coloca la placa plana de vidrio la cual tiene un espesor de 4 mm para hacer el asentamiento final de la fibra y las cajas ya que esta tiene un peso considerable.



Colocación de la placa de vidrio para el asentamiento de las cajas y la fibra de vidrio.

### **Preparación del termo-tanque.**

Como primera etapa, es pintarlo completamente de color negro, se puede utilizar pistola o algún otro método. El tanque quedará de esta manera completamente de negro y listo para el siguiente proceso que es hacer orificios para el ingreso de la tubería.



#### **1.1.1. Preparación del envoltorio del tanque de almacenamiento.**

Se tiene la parte que cubrirá el tanque esto se le conoce como camisa, hecho de lámina Nº24 galvanizada de 66cm de ancho x 1.50 m de alto.





### **Montaje de colector y termo-tanque**

El procedimiento fue el siguiente:

- a) Para el colector se construyó una estructura de hierro para soportarlo, se le dió una inclinación de 15°. Esta estructura quedó anclada en la loza del edif. I, aula 104.
- b) El termotanque fue colocado dentro del aula I-104
- c) La bomba también se montó en la misma aula
- d) Se procedió a conectar toda la tubería, tanto la de agua fría como la de caliente; a esta última se le colocó aislante térmico.

### **1.2. Conexión del circuito de control:**

Se procedió a conectar el sistema de monitoreo y control:

- I. Tarjeta ARDUINO.
- II. Tarjeta ETHERNET
- III. Tarjeta Reloj de tiempo real
- IV. Memoria SD
- V. Protecciones.
- VI. Sensor de temperatura.

## **2. Alcances / Resultados Esperados**

Como resultados de este proyecto de investigación se obtuvo lo siguiente:

- a) El objeto del proyecto fue construir un calentador de agua utilizando energía solar, lo cual se cumplió.
- b) Las temperaturas obtenidas oscilan entre 40 °c y 50°c.

---

## 8. CONCLUSIONES

- a) Durante la ejecución del proyecto se comprobó que es posible que una persona que se proponga comprender el funcionamiento del colector será capaz de construirlo.
- b) Se comprobó que el material de PVC para alta temperatura brinda buenos resultados en la transferencia del calor solar hacia el agua circulante dentro de la tubería.
- c) De igual forma se obtuvo buenos resultados con la construcción del depósito térmico el cual fue aislado con fibra de vidrio.
- d) La fabricación de las cajas (interna y externa) del colector pueden ser elaboradas en talleres de mecánica.
- e) Finalmente se concluye que es posible obtener agua caliente a partir de la energía del sol.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fernández Salgado, José M<sup>a</sup>. “Tecnología de las energías renovables”. Madrid: AMV Ediciones, 2009.

Perales Benito, Tomás. “Instalación de paneles solares térmicos: componentes, instalación, desarrollo de proyectos”. México: Alfaomega, 2008.

Perales Benito, Tomás. “Instalación de paneles solares térmicos: componentes, instalación, desarrollo de proyectos”. México: Alfaomega, 2008.

## 10.ANEXOS



Termotanque conectado al sistema de bombeo de recirculación.



Colector solar



Circuito de control utilizando tecnología ARDUINO



Bomba para recirculación del agua



## **VISIÓN**

*Ser una institución educativa líder en educación tecnológica a nivel nacional y regional, comprometida con la calidad, la empresarialidad y la pertinencia de nuestra oferta educativa.*

## **MISIÓN**

*Formar profesionales integrales y competentes en áreas tecnológicas que tengan demanda y oportunidad en el mercado local, regional y mundial, tanto como trabajadores y como empresarios.*

## **VALORES**

**EXCELENCIA:** *Nuestro diario quehacer está fundamentado en hacer bien las cosas desde la primera vez.*

**INTEGRIDAD:** *Actuamos congruentemente con los principios de la verdad en todas las acciones que realizamos.*

**ESPIRITUALIDAD:** *Desarrollamos todas nuestras actividades en la filosofía de servicio, alegría, compromiso, confianza y respeto mutuo.*

**COOPERACIÓN:** *Actuamos basados en el buen trabajo en equipo, la buena disposición a ayudar a todas las personas.*

**COMUNICACIÓN:** *Respetamos las diferentes ideologías y opiniones, manteniendo y propiciando un acercamiento con todo el personal.*

La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA - FEPADE, fundada en 1969, es una institución estatal con administración privada, conformada actualmente por 5 campus: Sede Central Santa Tecla y cuatro centros regionales ubicados en Santa Ana, San Miguel, Zacatecoluca y La Unión.



**SEDE CENTRAL  
SANTA TECLA**

Km. 11.5 Carretera a Santa Tecla, La Libertad.  
Tel. (503) 2132-7400  
Fax. (503) 2132-7599



**CENTRO REGIONAL  
SANTA ANA**

Final 10a. Av. Sur,  
Finca Procavia  
Tels. (503) 2440-4348  
y (503) 2440-2007  
Tel./Fax. (503) 2440-3183



**CENTRO REGIONAL  
MEGATEC ZACATECOLUCA**

Km. 64 1/2, desvío Hacienda El Nilo, sobre autopista a Zacatecoluca y Usulután.  
Tels. (503) 2334-0763  
y (503) 2334-0768



**CENTRO REGIONAL  
SAN MIGUEL**

Km. 140, Carretera a Santa Rosa de Lima.  
Tels. (503) 2669-2292  
y (503) 2669-2298  
Fax. (503) 2669-0061



**CENTRO REGIONAL  
MEGATEC LA UNIÓN**

Calle Santa María, Col. Belén, atrás del Instituto Nacional de La Unión.  
Tel. (503) 2668-4700