



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**La energía solar en edificación; un estudio de los diferentes tipos de energía solar aplicable a edificación. Caso estudio del tipo de energía solar térmica para su dimensionado, instalación y cuantificación del ahorro de energía convencional.**

Rafael Salcedo Villanueva

Director de Tesis: Dr. Enrique Cesar Valdés



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme representarla y ser parte de ella. Al Dr. Enrique Cesar Valdés por todo el apoyo que me dio y sobre todo por la confianza en invitarme a impartir las clases de abastecimiento de agua potable y alcantarillado; esa experiencia me ha permitido crecer en todos los sentidos. A la M.I Azucena Escobedo Izquierdo, Ing. Elisa Viñas y compañeros del proyecto Alexis y Niuni, todos ellos del proyecto de energía alterna, que me brindaron apoyo para el trabajo.

A los profesores: Héctor Sanguinés, Demenegui, Ricardo Padilla, Ing. Carbajal, Enrique Barranco, Dr. Pedro, por ser más que buenos profesores, ser también amigos míos.

## Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mis padres, Guillermo y Cristina, por darme la confianza que se necesita para realizar una carrera y por siempre darme el apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida. A mis hermanos Memo y Jesús, por ser hoy y siempre mis hermanos; mis abuelos O y Guiguí, por su cariño infinito y enseñarme lo importante de la unidad en la familia. A toda mi familia por apoyarme en todas las etapas de mi vida. A mis amigos: Everardo, Jacques, Pablo (Leeboy), Tatiana, Iván, Gallo, Aldo, Andrew, Poncho, Jorge, Pips, Samantha, Brand, Simon, Betty, Tomas, Dicarpio, Francisco (kiks), Luis, Bere, Chava, Logan, Chon, Marco, Pepe y Dani. Por estar siempre conmigo en buenos y malos momentos.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCG/SEAC/UTIT/038/09

Señor  
RAFAEL SALCEDO VILLANUEVA  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. ENRIQUE CÉSAR VALDÉZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"LA ENERGÍA SOLAR EN EDIFICACIÓN; UN ESTUDIO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ENERGÍA SOLAR APLICABLE A EDIFICACIÓN. CASO ESTUDIO DEL TIPO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA SU DIMENSIONADO, INSTALACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL AHORRO DE ENERGÍA CONVENCIONAL"**

- INTRODUCCIÓN
- I. CONCEPTOS BÁSICOS Y NORMATIVIDAD EN MÉXICO
  - II. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA
  - III. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA
  - IV. ENERGÍA SOLAR PASIVA
  - V. APLICACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN VIVIENDA PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA
  - VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 13 de Mayo del 2009.  
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA  
GGZ/RSU/gar.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCG/SEAC/UTIT/038/09

**DR. ENRIQUE CÉSAR VALDÉZ**  
Presente

El señor RAFAEL SALCEDO VILLANUEVA de la carrera de INGENIERO CIVIL, me ha solicitado designar al profesor que le señale Tema de Tesis para su Examen Profesional.

En atención a esa solicitud ruego a usted se sirva formular el Tema solicitado y enviarlo a esta Dirección para comunicarlo oficialmente al interesado.

Doy a usted de antemano las más cumplidas gracias por su atención y le reitero las seguridades de mi consideración más distinguida.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 13 de Mayo del 2009.  
EL DIRECTOR

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'GGZ', written over a diagonal line.

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA

GGZ/RSU\*gar.

**La energía solar en edificación; un estudio de los diferentes tipos de energía solar aplicable a edificación. Caso estudio del tipo de energía solar térmica para su dimensionado, instalación y cuantificación del ahorro de energía convencional.**

Capítulo 1: Introducción

- Antecedentes
- Objetivos
- Alcances

Capítulo 2: Conceptos básicos y normativa en México.

- 2.1 Ingeniería de la energía solar
- 2.2 Instrumentos de medición
- 2.3 Qué se obtiene del Sol
- 2.4 Normatividad en materia de energía solar en México

Capítulo 3: Energía Solar Fotovoltáica

- 3.1 Aplicaciones
- 3.2 Funcionamiento del sistema
- 3.3 Componentes
- 3.4 Instalación y mantenimiento de los paneles

Capítulo 4: Energía Solar Térmica

- 4.1 Aplicaciones
- 4.2 Funcionamiento del sistema
- 4.3 El sistema
- 4.4 Componentes
- 4.5 Circuito Hidráulico

4.6 Configuraciones de los sistemas

4.7 Dimensionado de los sistemas

4.8 Proyectos de Instalación

## Capítulo 5: Energía Solar Pasiva

Funcionamiento del sistema

5.1 Arquitectura Bioclimática

5.2 Métodos de aprovechamiento de energía

## Capítulo 6: Aplicación de energía solar térmica en vivienda para el calentamiento de agua sanitaria.

6.1 Dimensionamiento

6.2 Instalación

6.3 Revisión y propuesta

6.4 Cuantificación de ahorro de energía convencional

## Capítulo 7: Conclusiones

Anexo 1

Bibliografía



## CAPÍTULO 1: Introducción



Dios Ra, de la mitología egipcia. Dios que representa al Sol

En el presente trabajo se describen los usos diversos de la energía solar en la edificación. Para poder entrar en materia y entender la importancia del estudio de esta fuente de energía se explica primero la situación mundial actual del uso de fuentes convencionales de energía, que constituyen un problema de ámbito ambiental principalmente, y no menos importante, el problema del agotamiento de los combustibles fósiles que atañe al ámbito energético.

El sistema climático global está experimentando una alteración de origen antropogénico asociada a las emisiones de gases de efecto invernadero, causada por los combustibles fósiles.

El despertar de la responsabilidad humana ha iniciado una época de investigación y sensibilización frente a la necesidad de obtener un ahorro energético y la utilización cada vez mayor de fuentes de energía alternas y renovables.

Energía renovable: aquella que procede del flujo de energía que recibe continuamente la Tierra. Con tan solo conocer esta definición, se prevé que sea la fuente de energía, que lógicamente debe prevalecer en el futuro.

En el sentido humano, tiene un mayor significado, el problema de la contaminación del planeta.

De acuerdo con las Naciones Unidas, de seguir así el patrón de uso de éstos combustibles y el incremento en la concentración de dichos gases, la temperatura global podría aumentar de 1.4 a 5.8 ° C en el presente siglo. Estos resultados causarían grandes efectos adversos en nuestro planeta. El nivel medio del mar podría entonces aumentar hasta 88 cm, ocasionando un cataclismo de proporciones catastróficas en distintas regiones del mundo.(Fig 1.1)

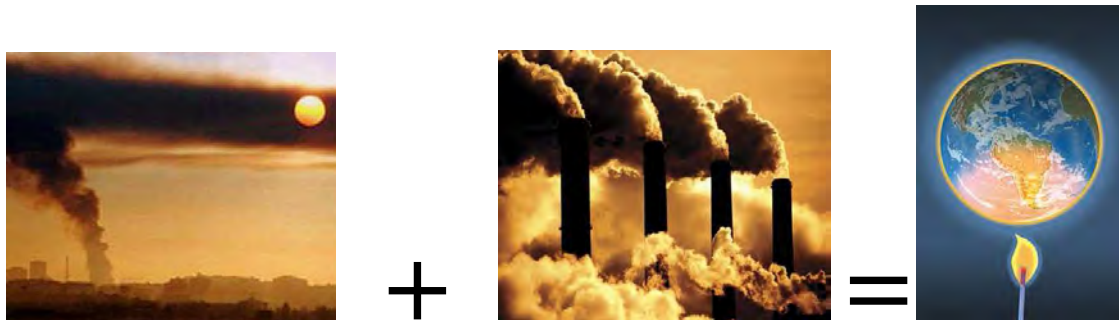


Figura 1.1. El sistema climático global está siendo alterado debido a las emisiones de gases producidos por el uso de combustibles fósiles.

La reducción de la emisión de estos gases es entonces una cuestión humana imprescindible; para los ingenieros es, además, una cuestión de factibilidad técnica y económica.

Por otro lado tenemos la cuestión energética. La crisis energética mundial está provocando un cambio de mentalidad. El despertar de la responsabilidad humana ha iniciado una época de investigación y sensibilización frente a la necesidad de obtener un ahorro energético y la utilización cada vez mayor de fuentes de energía alternas y renovables.

Se entiende por energía renovable aquella que procede del flujo de energía que recibe continuamente la Tierra. Con tan solo conocer esta definición, se prevé que sea la fuente de energía, que lógicamente debe prevalecer en el futuro.

Hablando del caso de la Ciudad de México, y particularmente en el caso del calentamiento del agua para usos residenciales, comerciales o industriales, se debe considerar el hecho de que los métodos para calentar el agua hoy en día requieren de combustibles fósiles o electricidad que a su vez es generada en la mayoría de los casos por los mismos combustibles convencionales, los cuales generan diversos contaminantes atmosféricos, entre ellos bióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, ozono y partículas suspendidas.

Hoy en día, existen tecnologías alternas con las cuales calentar agua, utilizando fuentes renovables. Algunos ejemplos de fuentes renovables son: energía solar, energía geotérmica y energía de biomasa.

## Objetivos

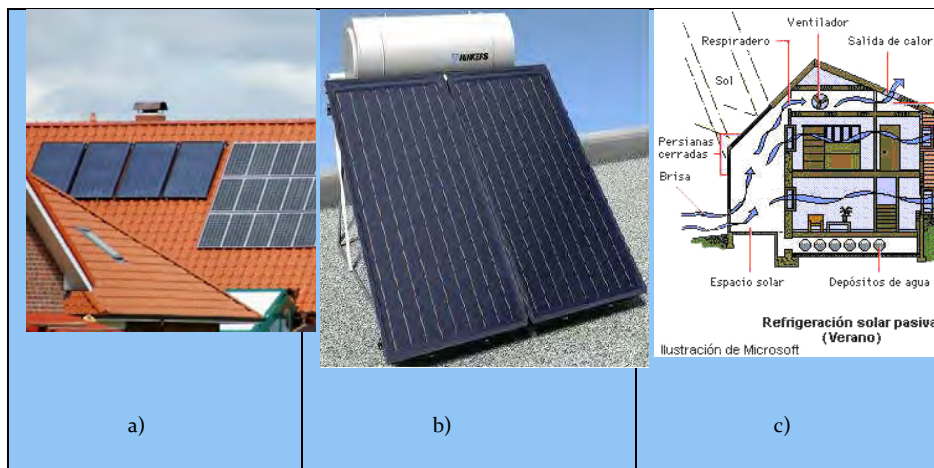


Figura 1.2. Dispositivos y medidas para sistemas de energía solar: a) fotovoltaica, b) térmica, c) pasiva

Explicar las distintas maneras de aprovechar la energía solar: energía solar fotovoltaica, energía solar térmica y energía solar pasiva; analizar la manera en que funciona cada sistema y sobretodo cómo lograr la eficiencia del sistema.

También es importante enfatizar, como parte del objetivo principal, la concientización humana por el uso de los recursos renovables y limpios, sobre todo para países como el nuestro, en el que se encuentra en un punto crucial de desarrollo en cuanto al uso de nuevas tecnologías.

## Alcances

Para proceder a los capítulos en los cuales se explica el funcionamiento de cada sistema de manera técnica habrá que comprender primero la problemática detrás de la necesidad de usar este preciado recurso; la energía solar.

Se estudiará particularmente el caso de la energía solar térmica, elaborando un caso estudio de la instalación de un sistema de calentamiento solar en un proyecto habitacional.

La tesis se separa en 5 capítulos siendo el primero introductorio.

El segundo capítulo trata de la Ingeniería de la energía solar. ¿Qué es la energía solar y qué podemos obtener de ella? Los instrumentos de medición se mencionan en esta parte del trabajo.

Siguiendo en el mismo capítulo se trata la normatividad en México en materia de energía solar térmica. En este subcapítulo se incluyen las ecuaciones que los instaladores de sistemas solares deben utilizar en el Distrito Federal.

En el capítulo tercero se trata la energía solar de tipo fotovoltaica. Se explica el sistema, con sus respectivos componentes, funcionamiento, instalación y mantenimiento.

Cada uno de estos subcapítulos contiene imágenes para mostrar los sistemas.

El cuarto capítulo trata a la energía solar térmica. Al igual que en la energía solar fotovoltaica, se explica el sistema con sus componentes, el funcionamiento, el diseño e instalación de los sistemas. Este capítulo se considera el tema central de la tesis, y por esta razón se profundiza más que los otros sistemas.

El quinto capítulo trata de la energía solar pasiva, es decir, lo referente a la arquitectura bioclimática y las diferentes técnicas empleadas para el aprovechamiento del sol en las edificaciones.

El sexto capítulo se refiere a un proyecto existente de “viviendas verdes”, las cuales cuentan con colectores solares entre otros dispositivos. Basándonos en este proyecto se cuantificaron los ahorros del combustible convencional para calentar el agua de la casa. Se procuró no descuidar los aspectos de la instalación de dichos sistemas, para corroborar la parte investigativa del trabajo.

Finalmente en el séptimo capítulo se incluyen las conclusiones del trabajo.

## CAPÍTULO 2: Conceptos básicos y normativa en México

- Qué se puede obtener del sol
- Cómo se mide la irradiación
- Normatividad en materia de energía solar en México

### 2.1 Ingeniería de la energía solar

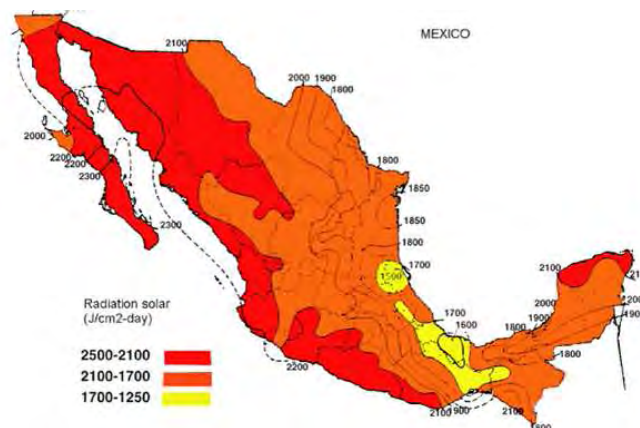


Fig 2.1 Mapa solar de la República Mexicana, que muestra la radiación solar medida en  $(J/cm^2 - \text{día})$

Para elaborar mapas climatológicos de radiación se necesita medir por medio de un piranómetro. Las unidades empleadas serían entonces energía por unidad de tiempo, por unidad de área sobre un plano horizontal.

Cuando no contamos con los datos de radiación es necesario hacer uso del empirismo para estimar la radiación en una particular región y periodo del año. Este cálculo tiene un error porcentual de más menos 10. También se puede hacer uso de la estadística y usar una localidad con latitud, topografía y climas semejantes al deseado y usar los datos

El estudio de la energía solar nos sirve para conocer el espectro solar y la irradiación sobre la superficie terrestre. Existen libros completos acerca solamente de éstos fenómenos que sirven para medir de manera científica la acción del Sol en el planeta, junto con los instrumentos utilizados para hacer las mediciones pertinentes.

## 2.2 Instrumentos de medición de irradiación solar

Piranómetro:

Instrumento que mide el flujo solar global correspondiente a los rayos directos y a los dispersos que se reciben en todas direcciones. Es sencillo ya que no requiere la incorporación de mecanismos de seguimiento solar.

Se coloca en una posición horizontal para que el plano horizontal cubra el firmamento completo.

Piroheliómetro:

Mide el flujo solar directo, pero debe estar situado en un dispositivo de seguimiento solar.

Una de sus caras debe de estar de modo permanente perpendicular a los rayos del sol.

Heliógrafo:

Instrumento que mide la radiación solar durante el tiempo transcurriendo entre la salida y la puesta del sol, pero a partir de un umbral determinado expresado en  $W/m^2$ .

Albedómetro:

Mide la radiación difusa, ocultando con una pantalla, la radiación solar directa.

Medidor de irradiación:

Instrumento destinado a medir la irradiación representativa de la densidad de potencia que incide sobre una superficie, con expresión en  $W/m^2$ .

Incorpora una célula calibrada de amplio espectro como elemento de captación de la energía solar y un instrumento de medida, que puede ser del tipo analógico.

En las figuras 2.2 a 2.5 se muestran los mapas solares que indican la irradiación del país en diferentes épocas del año. Primero se muestra el mapa de Junio que corresponde a los valores máximos de irradiación en general en el país.

Luego está el mapa de Diciembre para obtener así los valores mínimos.

Finalmente se incluye el mapa solar que corresponde al promedio de irradiación en el año. Con estos valores se puede realizar los cálculos pertinentes para dimensionar proyectos de sistemas de

calentamiento solar, ya que nuestro país al estar situado en una zona tropical no sufre de cambios extremos de estación, como es el caso de países europeos.

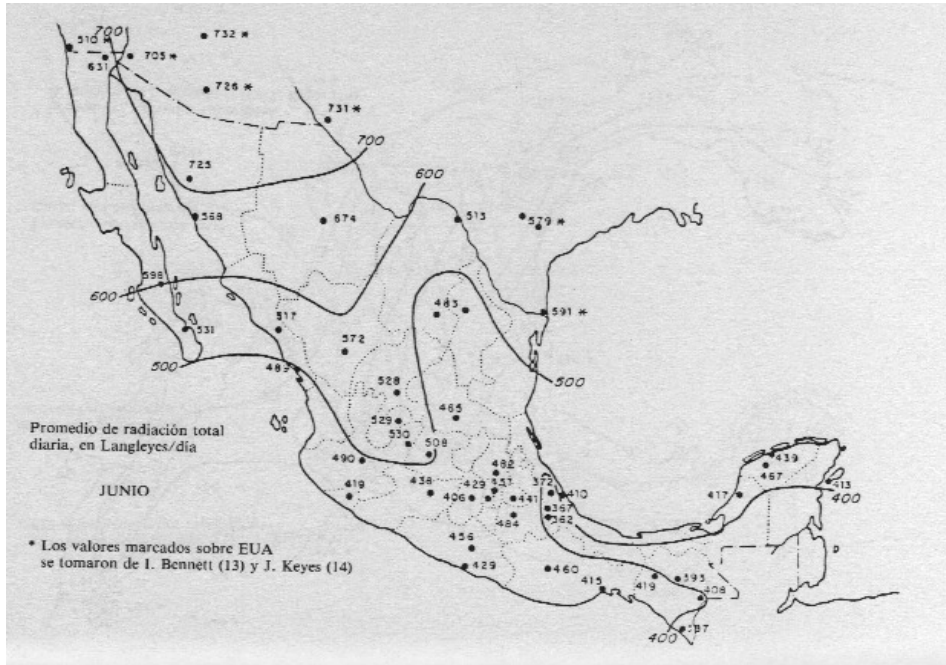


Figura 2.2 Mapa solar del mes Junio

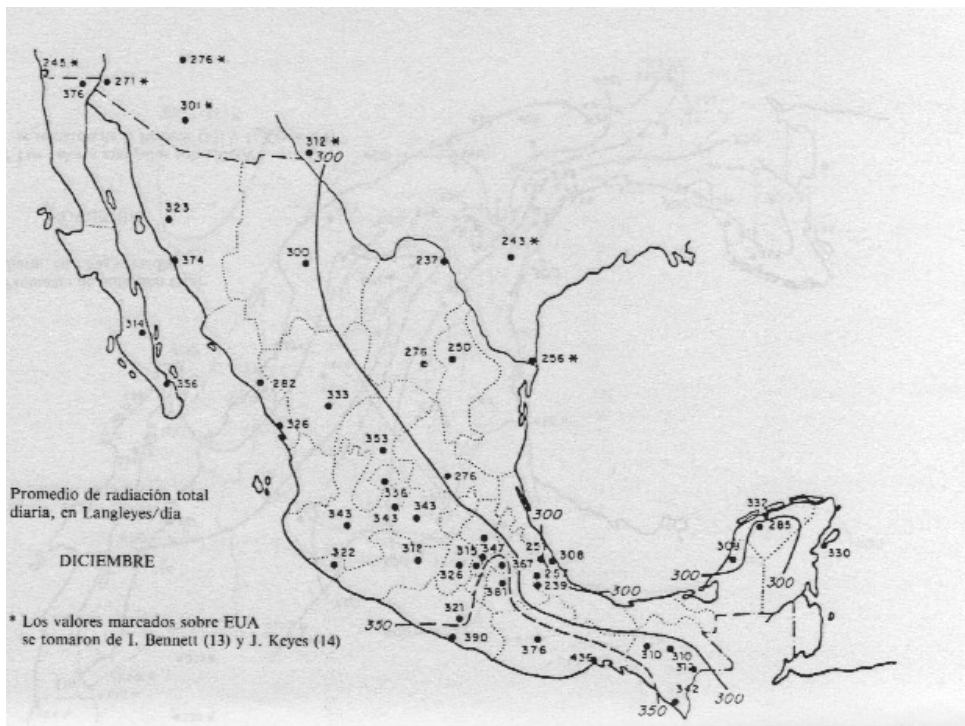


Figura 2.3 Mapa solar del mes Diciembre

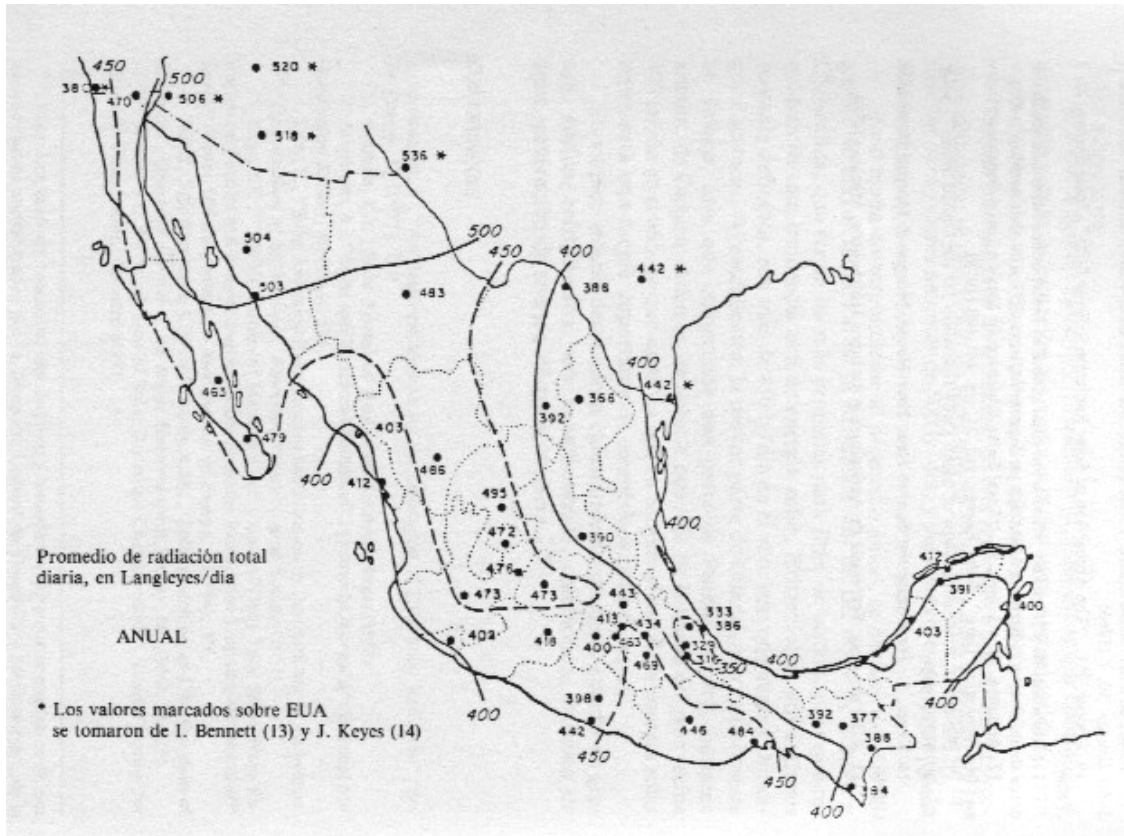


Fig 2.4 Mapa solar del promedio anual.

Ampliación de la zona cercana al Valle de México.



Figura 2.5 Ampliación de mapa solar del promedio anual en zona central del país.



### 2.3 ¿Qué se puede obtener del Sol?

Calor, electricidad, refrigeración, secado, iluminación, potabilización, desalinización, etcétera.

El Sol es una inmensa esfera de gases a alta temperatura con un diámetro de 1400000 km situado a una distancia media de  $15 \times 10^7$  con respecto a la Tierra. Se calcula que la temperatura en el interior del Sol es de aproximadamente  $60 \times 10^6$  °C, pero en la fotosfera, superficie externa del sol es del orden de 6000°C.

El Sol obtiene su energía de reacciones nucleares sucesivas de fusión que se producen en las zonas centrales, en donde dos átomos de hidrógeno producen uno de helio, luego uno de helio y uno de hidrógeno producen uno de litio, etc., que ocurren en su núcleo (ciclo de Bethe). La generación de energía proviene de la pérdida de masa del Sol, que se convierte en energía de acuerdo con la ecuación de Einstein:

$$E=mc^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

Donde E: cantidad de energía liberada cuando desaparece masa m

C: la velocidad de la luz (300000 km/s)

El átomo de helio tiene una masa inferior a la de cuatro átomos de hidrógeno. La pérdida de masa se transforma en energía, y se ha calculado que el Sol pierde cada segundo 4.2 millones de toneladas de materia que se transforma en energía. Por lo tanto sustituyendo valores en la ecuación de Einstein.

$$E= (4.2 \times 10^9 \text{kg}) (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$E= 3.78 \times 10^{26} \text{ j/s} (1 \text{ j/s} = 1 \text{ W})$$

Como la Tierra dista del Sol 150 millones de km se calcula lo que recibe una superficie de  $1 \text{ m}^2$  en la Tierra, relacionando la potencia por el Sol con respecto a la superficie esférica a la distancia que se ubica nuestro planeta.

$$E_u = \frac{3.78 \times 10^{26} \text{ W}}{(4\pi)(150 \times 10^9 \text{ m})^2}$$

$$E_u = 1353 \text{ W/m}^2$$

La radiación recibida fuera de la atmósfera terrestre es de  $1353 \text{ W/m}^2$ , por lo que este valor recibe el nombre de constante solar extraterrestre. La radiación recibida en la superficie terrestre es del orden de  $1000 \text{ W/m}^2$ . La disminución de la radiación se produce por el paso a través de la atmósfera, interviniendo fundamentalmente tres factores.

- Gases atmosféricos (nitrógeno, oxígeno, ozono, etc)
- Vapor de agua (nubes)
- Polvo (contaminación)

Se calcula que el Sol brillará 5000 millones de años más, por lo que al menos mientras el ser humano viva en la Tierra y mucho más, no tendrá cambios importantes.

La energía solar es aprovechable térmicamente (calentando materiales sólidos, líquidos y gases) o fotovoltaicamente (generando electricidad mediante paneles especiales).

### ¿Qué es la energía renovable?

La energía es la capacidad de realizar un trabajo, y es renovable cuando esta capacidad se puede aprovechar de manera ilimitada.

La principal fuente de energía renovable es el Sol. En la atmósfera terrestre se convierte en distintos tipos de fenómenos naturales tales como el viento y de él, la energía eólica. Las corrientes marítimas, las mareas oceánicas, las corrientes de cualquier cuerpo de agua y su respectiva energía hidráulica. Los animales y vegetales que absorben la energía solar para posteriormente al morir y descomponerse formar la biomasa.

Todo es una serie de transformaciones de la energía que bien son explicadas por la ley de Einstein, "la energía no se crea ni se destruye solo se transforma".

La atmósfera ejerce un efecto de redistribución de la radiación que recibe del Sol. La radiación difusa en un día despejado, es la que proviene del cielo azul. En cambio en un día nublado, la redistribución de la radiación es mucho más notable.

Las nubes densas tienen un albedo (fracción de energía reflejada) muy alto, lo cual hace que en un día densamente nublado gran parte de la radiación solar se refleje al espacio exterior. Además la energía que logra pasar a través de las nubes es únicamente radiación difusa.

Radiación total= radiación directa + radiación difusa + albedo

Radiación global = radiación directa + radiación difusa

El aprovechamiento de la radiación solar para la finalidad indicada da lugar a dos procedimientos clasificados como pasivo y activo.

El procedimiento pasivo corresponde a lo que se conoce como arquitectura solar, que se encarga de la climatización de los espacios habilitados, sin involucrar dispositivos solares específicos.

En el proyecto arquitectónico se diseñan las viviendas para que éstas estén orientadas de acuerdo al movimiento rotatorio de la Tierra y así aprovechar al máximo la energía solar.

Por ejemplo, colocando las ventanas de una edificación hacia el sur para calentar durante el invierno y el uso de materiales especiales, como la cerámica para almacenar calor durante el invierno y expulsarlo durante el verano.

En el caso de la energía solar activa, se incorporan a los sistemas, dispositivos y equipo mecánico, hidráulico y/o eléctrico con los cuales se transforma la energía solar en energía eléctrica, en el caso de la energía solar fotovoltaica y en energía calorífica, en el caso de la energía solar térmica.

En los capítulos posteriores se tratará de manera específica cada sistema; incluyendo la explicación del funcionamiento, instalación y componentes de cada uno.

#### Normatividad en materia de energía solar térmica en México

En el aspecto legal se ha observado que la recomendación del uso de energías renovables sobre los métodos convencionales no es suficiente, por lo que se han propuesto y aprobado normas oficiales que dictan el uso de estas fuentes renovables.

El objetivo de la norma es primordialmente establecer los criterios para aprovechar la energía solar, incluyendo en éstos las especificaciones técnicas de la instalación de los sistemas de calentamiento, requerimientos mínimos de calidad, funcionamiento y mantenimiento de los sistemas.

Es importante resaltar, antes de entrar en detalles técnicos, que la explicación detallada de los componentes de los sistemas de calentamiento solar será ampliamente abordada en los capítulos posteriores del trabajo.

La norma atañe a toda residencia, negocio comercial o industria de cualquier tamaño que requiera de calentamiento del agua para cualquier finalidad. Las albercas y fosas de clavados quedan dentro de este grupo de establecimientos.

La norma deberá ser cumplida por todos los establecimientos que inicien operaciones después de ser publicada, al igual que por aquellos establecimientos que realicen una remodelación de sus instalaciones.

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, a través de la Dirección General de Regulación y Vigilancia Ambiental, en el ámbito de su competencia.

La Secretaría podrá realizar la verificación de los requerimientos indicados en esta Norma para los sistemas solares.

Los establecimientos que cuenten con dicho sistema deberán contar con todos los documentos, manuales y descripción del proyecto básico, durante cinco años en caso de una verificación por parte de la Secretaría.

## CAPITULO 3 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica corresponde a un sistema directo de conversión, ya que los fotones de la radiación solar interactúan de modo directo sobre los electrones del captador fotovoltaico para dar lugar al efecto fotoeléctrico generando corriente eléctrica por medio del efecto de Seebeck.

El componente básico de este sistema es la denominada célula solar, con la que se construyen los paneles solares, los cuales proporcionan una corriente eléctrica de valor proporcional a la energía solar que incide sobre la superficie, utilizando semiconductores (wafers) generalmente de muchos centímetros cuadrados de área.

Un conjunto de componentes complementarios al panel permiten acumular la energía para utilizarla cuando se requiera, cambiarla de formato a corriente alterna para alimentar electrodomésticos, y adaptarla para inyectar corriente eléctrica en la red pública, de ser este el caso. Para esto se requiere de un proceso de sincronización de fase. Así es posible dimensionar instalaciones para obtener energía eléctrica de los modos DC y AC, o ambos.

La celdas están conformadas de muchas capas y todas estas están interconectadas y las conexiones están aisladas y bien protegidas del medio; su vida útil puede ser de hasta 20 años. Se puede contemplar en la figura 3.1 un arreglo común para una residencia.



Figura 3.1 Arreglo de celdas fotovoltaicas

Los módulos se interconectan, a su vez para formar arreglos fotovoltaicos cuya capacidad va desde cientos hasta millones de watts, como es el caso de la figura 3.2. Los arreglos se montan en estructuras que permiten orientar su superficie de captación para optimizar la incidencia de radiación solar.



Figura 3.2 Arreglo de celdas fotovoltaicas de gran escala

Esta tecnología tiene muchas ventajas que vale la pena notar y contrastar con la energía convencional.

Para establecer una comparación fiel entre el sistema fotovoltaico y sistemas convencionales, lo más importante es el costo de la energía en kWh. En la energía solar este costo depende principalmente de un parámetro: la eficiencia de conversión de la energía solar.

Conforme la tecnología avanza los costos van disminuyendo. De 1980 a 1996 los costos de electricidad fotovoltaica han disminuido de \$1.00 kWh a \$0.20 kWh y se espera que continúe bajando. (costos en dólares americanos, USD)



Figura 3.3 Gráfica que muestra los costos comparativos de la electricidad

La figura 3.3 presenta una gráfica muestra los costos comparativos de la electricidad producida por plantas de gas natural en ciclo combinado y la proveniente de paneles fotovoltaicos, en una estimación hecha en el año 2000 y que extrapola los costos que prevé en el futuro hasta 2030 cuando se supone que los fotovoltaicos se estabilicen.

En la actualidad el costo unitario de la electricidad fotovoltaica sigue siendo mayor que la energía convencional, hablando de la mayor parte del mundo. Por esta razón los paneles fotovoltaicos han sido instalados en países en vías de desarrollo en zonas remotas con difícil acceso de la red de electricidad convencional.

Las ventajas básicas de este sistema de energía renovable son:

- Menor tiempo de diseñar, instalar, y echar a andar una planta de electricidad.
- La producción de energía alcanza los niveles de demanda pico.
- Mayor vida útil con poco mantenimiento ya que no cuenta con piezas movibles.
- No produce ruido
- Debido a su liviano peso, es sencillo mover el sistema.

En el presente se utilizan cada vez más los paneles solares fotovoltaicos, y muchas veces instalados de manera híbrida con un sistema de generador diesel.

### 3.1 Aplicaciones

#### Aplicaciones de la tecnología fotovoltaica

La idea de generar electricidad a través de la energía solar comenzó cuando los científicos querían idear un sistema de alimentación de energía para los satélites artificiales. Tenían que encontrar la manera de abastecer energía de manera económica y práctica estos dispositivos. Práctico en el sentido ingenieril de poco espacio y poco peso, de vida útil larga. Tomando en cuenta el hecho de que el nivel de insolación en el espacio es muy alto y perpetuo.



Figura 3.4 Electrificación rural

- Electrificación rural
  - Viviendas fuera del alcance de la red central de distribución.
  - Viviendas de fin de semana, en zonas remotas, como refugios en la montaña.

- Aplicaciones agrícolas
  - Iluminación de invernaderos
  - Iluminación de granjas
  - Sistema de bombeo
  - Sistema de riego
- Comunicaciones
  - Alimentación de repetidores de telefonía, radio y televisión.
  - Alimentación de sistemas de telemetría
  - Alimentación de sistemas telefónicos rurales
- Señalización
  - Iluminación de señalización de carreteras
  - Radiofaros
  - Estaciones meteorológicas.

Las instalaciones de energía solar fotovoltaicas son clasificadas en:

Instalaciones aisladas a la red: aquellas que no se conectan a la red pública de distribución de energía. Tal es el caso de viviendas rurales o aisladas.

Instalaciones con conexión a la red: aquellas que se conectan a la red pública de distribución de energía. Éstas pueden después vender su energía excedente o de manera total inyectándola a la red de distribución central.

Para estos casos se requiere de un inversor, el cual sincroniza la fase de la energía a inyectar con la red pública. También se requiere un contador de energía eléctrica para medir la corriente inyectada en la red, para efectos de cobro.

Un ejemplo muy destacado de este sistema de energía es el centro acuático en Atlanta construido para los juegos olímpicos de 1996; en el techo tiene instalado uno de las más grandes plantas generadoras solares.

Tiene una capacidad de 345 kW de energía eléctrica y como está conectada a la red puede abastecer de energía a 70 casas, significando esto en un ahorro de 330 toneladas de CO<sub>2</sub>, 3.3 toneladas de SO<sub>2</sub> y 1.2 toneladas de NO<sub>x</sub> anualmente.



### 3.2 Funcionamiento del sistema

Becquerel descubrió en el año de 1836 el efecto denominado fotovoltaico. Hertz, Planck y Einstein impulsaron su estudio hasta el año 1954 y los científicos, Chapin, Fueller y Perarson, de laboratorios Bell, desarrollaron la primera célula solar.

Las celdas estas fabricadas con materiales con propiedades específicas, llamados semiconductores. Las celdas están conformadas por dos capas de material semiconductor; una positiva y otra negativa. Cuando las partículas de luz conocidas como fotones impactan la celda, algunas se absorben por el material semiconductor y producen un exceso de electrones libres en la capa negativa. Los electrones libres tienden a pasar al lado positivo cuando existe un circuito externo que permita su paso. Ver Figura 3.5.

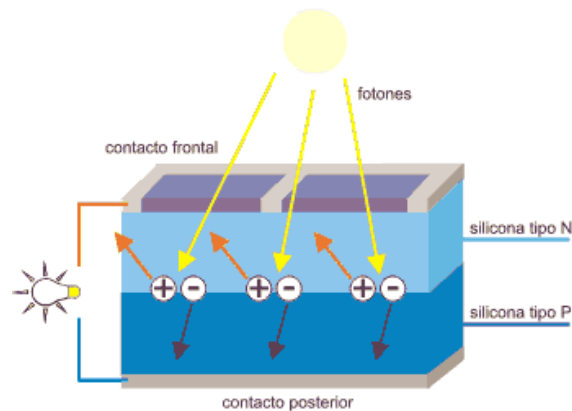


Figura 3.5

Las células solares que incorporan los paneles del mismo nombre están basadas en el efecto fotovoltaico, cuyo principio físico es la separación de los electrones de valencia de los átomos de su material semiconductor con la energía de los fotones de la luz solar que incide sobre la superficie del dispositivo. Tal separación da lugar a la aparición en el material semiconductor de electrones y huecos, tal como muestra la Figura 3.6.

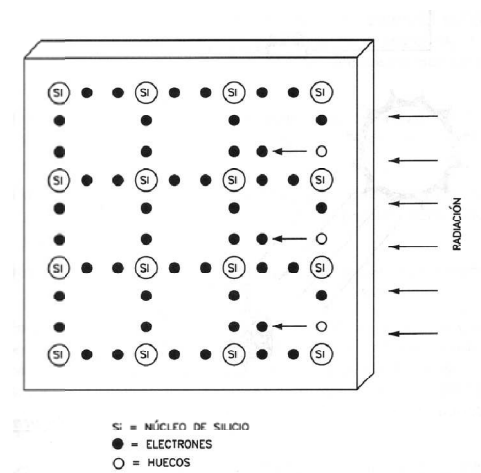


Figura 3.6

El semiconductor está formado por regiones N y P, teniendo ambas en común su base de silicio.

La región N se consigue dopando el silicio con fósforo o similar para aportar átomos de cinco electrones de valencia, frente a los cuatro de silicio, con los que se consigue que exista exceso de electrones y por tanto que la región tenga esa polaridad. En cuanto a la región P, se dopa con boro o similar para inyectarle átomos de tres electrones de valencia para que se produzca defecto de electrones, adquiriendo por tanto polaridad positiva. Ambas regiones se sitúan muy próximas con una separación de algunas micras, denominada barrera, para evitar su recombinación sin la intervención de fuerzas externas que, en el caso particular de las fotocélulas, corresponde a los fotones de la luz que incide sobre su superficie.

Éste proceso descrito es el básico para todos los semiconductores, en los cuales se produce corriente eléctrica denominada de canal cuando se rompe la barrera existente entre sus uniones, lo que se puede conseguir mediante:

- Elevación de temperatura.
- Aplicación de una corriente eléctrica
- Aplicación de un campo magnético
- Irradiación fotónica.

Cuando incide luz sobre la superficie de la célula, los electrones que tienen energía suficiente rompen el par electrón- hueco ya indicado, dejando portadores libres. Si en tal condición se conecta una carga resistiva entre los dos contactos de la célula, circulará corriente eléctrica por ella. Se ha conseguido así un generador eléctrico que proporciona una diferencia de potencial entre 0.46 y 0.48 voltios.

Las células solares se agrupan mediante conexión serie paralelo para formar los paneles fotovoltaicos. El número de células determina la potencia a obtener del panel.

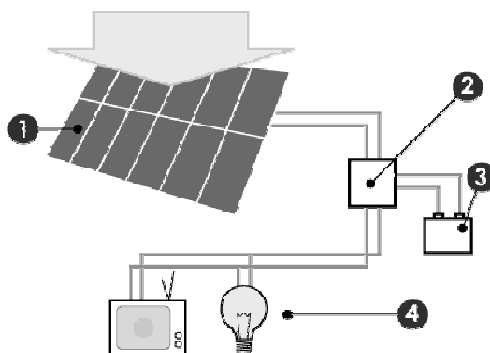


Figura 3.7

Debido a que el material de construcción de las celdas fotovoltaicas es material semiconductor cristalino, con el que se ensamblan circuitos integrados, éstos son de alto costo. Hasta hace poco tiempo, esta tecnología no era costeable.

Existen distintas tecnologías con las cuales hoy en día se fabrican los paneles fotovoltaicos.

El principal material usado es silicio monocristalino, ya que es el más común de conseguir.

También existen los siguientes materiales: silicio policristalino, silicio amorfo, policristalinos de lámina delgada, sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre, telurio de cadmio, seleniuro de cobre e indio, arseniuro de galio o de concentración.

La célula solar está basada en el silicio, o arena común ( $\text{SiO}_2$ ). Seis procesos importantes son los que se requieren para conformar un panel solar capaz de proporcionar energía eléctrica.

1. Extracción del oxígeno de la arena para obtener silicio.
2. Purificación del silicio
3. Crecimiento
4. Corte para obtener obleas de silicio.
5. Formación de la célula
6. Encapsulado de células para formar el panel fotovoltaico.

### Estructura de los paneles fotovoltaicos

Las células del tipo monocristalino y policristalino, cuya forma es seudocuadrada, están hechas sobre un sustrato que da unidad al conjunto. El número de células sobre un sustrato y la conexión entre ellas determinan la potencia y la tensión a proporcionar. En los paneles comerciales se pueden contemplar las células y las conexiones.

El conexionado puede formar un solo circuito, con lo que la terminación es de dos terminales, o también puede ser una conexión de dos circuitos con tres terminales.

En el primer caso, la tensión del panel es única, asignada durante su construcción; en el segundo caso es posible disponer de dos grupos en serie para poder cambiar la tensión, o en paralelo para poder cambiar la intensidad.

El sustrato que soporta el generador fotovoltaico es extremadamente frágil, por lo tanto se requiere un encapsulado en una estructura formada por tres componentes:

- Marco de aluminio anodizado, el cual puede incluir los taladros de sujeción a la estructura de instalación y para la conexión a tierra.
- Base inferior de material opaco que resiste a los agentes ambientales. Sobre éste se deposita el sustrato con las células. Generalmente esta construido de un polímero de plástico y por lo tanto con buenas propiedades de protección ante la humedad y de aislamiento eléctrico para el conexionado de las células.
- Cubierta superior de vidrio templado y muy resistente con calidad óptica para facilitar la entrada de los rayos solares.

El conjunto de estos tres elementos está bien sellado para evitar la penetración de polvo, agua, etc., que podrían dañar las células e inutilizar el panel.

### Características de los paneles

Los paneles fotovoltaicos se definen por un conjunto de parámetros expresados en las condiciones denominados TONC (Temperatura de operación nominal de la célula) y SRC(condición de prueba estándar).

Los parámetros eléctricos que definen los paneles o módulos fotovoltaicos son:

- Potencia máxima ( $P_{max}$ ), que indica la máxima potencia obtenida en las condiciones especificadas.

Este valor es igual a  $V \times I$  máximos.

- Tensión de potencia máxima ( $V_{mp}$ ) valor de la tensión cuando el panel está suministrado la máxima intensidad de corriente.
- Intensidad de potencia máxima ( $I_{mp}$ ) Corriente suministrada a la potencia máxima. Se considera este parámetro el representativo de la corriente nominal.
- Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ). Representa la máxima corriente que puede proporcionar el panel bajo condiciones de tensión cero.
- Tensión a circuito abierto ( $V_{oc}$ ). Especifica la tensión máxima que puede proporcionar el panel sin carga.
- Coeficiente de temperatura de ISC. Indica, en porcentaje, la alteración de este parámetro con la temperatura.

- Coeficiente de temperatura de  $V_{oc}$ . Indica en  $mV/^{\circ}C$ , la alteración de este parámetro con la temperatura.
- Coeficiente de la temperatura de la potencia. Indica el signo y valor de la alteración de la potencia con la temperatura. Por ejemplo:  $-.45\% / ^{\circ}C$

Ante diferentes valores de irradiación, distribución espectral AM y temperatura ambiente, para el dimensionado de los paneles surge la familia de curvas I-V (corriente, tensión), con la cual se selecciona el que va mejor de acuerdo con las condiciones locales.

#### Curva de I-V en función de la irradiación

La corriente que proporciona un panel fotovoltaico es proporcional a la energía solar recibida, con escasa repercusión de la tensión de salida si la temperatura es constante, Figura 3.8.

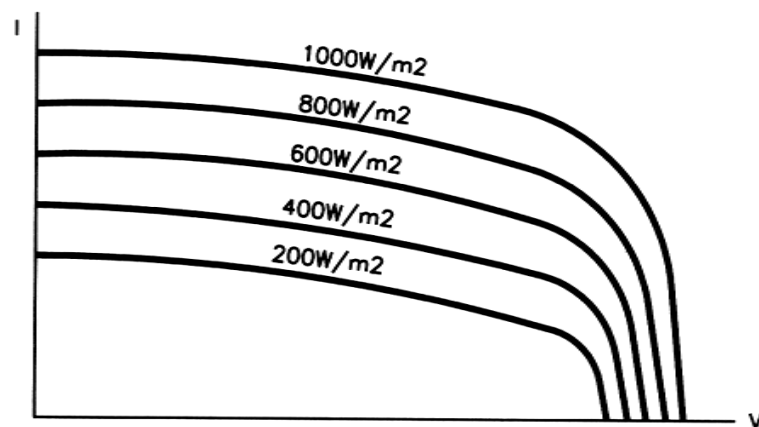


Figura 3.8

#### Curva de I-V en función de la temperatura

La tensión del panel presenta una variación inversamente proporcional a la temperatura de las células, sin que tal condición provoque cambios en la corriente de salida.

La temperatura se refiere a la de la célula y no a la ambiental, y el calentamiento de ésta célula es debido a la radiación solar, Figura 3.9.

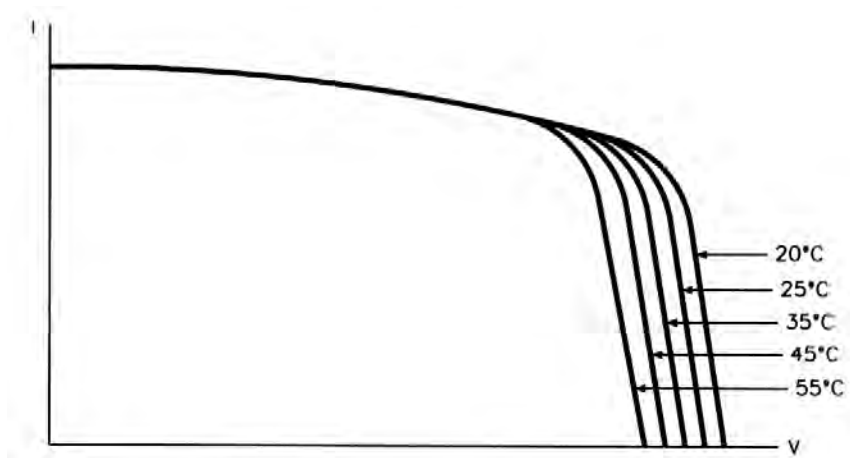


Figura 3.9

### 3.3 Componentes

Además de los paneles fotovoltaicos, los cuales ya fueron explicados de manera vasta, existen otros componentes que componen el sistema completo de energía solar fotovoltaica.

A continuación se explican los más importantes.

#### Reguladores de carga

La energía eléctrica proporcionada por los paneles va a otorgar niveles y formas diferentes de los requeridos por los dispositivos destinatarios, por lo que se debe instalar un regulador de carga. Éste controla la carga de corriente de las baterías en correspondencia con la energía recibida por los generadores externos y del consumo interno producido.

Por lo tanto la energía se almacena en las baterías para después abastecer los distintos dispositivos. El consumo medio en el periodo de tiempo asignado, junto con las horas pico de sol del lugar, determinan el tamaño de los generadores y la batería.

El conectar de manera directa los paneles a las baterías y estas a su vez a los sistemas que necesitamos alimentar ocasionan sobrecargas y sobredescargas, lo cual llevaría a un deterioro prematuro del sistema.

Existen distintos tipos de reguladores, ya sea de algoritmos controlados por micro controladores o por reguladores programables con parámetros específicos.

#### Baterías

Las baterías son un componente fundamental en la energía solar fotovoltaica ya que sirven para almacenar la energía que no se utiliza en tiempos de demanda.

Éste dispositivo de acumulación está dispuesto entre el generador eléctrico y la carga o consumo, de tal modo que se produce acumulación cuando el consumo es inferior a la energía generada. En el caso opuesto, por ejemplo durante la noche, la batería es la que abastece el consumo.

El sistema de acumulación empleado en las instalaciones indicadas es la batería electro química, cuyos vasos electroquímicos, dispuestos como células de carga de electricidad, se conectan en serie para formar los denominados acumuladores de 6, 12, 24 V u otros voltajes.

Las baterías para aplicación en instalaciones fotovoltaicas deben reunir especificaciones concretas de capacidad, ciclos de carga y descarga, por lo que se eligen las baterías de tipo plomo-ácido.

Este tipo de baterías están compuestas por dos electrodos inmersos en un electrolito de ácido sulfúrico en estado líquido o gel.

Los dos electrodos constituyen la salida de corriente del acumulador.

La carga de energía eléctrica se produce por aplicación directa o indirecta del generador fotovoltaico. Durante este proceso se forma óxido de plomo en estado puro en el cátodo, y se libera ácido sulfúrico al electrolito, con lo que se aumenta la concentración en orden creciente hasta la carga total. Midiendo la concentración de ácido se puede determinar el estado de carga por medio de un instrumento llamado densímetro.

La mayoría de las baterías empleadas en las instalaciones fotovoltaicas son del tipo plomo-ácido, pero la industria proporciona diferentes modelos constructivos con esa tecnología para adaptarse a diferentes situaciones.

Algunos ejemplos serían:

- Ácido abiertas
- Ácido selladas (herméticas)
- Gel selladas (herméticas)
- AGM selladas (herméticas)

### Inversores

La corriente continua procedente de los paneles solares, con salida a las instalaciones del regulador de carga y de los acumuladores, puede ser empleada en muchos aparatos de uso común en el hogar, pero no de la mayoría, ya que éstos requieren de corriente alterna AC.

Para este caso tan común se requiere del dispositivo llamado inversor, el cual convierte la corriente directa en corriente alterna (DC/AC). Figura 3.10.

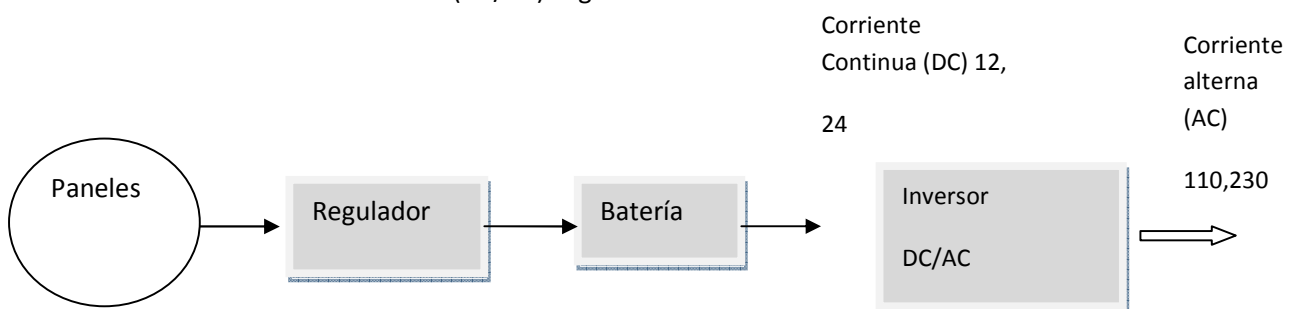


Figura 3.10

El equipo recibe la corriente continua procedente del acumulador, la cual se puede emplear, así mismo, para alimentar componentes o equipos de sus mismas características, y proporciona de salida la indicada corriente alterna con los valores de tensión y frecuencia en correspondencia con los equipos a alimentar, lo que constituye la línea de suministro principal, de las instalaciones



solares para aplicación de las edificaciones. La potencia eléctrica suministrada es una de las características principales del equipo inversor.

### **Estructuras soporte**

Las estructuras soporte de los paneles fotovoltaicos son un componente que debe ser elegido con criterios de seguridad y de cumplimiento con la normativa local sobre el tipo de instalaciones.

Se debe estudiar la resistencia del soporte, ya que debe mantener una estabilidad ante cualquier acción provocada por fenómeno meteorológicos, como el viento y la lluvia o granizo y nieve.

El número de puntos de sujeción para los módulos fotovoltaicos debe ser el suficiente para asegurar su instalación sin que se produzcan flexiones en los módulos de valor superior a las especificadas por el fabricante. De la misma manera se debe de fijar el ángulo que debe de tener el panel, de modo seguro y sin alteraciones ante vientos.

La tornillería que se usa para fijar el panel, debe ser galvanizada, excepto la utilizada para sujetar los paneles fotovoltaicos, que será de acero inoxidable.

La estructura soporte debe de estar protegida mediante galvanizado en caliente, con un mínimo de 80 micras.

Revisando el Reglamento de Construcciones para el D.F en el caso de nuestra ciudad, o el manual de construcción local para un lugar específico, se verifica el método de instalaciones integradas a cubiertas, en cuanto al diseño y la estanqueidad entre ellos.

Existen distintas estructuras de tipo soporte, adecuadas para distintas situaciones.

Los soportes pueden ser de tipo fijo o de sistema seguidor solar.

El primer tipo, consiste en soportes metálicos anclados a la superficie asignada. La orientación, debe de ser hacia el sur (en el hemisferio Norte) y la inclinación debe corresponder a la latitud del lugar. La variación estacional es de consideración, ya que en zonas ubicadas afuera de los trópicos, el rendimiento energético se afecta, y por lo tanto se debe de corregir la inclinación. En verano de manera negativa y en invierno de manera positiva.

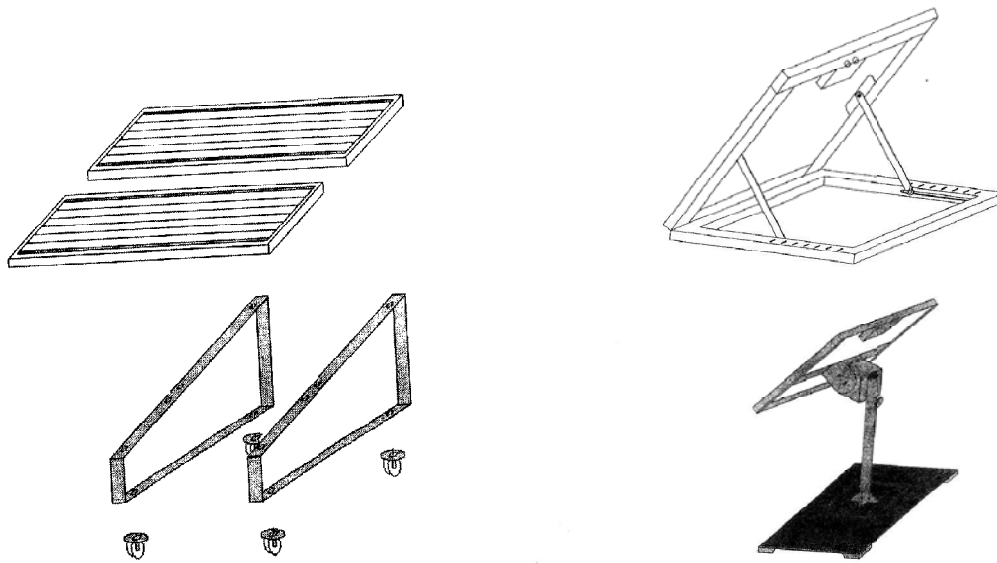


Figura 3.11

En las instalaciones de tamaño chico o mediano, es conveniente usar estos soportes fijos, en vez de utilizar un sistema de seguimiento solar, y sobredimensionar los paneles, ya que el sistema de seguimiento eleva bastante el costo.

Por lo tanto los sistemas de seguimiento solamente se justifican en instalaciones grandes por la ganancia en potencia obtenida, debido a la incidencia óptima de los rayos solares sobre los paneles.

### 3.4 Instalación y mantenimiento de los paneles

Se deben considerar tres aspectos fundamentales, tensión y corriente necesaria, el modo de soporte del panel, y el mantenimiento asignado para una larga vida útil.

#### Tensión y corriente a aportar

Para cumplir con la demanda energética se deben realizar una serie de cálculos para dimensionar el sistema y que rinda una potencia específica.

Dependiendo de los requerimientos del sistema, se pueden obtener los paneles de manera comercial que pueden generar desde décimas de vatio hasta centenares de éstos.

Se pueden instalar muchos paneles en configuraciones de serie, paralelo o serie-paralelo para conseguir las características eléctricas deseadas. Lo único que es indispensable para hacer este tipo de conexión es que los paneles sean de las mismas características.

En la conexión de tipo serie la tensión resultante es la suma de la de todos los paneles y en el caso de conexión en paralelo es la corriente la que se suma. Obviamente en el caso de serie-paralelo se realiza el cálculo para tensión y corriente.

### Conexiones de los paneles

Los paneles pueden asociarse en configuración de tipo serie, paralelo o serie paralelo, para conseguir las características eléctricas requeridas. La condición para poder realizar tales arreglos es que los paneles sean de las mismas características eléctricas.

Cuando la instalación solar requiera la disposición de diferentes filas de paneles, caso común en instalaciones de mediano y gran tamaño, es de tener en cuenta situar éstos con el suficiente espacio de separación para que no se proyecten sombras entre sí. La conexión en serie suma la tensión de los paneles conectados.

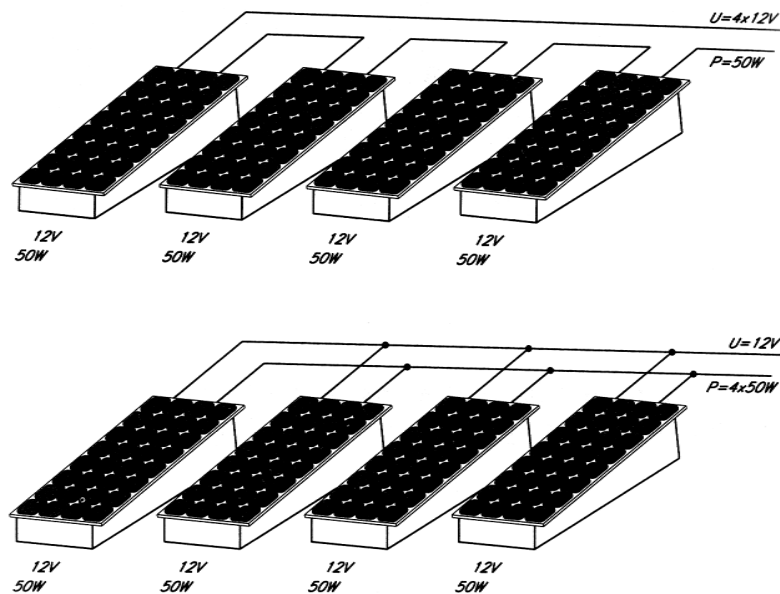


Figura 3.12

### Esquemas de instalaciones

Antes de estudiar cómo se dimensionan los sistemas fotovoltaicos se deben de contemplar diferentes tipos de instalación.

Como se había mencionado previamente, las instalaciones pueden ser de tipo aisladas o con conexión a la red. Las primeras obviamente se consideran de aplicación para viviendas rurales o similares y en la alimentación de los equipos remotos, como las antenas de repetición o los elementos de señalización en la carretera. Las instalaciones conectadas a la red inyectan su energía eléctrica de manera total o parcial a la red pública de distribución.

A modo de ejemplo se esquematizan algunas instalaciones fotovoltaicas.

#### Instalación 1: Suministro Directo

Esta instalación básica está compuesta por un panel fotovoltaico de la tensión y potencia adecuadas para dar un servicio directamente a la carga. En este caso no se cuenta con un sistema de acumulación, por lo que el servicio se da solamente en horas de sol.

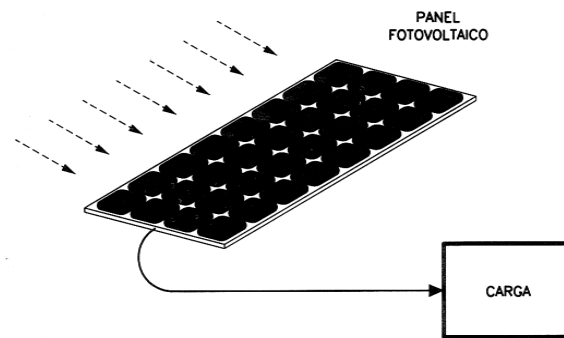


Figura 3.13

#### Instalación 2: Suministro de Tensión diferente a la generada.

En este caso se considera que la carga, también de corriente continua, como la anterior, requiere de un voltaje superior al proporcionado por el panel fotovoltaico, lo que se soluciona instalando un convertidor de corriente continua (DC/DC) con las características de entrada, salida y potencia adecuadas.

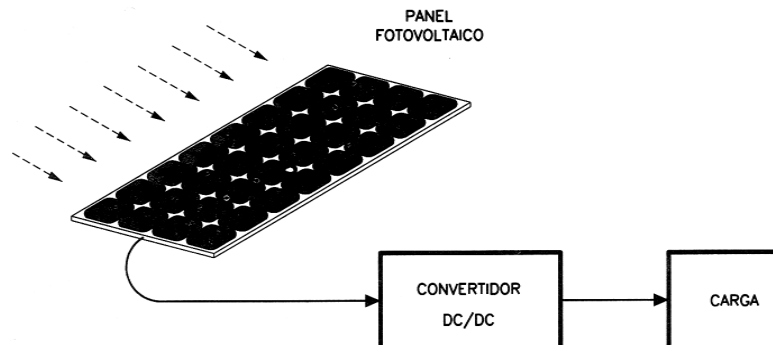


Figura 3.14

### Dimensionado de instalaciones aisladas

El dimensionado de las instalaciones fotovoltaicas, o híbridas, requiere de dos estudios previos, de cuya exactitud depende el buen funcionamiento del proyecto energético:

- Rendimiento energético de la instalación.
- Estimación de la demanda de energía.

Con estos dos estudios se obtiene el tamaño del generador eléctrico y del sistema de acumulación necesarios en función de los requerimientos de autonomía y de las posibilidades de obtener la energía solar prevista.

Los cálculos se efectúan generalmente con un software específico el cual ya cuenta con el algoritmo y base de datos, y con éste se facilita la operación.

Localidad / Radiación solar:

MÁLAGA Añadir ... Consultar ...

Indicar mes a considerar en el cálculo: Desfavorable

Mes resultante: Diciembre

Indicar inclinación de los paneles: 51 °

Latitud de la localidad: 36,70

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
AH	8,30	12,00	15,50	18,50	23,20	24,50
MES	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AH	26,50	23,20	19,00	13,60	9,30	8,00

/H: media mensual de radiación diaria en MJ/m<sup>2</sup>día

Factor corrector de H: (índice de nubosidad): 1,20

Criterios de cálculo:

H.S.P.: 3,89

Paneles montados sobre seguidor o tracker: 20 %

Considerar pérdidas en el regulador (%): 10 %

Considerar otras pérdidas en el sistema (%): 10 %

E (Energía equivalente Wh): 1663,66

E<sub>p</sub> (Energía resultante Wh): 1663,66

Potencia mínima requerida (Wp): 427,86

Base de paneles:

Modelo	Potencia (Wp)	Voltaje (V)
<input type="checkbox"/> I-5/12	5,00	12,00
<input type="checkbox"/> I-10/12	10,00	12,00
<input type="checkbox"/> I-22/12	22,00	12,00
<input type="checkbox"/> I-47/12	47,00	12,00
<input type="checkbox"/> I-50/12	50,00	12,00
<input type="checkbox"/> I-53/12	53,00	12,00
<input checked="" type="checkbox"/> I-55/12	55,00	12,00
<input type="checkbox"/> I-94/12	94,00	24,00
<input type="checkbox"/> I-94/24	94,00	24,00
<input type="checkbox"/> I-100/12	100,00	12,00
<input type="checkbox"/> I-100/24	100,00	24,00
<input type="checkbox"/> I-106/12	106,00	12,00
<input type="checkbox"/> I-106/24	106,00	24,00
<input type="checkbox"/> I-110/12	110,00	12,00
<input type="checkbox"/> I-110/24	110,00	24,00
<input type="checkbox"/> I-150/12	150,00	12,00
<input type="checkbox"/> I-159/12	159,00	12,00
<input type="checkbox"/> I-165/12	165,00	12,00

Seleccionar un tipo de módulo desde la base de datos

Indicar manualmente los valores de módulo

Potencia nominal de los módulos fotovoltaicos (Wp): 55,00

Tensión nominal de los módulos fotovoltaicos (V): 12 Volt

Rendimiento del módulo (%): 100 %

Agrupación: Conjuntos en Serie montados en Paralelo

Resultados y Conclusiones:

Potencia instalada (Wp): 440,00

N° de Ramales (Paralelo): 4

N° Paneles en Ramal (Serie): 2

**Se instalarán 8 paneles (440,00 Wp) formando 4 ramales en paralelo con 2 paneles en serie cada uno.**

Calcula Aceptar Cancelar

Figura 3.15

Fuente: Solagar S.A.L [www.solagar.com](http://www.solagar.com)

### Cálculo de la demanda de energía eléctrica

Se debe obtener la estimación de energía eléctrica correspondiente al consumo diario, mensual en todo el año o en un periodo previsto. Se obtiene el promedio de cada aparato conectado a la instalación eléctrica, por el número de horas diarias de media mensual.

Para ejemplificar esta cuantificación de consumo diario de energía eléctrica se muestra la siguiente Tabla 3.1. Ejemplo de estimación de consumo diario.

Aparato	Potencia (W) total	Tiempo de funcionamiento (h)	Consumo diario (Wh)
1 Lámpara de aseo	9	1	9
2 Lámparas de comedor	18	2.5	45
2 Lámparas de habitación	18	1	18
1 Lámpara de cocina	9	2	18
1 receptor de T.V	20	5	100
1 Refrigerador	45	12	540
1 Electrodoméstico	85	0.5	42.5
<b>Total Estimación de Consumo Diario</b>			<b>808.5 Wh</b>

Tabla 3.1

La estimación de la demanda media diaria mensual se obtendrá multiplicando el valor medio diario por el número de días utilizado, y haciéndolo para todos los meses, porque la necesidad de energía puede ir variando con el año.

### Cálculo de la energía generada

Para obtener la energía generada del panel empleado, se va a considerar la potencia de pico (Wp), y las horas de sol pico (HSP = 1 kWh) del lugar de instalación durante todos los meses del año.

Por lo tanto, antes de realizar una instalación es imperativo elaborar una planeación completa que incluya un estudio del lugar de instalación, con las características eléctricas del panel y las condiciones atmosféricas, climáticas del lugar.

El estudio climático se puede realizar con los organismos oficiales que cuenten con información estadística de las distintas entidades del país. Para la irradiación por ejemplo, existen tablas de irradiación diaria mensual expresada en kWh/m<sup>2</sup>, correspondiendo esto a las horas de sol pico que incide en alguna zona.

Los valores de estas tablas, deben generalmente ser afectados por un factor de corrección, ya que los valores de dicha tabla son considerados para una incidencia perpendicular, es decir, una superficie horizontal. El factor de corrección sirve para las superficies con alguna elevación e inclinación específica.

Tabla 3.2

MES	Radiación solar incidente	Factores de Corrección			Radiación solar zona geográfica B		Horas de Sol	Irradiación Media Útil	Temperatura
	Superficie Horizontal	Orientación	Inclinación	Localidad	Superficie Inclinada			Superficie Horizontal	Ambiente
	MJ/(m <sup>2</sup> día)	180°	40°	%	MJ/(m <sup>2</sup> día)	MJ/(m <sup>2</sup> mes)		W/ m <sup>2</sup>	°C
ENE	12.09	1.00	1.24	100	15	464.89	8	520.51	21
FEB	15.03	1.00	1.15	100	17.29	484.08	9	533.40	22
MAR	20.46	1.00	1.04	100	21.27	659.52	9	656.38	23
ABR	24.30	1.00	.92	100	22.36	670.7	9.5	653.46	24
MAY	28.92	1.00	0.84	100	24.29	752.96	9.5	709.94	26
JUN	29.81	1.00	0.80	100	23.85	715.48	9.5	697.09	27
JUL	32.96	1.00	0.84	100	27.68	858.19	9.5	809.16	27
AGO	29.92	1.00	0.93	100	27.83	862.61	9.5	813.32	27
SEP	23.84	1.00	1.06	100	25.27	758.11	9	779.66	26
OCT	18.22	1.00	1.21	100	22.04	683.29	9	680.04	24
NOV	12.14	1.00	1.30	100	15.79	473.62	8	547.97	23
DIC	10.45	1.00	1.30	100	13.59	421.23	7.5	503.07	21
Total	21.51	1.00	1.05	100%	21.35	650.39	8.92	705.07	24.2

Fuente: Solagar S.A.L [www.solagar.com](http://www.solagar.com)

Las características del panel las proporciona el fabricante del panel fotovoltaico.

Para dimensionar una instalación correctamente se deben tomar en cuenta los factores más desfavorables, esto es, tomando los datos del mes más desfavorable y los factores de corrección correspondientes. De esta manera se garantiza el funcionamiento adecuado del sistema en todo momento.

Se deben al igual considerar las pérdidas ocasionadas por ciertos componentes de la instalación como:

- Cableado; la energía eléctrica que se queda entre los extremos de los cables y se transforma en calor sin poder aprovecharse. La estadística aconseja otorgarle una pérdida de 3%.
- Acumulador; las pérdidas como consecuencia de la transformación electroquímica que se produce puede alcanzar el 10%.
- Acoplamiento panel-acumulador; cuando ambos componentes operan a máxima potencia, se aconseja introducir un factor de reducción de hasta 20% basado en la práctica.

La energía real disponible es la correspondiente a la captada menos la suma de las pérdidas o, lo que es lo mismo:

$$E = P_{\text{panel}} \times \text{HPS} \times P_1 \times P_2 \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

Donde;

$P_{\text{panel}}$  = Energía de pico (Wp del panel)

HPS= Horas sol pico del lugar.

$P_1$ = factor de corrección de elevación y azimut.

$P_2$ = suma de las pérdidas indicadas anteriormente, que corresponde a:

$$P_2 = P_{\text{Cable}} \times P_{\text{acumulador}} \times P_{\text{inversor}} \times P_{\text{acoplamiento}} \quad (3.2)$$

Con estas expresiones entonces se puede calcular la potencia en W del panel que es necesario para satisfacer la demanda así:

$$W_{\text{panel}} = W / \text{HSP} \times P_1 \times P_2 \quad (3.3)$$

Donde:

$W_{\text{panel}}$ ; potencia en W del panel para un consumo dado.

W; energía diaria media requerida para el mes más desfavorable, tal como se ha indicado anteriormente.

### Cálculo del sistema de acumulación

El sistema de acumulación energética está formado por baterías con la finalidad de concentrar energía durante los tiempos en los que la generada es superior a la consumida, para aportarla en tiempos de gran demanda.

El dimensionamiento correcto es fundamental para que el sistema funcione de manera autónoma.

La acumulación se determina básicamente por:

- La profundidad de descarga prevista.
- Los días de autonomía requeridos.



Las baterías no deben descargarse en su totalidad porque se acorta considerablemente su vida útil, ya que se reducen los ciclos de carga. Esto se llama profundidad de carga y su índice es inversamente proporcional a la vida de la batería. Entonces, por ejemplo, si la profundidad de carga es de 0.5 la capacidad de la batería debe de ser el doble de la energía disponible para acumular.

Para dimensionar la capacidad de acumulación se utiliza la siguiente expresión.

$$C_n = W \cdot \frac{N}{V_{bat}} \cdot P_d \dots \dots \dots (3.4)$$

Donde:

$C_n$ = capacidad de la batería en A h

W = consumo diario de energía en Wh/d.

N= Número de días de autonomía.

$V_{bat}$ = tensión de la batería, que corresponde a la proporcionada por el panel solar.

$P_d$ = Profundidad de descarga, en porcentaje.

Si consideramos como ejemplo un consumo diario de 1,200 Wh, a 12 V, con una profundidad de descarga de la batería de 0.75 y que los días de autonomía requeridos son solamente tres:

$$C_n = 1,200 \cdot \frac{3}{12} \cdot 0.75 = 428.57 \text{ Ah}$$

### Sistemas de bombeo de agua

El uso de los paneles fotovoltaicos en zonas rurales, o aisladas, donde se requiere del bombeo en un pozo de agua potable, trae múltiples ventajas. No sólo el beneficio al ambiente por no contaminar con este sistema, pero también la ventaja económica ya que muchas regiones no cuentan con un tendido eléctrico. Los costos de un sistema renovable de este tipo, sólo requieren una inversión inicial y el mantenimiento es casi nulo, en contraste con un sistema convencional de energía.

Este sistema de bombeo se caracteriza por ser un bombeo de bajo caudal, pero prolongado, y con el cual se almacena en un dispositivo elevado para distribuirla por gravedad posteriormente.

En la Figura 3.15 se muestra un sistema esquematizado del bombeo solar.

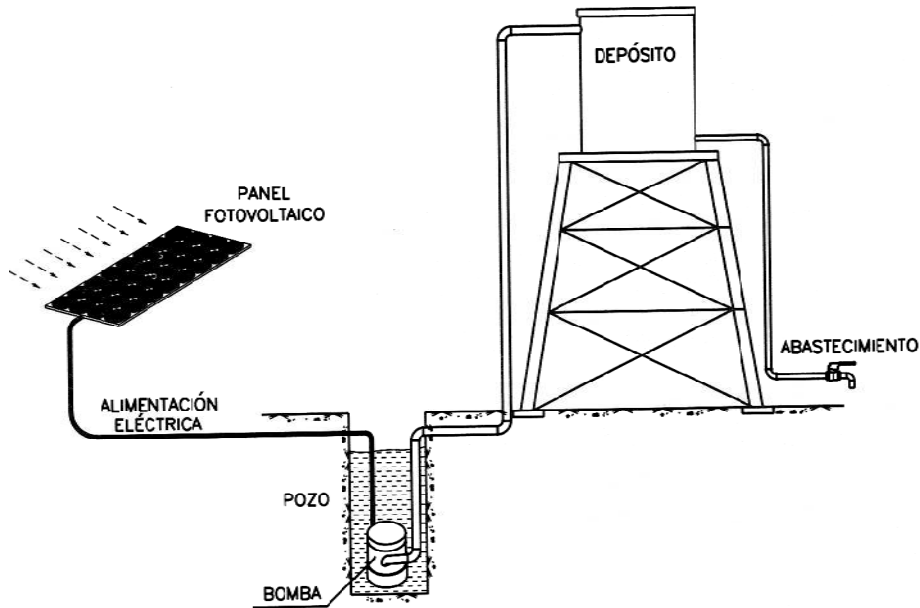


Figura 3.15

Bombeo directo; cuando la única alimentación es la del panel fotovoltaico, y por tanto el funcionamiento es solamente en las horas de sol, con sus variaciones de intensidad.

Bombeo con sistema de acumulación eléctrica; cuando el sistema dispone de batería y su cargador correspondiente para mantener el bombeo durante más tiempo del de permanencia del sol o de los vientos, consiguiendo con ello el grado de autonomía requerido.

Alimentación de la bomba

- Corriente continua, para grupos motor-bomba de reducido tamaño.
- Corriente alterna, con motor monofásico o trifásico para grupos de elevado tamaño.

Estos dos tipos de alimentación dan lugar a dos versiones comerciales de bombas muy diferentes porque también lo son sus aplicaciones, lo que permite establecer la siguiente clasificación, sin considerar si el bombeo es directo o con acumulación.

Alimentación	DC	AC
Componentes que incorpora	Generador + bomba	Generador+bomba+inversor
Tipo de bomba:	Flotante	Sumergido
Origen del caudal:	Río, pozo	sondeo

Con la condición de bajo caudal se debe de seleccionar la versión DC y la de gran caudal, la versión AC. Sin embargo, entre ambos extremos existe una amplia selección de bombas tipo DC de tipo flotantes y sumergible.

Las características de las bombas más notables son:

- Tensión de alimentación (V).
- Consumo (Ah)
- Posición de operación (vertical u horizontal).
- Tipo de bomba.
- Máxima elevación (m).
- Máxima inmersión (m).
- Presión (bar).
- Caudal (l/h).
- Dimensiones (mm)
- Peso (kg).

### **Mantenimiento**

Los paneles solares han sido diseñados para soportar las inclemencias ambientales por lo que requieren poco mantenimiento, sin embargo, un mantenimiento regular aumentaría la vida útil del sistema.

Como recomendaciones generales para el mantenimiento se denotan las siguientes:

- Limpieza periódica del módulo para que la suciedad acumulada sobre la superficie, especialmente los excrementos de aves, no reduzcan el rendimiento del panel.  
La frecuencia con la cual realizar estas acciones de limpieza depende de la ubicación de los paneles.
- Inspección de la estanqueidad del panel para asegurar que no entre agua o polvo a las células. La cubierta del módulo puede romperse y con ello entrar agua, lo que daría lugar a la oxidación de las conexiones eléctricas de las células y a la destrucción del panel.
- Estado del cableado y de la instalación eléctrica.  
Las conexiones pueden requerir limpieza y reajuste de presión para asegurar el contacto eléctrico óptimo.  
Se procederá asimismo a comprobar el estado de estanqueidad de las cajas de conexiones y de los cables que unen éstas con el regulador de carga. Con cualquier alteración de los cables se reduce la eficiencia al aumentar su resistencia eléctrica, la cual debe ser en todo momento del mínimo valor posible.

## CAPÍTULO 4 Energía Solar Térmica

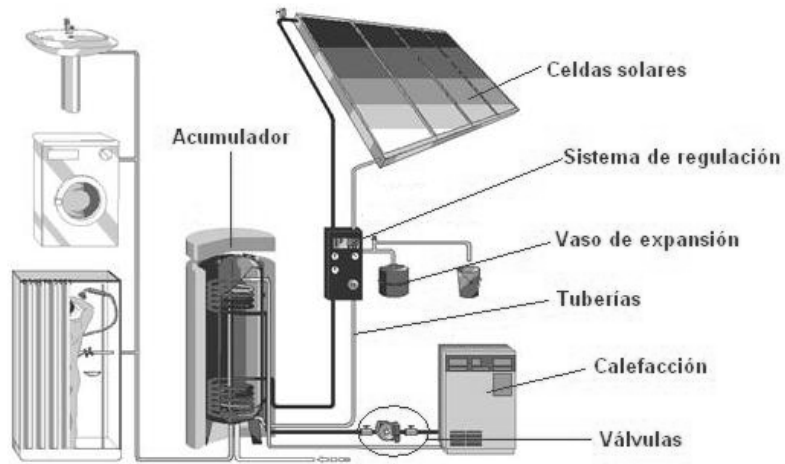


Figura 4.1

La energía solar térmica se ha utilizado a lo largo de la historia del hombre; no es un descubrimiento novedoso y no tiene mucha ciencia, pero sí tiene una importancia imprescindible. Como ya se mencionó en el primer capítulo, esta fuente de energía nos sirve para convertir la energía solar en energía calorífica en un fluido con fines sanitarios y de climatización; para uso comercial, residencial o industrial. El nivel de temperatura al cual se puede elevar el agua puede llegar a ser tan alto (hasta 300°C), como para producir energía eléctrica a través de turbinas de vapor.

Ejemplo de energía solar térmica de mediana y alta temperatura.



Figura 4.2. Colector solar de concentración

Con este sistema se pueden ahorrar cantidades sustanciosas de gas, que es el método convencional para calentar el agua en los hogares. Al final del trabajo, en el capítulo 6, se apreciará este ahorro de manera clara.

## 4.1 Aplicaciones:

### Agua caliente Sanitaria

Una de las principales aplicaciones de la energía solar térmica es el calentamiento de agua sanitaria mediante el colector solar o panel solar. El agua caliente que es de imprescindible uso en todos los hogares, que usualmente se calienta por medio de calentadores de gas o “boilers”, se puede conseguir por medio del sol, sin el uso de combustibles de origen fósil.

La energía solar térmica activa corresponde a la instalación de elementos materiales para la captación de la radiación solar.

El sistema consta en esencia de un dispositivo llamado colector solar, el cual calienta el agua haciéndola pasar por sus conductos, los cuales están expuestos a la irradiación solar. Posteriormente se utiliza esta agua ya calentada para fines sanitarios.

### Calentamiento de piscinas

Un conjunto de colectores solares dispuestos en una zona abierta para captar la mayor cantidad posible de radiación y por los cuales se deja correr el fluido que absorbe la temperatura al nivel de temperatura deseado. Al igual que en el sistema de agua caliente sanitaria se debe contar con un conjunto de componentes que ayudan a mantener un control permanente de los parámetros térmicos deseados.

### Climatización

Una buena alternativa para la calefacción es la del ‘suelo radiante’ ya que es muy eficiente y además evita el aire seco que tienen los sistemas convencionales de calefacción.

### Refrigeración solar

Existe un procedimiento de refrigeración con el cual se evita la emisión de contaminantes a la atmósfera de tipo: CFC y HCFC

El método aunque no es reciente, apenas se empieza a usar a nivel organizacional para ir cambiando los sistemas convencionales de climatización.

La manera esencial en la que funciona este sistema es por medio de la fuerza motriz del agua caliente de los colectores en lugar de un compresor metálico accionado por electricidad. En el sistema de condensación se sitúa un absorbente para enfriar el agua que se destina al evaporador dispuesto en el espacio a climatizar.

## 4.2 Funcionamiento del sistema

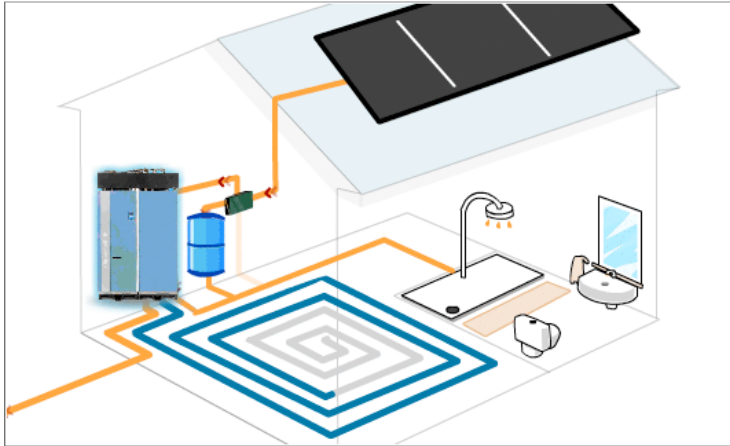


Figura 4.3

En el caso de la refrigeración solar se consiguen dos recipientes interconectados por una válvula; cada uno tendrá una doble función. El primero como generador- absorbedor y el segundo como condensador evaporador. El funcionamiento se puede dividir en dos etapas: de generación y de enfriamiento.

En la etapa de generación, el recipiente, que en este caso sirve como generador, inicialmente contiene una solución acuosa concentrada de amoníaco.

La solución se calienta con energía solar de manera que se genera o produce vapor de amoníaco que después de pasar por la válvula se condensa en el otro recipiente, que en esta etapa sirve como condensador. Se enfría con aire o agua para lograr mantenerlo en estado líquido y a alta presión. Esta etapa se lleva a cabo mientras el flujo de energía solar es suficiente para continuar generando vapor de amoníaco.

Ya terminada la etapa de generación se cierra la válvula intermedia y se deja enfriar el primer recipiente que ahora contiene una solución débil de amoníaco y baja presión. En el condensador queda almacenado amoníaco líquido a alta presión listo para usarse en la etapa de enfriamiento. En esta etapa se vuelve a abrir la válvula intermedia. Al comunicar de nuevo los dos recipientes, la presión del sistema completo baja lo suficiente para que el amoníaco no pueda existir en estado líquido y pasa al estado gaseoso. Esto se hace en el segundo recipiente que sirve como evaporador. El amoníaco absorbe calor de los alrededores para pasar el líquido a vapor y, por tanto, es aquí donde se tiene el efecto de refrigeración. El vapor de amoníaco pasa al primer recipiente y se absorbe en la solución diluida del amoníaco. Este recipiente ahora tiene la función de absorbedor. Hay que retirar el calor que se genera por la absorción, para evitar que suba la

temperatura y se dificulte la absorción que afectaría el funcionamiento del sistema completo. Con esto se completan las dos etapas del ciclo intermitente de refrigeración y el sistema queda listo para iniciar el ciclo cuando vuelva a haber flujo de energía solar.

Se debe tener en cuenta el cuidado del colector ya que éste va a contener amoniaco que se va a evaporar en las interconexiones entre el colector y el absorbedor y el condensador- evaporador.

Para el sistema de Agua Caliente Sanitaria (ACS), el aprovechamiento de la energía solar para obtener agua caliente sanitaria y servicios de climatización implica la acción de tres procesos fundamentales:

1. Captación de la radiación solar mediante colectores para elevar la temperatura del fluido que circula por su interior.
2. Transferencia térmica del fluido calentado a un circuito de agua corriente para su utilización en los tiempos requeridos. Por ejemplo, para obtener agua caliente y calefacción en las horas nocturnas, en las que el sistema captador solar está inactivo por razones obvias.
3. Incorporación de un medio de apoyo generalmente alimentado con energía eléctrica o gas o también con otro sistema solar, para mantener la temperatura requerida del agua caliente ante una demanda superior a la proporcionada por el sistema solar.

Las instalaciones solares térmicas se clasifican de acuerdo con la temperatura que pretenden alcanzar.

- Energía solar térmica de baja temperatura. El fluido no sobrepasa los 90° C

Se aplica para instalaciones en los sectores residenciales y hoteleros, ambos para obtener agua caliente sanitaria y calefacción; también para la climatización de albercas.

- Energía solar térmica de media temperatura.

Se emplean en instalaciones industriales con aplicación en la desalinización del agua de mar y en la refrigeración. La temperatura va desde 80° C hasta 250 °C.

- Energía solar térmica de alta temperatura.

Aplicaciones industriales para generar vapor para producción de electricidad o similar, en la que se requiere una temperatura superior a 250°C.

Como ya se había mencionado, en este trabajo solamente se contemplará el caso de energía solar de baja temperatura ya que es la que se aplica para fines sanitarios y climatización en las edificaciones.

Por lo tanto se tiene el concepto de lo que la energía solar térmica es y para que se puede utilizar en el ámbito residencial.

### 4.3 El sistema de energía solar térmica de baja temperatura

¿Cómo funciona la placa solar?



Figura 4.4

En esencia no es un sistema complicado, puesto que consta solamente de una superficie captadora, siendo esta un cuerpo negro absorbente térmico, por cuyo interior circula un fluido a calentar. Posteriormente este líquido, que puede ser agua, se almacena en un depósito para su uso doméstico o industrial. El depósito funciona prácticamente como un termo, entre más adiabático mejor. Lo interesante del sistema y el reto es la continuidad en el mejoramiento de las tecnologías para crear materiales y sistemas en los cuales la energía captada por los paneles no se pierda y se pueda aprovechar en su mayoría; en otras palabras mejorar el rendimiento del sistema.

La mayoría de las aplicaciones de la energía solar, particularmente las que proporcionan un servicio que se necesita de manera continua, es decir, no sólo cuando hay insolación, necesitan de al menos dos elementos: un colector en donde se transforma la energía solar en otro tipo de energía (en este caso en calor), y un almacén en donde se pueda tener una reserva para cuando no haya insolación, llamada acumulador.

El colector es un dispositivo que recibe la radiación solar de manera directa y permite la absorción de calor y posteriormente transmitirlo a un fluido.

Existen tres tipos de colectores y estos se seleccionan en función de la temperatura que se pretenda obtener, al igual que el tipo de energía solar térmica, previamente mencionada.

- Colectores solares de baja temperatura
- Colectores solares de media temperatura



- Colectores solares de alta temperatura

Para nuestro estudio solo contemplaremos el colector de baja temperatura ya que es el que se emplea en los edificios habitacionales o comerciales.

Colectores solares de baja temperatura

La captación de energía solar es directa. La temperatura del fluido es por abajo del punto de ebullición del agua al nivel del mar (100°C) Entre 40 y 60 °C.

Éste sistema se emplea como se mencionó previamente para agua caliente sanitaria, climatización y calefacción de albercas.



Figura 4.5. Sistema utilizado para calentamiento de alberca.

El acumulador es un componente tan fundamental como el colector, ya que este es el que permite obtener un servicio de agua caliente sanitaria durante las horas en las que el captador no tiene o tiene poco rendimiento, como en las horas nocturnas.

Tanto los sistemas de colección, como el del acumulador, y una serie de accesorios que son fundamentales en el sistema global y que ayudan a mantener el funcionamiento del sistema de acuerdo a lo establecido por las características de todo el equipo, normatividad y entorno ambiental, se trataran parte por parte para su comprensión.

Estas instalaciones de baja temperatura para aplicaciones residenciales, comerciales o similares están clasificadas en función al tipo de circulación que manejan. Existen dos maneras en que las instalaciones de los colectores solares hacen que circule el agua. Una siendo de manera natural y otra de manera forzada.

### Circulación natural

Esta manera funciona por medio del efecto del termosifón, en el cual el agua caliente sale del colector y se dirige hacia el acumulador sin necesidad de una bomba.

El agua caliente, al ser de menor densidad que la fría sube por el sistema del colector y llega al sistema de acumulación, situado en un lugar más alto que el colector para que llegue el agua caliente, se distribuya a la casa. Por la parte inferior entra el agua fría de la red, se transporta por el colector, donde sube de temperatura y regresa al sistema de acumulación.

Este movimiento va a ocurrir siempre y cuando existan dos condiciones fundamentales para el efecto de termosifón.

- La diferencia media de temperaturas entre la salida del colector solar y la de la parte inferior del acumulador.
- La diferencia de altura entre el acumulador y el colector solar. El acumulador debe estar por lo menos 30cm encima del colector.

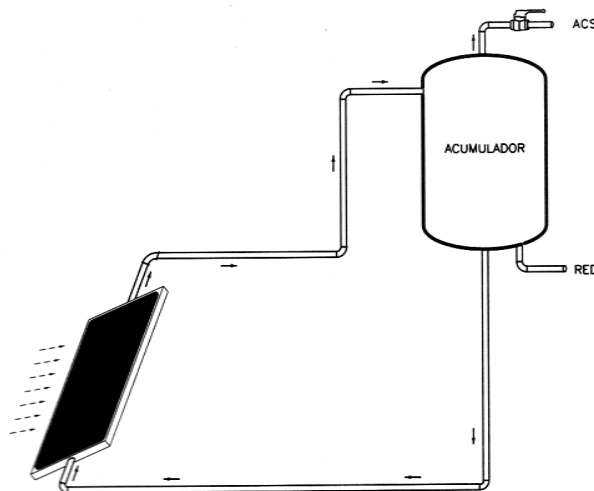


Figura 4.6

Este sencillo sistema no es el más adecuado en términos reales, ya que se tendría que colocar el acumulador en el exterior y esto, para cuestiones arquitectónicas y de protección al sistema, no es siempre lo más adecuado.

### Circulación forzada

En este sistema el agua que sale del colector es forzada mediante la acción de una bomba de circulación eléctrica. De esta manera se mejora el desplazamiento del líquido caliente y permite la colocación del acumulador en el lugar que convenga.

Para definir las características de la bomba que se necesitan para una determinada instalación, se requiere saber:

- El caudal del líquido del colector
- La diferencia de alturas entre el colector y el acumulador
- Separación de ambos componentes.

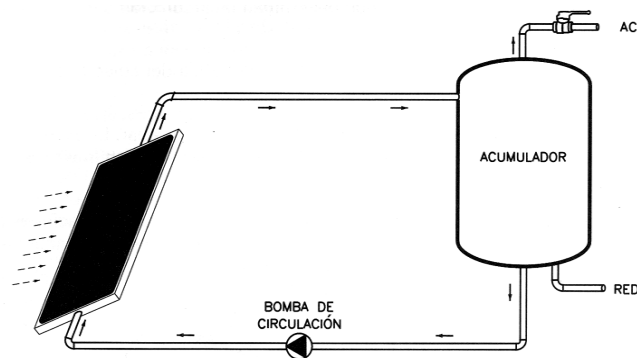


Figura 4.7

Existen diferentes condiciones de funcionamiento para los colectores solares. Estas condiciones están en función del uso. Ya sea éste de tipo perpetuo o tipo estacional:

- Régimen estacional: cuando se emplea sólo durante una época determinada.
- Régimen permanente: funcionamiento a lo largo del año.

Existen lugares donde la energía renovable del tipo solar no siempre es posible y en esos casos hay que hacer uso de técnicas de ayuda para el sistema de paneles solares. También el rendimiento en instalaciones solares térmicas estándar no supera el 50%, y por esto es necesario tomar las siguientes acciones.

- Instalación de un sistema híbrido: en estos sistemas se utiliza tanto la energía renovable del sol como otro sistema que podría ser una caldera de combustible fósil (diesel por ejemplo), o un sistema de apoyo eléctrico.
- Sobredimensionar la instalación para mantener el servicio en los tiempos menos favorables, como son durante la noche y en el invierno. Obviamente esta solución no siempre es posible para zonas donde los inviernos son de larga duración.

#### 4.4 Componentes.

Las instalaciones solares térmicas están categorizadas en 4 grupos.

- Sistema de captación de la energía solar y transferencia a líquido térmico.
- Sistema de almacenamiento del agua caliente sanitaria.
- Sistema de transferencia térmica (entre el líquido del colector y el agua corriente para usarse)
- Conjunto de accesorios empleados en el sistema de circulación del fluido, control de temperaturas, protección, sistema de apoyo, etc.

##### **El panel solar o colector**

Como ya se había mencionado, el colector capta la energía solar y con ésta eleva la temperatura del líquido en circulación por su interior.

Existen distintos tipos de colectores, para diferente uso, como industrial o doméstico.

Hay dos tipos de paneles: paneles planos y paneles de concentración. Los primeros se utilizan básicamente en instalaciones habitacionales o comerciales. Los paneles de concentración se utilizan principalmente para generación de altas y medianas temperaturas como se mencionó en la sección introductoria de energía solar térmica.

Los captadores de concentración están basados en un reflector de forma cilíndrico-parabólica, por cuyo punto focal circula el fluido a calentar a través de un conducto metálico, generalmente de cobre. En este sistema se logra elevar la temperatura mucho más que los colectores planos, ya que concentra la energía sobre su punto focal.

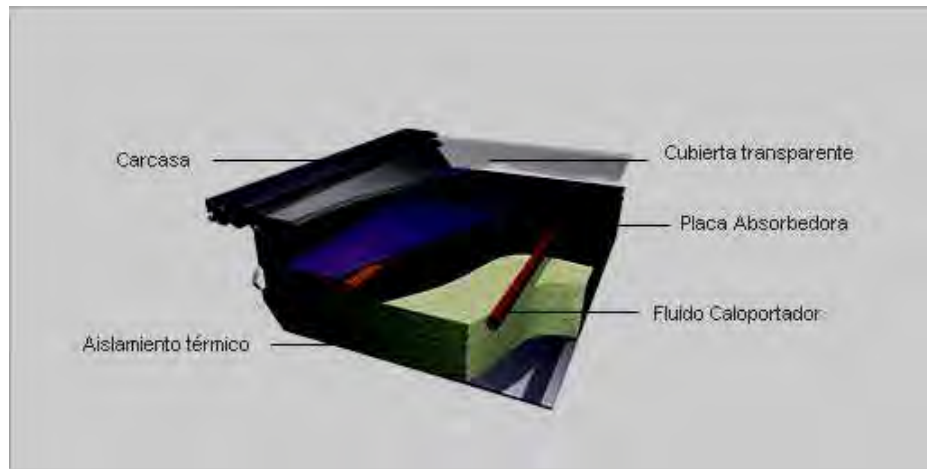


Figura 4.8

### Colectores solares planos

Como su nombre lo indica, estos colectores son de forma plana con la cual aprovechan la radiación directa y difusa. La superficie es de color negro y deben tener un ángulo respecto del movimiento del Sol, con una cubierta transparente, en cuyo interior están dispuestos los elementos de absorción y los conductores por los que circule el fluido a calentar.

La cubierta está hecha usualmente de vidrio templado o un material similar, con la condición de transparencia óptica a la radiación externa y de opacidad a las ondas largas que emite la placa absorbente interna. De esta manera se consigue el efecto invernadero. La cubierta también sirve para proteger el sistema absorbente de cualquier objeto o inclemencia atmosférica como lluvia, granizo, etc.

La placa absorbente es el componente de captación o absorción de energía solar incidente sobre su superficie para elevar la temperatura del fluido que circula por los conductos dispuestos en su cara interior. El material de la placa puede ser de cobre, cobre-aluminio, o acero.

Se puede también anexar una capa de cromo negro sobre níquel o similar para aumentar la absorción, que puede llegar a ser superior a 95%. A los colectores planos que tienen este tratamiento de cromo níquel, se les da la denominación comercial de selectivos.

### Red vertical de tubos

Corresponde esta configuración a un sistema de tubos dispuestos en vertical entre otros dos de mayor diámetro situados en horizontal denominados distribuidores, y que constituyen los

terminales externos de entrada de agua fría por la parte inferior del colector y de salida de agua caliente por la superior. Tal configuración forma una parrilla.

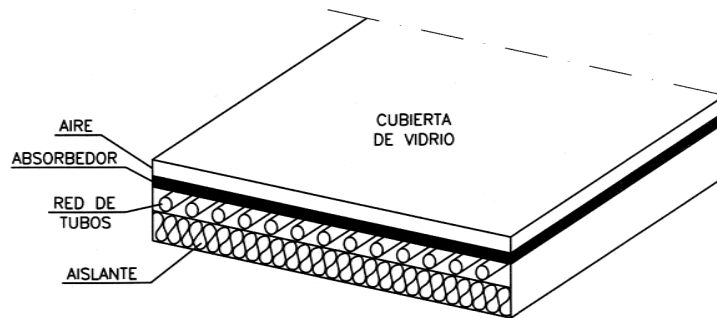


Figura 4.9

### Concentrador Parabólico Compuesto

Aunque los paneles de concentración se usan principalmente para la industria o generación de energía eléctrica, también existe una aplicación para generación de baja temperatura, y por lo tanto adecuada para el sector residencial. Se llama concentrador parabólico compuesto (CPC).

Este panel es parecido al colector plano; cuentan con su protector de vidrio para proteger el sistema y para crear un efecto de invernadero. La superficie de captación solar está compuesta por parábolas cilíndricas como se muestra en la Figura 4.10. Por las partes centrales pasan conductos que pueden ser de cobre o de vidrio al vacío, y por los que pasa el líquido a calentar.

Este sistema tiene un mayor rendimiento energético a comparación del colector plano.



Figura 4.10

Los conductos verticales van adheridos a la placa en su parte posterior para evitar la mayor pérdida posible de calor.

El fluido que circula por el panel generalmente va añadido de aditivos como anticongelante y anticorrosivos, dependiendo de donde esté ubicado el panel. El pH y salinidad deben de estar controladas de acuerdo a la normativa local y a las especificaciones técnicas de los equipos.

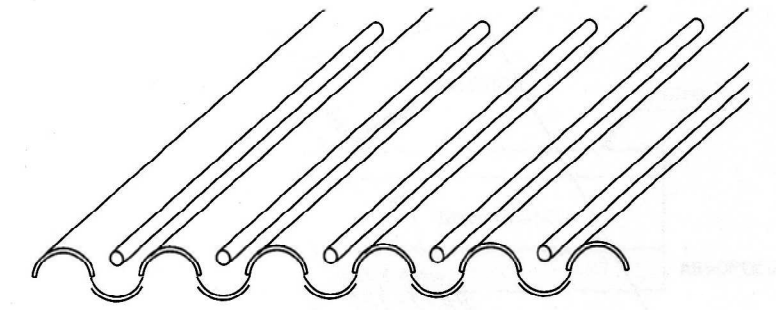


Figura 4.11

### Aislante

Este componente es de fundamental importancia ya que dependiendo de éste es el rendimiento térmico. Evita que se pierda el calor a través de los laterales y el fondo de su carcasa.

Está hecho de una espuma de poliuretano de resina de melanina o similar, debajo y en los laterales de la placa absorbente, guardando un espacio entre el aislante y la placa, para reducir las pérdidas térmicas. La densidad de la espuma se selecciona en función de la temperatura de trabajo.

Se puede adherir al sistema de aislamiento una lámina de aluminio para que refleje la radiación emitida por la placa absorbente y, con ello, reducir aún más las pérdidas de calor por la parte posterior del colector solar.

### La carcasa

La carcasa es la estructura que soporta todos los componentes citados. Puede estar fabricada de aluminio con ranuras dispuestas para la fijación en cubiertas, suelo u otros emplazamientos.

La carcasa está completamente sellada para asegurar la estanqueidad, lo que es una condición imprescindible en un componente que se sitúa siempre a la intemperie.

### Intercambiadores de calor

Existen dos tipos de ciclo de intercambio de calor del agua que pasa por el colector. Uno es el modo directo, que utiliza la misma agua caliente para uso sanitario.

El segundo es el modo indirecto; en este ciclo el agua que se calienta en el colector debe transferir su calor por medio de un dispositivo a otro volumen de agua, la cual se utiliza en la residencia, comercio, etc.

El circuito por donde circula el agua caliente se le denomina circuito primario, y donde pasa el agua de la red que se calienta a través del intercambiador de calor se le denomina circuito secundario (Ver Figura 4.12).

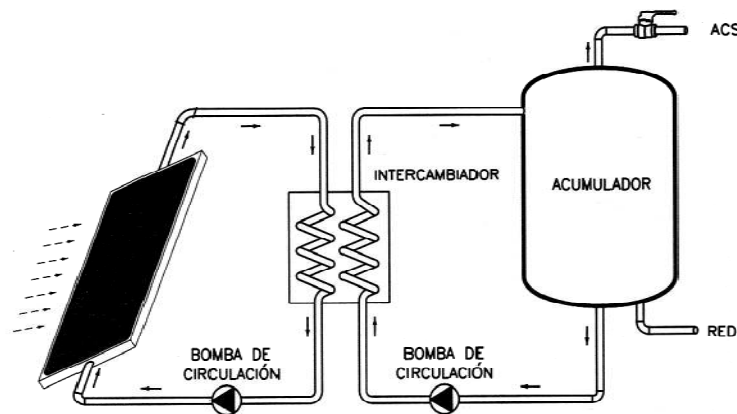


Figura 4.12

El modo directo de calentamiento del agua es de poca utilidad práctica ya que la mayoría de los sistemas requieren de aditivos en el fluido a calentar, por ejemplo de anticongelantes y anticorrosivos para alargar la vida del colector, y para aquellas zonas en las que el invierno produce heladas.

Por razones obvias no se puede utilizar el mismo fluido para agua caliente sanitaria.

Luego, ya que es necesaria la separación de los dos líquidos se utiliza el ya mencionado intercambiador de calor.

La transferencia térmica se produce solo cuando existe un gradiente térmico adecuado. El líquido caliente procedente del colector solar es transferido térmicamente al circuito del agua fría, produciéndose así el intercambio térmico sin mezcla de los líquidos de los dos circuitos.



Su característica principal es la potencia térmica y su efectividad, el rendimiento

$$Q = m \cdot C_p (T_e - T_s) \dots \dots \dots (4.1)$$

Donde: Q = potencia térmica

m= Caudal del fluido

Cp= Calor específico del líquido

T<sub>e</sub>= Temperatura del fluido de entrada

T<sub>s</sub>= Temperatura de salida

Este componente está compuesto de dos tubos concéntricos, con sus respectivas terminales de entrada y salida. El tubo exterior o de mayor diámetro es el correspondiente al circuito primario y el interior es el del circuito secundario (Figura 4.13).

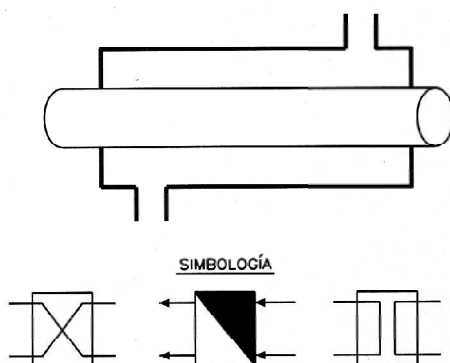


Figura 4.13

El proceso de intercambio térmico indirecto puede contar con dos modalidades.

Intercambiador externo; el cual se encuentra ubicado entre el colector y el acumulador, separando claramente los dos circuitos (Figura 4.14).

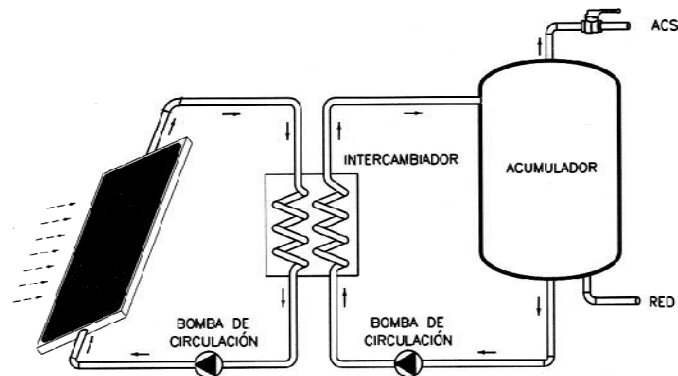


Figura 4.14

### Intercambiador integrado

Esta modalidad es la más usada en el mercado de energía solar térmica. Funciona con un acumulador el cual tiene un intercambiador de calor integrado; este puede ser de tipo doble envoltante o de tipo serpentín.

Este tipo de acumuladores con intercambiador integrado también se les llama interacumuladores, pero se explicarán a detalle más adelante en la sección de acumuladores e interacumuladores.

### Acumuladores e interacumuladores

Existen diferentes formas y procedimientos técnicos de almacenamiento de energía.

En el caso de la energía solar térmica, el almacenamiento se hace a través del calentamiento del agua y uso del acumulador (Figura 4.15).

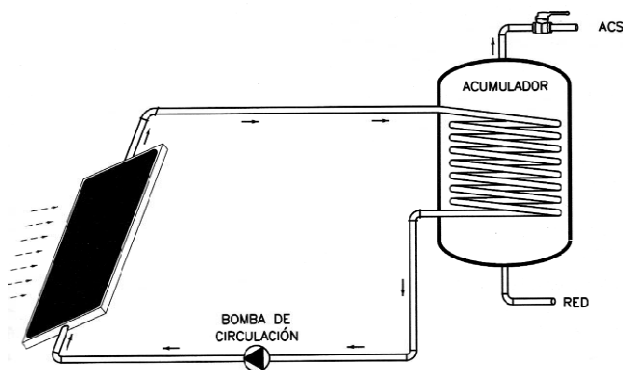


Figura 4.15

La capacidad calorífica del agua es de 4.186 KJ/kg °C

Existen dos grupos de acumuladores:

#### **Acumuladores de circuito abierto**

Estos son los que no cuentan con un intercambiador integrado. Son un depósito adiabático, en el cual se guarda el agua caliente para su uso en cualquier tiempo.

Éstos sencillos acumuladores pueden contar con un sistema adicional de calentamiento eléctrico, denominado de apoyo, para calentar el agua interna cuando la demanda energética sea superior a la que proporciona la instalación solar. Un controlador electrónico (explicado posteriormente) permite hacer las medidas necesarias de temperatura para iniciar el sistema de apoyo de manera automática, si éste se requiere.

#### **Interacumuladores**

Como ya se habían mencionado, éstos son los componentes que integran al intercambiador térmico junto con el acumulador. Éstos se utilizan en instalaciones de pequeña y mediana capacidad del tipo indirecto.

De la misma manera que el acumulador básico, el interacumulador también puede contar con un sistema de apoyo.

Existen dos versiones del interacumulador siendo estas:

Intercambiador simple; es la versión comercial de acumulador en la que se ha introducido un medio de intercambio térmico. Tal intercambio se puede dar a su vez de dos maneras.

- Intercambiador mediante doble pared o equivalente. (Figura 4.16 a)
- Intercambiador de serpentín para el circuito primario. (Figura 4.16 b)

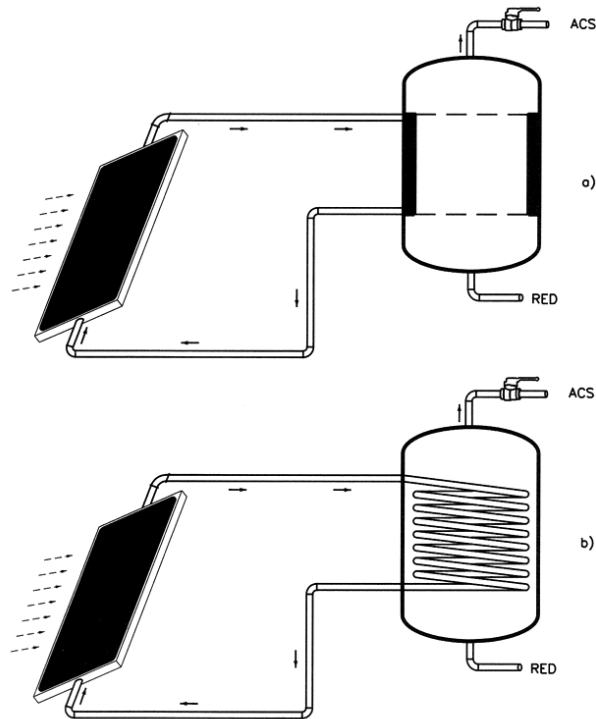


Figura 4.16

La segunda versión del interacumulador es el de “Intercambio doble”.

Como su nombre lo indica, este componente cuenta con dos intercambiadores de calor.

Los intercambiadores son de tipo serpentín y el segundo es un sistema de apoyo que puede proceder de un sistema de colección solar independiente del primero.

La configuración básica del interacumulador está formada por los siguientes componentes:

### **Carcasa y recubrimiento**

Corresponde a la estructura del equipo, en la que están dispuestos los componentes a sujeción. El material de la carcasa es acero galvanizado revestido mediante electroquímica y cocido al horno.

### **Aislamiento**

Capa de espuma rígida de poliuretano flexible para los de gran volumen, la cual es empleada para aislar el depósito inferior del recubriendo del equipo. Su espesor suele estar comprendido entre 30 y 40 mm para los primeros y entre 60 y 70 para los segundos.

### Cilindro

Corresponde al depósito portador del ACS.

Se emplea acero inoxidable o material similar de algunos milímetros de espesor cuyo interior se puede vitrificar, o bien depositar una capa de esmalte con espesor 100 a 200 $\mu$ m.

El cilindro puede contener además un ánodo de magnesio para protegerlo de la acción oxidante. El cilindro también debe de contar con una válvula de seguridad para limitar la presión hidráulica del interior del depósito al valor máximo especificado por el fabricante, evacuando fluido cuando es necesario para restaurar su valor en el conjunto de la instalación.

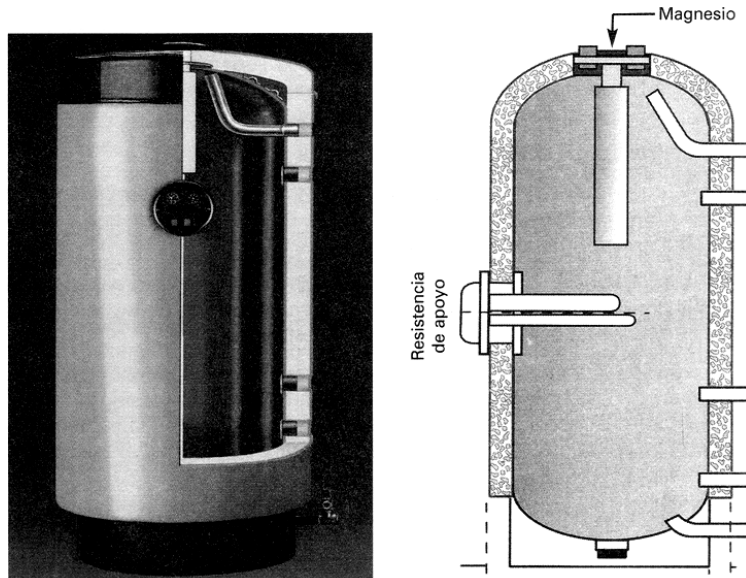


Figura 4.17

Las especificaciones principales del conjunto son:

- Capacidad de ACS en litros.
- Temperatura máxima del depósito en grados
- Presión máxima del depósito en bares
- Peso en vacío.
- Capacidad del circuito de calentamiento (si cuenta con sistema de apoyo)
- Temperatura máxima del circuito de calentamiento

- Presión máxima del circuito de calentamiento.

Si el sistema cuenta con intercambio térmico de tipo serpentín se consideran también:

- Superficie de intercambio del serpentín superior, en m<sup>2</sup>
- Superficie de intercambio del serpentín inferior, en m<sup>2</sup>

#### 4.5 Circuito hidráulico

Habiendo mencionado ya los componentes básicos del sistema de energía solar térmica, se procede a explicar el sistema hidráulico en el que toman parte otros componentes de igual importancia y accesorios de seguridad.

En el sistema con circulación forzada es preciso intercalar entre el captador solar y el intercambiador térmico si es externo o el acumulador, si contiene ese componente, un medio de bombeo controlado del fluido en circuito primario.

Constituyen 4 elementos este sistema, los cuales son:

- Bomba de circulación
- Tubería por donde circula el agua
- Vaso de expansión
- Válvulas y accesorios para protección.

Si el intercambiador es externo, entonces una segunda bomba va a ser requerida en el sistema para el circuito secundario.

Las variaciones de temperatura del fluido dan lugar a variaciones del volumen y con ello de la presión, lo cual puede afectar al buen funcionamiento de la instalación, para esta situación es necesario utilizar un vaso de expansión.

##### **Bomba de circulación**

Bomba de configuración electromecánica dispuesta en línea, del tipo de rotor, con la que se hace circular un determinado caudal de fluido a una cierta velocidad y altura de impulsión. El motor se alimenta con energía eléctrica y está controlado por un equipo electrónico de control.

Para aplicaciones de suministro de agua potable, la bomba deberá ser resistente a la corrosión, los materiales constructivos deben ser compatibles con el fluido en circulación y resistente a las incrustaciones calizas (agua dura).

Las características de la bomba son:

- Potencia W
- Tensión de alimentación, V
- Altura de elevación mínima hPa
- Caudal m<sup>3</sup>/h
- Conectores para los tubos en, mm o pulgadas.

Para la elección del equipo se debe tomar en cuenta:

- La presión del fluido en circulación.
- El caudal
- Pérdidas de carga.

### **Tuberías**

Las tuberías en las instalaciones térmicas deben de ser elegidas tomando en cuenta el cumplimiento de las normas, los factores físicos, tales como el caudal y la presión máxima admisible, el aislamiento para obtener las mínimas pérdidas térmicas, la protección ante los agentes contenidos en el agua en circulación, y los higiénicos si la instalación es de tipo directo, en la cual el fluido del colector es el de ACS.

El material de las tuberías es de acero, cobre o de material plástico si es capaz de soportar las temperaturas, y cuentan con un recubrimiento aislante para evitar la pérdida de calor. Las uniones van roscadas, soldadas o embridadas.

La superficie externa debe de ser pintada para evitar la corrosión.

Es aconsejable dimensionar el sistema de tuberías para que la pérdida de carga unitaria no supere el valor de 40 mm de columna de agua por metro lineal.

Cuando tenemos el diseño de sistema de climatización de una alberca se pueden utilizar tuberías de PVC. En este caso el diámetro tiene que ser de gran tamaño para llevar un gran caudal y así se puede evitar usar un recubrimiento aislante, ya que entre más grande sea el caudal se limitan las pérdidas de carga.

### **Vaso de expansión**

Como se había mencionado previamente, los cambios de temperatura ocasionan cambios de presión, ocasionando pérdidas y dificultades en la circulación.

Por medio de la instalación de un vaso de expansión en el circuito primario se mantiene constante la presión hidráulica, absorbiendo la dilatación ocurrente.

Existen dos tipos de vaso de expansión.

- Vaso de expansión abierto: es el sistema que cuenta con un recipiente ubicado en una parte superior al líquido en circulación para absorber la presión que se ejerce sobre éste. El volumen útil del vaso se fija para que sea capaz de absorber la expansión entre las temperaturas externas. El sistema se puede emplear para alimentar el circuito o para purgarlo o desaerearlo.
- Vaso de expansión cerrado. Este sistema está basado en una membrana de presión dispuesta en un depósito cerrado.

### Válvulas de control

- De purga. Válvula tipo esfera empleada para extraer el aire atrapado en las conducciones del fluido. Se puede colocar afuera del colector solar y puede ser de acción manual o automático.
- De vaciado o llenado. Se emplean para llenar o vaciar el fluido del circuito.
- De aislamiento. Válvula tipo esfera. Se emplea para cortar el fluido en la entrada o salida de los subsistemas de la instalación, aislándolos durante las operaciones de mantenimiento.
- De retención. Válvula de disco para evitar el retorno del fluido cuando el agua del acumulador es superior a la del colector.

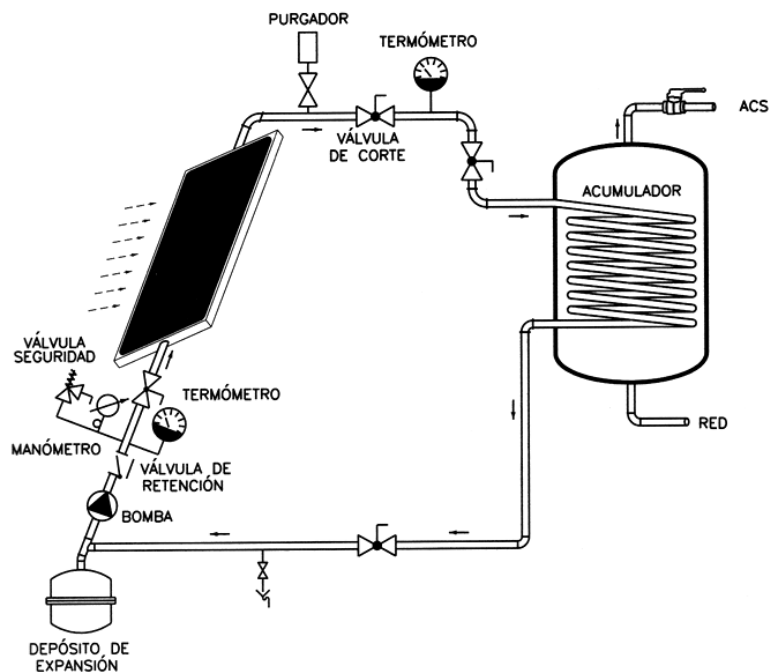


Figura 4.18



### Central de regulación

Los sistemas que cuentan con circulación forzada usualmente operan con un sistema de control de temperatura. Este regulador diferencial sirve para encender, apagar y regular la velocidad de la bomba de circulación en el circuito primario.

El control de temperatura es con respecto a la temperatura de salida del colector y del acumulador.

Otra función principal de la central de regulación es la de activar el sistema de apoyo, cuando se cuenta con éste y la energía solar no es suficiente, o es nula.

El componente es un dispositivo programable, ya sea de manera local o a través de un software y conexión con una PC.

Esta unidad arranca las bombas de circulación cuando la temperatura de salida del líquido del circuito primario del colector solar es superior en un valor situado entre 4 y 6 °C a la del acumulador. Esto se denomina, temperatura diferencial de arranque.

Cuando la diferencia es de entre 2 y 4 °C se denomina histéresis.

Estos valores están en función de la normativa local de donde se pretenda realizar la instalación solar. Por lo tanto es obligatorio observar las reglas, para saber en qué temperatura se debe de parar el bombeo y a que temperatura no se puede detener el bombeo.

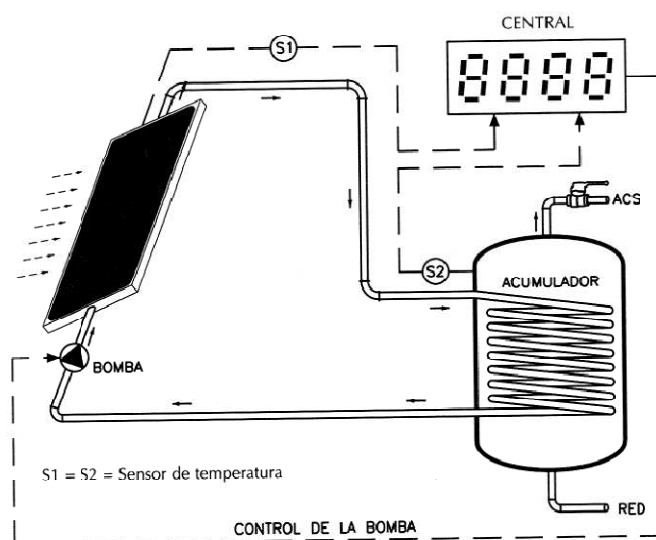


Figura 4.19

### Sensores de temperatura

En las instalaciones de baja temperatura, se utilizan resistencias de tipo NTC con recubrimiento metálico para poder sumergirlos en el líquido. Estos sensores se conectan a la central de regulación a través de cables separados de la red e idealmente aislados.

Cuando la instalación es de mediana o alta temperatura se utilizan los termopares, los cuales funcionan a través de una corriente eléctrica en un circuito formado por dos tipos de metales.

En el caso de una instalación más pequeña, menos sofisticada, se pueden integrar termómetros en los puntos que se consideren necesarios para observar, a efectos de control manual sobre el sistema. Del mismo modo se pueden incluir manómetros para el control de la presión.

En el mercado existe una amplia variedad de medidores tales como:

Termómetro = 0 a 120°C máximo (existen escalas 0-60, 0-80 y 0-120) para medir la temperatura del colector y del acumulador.

Manómetro = 0-6 kg/cm<sup>2</sup> máximo para medir la presión del circuito cerrado y comprobar con ello el llenado y el funcionamiento del sistema de expansión.

## 4.6 Configuraciones de los sistemas

Hablando en términos de aplicación real, las instalaciones solares deben de cubrir las necesidades particulares de cada proyecto. Como se ha mencionado en el capítulo anterior, los criterios básicos de diseño para cada instalación están en función de la demanda de agua caliente, la temperatura del agua de la red (promedio), la temperatura a la cual se pretende llegar, irradiación media y fracción solar. Estas condiciones, conjuntamente con otros factores nos proporcionan la información para dimensionar de manera adecuada y eficiente nuestro sistema particular.

A continuación se mencionarán tipos de configuraciones para adaptarse a distintos propósitos, ya sea viviendas unifamiliares, edificios residenciales, hoteles, comercios, etc.

### Orientación y conexión de los colectores

- Integración arquitectónica.  
Se debe de escoger elementos mecánicos de sujeción adecuados para la arquitectura del lugar de instalación. Esto quiere decir que se coloquen con los cuidados necesarios, como

mantener la alineación con los ejes del edificio, y utilizar colores que se integren con el entorno.

- Orientación e inclinación.

Se deben orientar los colectores en cuanto al azimut al sur en el hemisferio norte y al norte en el hemisferio sur, teniendo en cuenta que no se proyecten sombras sobre ellos, para evitar repercusiones en la eficiencia del sistema.

Los paneles solares deben de aprovechar al máximo la trayectoria del Sol con respecto a la Tierra, es por esto que se deben de posicionar de acuerdo al arco Este- Oeste y así elevar la temperatura del fluido al máximo posible.

La energía captada alcanza su pico en el medio día, y sus puntos mínimos son en el alba y el ocaso.

Entre estos extremos se encuentra la franja denominada HPS (horas pico de sol); que corresponde al horario en el que el panel capta energía del sol convirtiéndola en energía calorífica.

Para posicionar el panel tenemos que tener en cuenta que éste cuenta con dos ejes. Uno corresponde al azimut (movimiento Este- Oeste) y el otro (ángulo phi, inclinación con respecto al plano horizontal de la Tierra) (Figura 4.20).

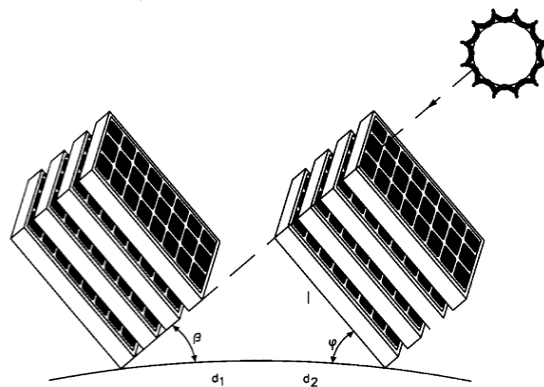


Figura 4.20

**Azimut.** Orientación hacia el Sur geográfico (estando en el hemisferio norte). Es el ángulo formado por el plano de la altura que contiene la línea de un astro y el plano del meridiano del lugar.

La inclinación va a coincidir con el valor de la latitud del lugar. La ciudad de México tiene como coordenadas geográficas: 19°03' a 19°36' de **latitud** Norte. Si la instalación va a ser de condición permanente entonces se realiza utilizando un valor medio obtenido por medio de GPS (posicionamiento por satélite). Si la zona del proyecto se encuentra ubicada en un lugar donde las estaciones estén muy marcadas, se utiliza una corrección en el valor de la elevación.

Periodo estival=  $-10^\circ$

Periodo invernal=  $10^\circ$

No siempre es posible orientar los paneles solares a los puntos geográficos indicados, que corresponden a la situación de máxima captación solar. Esto puede ser debido a distintas causas, como por ejemplo, la arquitectura de la edificación. En dichas circunstancias se producen pérdidas energéticas que deben de ser calculadas para poder dimensionar adecuadamente.

Cuando tenemos un arreglo de más de un panel en una línea tenemos que considerar el cálculo para que la sombra proyectada durante el año no afecte a los paneles.

La distancia  $d$  mínima entre los paneles se calcula con la expresión:

$$d = d_1 + d_2 = 1 \left( \frac{\text{sen}\varphi}{\tan\beta + \text{cos}\varphi} \right) \dots\dots\dots (4.2)$$

Con esta ecuación se garantiza que en las condiciones más desfavorables la sombra de una arista superior llegue a lo mucho a la arista inferior del siguiente panel.

El ángulo  $\beta$  es la altura mínima del Sol en todo el año y al mediodía. En tales condiciones;

$$\beta = 90^\circ - \text{latitud del lugar} - 23.5^\circ$$

### **Energía calorífica necesaria, Q**

Se debe saber primero cual es la demanda energética para poder establecer la superficie de captación y el rendimiento energético de los paneles.

De los cálculos se obtiene entonces una superficie en  $\text{m}^2$  a instalar, lo que puede significar un número mayor a uno de colectores solares, y obviamente se debe revisar un catálogo actualizado que los proveedores ofrecen en cuanto a colectores solares.

Las condiciones que se deben de cumplir para satisfacer las necesidades del usuario son temperatura a alcanzar, o el caudal a suministrar, y la combinación de ambas.

Cuando el cálculo de energía requerida indica el uso de más de un colector nos encontramos con otra cuestión, que es la de la configuración de la conexión entre los colectores.

Se pueden conectar éstos en paralelo para obtener mayor caudal o en serie para obtener mayor temperatura, o en serie paralelo para la combinación de ambas condiciones.(Figura 4.21)

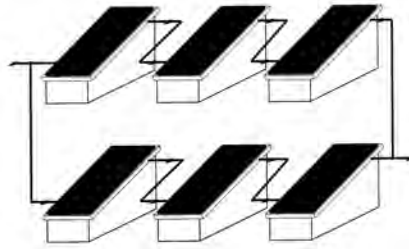


Figura 4.21

En la conexión en paralelo, se tendrá en cuenta el número máximo al que limita este tipo de configuración el fabricante de los colectores.

Debe de existir un flujo equilibrado en todos los colectores disponiendo de un montaje hidráulico de retorno invertido.

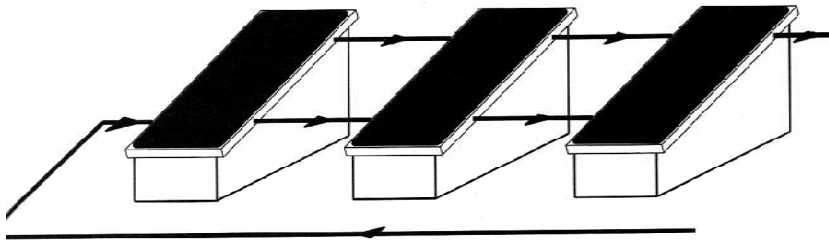


Figura 4.22

En la conexión en serie sólo pueden haber dos unidades, debido a que en el montaje en serie la temperatura se multiplica en cada colector y en el segundo colector el rendimiento energético es mucho más bajo. En el caso de conexión en serie para usos industriales, el límite está definido solamente por los fabricantes y las especificaciones del equipo.

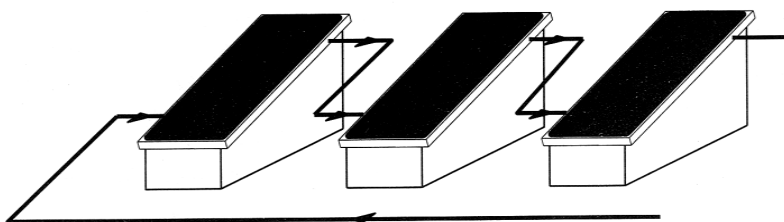


Figura 4.23

El caudal no varía entre cada colector, pero sí el salto térmico, pues su temperatura va aumentando progresivamente, lo que afecta al último colector, que presenta un rendimiento energético más bajo, como se mencionó previamente y por tal motivo se limita su número.

### **Estructuras de soporte**

Las estructuras sobre las cuales se instalan los colectores deben de ser lo suficientemente resistentes para las condiciones más adversas para la ubicación del sistema. Además, deben de cumplir con la integración arquitectónica de la edificación.

Se puede utilizar el acero galvanizado en caliente o con protección superficial, mediante pinturas anticorrosivas o tratamiento anticorrosivo. La tornillería deberá también ser de acero inoxidable.

Es importante revisar las normas de construcción para el lugar de la instalación, ya que estas varían de lugar a lugar. En el caso de México se debe revisar el Reglamento de Construcciones para el D.F donde se incluyen las normas oficiales mexicanas. Dentro de éstas se encuentran las cargas de soporte y cómo se transmiten éstas al suelo. Las capacidades del sistema para soportar las dilataciones por efecto de la temperatura.

Los puntos de sujeción serán los suficientes para evitar al máximo que se produzcan flexiones en los colectores de valor superior al especificado por los fabricantes.

### **Diseño del sistema de acumulación**

Intervienen cuatro factores fundamentales para el diseño del sistema de acumulación.

- Capacidad necesaria para el propósito de la instalación.
- Las condiciones de instalación de los componentes para poder cumplir con la normativa vigente.
- El tipo de conexión entre los acumuladores. (En el caso de haber más de uno)
- La relación entre el acumulador y el sistema de apoyo, en el caso de haber uno.

### **Capacidad de acumulación**

El consumo diario, la temperatura del ACS, y la temperatura del agua fría de la red definen la demanda energética.

Para obtener el dato de consumo promedio de agua caliente sanitaria se puede proceder a información recabada o por medio de valores estadísticos correspondientes a los hábitos corrientes obtenidos por algunos organismos, en el caso de México, en la Comisión Nacional del Agua.

Tales datos se obtienen de estudios estadísticos del consumo de ACS, los publican algunos fabricantes de material para las instalaciones y los organismos reguladores como ayuda al instalador en sus proyectos de diseño.

Otro dato fundamental es el de la temperatura de abastecimiento del agua. Se toman valores de la misma manera que el valor de temperatura de ACS; valores estadísticos.

Para el dimensionado se debe considerar el valor de irradiación.

Se utilizan tablas que indican de manera regional para un país los diferentes valores de irradiación.

El cálculo del dimensionado del sistema de acumulación puede hacerse con dos criterios diferentes.

- Obtener el volumen de acumulación de ACS necesario con los datos indicados de temperaturas y energía incidente sobre el colector solar.
- Recurrir al criterio práctico, que recomienda un área total de captadores en relación con el volumen de acumulación conforme a la siguiente desigualdad.

$$50 < V/A < 180 \dots\dots\dots (4.3)$$

Siendo:

A- Área total de los captadores, m<sup>2</sup>

V- Volumen del depósito de acumulación, L

El valor recomendado de acumulación es el de la carga diaria, H ;  $V = H$

En zonas con fracciones solares bajas debe considerarse una relación V/A pequeña, y aumentarla conforme incrementa.

### **Condiciones de instalación**

Existen criterios básicos para la elección del acumulador y en su ubicación más adecuada para conseguir las cotas más altas de seguridad y rendimiento.

- El acumulador tendrá incorporado un termómetro en una zona visible. Tendrá la capacidad de elevar el agua hasta 70°C por si solo o conjuntamente con un sistema de apoyo, para prevenir la legionelosis.

La legionelosis es una enfermedad bacteriana de origen ambiental que presenta varias formas clínicas, como síndrome febril agudo. La legionela es una bacteria que puede sobrevivir en un rango de temperatura de 20 a 45°, y a temperaturas inferiores se mantiene latente. A 70° C muere.

En instalaciones de agua caliente sanitaria donde existe estancamiento y contaminación de tipo, materia orgánica, productos nutrientes para la bacteria; entonces se produce su multiplicación con los mencionados efectos adversos a los humanos.

- El acumulador será preferentemente de tipo vertical, con una relación de altura/diámetro mayor de dos.
- Deberá contar con válvulas de corte, en el caso de ser el acumulador mayor de 20 m<sup>3</sup>, con el fin de mantenimiento.

### Conexión entre acumuladores

Cuando se va a instalar más de un acumulador por necesidad del volumen de ACS se pueden utilizar dos modos de conexión.

- Conexión en serie invertida con el circuito de consumo
- En paralelo, con los circuitos primarios y secundarios equilibrados.

En ambos casos los acumuladores instalados deberán contar con válvulas de cierre para poder aislarlos durante las tareas de mantenimiento.

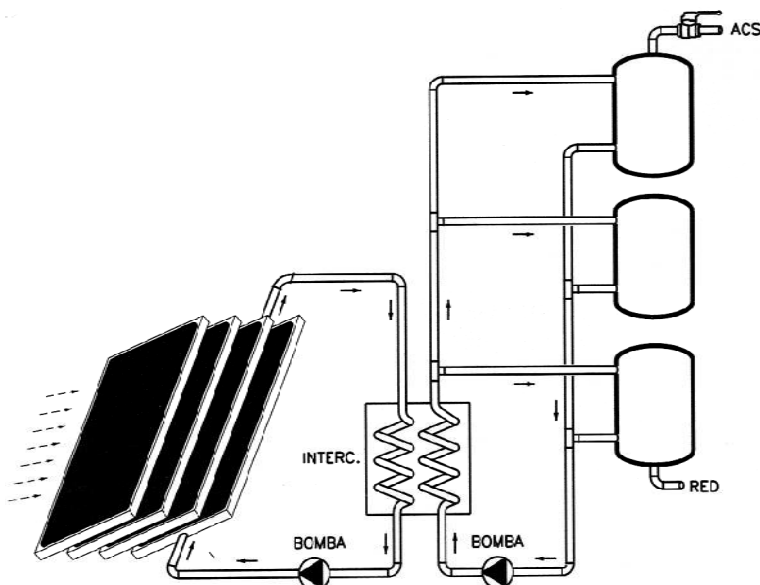


Figura 4.24

### Sistema de apoyo.

Como ya se mencionó en el subcapítulo de sistemas de apoyo, el dimensionamiento del conjunto debe de garantizar el aprovechamiento óptimo de la energía solar, para que la energía convencional entre en operación solamente en el caso necesario.



Para esta función sirve el equipo central de regulación, mencionado previamente. Éste enciende el sistema de apoyo de manera automática.

El sistema de apoyo puede incrementar la temperatura de ACS de dos maneras distintas:

- Mediante la incorporación de una resistencia eléctrica para calentar el agua mediante el efecto Joule. Se debe de revisar la normativa local para ver si este tipo de implementos se permite. En caso de ser permitido se debe también corroborar que exista la tensión eléctrica necesaria.
- Mediante la incorporación de un serpentín por el cual se hace pasar agua caliente procedente de un sistema de calentamiento de agua convencional, como es el boiler.

### Configuraciones básicas

Las instalaciones de energía solar térmica se clasifican según los criterios de diseño de su principio físico de circulación, del sistema de transferencia de calor empleado, del sistema de expansión previsto para mantener la presión en el circuito primario, de la relación del acumulador con el sistema elegido como energía de apoyo, y finalmente, por la aplicación.

### Arquitecturas del sistema

#### Diferenciación por el principio de circulación

Como se ha mencionado previamente en la tesis, la circulación del agua procedente del colector y dentro del acumulador puede ser por medio de la convección o mejor dicho, por termosifón; o puede ser de tipo forzada por medio de un bombeo.

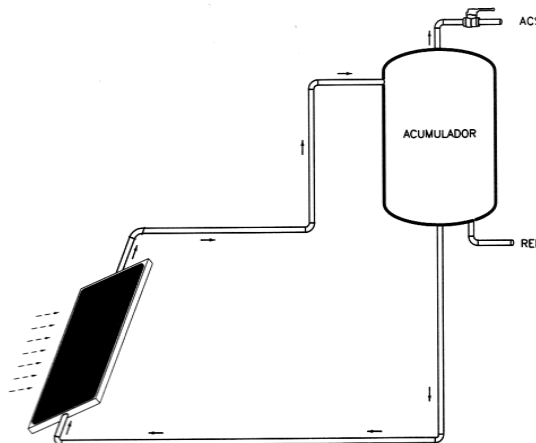


Figura 4.25

En el termosifón, el movimiento del fluido procedente del colector solar se produce como consecuencia del cambio de densidad experimentado por un gradiente de temperatura.

Con el sistema de bombeo se admite un mayor caudal, y se puede regular manual o automáticamente.

#### Diferenciación por el sistema de transferencia térmica

Se refiere al procedimiento empleado para transferir la energía térmica del colector al acumulador.

Directo: sin emplear intercambiador de calor. El agua de consumo es la misma agua que pasa por el colector.

Con intercambiador en el acumulador. Es el procedimiento más comúnmente usado, que da lugar a los dos circuitos, ya mencionados.

Este intercambiador puede ser de tipo serpentín o de tipo doble envolvente. (Figura 4.26 a y b)

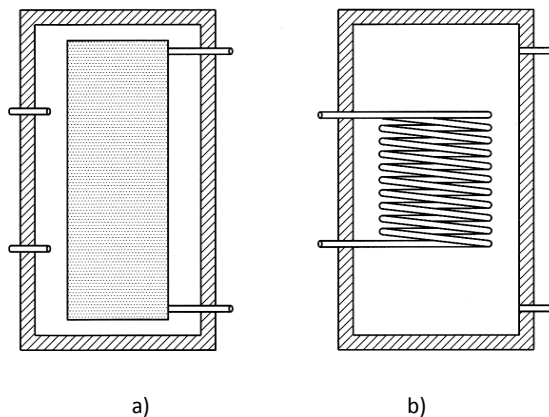


Figura 4.26

a)

b)

#### Diferenciación por el sistema de expansión

El sistema de expansión hidráulica empleado en el circuito primario para mantener la presión del fluido del colector, puede ser de dos tipos.

Sistema abierto; requiere colocar el vaso de expansión en el punto más alto de la instalación, y por lo tanto es el menos recomendado.

Sistema cerrado; en el que se instala un vaso de expansión cerrado.



Figura 4.27

#### 4.7 Dimensionado de los sistemas

Existen muchas aplicaciones para la energía solar térmica, por lo tanto la variedad de configuraciones se tiene que considerar para poder hacer una correcta instalación.

No importa si se está dimensionando un sistema para una casa rural pequeña o un edificio de hotel o comercial, el objetivo es tener una configuración adecuada para conseguir un buen rendimiento energético.

El aumento en la implementación de estos sistemas de energía renovable ha ocasionado que las empresas fabricantes de los componentes para las instalaciones aporten suficiente apoyo y facilidades para elaborarlas.

Por lo mismo, estas empresas cuentan con estadísticas del rendimiento de sus componentes, para así calcular fácilmente el rendimiento en un lugar específico bajo ciertas condiciones.

Además, se cuenta con programas de software gratuitos para facilitar el dimensionado del panel solar y del volumen del acumulador en función de las variables citadas.

Se deben de seguir una serie de consideraciones antes de instalar un sistema, y todo para que se pueda conseguir el máximo rendimiento energético y la máxima integración de los componentes externos en el entorno arquitectónico.

La complejidad entre cada proyecto es diferente principalmente por el tamaño de cada uno.

Los siguientes son puntos básicos para considerar un proyecto de instalación de energía solar térmica, algunos coinciden con los sistemas de energía solar fotovoltaica.

- Idealmente los paneles se orientarán hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur.

- Debido a la arquitectura hay veces que no se va a poder lograr una orientación óptima y para estos casos se deberán calcular las pérdidas de energía. Para estos casos los programas informáticos son de gran ayuda.
- Cuando se tenga en cuenta la instalación de paneles en filas se debe de prevenir la proyección de sombra entre éstos. Determinar el tipo de paneles solares a emplear y su colocación con criterios de rendimiento energético e integración arquitectónica.
- Los paneles con sus múltiples accesorios de fijación se pueden situar sobre cubiertas, en terrazas, fachadas, etc. Esto le da una facilidad al instalador para cumplir con los objetivos mencionados.
- Recordar que las pérdidas energéticas son proporcionales a la distancia que hay entre el colector y el acumulador.
- Determinar si la instalación es individual o tipo centralizado y el medio de apoyo en caso de ser éste necesario.
- Determinar si la instalación es de tipo estacional o permanente, lo que afectaría el movimiento del panel en función de la época y el dimensionado.
- Prever accesos fáciles a todos los componentes del sistema para facilitar las tareas de mantenimiento y para la revisión para evitar la legionelosis.
- Disponer de medios de seguridad y señalización en las tuberías por las que transite el líquido caliente.
- Observar el cumplimiento de la normativa vigente.
- Obtener datos de la climatología del lugar.
- En el caso de ser una instalación de tipo estacional se pueden presentar soluciones intermedias para que el sistema no esté sobredimensionado en los meses de máxima irradiación. Estas soluciones pueden ser sistemas de apoyo como los que se mencionaron en el Capítulo 3; una resistencia eléctrica o el uso de una caldera adicional de gas.
- Obtener datos de los hábitos de consumo de ACS de los usuarios de la edificación.

Con todos los criterios y datos juntos se procede al dimensionamiento del sistema: superficie de captación solar en  $m^2$ , y de la acumulación de agua en ( $m^3$ ), para un periodo dado.

### **Demanda de energía**

El poder satisfacer la demanda de energía en forma de ACS solicitada por los usuarios, implica el dimensionamiento correcto de la superficie de captación solar y del volumen del agua caliente a acumular. Se requieren los datos siguientes:

- Previsión del consumo total del agua caliente sanitaria en el periodo específico. Generalmente este periodo es de un día.
- Temperatura deseada del ACS, generalmente de  $45^{\circ}C$ .

- Temperatura media en el periodo especificado (estacional o permanente) del agua fría de la red de distribución que entra al sistema.

Con estos datos bien fundamentados procedemos a calcular la demanda externa de energía para un día.

$$Q_{(kWh)} = M \times \rho \times Cp (T_{cal} - T_{fria}) \dots \dots \dots (4.4)$$

Donde :

M = consumo total de ACS, en l/día.

$\rho$  = Densidad del líquido en kg/l, que corresponde del agua a 1 kg/l

Agua con anticongelante 1.06 kg/l

Cp= Calor específico del agua en kWh/kg K ( $1.16 \times 10^{-3}$  kWh)

T cal = Temperatura del agua caliente sanitaria, en °C

Tfria= Temperatura del agua fría de la red, en °C

Por medio de la ecuación 4.4 se obtiene la energía necesaria en kWh que debe ser captada por el sistema.

Se deben de considerar las pérdidas que ocurren desde el colector hasta donde el agua caliente se utiliza. Se estiman en promedio pérdidas del orden del 50%.

### Fracción solar

Un aspecto de consideración en el diseño de las instalaciones solares es asignarles la cobertura solar o fracción solar FS deseada.

La fracción solar corresponde al cociente entre la energía obtenida y la demandada

$$FS = \frac{E_{util}}{L} \times 100 \dots \dots \dots (4.5)$$

Donde:

E útil= Energía solar transferida al sistema

L = Consumo

Como la energía solar varía en cuanto al mes de captación, la fracción solar será conjunto de valores delimitados por las cotas superior e inferior.

En situaciones donde la energía potencial del captador varía de forma amplia, con respecto a la época del año, se puede llegar a una solución práctica donde se utiliza un sistema de apoyo en los meses más desfavorables.

$$FS = \frac{E_{util}}{L+E_{auxiliar}} = 1..... \quad (4.6)$$

E auxiliar= E útil – L; la energía requerida del sistema de apoyo durante los meses establecidos.

Ejemplo:

- Radiación media durante el invierno= 2.70 kWh/m<sup>2</sup>
- Radiación media diaria en verano = 6.50 kWh/m<sup>2</sup>
- Temperatura del agua de suministro en invierno = 6.5 °C
- Temperatura del agua de suministro en verano = 13.2 °C
- Temperatura prevista del ACS = 45°C
- Demanda total diaria de ACS = 200 l
- Orientación = Sur
- Inclinación= 30%
- Fracción solar en invierno = 0.35
- Fracción solar en verano = 0.85

En tales condiciones, la demanda de energía en invierno es de:

$$Q = 200 \times 1 (1.16 \times 10^{-3}) \times (45 - 6.5) = 8.93 \text{ kWh}$$

Y durante el verano de:

$$Q = 200 \times 1 (1.16 \times 10^{-3}) \times (45 - 13.2) = 7.38 \text{ kWh}$$

- Colector solar

Considerando la eficiencia  $\eta = 0.5$  y los valores previstos de FS arriba mencionados, la superficie de captación es:

$$Si = \frac{FS_{min} \times Q}{\eta \times Q_{util}} = \frac{0.35 \times 8.93}{0.5 \times 2.7} = 2.315 \text{ m}^2$$

Para el verano de manera similar:

$$S_i = \frac{FS_{max} \times Q}{\eta \times Q_{util}} = \frac{0.85 \times 7.38}{0.5 \times 6.5} = 1.93 \text{ m}^2$$

Habiendo elaborado el cálculo, se selecciona el área mayor y más próximo al colector solar comercial disponible en el mercado.

- Acumulador

Para calcular el volumen del acumulador se recomienda que sea un parámetro de entre 60% y 100% de la carga diaria.  $0.6 \leq V/M \leq 1$

Donde:

V= volumen del acumulador litros (o m3)

M= Carga diaria, l/día

Se debe considerar que las condiciones para establecer el volumen del acumulador pueden cambiar dependiendo del tipo de vivienda o zona comercial.

- Intercambiador externo

Su característica principal de dimensionado es su potencia térmica expresada en watts.

Se recomienda que cumpla con la siguiente condición.

$$P(W) \geq 600 \times A \dots\dots\dots (4.7)$$

Donde:

A= área de captación en m2

- Bomba de circulación

Se determina en función del caudal que debe desplazar.

- Tuberías

El diámetro depende del caudal en circulación, el cual se obtiene de la siguiente expresión:

$$D = \alpha \times C^{0.35} \dots\dots\dots (4.8)$$

en donde:

$\alpha$  = constante del material. Para el cobre es un valor de 2.2

C = caudal, en m<sup>3</sup>/h

El caudal está generalmente definido por las especificaciones técnicas del colector solar que se escoge. Si la conexión involucra varios paneles conectados en paralelo, el valor debe ser multiplicado por el número de paneles.

También es fundamental tomar en cuenta los factores de pérdidas para seleccionar el diámetro correcto. Por metro lineal la pérdida no debe ser superior a 40 mm c.a (mm columna de agua).

La velocidad del fluido no debe ser superior a 1.5 m/s.

- Vaso de expansión

Se debe mantener la presión en el circuito primario. La versión del vaso de expansión cerrada, el volumen se calcula:

$$V = V_T (0.2 + 0.01 H) \quad \text{donde:}$$

V= capacidad del vaso

$V_T$ = Capacidad total del circuito primario

H= diferencia de altura entre el punto más alto del panel solar y el vaso.

Para conocer el volumen del circuito primario se necesita sumar el volumen en el panel solar, el volumen contenido en la totalidad de las tuberías del circuito primario y el volumen contenido en el intercambiador térmico ya sea interno o externo.

## 4.8 Proyectos de instalación

En este apartado se contemplarán los métodos, criterios y equipo para diseñar las instalaciones; basándose en los datos de localización, uso y temperatura de entrada y suministro del agua caliente sanitaria.

Existen dos métodos básicos para diseñar instalaciones de energía solar térmica. El primero que se explica es el cálculo a mano.

### Cálculos sin software

Este procedimiento de cálculo es muy sencillo y ha resultado de gran utilidad para instalaciones pequeñas. Solo requiere la aportación de datos que son fáciles de obtener.



- Temperatura del agua de servicio a suministrar
- Temperatura del agua de red (fría)
- Irradiación anual ( o por estaciones dependiendo del lugar)
- Volumen de agua caliente requerido en un periodo específico

Las siguientes son características del método manual de dimensionamiento.

- La limitación de este método es que no se puede calcular el rendimiento energético de la instalación.
- Para calcular el rendimiento energético se requieren de muchos datos que no siempre están a la mano del instalador. La experiencia indica que los sistemas pequeños tienen un rendimiento de 50%.
- Otro factor que puede ser importante para calcular el rendimiento energético es el cálculo de las pérdidas energéticas por desorientación de los paneles, específicamente con respecto al eje horizontal, el acimut.
- Como se había explicado previamente los paneles solares requieren una orientación hacia el horizonte y una elevación igual a la latitud del lugar. Este valor varía +/- 10° en los solsticios de verano y de invierno respectivamente, a causa de la declinación de la Tierra. Si la colocación de los paneles no permite la orientación óptima entonces la pérdida energética es proporcional, pero su cálculo reviste dificultad sin el empleo de software específico.

### **Porcentaje de pérdida**

Se puede obtener un porcentaje de pérdida de la siguiente manera:

Se sitúa un medidor de irradiación solar en la posición ideal del acimut y elevación correspondientes al lugar de la instalación y se toma nota de la medición. Luego se mueve el medidor de radiación a la posición que tendría el panel en una situación real. Anotar el nuevo valor de irradiación. Finalmente se calcula el porcentaje de energía captada, por medio del cociente del valor con orientación óptima entre el valor con la orientación factible.

El resultado es el porcentaje de energía captada y por lo tanto restando éste valor del cien por ciento se obtiene el porcentaje de pérdida de energía

Si el cálculo del área de captación solar se hace con el valor anual promedio de irradiación del lugar, no se tendrá en cuenta el valor medido con el instrumento, ya que corresponde sólo el de un momento concreto y se operará con el porcentaje de pérdida.

### Calculo con software específico

Las instalaciones solares de tipo mediano y grande requieren de un dimensionado más preciso y por lo tanto más complejo. Se requiere el uso de un software el cual solicita datos comunes como:

- Latitud
- Inclinación
- Orientación y desviación Norte Sur
- Número de usuarios
- Demanda de ACS en l/día
- Temperatura del agua fría
- Temperatura del agua caliente a suministrar
- FS previsto.

El software que cuenta con bases de datos de la climatología para ciertas regiones y de todo el año, elabora los cálculos y los despliega de manera completa.

Existen dos tipos de software para el dimensionado del área de captación y sus componentes asociados principales.

### Software abierto

Este tipo de software está enfocado al cálculo general de instalaciones, sin datos previos de materiales, cuyos parámetros es preciso introducir; esto puede significar un problema para muchos instaladores sin experiencia.

Se requiere introducir parámetros térmicos tales como rendimiento óptico y factores de pérdidas  $k_1$  y  $k_2$ .

Este tipo de software incluye una base de datos de la energía por ubicación geográfica, localización y por época del año.

### Software de propietario.

El software de propietario es el que ofrecen distintas marcas de fabricantes de materiales a sus clientes. En este software ya vienen definidas las especificaciones del equipo, por lo que solo se requiere ingresar al programa información de la localización, orientación, consumo de ACS, y fracción solar elegida del proyecto. Una vez ingresando estos datos, el programa da una referencia cruzada de la información de sus materiales y equipos.

### Condiciones para el inicio de los proyectos de instalación

Para poder empezar el proyecto de instalación se requieren cumplir las condiciones básicas que son:

- Dimensionar correctamente el captador y el volumen de acumulación para satisfacer las necesidades en el periodo y temperatura específicos, como se mencionó en éste capítulo.
- Determinar el lugar de emplazamiento del panel, tomando en cuenta criterio de integración arquitectónica y evitando impacto ambiental.
- Recordar la conexión a tierra física en el caso de un captador metálico (que es en la mayoría de los casos).
- Determinar la ubicación de los elementos básicos del sistema: vaso de expansión, acumulador, bombas hidráulicas, central de regulación/central de control. Tener en cuenta que algunos elementos tienen que estar protegidos de la lluvia y deben de contar con la adecuada alimentación eléctrica. El acumulador debe estar situado cerca del sistema de apoyo en caso de ser necesario éste.
- Se debe determinar y adquirir los componentes necesarios para la instalación. Todo el material necesario para sujetar los paneles solares y conexiones del sistema.

## CAPÍTULO 5 Energía solar pasiva

La energía solar pasiva se basa en la utilización de materiales de construcción especiales, arquitectura solar y técnicas constructivas, planeación y orientación; el conjunto de éstos componentes y técnicas logran obtener en una edificación la energía de la irradiación solar, sin el uso de dispositivos tecnológicos dinámicos, como es el caso de los paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos.

Mantener el confort de los habitantes de un edificio, en términos de temperatura, iluminación y energía, en el sentido de reducir el consumo de costosos sistemas convencionales de climatización contaminantes, se integran por medio de la utilización de muros, ventanales, arquitectura bioclimática, morfología, orientación del edificio, materiales y la ubicación de éste.

Los componentes forman parte inseparable del edificio y captan la energía solar sin mediación de elementos mecánicos. La almacena y distribuye de forma natural, por medio de la convección, radiación, conducción y ventilación natural.

Los criterios básicos que conforman la técnica para aprovechar la energía solar pasiva son materia de la arquitectura bioclimática.

### 5.1 La arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática es aquella que toma en cuenta las condiciones ambientales del entorno sobre el cual se asentará el edificio para lograr el nivel de bienestar en su interior sin tener que recurrir a sistemas de climatización artificial, o en su caso, minimizando el uso.

Debe también aprovechar al máximo los niveles de calor, ventilación, luz, y minimizar pérdidas energéticas por medio de la orientación, ubicación en el terreno, y aislamiento de los muros.

Es importante mencionar que este tipo de arquitectura no es nuevo, de hecho la mayoría de las arquitecturas en el mundo tratan de respetar este concepto, desde tiempos antiguos en que se buscaba optimizar las casas para el aprovechamiento máximo de los recursos naturales.

En algunas industrias de la construcción se han olvidado por completo de ésta arquitectura construyendo sin importar los costos de climatización obviamente emitiendo grandes cantidades de contaminantes. Este tipo de industria, se podría decir que es la mayoría en la actualidad.

Como se ha mencionado en la tesis, los problemas ambientales actuales han ocasionado un giro en la conciencia humana, en este caso del constructor, con ideas más amigables hacia el medio ambiente y más coherentes.

Las normas se han modificado en muchos países, especialmente en países desarrollados, para evitar las enormes pérdidas de calor en los inmuebles modernos.

En cuestiones económicas para la construcción de edificios, es un hecho que los costos aumentan en función de la tecnología implementada para minimizar pérdidas energéticas y absorción de ésta. Sin embargo, a mediano y largo plazo se suponen ventajas económicas superiores, al sustituir sistemas de climatización convencionales.

El futuro de la arquitectura e ingeniería bioclimática pretende unificar estos conocimientos ya mencionados, en conjunto con fuentes de energía renovable hasta llegar a un total autoabastecimiento de recursos energéticos.

Como resumen se puede decir que la arquitectura bioclimática utiliza los siguientes recursos para lograr un ahorro significativo de energía.

- Ventanales por los que entra la energía solar a la casa.
- Aislamiento de techos y muros con materiales adecuados, para evitar la pérdida de calor.
- Disposición adecuada de las estancias con la cual obtener un flujo natural de aire por convección, traspasando el calor recibido por las estancias en contacto directo con el sol, con aquellas que no.
- Disposición adecuada sobre el terreno. Por ejemplo en zonas frías se puede enterrar parte de la casa para aprovechar el calor del subsuelo. En zonas ventosas se puede colocar la casa detrás de un montículo o una zona rocosa para protegerla de los vientos dominantes. En áreas cálidas se sitúa la casa en zonas con sombra y entre accidentes geográficos por los que circule una corriente de aire.

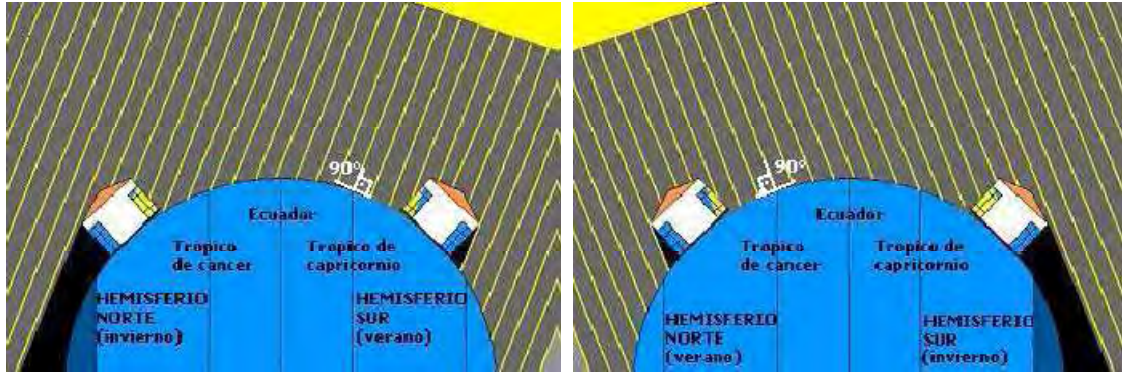
### **La orientación del edificio**

Para lograr un óptimo aprovechamiento del Sol incidente a lo largo del día se abren las ventanas en un muro construido orientado hacia el ecuador.

En el resto del edificio se construyen ventanas pero de mucho menor tamaño y de menor cantidad, con el fin de disminuir las pérdidas energéticas.

La radiación solar cae con mayor incidencia posible, la cual es a 90° y ocurre en un momento dado entre los trópicos. Éste lugar va variando conforme pasa el año, ocurriendo el 21 de Junio en el trópico de cáncer (que coincide con el verano en el hemisferio norte) y 21 de Diciembre (verano en el hemisferio sur).

Esta es la razón para orientar los grandes ventanales hacia el sur, si nos encontramos en el hemisferio norte.



21 de Diciembre

21 de Junio

Figura 5.1

### Morfología del edificio.

Como se ha mencionado ya en este trabajo, los rayos del sol no inciden de manera constante durante el año. La inclinación varía y por lo tanto podemos utilizar elementos constructivos para conseguir un calentamiento selectivo del interior de la casa. Estos elementos pueden ser marquesinas o aleros como en la Figura 5.2.

En invierno cuando los rayos son más necesarios, estos llegan con mayor inclinación sobre la superficie terrestre y este hecho favorece a las ventanas verticales, las cuales reciben toda la energía otorgada.

En el verano cuando las temperaturas son más altas, entonces se trata de prevenir el acceso de los rayos directos del sol, los cuales inciden con mayor perpendicularidad. Por medio de los mismos alerones en el techo, se detienen los rayos evitando que entren a la habitación.

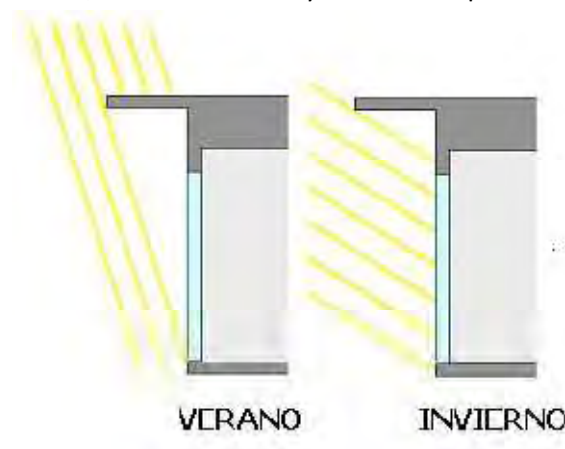


Figura 5.2

Tabla 5.1

Ciudad	Latitud	Angulo de incidencia solar 21 de Diciembre	Angulo de incidencia solar 21 de Junio
Ciudad de México	19°24	48°	86°
Monterrey	25°44	42°	88°
Guadalajara	20°42	47°	87°
Mérida	20°57	47°	87°

Para la Ciudad de México el ángulo de incidencia es de 90° para las fechas del 14 al 17 de Junio y del 27 al 30 de Julio.

### **Materiales empleados**

El uso de materiales especiales nos ayuda a aislar convenientemente el edificio previniendo que el calor ganado no se pierda o evitando que el calor excesivo del exterior entre al edificio.

Los muros además tienen una doble función sirviendo como acumuladores térmicos, liberando el calor absorbido en horas cuando la temperatura interior baje. De tal manera que cuando existe un exceso de calor dentro de la casa, también es absorbido por los muros. Entre más gruesos los muros mayor su masa térmica y más ayudará a controlar las temperaturas en climas extremos.

### **La ubicación del terreno**

La ubicación del terreno es importante para lugares extremos ya que si un edificio se encuentra en la sombra proyectada por otro edificio o vegetación, la temperatura podría bajar drásticamente.

De manera análoga, en zonas de extremo calor sí se buscaría estar en zonas con sombras proyectadas para evitar excesivo calentamiento.

Es recomendable la siembra de árboles de hojas caducas cerca del edificio ya que éste evita por medio de sus hojas el paso de irradiación solar directamente en la vivienda, de manera opuesta, en invierno ya que sus hojas se caen, permite el paso directo de los rayos sobre la vivienda.

Invernaderos anexos a la fachada del edificio.

Cuando tenemos un edificio, o de manera más clara, una casa habitación que tenga la fachada orientada hacia el ecuador se puede adosar un invernadero el cual capta todo el calor y lo distribuye por toda la casa por medio de convección.

Para evitar la pérdida de calor en las noches en momentos fríos, se puede colocar persianas sobre los cristales en el invernadero para evitar las pérdidas. De la misma manera se puede construir el invernadero de manera que se pueda dividir por medio de un muro y puerta para poder cerrar hacia la casa en estos momentos, en los cuales se favorecen las pérdidas. (Figura 5.3)

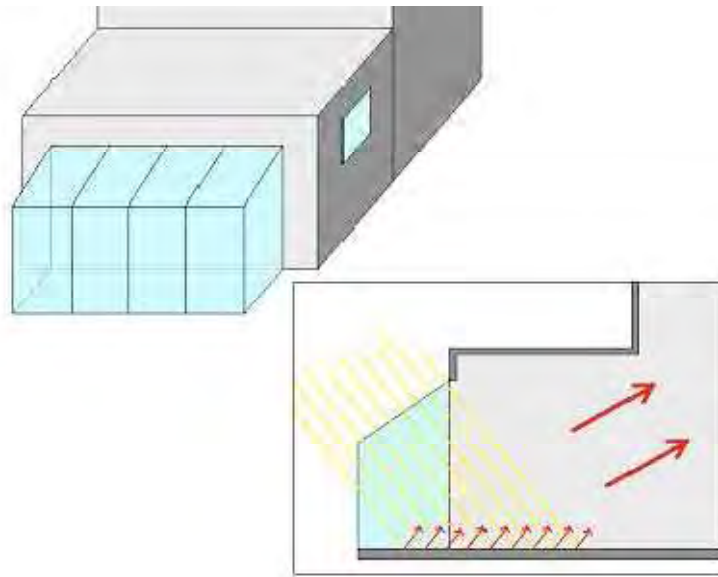


Figura 5.3

### Muro Trombe

El muro diseñado por M. Trombe, ideado para acumular calor, fue implementado en una casa al sur de Francia. Consta de un muro grueso con orificios para entrada y salida de aire y un aislamiento térmico. Básicamente, el muro es un colector solar para aire, integrado en la fachada del edificio.

Debe de contar con una orientación para tener la máxima insolación, como ya se mencionó en la sección de orientación. El color debe de ser oscuro, o negro para absorber la mayor cantidad de irradiación, teniendo siempre en cuenta la estética del edificio.

A una distancia de 10 a 15 cm del muro se colocan unos cristales, se deja la zona cerrada también por los costados y la parte superior se deja móvil, para que se pueda abrir y cerrar.

En invierno funciona gracias al efecto de invernadero, ya que el calor que entra se concentra y calienta el aire del interior de la estructura. Debido a los efectos de convección, el aire caliente se eleva y se mueve por los conductos en la parte superior del muro, la otra parte del calor que se queda estanca, se almacena en la masa de los muros para irse liberando conforme la noche avanza.



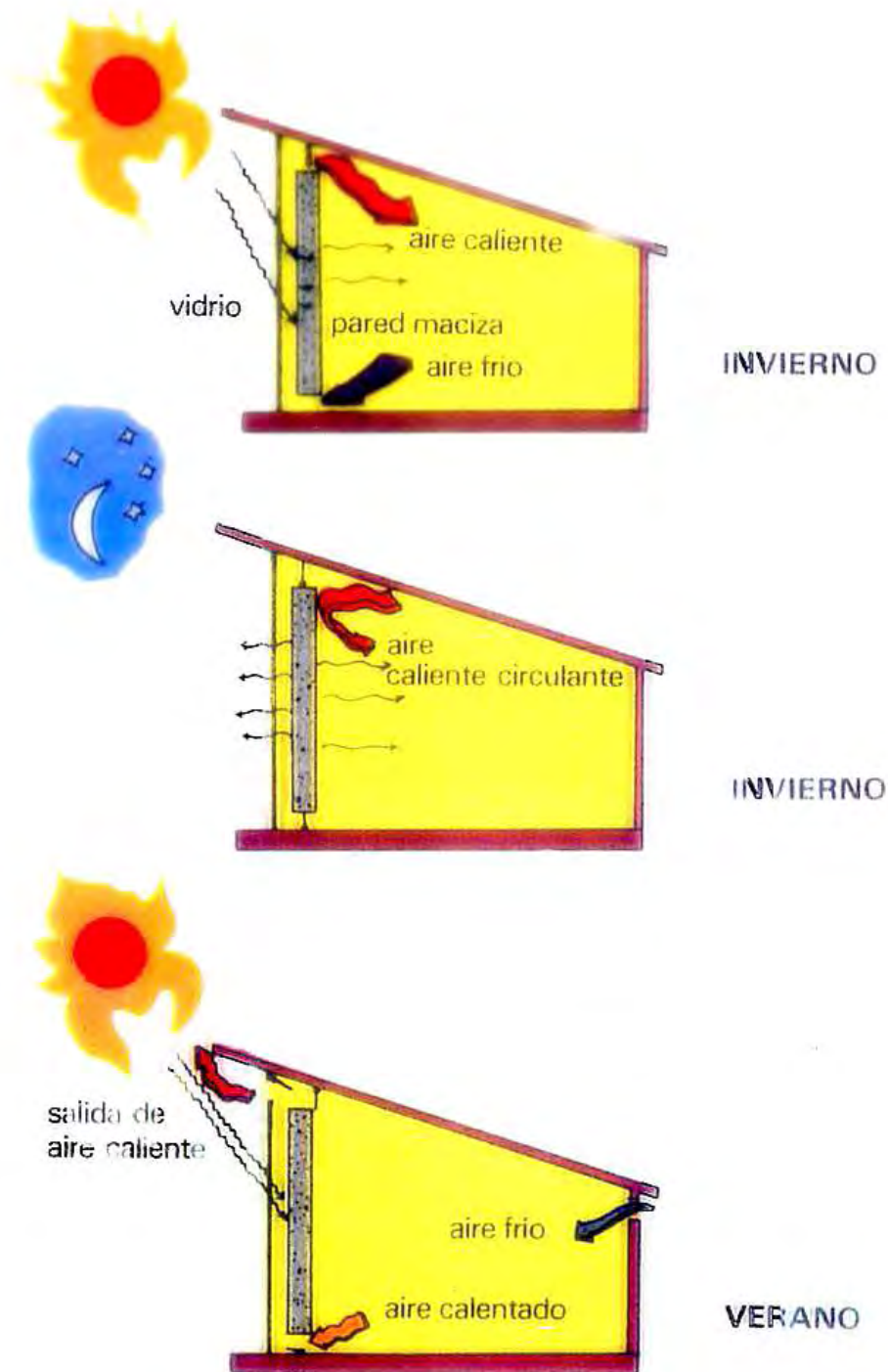


Figura 5.4

En el verano se cambia la configuración de los muros para lograr un efecto refrigerante. Por un lado se abren las compuertas de la parte superior del vidrio y el conducto de la parte inferior del

muro. Por otro lado se cierra el conducto de la parte superior del muro. La radiación solar que incide en el muro calienta el aire, haciéndolo elevar y sale por la parte abierta de la compuerta superior del vidrio. Al salir este aire caliente se crea un efecto de vacío y entonces entra aire por la parte inferior de los muros, provocando una corriente que renueva el aire del interior de la casa y produciendo un efecto de refrigeración.

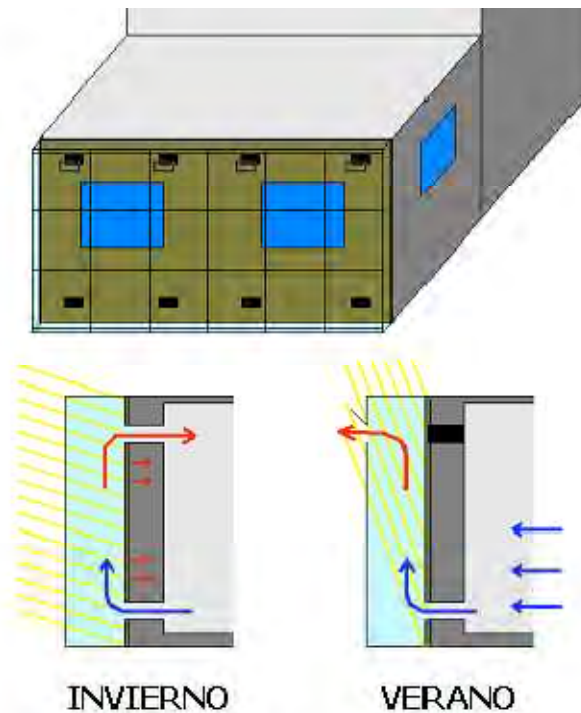


Figura 5.5

Los orificios en el muro deben ir en las partes superior e inferior. Si se trata de edificios de varias plantas es conveniente que el orificio en el exterior del muro coincida con la parte de la vivienda en el interior.

### Muro calefactor en forma de nido de abeja

Mediante el uso de bloques hexagonales de concreto se construye un eficiente sistema de calefacción que además permite una discriminatoria captación de la energía solar, favoreciéndola en el invierno y dificultándola en verano.

Tal como su nombre lo indica y como se aprecia en la Figura 5.6, los muros de nido de abeja se conforman de esta especial manera, pintándolos de blanco por su interior para reflejar la luz excepto la parte más próxima a la casa que se pinta de negro. Tras el muro de bloques hexagonales hay otro muro pintado en su totalidad de negro.

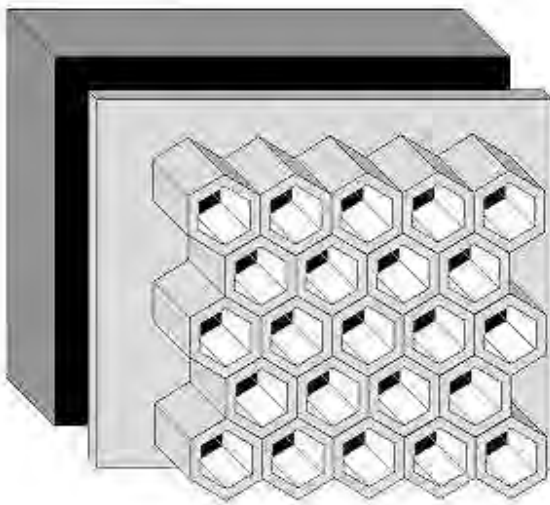


Figura 5.7

Durante el invierno debido a la inclinación de los rayos del sol, éstos pueden entrar con facilidad en los bloques hexagonales. La luz se refleja hasta topar con el muro final pintado de negro, convirtiendo la luz en calor. El aire entre los hexágonos y el muro negro se calienta y se eleva por convección entrando posteriormente a la casa por unos conductos ubicados en la parte superior. La parte de calor que no se transporta hacia el interior de la casa, se absorbe en el muro para ser liberado durante las horas de calor exterior nulo.

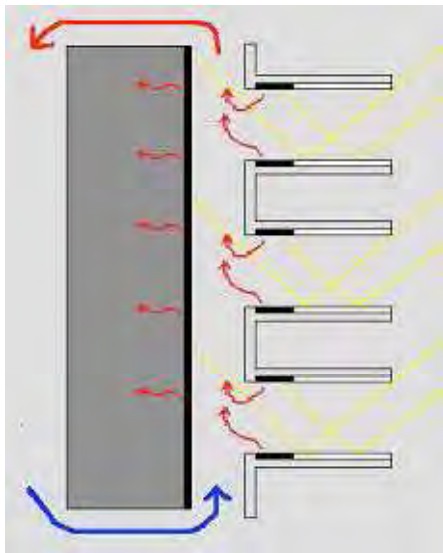


Figura 5.8

Durante el verano los rayos inciden de manera más perpendicular sobre la superficie terrestre dificultando entonces su acceso a los hexágonos de concreto. Por la misma razón de ángulo de

incidencia, los rayos que logran entrar a los hexágonos, rebotan con un ángulo más agudo sobre las superficies blancas, difuminándose y dispersándose antes de llegar al muro negro del final.

## 5.2 Métodos de aprovechamiento de energía

Los métodos explicados a continuación sirven para construcciones que no fueron diseñadas en lo absoluto para cumplir con la arquitectura bioclimática, y por lo tanto funcionan para poder hacer alteraciones menores y almacenar energía solar pasiva.

Mediante sencillas modificaciones es posible el empleo de la energía solar pasiva en casas convencionales no construidas siguiendo los principios de la arquitectura solar pasiva.

### 1. Observación de la entrada de luz solar en nuestra casa.

Nuestra casa, como es el caso más común, sobre todo en nuestro país, se construye siguiendo las líneas de las calles que la rodean, ignorando la orientación geográfica magnética terrestre.

Por lo tanto se recomienda observar las horas en las cuales la luz solar entra por las ventanas a lo largo del día y a lo largo del año, tomando en cuenta las sombras que se proyecten sobre la casa.

Las fachadas orientadas hacia el ecuador son las más favorables para la captación solar, ya que reciben la irradiación solar a lo largo de todo el día.

Las fachadas orientadas hacia el polo terrestre más cercano no recibirán en ningún momento del año radiación solar directa.

Las fachadas orientadas hacia el este reciben la energía solar directa en las horas de la mañana. Por el contrario las que están orientadas hacia el oeste reciben la energía solar en las tardes.

### 2. Métodos de aprovechamiento de energía solar pasiva

En invierno se recomienda permitir toda la luz solar directa al interior de la casa, abriendo las cortinas de las ventanas donde incida la luz directa y cerrando aquellas en donde no incidan los rayos solares, para evitar las pérdidas. Para lograr un mayor aprovechamiento de la energía que entra en la vivienda, es recomendable usar decoraciones de la casa (tapetes, manteles, tapicería, etc.) de colores oscuros para poder absorber mejor el calor.

Elementos de mayor masa, por ejemplo sillones, o mesas, absorben mejor éste calor.

En las noches para evitar las pérdidas, se recomienda cerrar las cortinas, de preferencia si son de tipo persianas o contraventanas.

Durante el verano es recomendable cerrar las persianas o cortinas para evitar el acceso directo de los rayos del sol. En algunas ocasiones es incluso recomendable la instalación de una especie de toldo para evitar que la radiación solar impacte el muro exterior.

La decoración de la casa debe de ser cambiada de color, de ser posible, a tonos más claros que reflejen la radiación solar y evitando que se transforme en calor.

## CAPÍTULO 6 APLICACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN VIVIENDA PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA

- 1) DISEÑO DE CALEFACCIÓN DE ALBERCA EN CUERNAVACA, MOR.
- 2) REVISIÓN DE VIVIENDAS PROTOTIPO CON COLECTORES SOLARES

Una vez estudiados todos los componentes del sistema de energía solar térmica y su funcionamiento se puede proceder a un caso estudio para integrar estos conocimientos.

En este capítulo se aborda el dimensionamiento de una piscina y la revisión de un desarrollo habitacional siendo ya claros los aspectos teóricos del sistema y poniendo a prueba las habilidades de diseño. En estos *casos estudio*, se describen los métodos más adecuados de instalación, condiciones de materiales, los procedimientos necesarios para llevar a cabo el montaje y finalmente comprobar su funcionamiento.

### 6.1 Dimensionamiento

#### Alberca en la Ciudad de Cuernavaca

Para iniciar con los cálculos pertinentes de diseño primero se estudia la zona y en este caso las dimensiones de la alberca existente.

La alberca ya cuenta con un sistema de calentamiento por caldera de gas y se pretende hacer una adaptación para un sistema de calentamiento solar.

Las dimensiones de la alberca son: 1.30 m de profundidad; 6.1 m de largo; 3.6 m de ancho

El volumen entonces de la alberca es de:  $V = 28.548 \text{ m}^3$  o lo que es igual 28,548 litros de agua.

La temperatura ambiente promedio de Cuernavaca es de:  $21^\circ \text{C}$

La irradiación del lugar se obtiene de los mapas solares y se utiliza el correspondiente al promedio anual.

Del mapa solar se obtiene 463 Langleyes en el Estado de Morelos (Figura 6.1).

Se debe entonces convertir las unidades de Langley a  $\text{kWh/m}^2$ .

El factor de conversión es:  $1 \text{ Langley} = 0.01162722222 \text{ kWh/m}^2$

Entonces: 463 Langleyes/día= 5.383403 kWh/m<sup>2</sup>

$Q_{util} = 5.383403 \text{ kWh/m}^2$

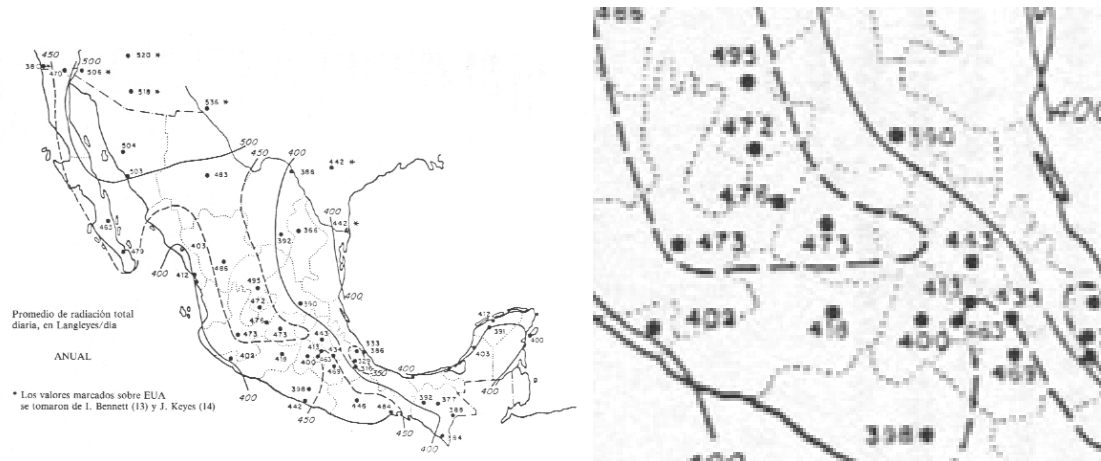


Figura 6.1

Entonces para calcular el trabajo requerido que se requiere para calentar la alberca se utiliza la fórmula:

$$Q = V \times \rho \times Cp (\Delta T)$$

Según la norma NADF-008-AMBT-2005, el valor de  $\Delta T$  es de 2.5 °C y corresponde a la pérdida promedio de temperatura nocturna en el agua de las albercas y/o fosa de clavados.

$C_p$  es el calor específico del agua en kWh/kg K =  $1.16 \times 10^{-3}$  kWh

Sustituyendo valores:

$$Q = 28,548 \times 1 \times 1.16 \times 10^{-3} (2.5) = 82.7892 \text{ (kWh)}$$

Este dato es el trabajo requerido por el sistema solar para calentar dicha alberca.

Luego el área necesaria de captación ( $S$ ), teniendo en cuenta la energía demandada ( $Q$ ), la captada ( $Q_{util}$ ), la fracción solar ( $FS$ ) y el rendimiento del sistema ( $\mu$ ), se obtiene de la fórmula:

$$S = F \cdot s \times Q / \mu \times Q_{util}$$

La fracción solar que le vamos a asignar al sistema puede ser de 70% ya que Cuernavaca cuenta con un nivel de irradiación alto a lo largo de todo el año y se puede aprovechar al máximo. Además se debe recordar que la alberca ya contaba con un sistema de caldera de gas por lo que se puede hacer la instalación necesaria para que el sistema funcione de manera híbrida solo cuando así lo requiera el sistema (tiempos prolongados de lluvia y nubes).

Esta incorporación del sistema híbrido puede ser de tipo automatizada, que siempre resulta lo más conveniente, pero también puede ser una alternativa mucho más costosa.

Queda opcional la alternativa de automatizar el sistema o dejarlo de modo manual, para aquella circunstancia en la que el día este nublado de manera perpetua.

El sistema no va a contar con un acumulador, ya que no se necesita almacenar el agua caliente sino inyectarla conforme se caliente en los colectores. Se va a requerir un sistema de intercambio de calor. Para esto se necesita un intercambiador externo de tipo de placas (Figura 6.2).

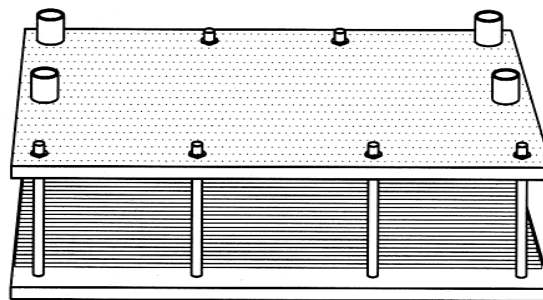


Figura 6.2

Por lo mismo el circuito primario, es decir el agua con aditivos que circula por los colectores solares y el intercambiador va a requerir una pequeña bomba eléctrica que maneje un caudal bajo pero prolongado. El agua del circuito primario (agua caliente), entonces va a transferir su calor vía el intercambiador de calor al circuito secundario (agua que se va a inyectar en la alberca).

Se puede revisar la opción de dimensionar el sistema para que tenga una fracción solar del 100%.



Para obtener la eficiencia del sistema de colectores solares se tomó de la gráfica del fabricante de la marca Chromagen, y el modelo es el CR100. (En la segunda parte del caso estudio se explica la obtención de la eficiencia)

$$\text{Sustituyendo: } S = 0.7 \times \frac{82.7892}{0.65} \times 5.3834 = 16.5615 \text{ m}^2$$

Como indica el cálculo se requiere un área de aproximadamente  $17 \text{ m}^2$  para abastecer de agua caliente la alberca. Esto querría decir que se han de adquirir 8 colectores de  $2.1 \text{ m}^2$ .

Como se puede apreciar en la imagen de Google Earth, (Figura 6.3) la orientación de la alberca y del edificio es interesante, ya que se pueden instalar los colectores en el techo de la edificación pegada a la alberca, dejando así una trayectoria pequeña, desde los colectores hasta las tuberías de la alberca.

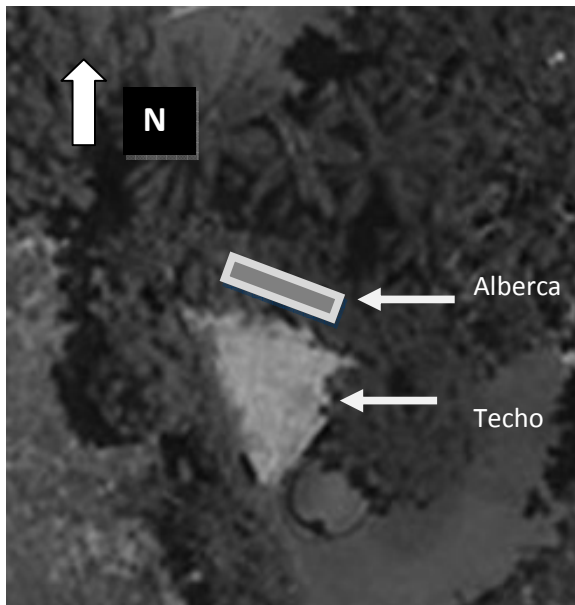


Figura 6.3 La imagen muestra de manera esquemática la ubicación de la alberca que está tapada por las copas de los árboles, y el techo de la edificación

## 6.2 Instalación

Equipamiento necesario:

- Paneles solares de  $1.2 \text{ m}^2$  de tipo colector plano.
- Estructura de montaje para la superficie elegida (superficie inclinada sobre tejas)
- Tornillería de condición antioxidante.
- Conjunto de tuberías normalizadas para agua sanitaria.

- Material aislante para la conducción del agua caliente de salida.
- Conjunto de llaves de corte y antirretorno.
- Bomba eléctrica del circuito primario.
- Intercambiador de calor.

Procedimiento de montaje:

- a) Tener previsto un sistema de desagüe que no suponga peligro de quemaduras para las personas que necesiten vaciar el sistema para mantenimiento o por avería.
- b) Instalar la estructura soporte del equipo, observando que su anclaje quede suficientemente seguro para evitar su derrumbamiento como consecuencia de los fenómenos ambientales. Tomar en cuenta el peso del equipo y del agua cuando esté funcionando.
- c) Fijar los paneles solares a la estructura metálica de soporte. Conectar los paneles entre si con una configuración serie-paralelo, bloqueando las bocas de los paneles no empleadas con tapones metálicos de rosca o una brida.
- d) Instalar el intercambiador cerca del circuito primario de los colectores, fijándolo adecuadamente al edificio y hacer las conexiones con ambos circuitos.
- e) Instalar una bomba eléctrica de tal manera que se conecte al circuito primario pero que se pueda accionar desde una ubicación accesible.
- f) Instalar el vaso de expansión de tal manera que se mantenga la presión en el circuito primario. Se dimensiona como se vió en el capítulo 4 de esta manera:

$$V = V_T(0.2 + 0.01H)$$

Siendo V= capacidad del vaso.

$V_T$ = capacidad del circuito primario

H= diferencia de altura entre el punto más alto de los paneles y el vaso de expansión.

- g) Canalizar las conducciones de agua caliente y de agua fría, instalando en ambas válvulas de corte y antirretorno.  
Para el agua caliente se diseñara el trayecto más corto, y evitando colocar codos, ya que se producen muchas pérdidas térmicas. También se deberá forrar de un material aislante térmico, que soporte la temperatura de los colectores hasta el intercambiador y posteriormente del intercambiador a la alberca.
- h) Llenar el circuito primario de la solución agua- líquido solar.
- i) Conectar la estructura metálica del equipo a la tierra de la instalación eléctrica de la vivienda mediante un conector eléctrico de mínimo 2.5mm de sección. Comprobar que el contacto es suficientemente sólido y que está protegido de la lluvia para evitar oxidación.

- j) Comprobar el funcionamiento de todo el sistema.
  - k) Realizar una memoria descriptiva de la instalación, donde se reflejen los datos más importantes, croquis de montaje indicando los dispositivos y componentes. Una relación de los proveedores es muy importante ya que puede ser necesario contactarlos por cuestiones de garantías. También una relación de mantenimiento, en donde se mencione cómo y cuándo realizar los mantenimientos del sistema en general.
- Con este método se finaliza este caso estudio. Se cuenta ya con el plan adecuado para instalar el sistema solar, en esta casa donde antes funcionaba solamente una caldera de gas lp y los precios del combustible eran elevados. Siguiendo el simple procedimiento se puede empezar a utilizar el sistema en muy poco tiempo.

### 6.3 Revisión y propuesta

#### Proyecto de desarrollo habitacional

El siguiente problema es de tipo revisión, en donde ya existe un sistema de colectores solares en un grupo de casas prototipo. Cada una de estas casas prototipo cuenta con un colector solar, por lo tanto el objetivo es tener una medición verás, de cuánto se ahorra, en dinero y en litros de gas lp, para poder tener una idea clara de la ventaja ambiental y en costos que una casa prototipo como estas significa.

La unidad habitacional se localiza en el municipio de Tecamác, Edo. De México.

Para calcular la energía que proporciona cada colector en el proyecto de 'Heroes de Tecamac' se utiliza primero la fórmula para poder despejar el valor de Q, que corresponde a la energía demandada.

$$S = F.s \times Q / \mu \times Q_{util}$$

El valor de la superficie S es de 1.2 m<sup>2</sup>

Para el Factor Solar F.s podríamos contemplar que aproveche el 40% de la energía solar, ya que tiene que ser un valor superior al 30%, que es el valor que dicta la norma **NADF-008-AMBT-2005**.

El 40% es un valor conservador pero también realista por lo tanto lo tomaremos como F.s de diseño.

Para calcular la eficiencia del sistema se utilizan las tablas del fabricante.

La marca de colectores solares que se utilizó en este proyecto es Chromagen, y el modelo es el CR100. Como se había mencionado se utilizó un colector por casa y cada colector tiene un área de captación de 2.1 m<sup>2</sup>.

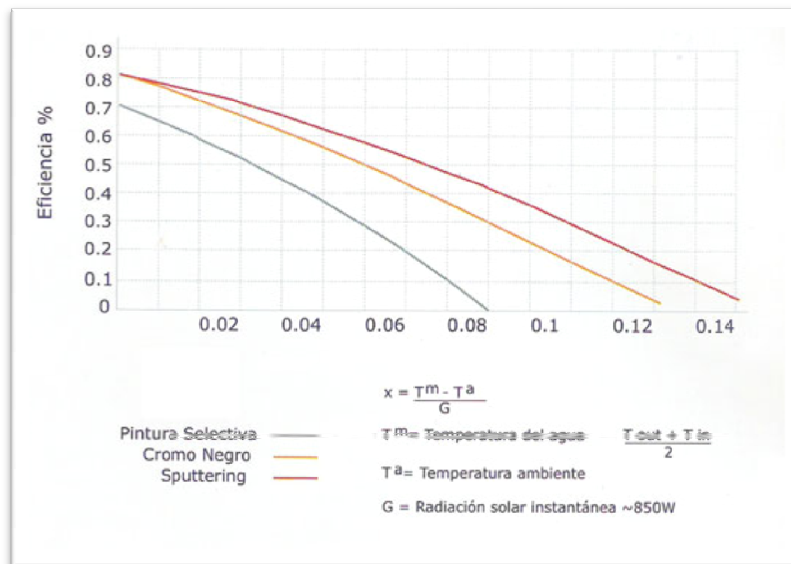


Figura 6.4

Partiendo de que el material del colector solar en México es de tipo **chromo negro** y las temperaturas para ingresar en la gráfica son las de entrada y salida del agua, y la temperatura ambiente, se procede a obtener un valor aproximado de la eficiencia.

Tecamac tiene una temperatura media de **16.4 °C** según las estadísticas oficiales.

Se toma como valor del agua caliente sanitaria **70°C** y como temperatura del sistema de abastecimiento de agua **12°C** como un valor promedio que corresponde a la zona del Estado de México.

Entonces de la fórmula de la gráfica de eficiencia del colector:

$$T_m = \frac{T_{out} + T_{in}}{2} \implies \frac{70 + 12}{2} = 41 = T_m$$

$$\text{Luego } x = \frac{T_m - T_a}{G}$$

Siendo  $G = \text{Radiación solar instantánea} \cong 850 W$

$$\text{Sustituyendo: } \frac{41 - 16.4}{850} = 0.02894 = x$$

Metiendo este valor en la gráfica y tomando como revestimiento para superficie de captación Cromo negro, se obtiene una eficiencia aproximada de **65 %** , el cual resulta un valor elevado en comparación con valores obtenidos de catálogos y de guías de instalación, que resultan del orden de 50% para este tipo de colectores solares.

$$\mu = 65\% = 0.65$$

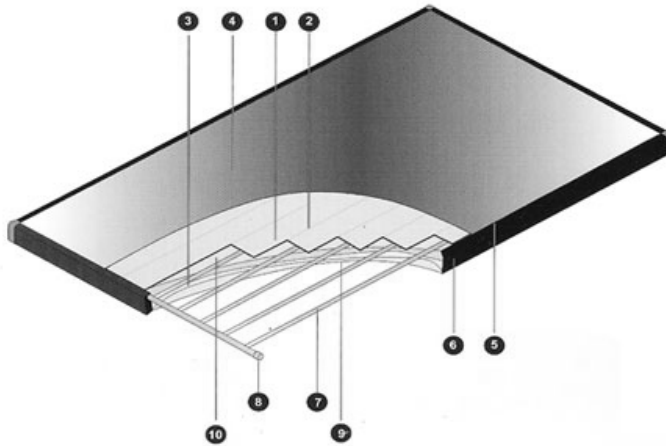


Figura 6.5

Para obtener la  $Q_{util}$  se debe verificar que nivel de irradiación tiene el lugar de estudio; Tecamac, Edo. De México. Se observan entonces los mapas de irradiación en la República Mexicana (Figura 6.6).

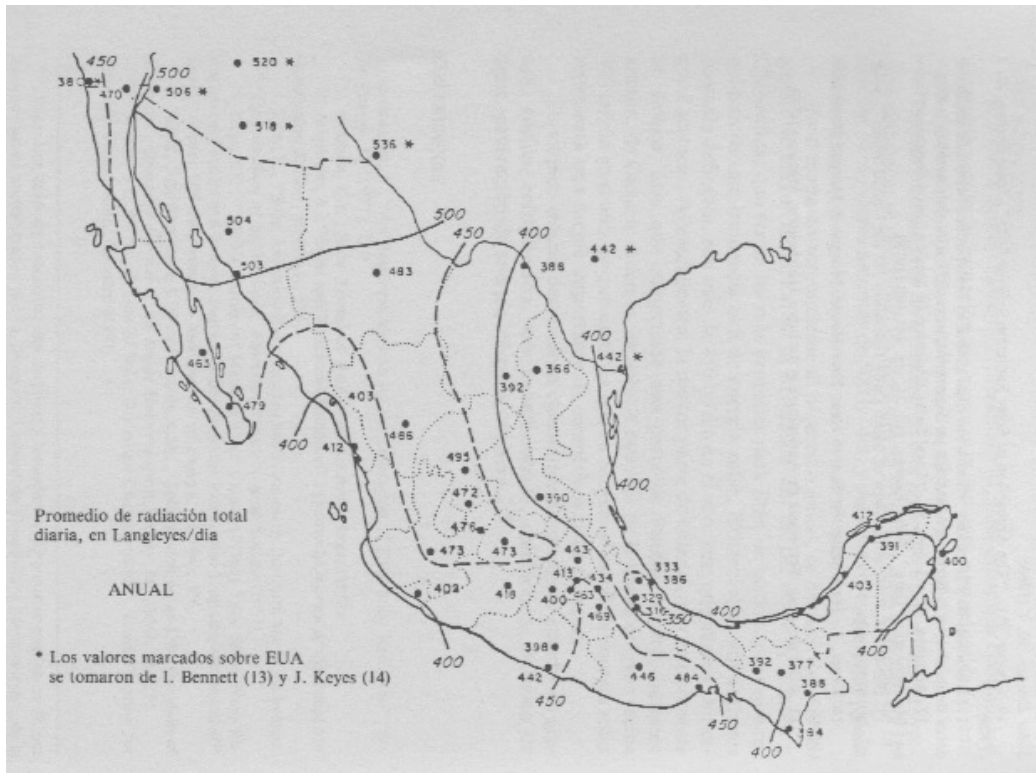


Figura 6.6

El valor promedio anual del Estado de México es de 400 Langleyes/día

Se debe entonces convertir las unidades de Langley a kWh/m<sup>2</sup>.

El factor de conversión es: 1 Langley= 0.01162722222 kWh/m<sup>2</sup>

Entonces: 400 Langleyes/día= 4.6508888 kWh/m<sup>2</sup>

$Q_{util} = 4.6508 \text{ kWh/m}^2$

Por lo tanto tenemos para la siguiente ecuación dos incógnitas: el Factor Solar  $F.s$  y la Energía demandada,  $Q$ .

$$S = F.s \times Q / \mu \times Q_{util}$$

Que resulta:  $Q = \mu \times \left( \frac{S}{F.S \times Q_{util}} \right) \implies 0.65 \times \left( \frac{1.2}{0.4 \times 4.6508} \right) = 9.06906 \text{ kWh}$

Ahora, para la ecuación de la energía de demanda:  $Q = V \times \rho \times Cp (T_{cal} - T_{fría})$

Siendo; Q, energía demandada (kWh)

V, consumo del agua caliente

$\rho$ , densidad del líquido ( 1kg/lt; en el caso de agua)

Cp, calor específico del agua en kWh/kg K =  $1.16 \times 10^{-3}$  kWh

$T_{cal}$ , temperatura del agua caliente sanitaria

$T_{fría}$ , temperatura del agua fría de entrada.

De la ecuación se despeja el consume de agua caliente.

$$V = \frac{Q}{\rho \times Cp \times (T_{cal} - T_{fría})} \quad \Longrightarrow \quad \frac{9.06906}{1 \times 1.16 \times 10^{-3} \times (70 - 12)} = 134.795 \text{ L de}$$

agua caliente

A partir de estos resultados, sabemos que el equipo instalado en las casas prototipo calienta aproximadamente 135 litros de agua al día.

Este valor debe verse reflejado en la cuenta de gas en las casas prototipo y debe de haber un ahorro sustancial entre los dos tipos de vivienda.

#### 1.4 Cuantificación de ahorro de energía convencional

Del análisis elaborado por los compañeros del PAE se obtuvieron de manera estadística los gastos de gas de ambos tipos de casa. Sin saber el consumo de gas de manera directa (kgs o litros), se puede contrastar en función de dinero, cuánto dinero se gasta por mes por cada casa y per capita.

Primero, para las viviendas convencionales sin el sistema de energía solar térmica, se tomaron como muestra 19 casas.

El gasto promedio de gas por casa fue de \$ 325.78 pesos al mes

El gasto promedio de gas per cápita fue de \$ 76.42 pesos al mes

El valor de gato per cápita nos interesa más, ya que el gasto por casa es dependiente del número de habitantes que habite.

Ahora para las casas prototipo se realiza el mismo análisis.

El gasto promedio de gas por casa fue de \$ 132.95 pesos al mes.

El gasto promedio de gas per cápita fue de \$ 34.04 pesos al mes.

El ahorro per cápita es de \$42.38 al mes. **En un año sería de \$508.56**


Considerando un número promedio de habitantes por vivienda de 4 personas, según el muestro, se tendría entonces un ahorro anual de **\$2,034.24** pesos utilizando el sistema de colector solar.

Si obtenemos los costos oficiales del gas para el mes en el que fue realizada la encuesta, el cual fue el mes de febrero obtenemos los siguientes valores:

Estado:  Municipio:  Cabecera:

Estado	Municipio	CabeceraMunicipal	RegionPrecios
MEXICO	Tecamac	Tecámac de Felipe Villanueva	92

Precios de Venta GLP usuarios finales



Zona:  Mes:  Año:

Unidades: pesos por kilogramo  
\$ Pesos

Estado	TVA	\$/KG	\$/10KG	\$/20KG	\$/30KG	\$/45KG	\$/Litro
Distrito federal	0.15	9.15	91.54	183.08	274.62	411.92	4.94
Estado de México	0.15	9.15	91.54	183.08	274.62	411.92	4.94
Hidalgo	0.15	9.15	91.54	183.08	274.62	411.92	4.94

Actualización más reciente: 10/06/2008 a las 03:32:12 PM hrs., por Rosas Waldo Juan Carlos

Tabla 6.1 Costo oficial del gas lp para los meses que se realizó la encuesta. Obtenidos de la página oficial de Pemex. [www.gas.pemex.com](http://www.gas.pemex.com)

Por lo que si calculamos los litros de gas ahorrados en total serían.

$$\frac{\$6,190}{4.94\$/litro} = 1,253.03 \text{ litros} \quad \text{En las casas convencionales.}$$

**690.848 litros de ahorro de gas por casa al mes.**



$$\frac{\$2,792}{4.94\$/litro} = 565.182 \text{ litros} \quad \text{En las casas con colector solar (mucho menos de la mitad)}$$

Ahora per cápita:

$$\frac{\$76.41}{4.94\$/litro} = 15.467 \text{ litros}; \quad \text{En las casas convencionales}$$

$$\frac{\$34.04}{4.94\$/litro} = 6.89 \text{ litros}; \quad \text{En las casas con colector solar}$$

**8.577 litros de ahorro de gas per capita al mes.**

Con estos valores obtenidos y con los relacionados a la capacidad del sistema de energía térmica se puede observar cuánto dinero y litros de gas se pueden ahorrar con el sistema de colector solar.

Es muy clara la diferencia entre el sistema convencional y el sistema de calentamiento solar; y con esta diferencia se fundamenta la premisa del trabajo.

## Capítulo 7 Conclusiones

Para concluir parece conveniente resumir el tema central del trabajo.

Se trató primero el problema central del estudio de energía solar. Como ingenieros debemos de estar conscientes en todo momento de cómo nuestro trabajo puede repercutir en el ambiente; lo que nos lleva al tema del buen uso de recursos. En este caso los energéticos, de uso fundamental en la sociedad actual, deben de transformarse para que no alteren de manera adversa al planeta.

En cuanto al papel de ingeniero en costos, debemos siempre realizar proyectos de tal manera que exista un beneficio, ya sea para uno mismo, un cliente y/o la sociedad. Utilizando la tecnología existente, e investigando en la que está por venir, invertimos en un mediano y largo plazo, y el rédito se vuelve superior a la inversión inicial. Esta situación se puede ejemplificar utilizando una casa en la Ciudad de México, la cual instala un sistema de colectores solares para calentar el agua para uso sanitario, y la inversión inicial puede aparentar ser sustanciosa, cuando el beneficio en un mediano y largo plazo podría ser mucho más atractivo.

En la segunda parte del trabajo se tratan los diferentes sistemas que utilizan la energía solar; con esto pudimos contemplar la gama extensa de aplicaciones que tiene este recurso en muchas situaciones mundanas en la sociedad. El cómo funcionan cada uno de éstos nos muestra lo sencillo que es el sistema global y cómo nos trae beneficios cuantificables en los proyectos.

En el sistema de energía solar pasiva se estudia la importancia de proyectar las edificaciones en función de la trayectoria solar. Una casa orientada y construida con materiales adecuados al entorno donde se encuentre situada, va a ser, no solo más habitable en cuestión de confort, sino que también va a ser mucho más rentable, en cuestión de costos de energéticos para climatizar.

Como Ingenieros dedicados a la proyección de edificaciones se estudió cómo dimensionar, cómo planear cada sistema y finalmente instalar. Incluso para el sistema de energía solar pasiva se ven los casos en los cuales una casa sin la construcción de acuerdo a la arquitectura bioclimática se puede adaptar con distintos métodos a una edificación con aprovechamiento solar.

En la tercera parte del trabajo se elaboró el caso estudio real de proyectos de sistemas de energía solar térmica que es la aportación del tesista, ya que se vio de manera concreta el dimensionamiento y el ahorro en energético y dinero.

La proyección no es complicada, pero los beneficios, que involucra el cambio de sistemas convencionales a sistemas renovables, son muy importantes.

**Recomendaciones y sugerencias**

Algo que me parece importante resaltar de la importancia de este trabajo es el hecho de que el estudio de la energía solar es un campo inexplorado para los estudiantes de Ingeniería Civil y, sin embargo, basándome en mi experiencia personal, realizando este trabajo, podría decir que podía fácilmente ser un curso impartido para el nivel licenciatura. El conocimiento de teoría aunque muy vasto, es bastante sencillo de comprender e incluso de aplicar.

Creo además que el valor que esto agregaría a la carrera sería bastante alto.

## Anexo 1

### Normatividad en materia de energía solar térmica en México

#### Definiciones legales:

A continuación se presentan las definiciones que se comprenden dentro de la Ley Ambiental del Distrito Federal.

- 1.1. **Aislamiento térmico:** Aquellos materiales de bajo coeficiente de conductividad térmica, cuyo empleo en los sistemas solares tiene por objeto reducir las pérdidas de calor.
- 1.2. **Área de apertura:** Máxima área proyectada a través de la cual la radiación solar no concentrada entra al colector solar plano.
- 1.3. **Bombas de circulación:** Dispositivo que produce el movimiento forzado de un fluido.
- 1.4. **Calor útil:** Energía que de manera efectiva se aprovecha en un proceso para incrementar la temperatura de un fluido de trabajo, después de convertir la energía solar disponible a energía térmica.
- 1.5. **Capacidad de calentamiento:** Cantidad de calor que aporta el colector solar en un periodo de tiempo.
- 1.6. **Circulación por termosifón o natural:** Movimiento del fluido de trabajo a través del sistema de aprovechamiento de energía solar, inducido por la convección libre generada por la diferencia de densidades del agua fría y el agua caliente.
- 1.7. **Circulación forzada:** Movimiento del fluido de trabajo a través del sistema de aprovechamiento de energía solar, inducido por dispositivos externos o auxiliares.
- 1.8. **Colector solar:** Dispositivo que absorbe la energía solar incidente, la convierte en energía térmica y la transfiere al fluido que está en contacto con él. También llamado Calentador Solar.
- 1.9. **Combustibles fósiles:** Los combustibles fósiles convencionales son: carbón, petróleo, petróleo diáfano, diesel, combustóleo, gasóleo, gas licuado de petróleo, butano, propano, metano, isobutano, propileno, butileno, gas natural, o cualesquiera de sus combinaciones.
- 1.10. **Consumo Energético Anual por utilización de agua caliente (CEA):** Cantidad de energía requerida durante un año para alcanzar la temperatura deseada para un uso específico del agua caliente, que será utilizada durante dicho lapso.
- 1.11. **Dotación mínima de agua potable:** Requerimiento de agua potable demandada por cada usuario: persona, trabajador, bañista, puesto, kilogramo de ropa seca, sitio, cama, empleado, trabajador, alumno, asistente, comida, huésped, interno, pasajero, m<sup>2</sup>, según sea el tipo de establecimiento.
- 1.12. **Energía solar:** Radiación electromagnética emitida por el sol.
- 1.13. **Energía solar disponible:** Cantidad de radiación solar promedio diaria mensual estimada estadísticamente, a partir de mediciones históricas en cierto lugar geográfico.
- 1.14. **Establecimiento:** Inmueble donde una persona física o moral desarrolla actividades relativas a la intermediación, compraventa, arrendamiento, distribución o fabricación de bienes o prestación de servicios públicos y privados.
- 1.15. **Fluido:** Agua o cualquier otro medio utilizado para el transporte de energía en un sistema de calentamiento de agua por medio del aprovechamiento de la energía solar.
- 1.16. **Golpe de ariete:** Fenómeno transitorio que se presenta en los conductos a presión ante un cierre abrupto de válvulas, presentándose aumentos y reducciones bruscas de presión en el fluido que pueden llevar a la falla del sistema.

1.17. **Manómetro:** Dispositivo para medir la diferencia de presión entre un sistema y el medio ambiente.

1.18. **Porcentaje de agua caliente utilizada con relación a la dotación mínima diaria de agua potable:** Razón que se obtiene de dividir la cantidad de agua caliente requerida por tipo de establecimiento entre la dotación mínima de agua potable.

1.19. **Presión máxima de operación:** Aquella definida por el fabricante como la mayor presión de trabajo para la cual fue diseñado el colector solar y el sistema de calentamiento de agua por medio del aprovechamiento de la energía solar.

1.20. **Rendimiento térmico:** Relación de la energía térmica útil que el colector solar entrega, respecto de la energía de radiación solar que incide sobre su área de apertura.

1.21. **Sistema de alivio de presión:** Dispositivo de acción pasiva o activa que protege al sistema de calentamiento de agua, de incrementos de presión que pudiesen poner en riesgo su integridad física u operacional.

1.22. **Sistema convencional de calentamiento de agua:** Equipo que se utiliza para calentar agua, mediante la utilización de combustibles fósiles o electricidad.

1.23. **Sistema de calentamiento de agua por medio del aprovechamiento de la energía solar:** Conjunto formado por el colector(es) solar(es), el termotanque o sistema de acumulación de agua caliente, tuberías, accesorios, así como todos y cada uno de los componentes que permiten el aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua.

1.24. **Sistema de drenado:** Tapón o válvula que se utiliza para permitir la salida de los sedimentos o partículas sólidas contenidas en el agua, de modo que se evite su acumulación.

1.25. **Temperatura del agua de la red municipal:** Temperatura promedio anual a la que la red municipal entrega el agua potable a los inmuebles ubicados en el Distrito Federal.

1.26. **Termotanque o sistema de acumulación de agua caliente:** Depósito en el que se almacena el fluido calentado mediante el aprovechamiento de la energía solar y que se utiliza para conservar su temperatura con las menores pérdidas térmicas posibles.

A continuación se presenta un resumen de lo que la norma establece y a qué tipo de establecimientos atañe.

Establecimientos:

- Albercas y/o fosas de clavados
- Establecimientos medianos (51 a 100 empleados)
- Establecimientos grandes (más de 100 empleados)

Dentro de estos tipos de establecimientos se emplea agua caliente destinada al uso de regaderas y/o lavamanos, cocina y servicios de lavandería y tintorería.

La capacidad mínima de operación del sistema de calentamiento de agua por medio del aprovechamiento de la energía solar deberá ser tal que provea al menos 30% del Consumo Energético Anual por utilización de agua caliente (CEA) para cada establecimiento.

En dado caso que un establecimiento no pueda cumplir con el 30% por medio de un sistema solar, deberá entonces justificar esta situación con un documento que contenga las razones de la imposibilidad; ya sean por ubicación, insuficiencia de la superficie de instalación, orientación, u otras razones. Las consideraciones técnicas que llevaron a esta situación deben también quedar registradas en la descripción del proyecto básico y en la memoria de cálculo y diseño del sistema.

Cálculo del Consumo Energético Anual (CEA) en la(s) alberca(s) y/o fosa(s) de clavados:

$$CEA = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot t \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

donde:

*CEA es el consumo energético anual por utilización de agua caliente en la(s) alberca(s) y/o fosa(s) de clavados, (kJ/año);*

*V es el volumen de la(s) alberca(s) y/o fosa(s) de clavados, corresponde al agua a calentar por día, (l/día);*

*$\rho$  es la densidad del agua, para fines de la presente norma se utilizará: 1 kg/l;*

*$C_p$  es el calor específico, para fines de esta norma, se utilizará: 4,19 kJ/kg°C;*

*$\Delta T$  es la pérdida promedio de temperatura nocturna en el agua de la(s) alberca(s) y/o fosa(s) de clavados, para fines de la presente norma se utilizará 2,5°C; y*

*t es el tiempo de operación del establecimiento por año (días/año).*

Cálculo del CEA en establecimientos medianos (51 a 100 empleados) y grandes (más de 100 empleados) con usos de agua caliente destinada a cocina(s), regadera(s) y/o lavamanos:

$$CEA = P \cdot DA \cdot DAC \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) \cdot t \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

donde:

*CEA es el consumo energético anual por utilización de agua caliente en cocina(s), regadera(s) y/o lavamanos, (kJ/año);*

*P es la cantidad de usuarios: puesto, persona, trabajador, bañista, sitio, cama, empleados, trabajadores, alumnos, asistentes, comidas, huéspedes, internos, etc, según sea el caso;*

*DA es la dotación mínima de agua potable, obtenida según la Tabla "Dotación mínima de agua potable y distribución por tipo de establecimiento", incluida en el Anexo I;*

*PAC es el porcentaje de agua caliente utilizada con relación a la dotación mínima diaria de agua. Para fines de esta norma: 30%;*

*$\rho$  es la densidad del agua, para fines de la presente norma se utilizará: 1 kg/l;*

*$C_p$  es el calor específico, para fines de esta norma se utilizará: 4,19 kJ/kg°C;*

*T1 es la temperatura del agua de la red municipal, para fines de esta norma se utilizará: 15,5°C;*

*T2 es la temperatura del agua caliente requerida para el uso específico, para fines de esta norma se utilizará: 50°C*

*t son los días de operación del establecimiento por año (días/año).*

Cálculo del CEA en establecimientos medianos (51 a 100 empleados) y grandes (más de 100 empleados) con uso de agua caliente destinada a los servicios de lavandería y tintorería:

$$CEA = DA \cdot DAC \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) \cdot t \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

donde:

*CEA es el consumo energético anual por utilización de agua caliente en lavandería y tintorería, (kJ/año)*

*RAC es el peso promedio de ropa lavada con agua caliente (kg)*

*DA es la dotación mínima de agua potable, obtenida según la Tabla “Dotación mínima de agua potable y distribución por tipo de establecimiento”*

*$\rho$  es la densidad del agua, para fines de la presente norma se utilizará: 1 kg/l*

*$C_p$  es el calor específico, para fines de esta norma se utilizará: 4,19 kJ/kg°C*

*T1 es la temperatura del agua de la red municipal, para fines de esta norma se utilizará: 15,5°C*

*T2 es la temperatura del agua caliente requerida para el uso específico, para fines de esta norma se utilizará: 50°C; y*

*t son los días de operación del establecimiento por año (días/año).*

Para determinar la capacidad mínima de operación del sistema de calentamiento de agua, por medio del aprovechamiento de la energía solar, se utilizarán los siguientes valores de referencia:

Tabla 1. Energía Solar Disponible Promedio Diaria Mensual Sobre un Plano Horizontal [MJ/m<sup>2</sup> día]

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
17.5	19.2	22.2	22.5	21.8	19.0	19.7	19.1	16.6	16.3	16.1	15.5

Fuente: Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica, UNAM. Promedio 1984 – 2004

Posteriormente a la instalación, los colectores solares deberán contar con una etiqueta que debe contener la siguiente información:

- Modelo, marca
- Área de apertura
- Presión máxima de operación
- Flujo de fluido recomendado
- Una tabla con la temperatura típica de operación, el calor útil, capacidad de calentamiento
- La ecuación de la eficiencia térmica

En el caso del acumulador:

- Características técnicas recomendadas
- Contar con el aislamiento adecuado para su funcionamiento
- Sistema de alivio de presión, sistema de purga o drenado.

En la norma se enfatiza la instalación correcta del sistema, incluyendo un sistema de sujeción adecuado y siempre siguiendo los lineamientos del reglamento de construcción, en este caso del Distrito Federal. De la misma manera los sistemas hidráulicos, mecánicos y térmicos deben cumplir con dicho reglamento al igual que con los reglamentos de Impacto ambiental y riesgo, Reglamento de la ley ambiental del Distrito Federal, Reglamento de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal y Reglamento de la Ley de Protección Civil para el Distrito Federal.

En cuanto a la operación, el sistema debe contar con un sistema de control y seguridad con el cual proteger el sistema total de fenómenos como el golpe de ariete, congelamiento bajo ciertas condiciones climáticas, sobre presión, sobre vacío, funcionamiento sin radiación solar, efectos catódicos, y otros factores que puedan afectar el funcionamiento y eficiencia, pero sobretodo garantizando la seguridad de los usuarios.

Todos los componentes del sistema deberán contar con una garantía, en dispositivos mecánicos o hidromecánicos de 5 años y en el caso de dispositivos electrónicos generalmente es de 1 año.

#### **Dotación mínima de agua potable y distribución por tipo de establecimiento**

Tipo	Dotación de agua potable	Unidades
Hoteles, moteles, albergues y casas de huéspedes	300	1/huésped día
Servicios de salud a usuarios internos; cuartos de camas	800	1/cama día
Atención médica a usuarios externos; salas de espera	12	1/sitio paciente



## Bibliografía:

- Almanza Salgado Rafael, Muñoz Gutiérrez Felipe, Ingeniería de la Energía Solar, 1ª Edición, México, El Colegio Nacional, 1994
- Guillén Solís Omar, Energías Renovables: Una perspectiva ingenieril, México, Trillas, 2004
- Tomás Perales Benito, Instalación de Paneles Solares Térmicos, 3ª edición, México, Alfaomega Grupo editor
- Petel, Mukind R, Wind and Solar power systems, USA, CRC Press, 2000
- Tomás Perales Benito, Guía del instalador de Energías Renovables: Energía fotovoltaica, energía térmica, energía eólica y climatización., México, Limusa, 2006
- Asencio Cerver Francisco; Asencio Alejandro, Enciclopedia Atrium de la plomería: energía solar. 4, Barcelona; Sánchez Teruelo Editor, 1993