Universidad de Chile
Escuela de Verano 2009
Curso de Energía Renovable

Guía Teórica
Experiencia Solar Activa

Escrito por:
Jannik Haas

Enero 2009

Energía solar

La **energía solar** es la energía obtenida directamente del Sol. La radiación solar incidente en la Tierra puede aprovecharse, por su capacidad para calentar, o directamente, a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es un tipo de energía renovable y limpia, lo que se conoce como energía verde (green energy).

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan (humedad, nubes, smog, etc) y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de radiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m² en la superficie terrestre.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones.

La radiación directa normal, medida en la parte externa de la atmósfera en un plano perpendicular a los rayos solares, se le conoce como **constante solar** y tiene un valor medio de 1354 W/m² (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de 1395 W/m² y un valor mínimo en el afelio de 1308 W/m².)

Radiación solar

Espectro de la radiación solar en la parte superior de la atmósfera.

Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K (superficie Solar). La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, la cual mide la energía recibida por unidad de tiempo y área una vez que ésta llegaa la Tierra. Su unidad es el W/m^2 (watt por metro cuadrado).

Generación de la radiación solar

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra y está catalogada como una estrella enana amarilla. Sus regiones interiores son totalmente inaccesibles a la observación directa y es allí donde ocurren temperaturas de unos 20 millones de grados necesarios para producir las reacciones nucleares que producen su energía.

La capa más externa que es la que produce casi toda la radiación observada se llama fotosfera y tiene una temperatura de unos 6000 K. Tiene sólo una anchura de entre 200 y 300 km. Por encima de ella está la cromosfera con una anchura de unos 15000 km. Más exterior aún es la corona solar, una parte muy tenue y caliente que se extiende varios millones de kilómetros y que sólo es visible durante los eclipses solares totales.

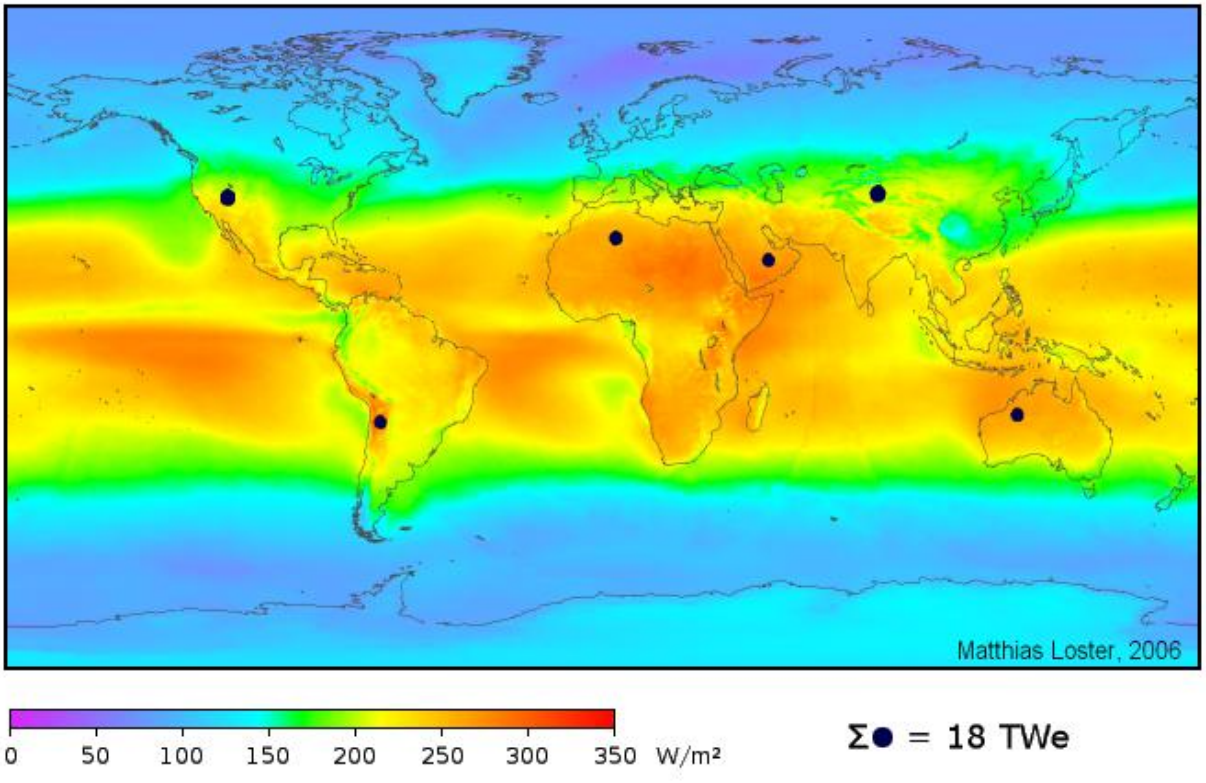
La superficie de la fotosfera aparece conformada de un gran número de gránulos brillantes producidos por las células de convección. También aparecen fenómenos cíclicos que conforman la actividad solar como manchas solares, fáculas, protuberancias solares, etc. Estos procesos que tienen lugar a diferentes profundidades, van acompañados siempre de emisión de energía que se superpone a la principal emisión de la fotosfera y que hace que el Sol se aleje ligeramente en su emisión de energía del cuerpo negro a cortas longitudes de onda por la emisión de rayos X y a largas longitudes por los fenómenos nombrados, destacando que no es la emisión igual cuando el Sol está en calma que activo. Además la cromosfera y corona absorben y emiten radiación que se superpone a la principal fuente que es la fotosfera.

Se distinguen las siguientes formas de aprovechamiento de la energía solar:

1. Energía solar pasiva
2. Energía solar activa
3. Fotovoltaica (comentario: no se tratará en esta guía pues existe otra experiencia dedicada exclusivamente a este tema)

Cada sistema tiene diferentes rendimientos. Los típicos de una célula fotovoltaica (aislada) de silicio policristalino oscilan alrededor del 10%. Para células de silicio monocristalino, los valores oscilan en el 15%. Tecnologías recientes prometen hasta un 40%. Los más altos se consiguen con los colectores solares térmicos a baja temperatura (que puede alcanzar el 80% de transferencia de energía solar a térmica). No se suele hablar de rendimiento en la energía solar pasiva, pues hay épocas en las cuáles se trata de evitar el sol.

También la energía solar termoeléctrica de baja temperatura, con el sistema de nuevo desarrollo, ronda el 50% en sus primeras versiones. Tiene la ventaja que puede funcionar 24 horas al día a base de agua caliente almacenada durante las horas de sol.



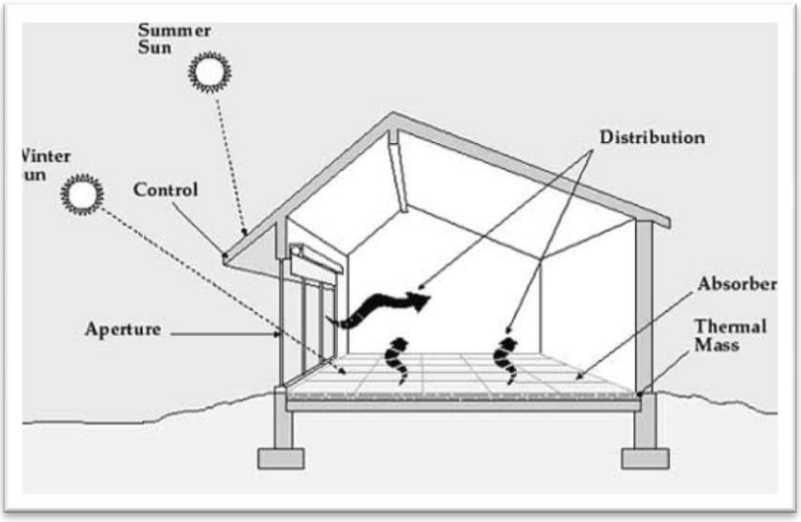
Casa solar pasiva

La **tecnología solar pasiva** es el **conjunto de técnicas dirigidas al aprovechamiento de la energía solar de forma directa,** sin transformarla en otro tipo de energía, para su utilización inmediata o para su almacenamiento sin la necesidad de sistemas mecánicos ni aporte externo de energía, aunque puede ser complementada por ellos, por ejemplo para su regulación.

Las tecnologías que usan bombas o ventiladores consumen una significativa cantidad de energía para su funcionamiento y por ello se clasifican dentro de las tecnologías solares activas. Algunos sistemas solares pasivos pueden, no obstante, consumir una pequeña cantidad de energía necesaria para activar compuertas, relés, interruptores u otros dispositivos que mejorarían el rendimiento de estos sistemas en la recolección, almacenamiento y uso de la energía solar.

Todo edificio se construye con el fin de cobijar y protegernos del ambiente exterior creando un clima interior. Cuando las condiciones del exterior impiden el confort del espacio interior se recurre a sistemas de calefacción o refrigeración.

Entre las medidas más eficaces se encuentra el ahorro de energía mediante el uso de aislamiento térmico. Pero la conservación de energía implica aislarnos del exterior, el *diseño pasivo* busca abrir el edificio al exterior de manera tal que pueda conseguirse un acondicionamiento natural.



Así el clima donde se va a localizar el edificio se define por la temperatura, los niveles de humedad, la velocidad y dirección de los vientos y el soleamiento del sitio. Entonces las condiciones climáticas pueden constituir un inconveniente o una ventaja para un adecuado rendimiento energético de la casa. Se aplican entonces conceptos simples de la vida cotidiana como:

- si hace demasiado frío para sentirnos confortables, entonces, nos abrigamos = **aislamiento térmico**
- si es un día ventoso y tenemos frío buscamos algún objeto para protegernos y volver al confort = **protección eólica** (ej: árboles perennes en el lado sur, de hoja caduca en el norte)
- si hace demasiado calor y estamos al sol, buscamos la sombra =**protección solar**
- si hace calor, aún a la sombra, buscamos la brisa para refrescarnos = **ventilación**
- si hace calor y el aire está muy seco, buscamos algún sótano umbrío y fresco = **masa térmica**

Descripción de algunos mecanismos comúnmente implementados

- **Ganancia directa**: es el sistema más sencillo e implica la captación de la energía del sol por superficies vidriadas, que son dimensionadas para cada orientación y en función de las necesidades de calor del edificio o local a climatizar. Se aprovechan los distintos ángulos de elevación del sol, para diseñar ante techos que dejen pasar el sol en invierno y lo impidan en verano.

- **Muro de acumulación no ventilado**: también conocido como muro trombe, que es un muro construido con piedra, ladrillos, hormigón o incluso agua, pintado de negro o color muy oscuro por la cara exterior. Para mejorar la captación se aprovecha una propiedad del vidrio que es generar efecto invernadero, por el cual la luz visible ingresa y al tocar el muro lo calienta, emitiendo radiación infrarroja, la cual no puede atravesar el vidrio. Por este motivo se eleva la temperatura de la superficie oscura y de la cámara de aire existente entre el muro y el vidrio.

- **Muro de acumulación ventilado**: similar al anterior pero que incorpora orificios en la parte superior e inferior para facilitar el intercambio de calor entre el muro y el ambiente mediante convección.

- **Invernadero adosado**: en este caso al muro que da al mediodía se le incorpora un espacio vidriado, que puede ser habitable, mejorando la captación de calor durante el día, reduciendo las pérdidas de calor hacia al exterior.

- **Techo de acumulación de calor**: en ciertas latitudes es posible usar la superficie del techo para captar y acumular la energía del sol. También conocidos como *estanques solares* requieren de complejos dispositivos móviles para evitar que se escape el calor durante la noche.

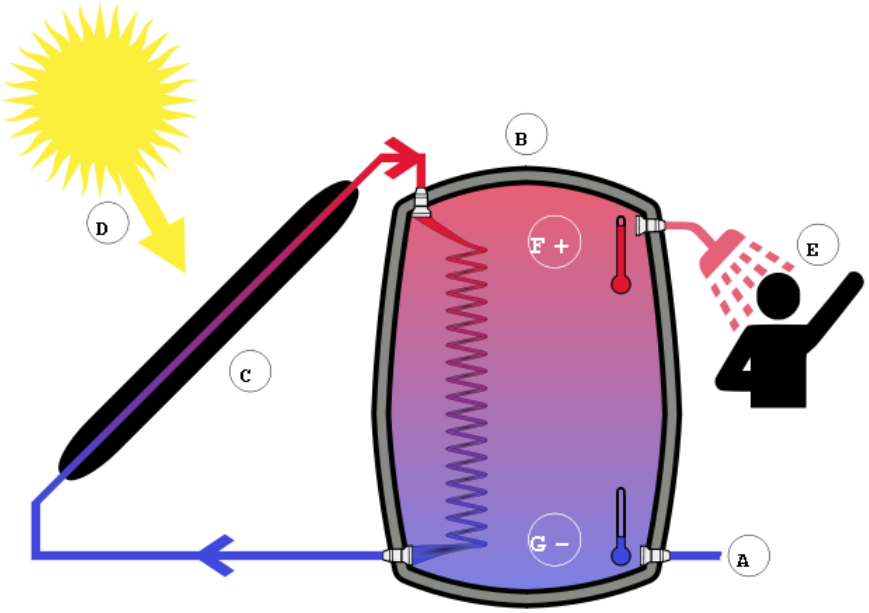
- **Captación solar y acumulación calor**: es un sistema más complejo y permite combinar la *ganancia directa por ventanas* con colectores solares de aire o agua caliente para acumularlo debajo del piso. Luego, de modo similar al muro acumulador ventilado, se lleva el calor al ambiente interior. Adecuadamente dimensionado permite acumular calor para más de siete días.
- **Árboles alrededor de vivienda**: esta medida tiene dos objetivos: proteger el edificio de insolación durante el verano y de vientos en invierno. Para esto se eligen árboles de hoja caduca en el lado orientado hacia el ecuador (norte en el caso del hemisferio sur), para que den sombra en verano y permitan el paso de luz en invierno. Para lo orientación opuesta se usan árboles perennes, para que protejan de vientos en invierno.

  En casi todos los casos se los puede utilizar como sistemas de refrescamiento pasivo invirtiendo el sentido de funcionamiento.

Energía solar térmica

La **energía solar térmica** o **energía termosolar** consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos, para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, para procesos industriales o para producción de energía mecánica (mediante el motor Stirling) y a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.

Agua caliente sanitaria (ACS)



En cuanto a la generación de agua caliente para usos sanitarios, hay dos tipos de instalaciones: las de circuito abierto y las de circuito cerrado. En las primeras, el agua de consumo pasa directamente por los colectores solares. Este sistema reduce costos y es más eficiente (energéticamente hablando), pero presenta problemas en zonas con temperaturas por debajo del punto de congelación del agua, así como en zonas con alta concentración de sales que acaban obstruyendo los paneles.

Calefacción y frío solar

La energía solar térmica puede utilizarse para dar apoyo al sistema convencional de calefacción (caldera de gas o eléctrica), apoyo rentable al usarse entre el 20% y el 50% de la demanda energética de la calefacción. Para ello, la instalación o caldera ha de contar con intercambiador de placas (funciona de forma similar al baño maría, ya que el circuito de la caldera es cerrado) y un regulador que controle cuándo usar el agua de los colectores. El sistema emisor de calor (radiadores, suelo radiante, zócalo radiante, muro radiante, fan-coil…) que es más conveniente utilizar es el de baja temperatura (<=50º C), de esta manera el sistema solar de calefacción tiene mayor rendimiento.

No obstante, pueden instalar sistemas que no son de baja temperatura, para así emplear radiadores convencionales, mediante la utilización de la concentración solar térmica.

Equipos

Especialmente populares son los equipos domésticos compactos, compuestos típicamente por un depósito de unos 150 litros de capacidad y dos colectores de un 1 metro cuadrados cada uno. Estos equipos, disponibles tanto con circuito abierto como cerrado, pueden suministrar el 90% de las necesidades de agua caliente anual para una familia de 4 personas, dependiendo de la radiación y el uso. Estos sistemas evitan la emisión de hasta 4,5 toneladas de gases nocivos para la atmósfera anuales. La amortización energética (tiempo necesario para ahorrar la energía empleada en fabricar el aparato) es de un año y medio aproximadamente. La vida útil es al menos 20 años, con un mantenimiento mínimo. Es habitual encontrarse con instalaciones en las que el acumulador contiene un sistema de calefacción tradicional de apoyo, que actúa en caso de que el sistema no sea capaz de alcanzar la temperatura de uso (normalmente 40ºC). Las características constructivas de los colectores responden a la minimización de las pérdidas de energía una vez calentado el fluido que transcurre por los tubos, por lo que se encuentran aislamientos a la conducción (vacío u otros) y a la rerradiación de baja temperatura.

Además de su uso como agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración (mediante máquina de absorción), el uso de placas solares térmicas (generalmente de materiales baratos como el polipropileno) ha proliferado para el calentamiento de piscinas exteriores residenciales, sobre todo en países donde la legislación impide el uso de energías de otro tipo para este fin.

Amortización económica

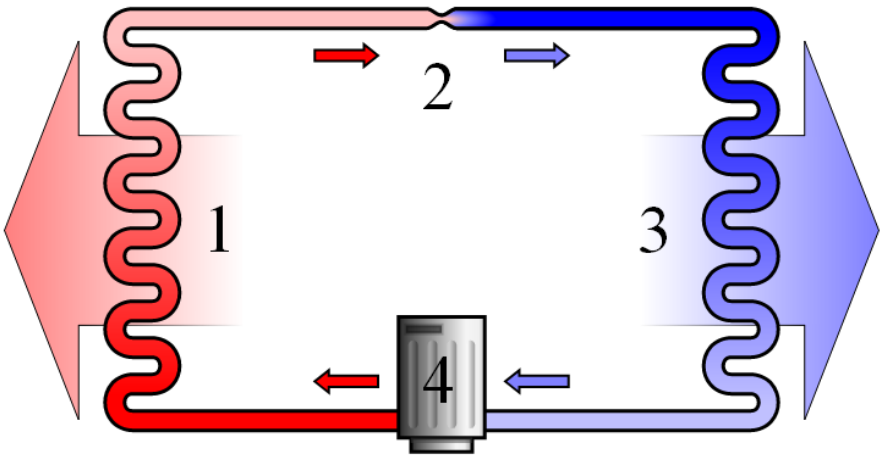
La amortización depende del tamaño de la instalación, la cobertura solar, los precios del combustible, entre otros. Comúnmente en Chile, se obtiene un tiempo de amortización económica de 3 a 6 años. En muchos países se están adoptando medidas para reforzar el uso de energía limpia. En relación a la energía solar térmica, se estable en el Código Técnico de la Edificación de España por ejemplo, la obligatoriedad de implantar sistemas de agua caliente sanitaria (ACS) con energía solar en todas las nuevas edificaciones, con el objetivo de cumplir con el protocolo de Kioto.

Bomba de Calor

Una **bomba de calor** es una máquina térmica que permite transferir energía en forma de calor de un foco a otro, y según se requiera. Para lograr esta acción, es necesario un aporte de trabajo dado que por la segunda ley de la termodinámica, el calor se dirige de manera espontánea de un foco caliente a otro frío, y no al revés, hasta que sus temperaturas se igualan.

Funcionamiento

Una bomba de calor de cambio de fase emplea un fluido refrigerante con un bajo punto de ebullición. Éste requiere energía (denominada calor latente) para evaporarse, y extrae esa energía de su alrededor en forma de calor.



El fluido en estado gaseoso pasa con un **compresor (4)**, el que eleva su presión. Éste, al pasar por el intercambiador de calor llamado **condensador (1)**, cede calor al foco caliente porque está aún más caliente que éste. Después, se le hace pasar por una **válvula (2),** donde recupera la presión inicial y se enfría fuertemente. Luego, pasa por otro intercambiador de calor, el **evaporador (3)**, donde absorbe calor del foco frío, puesto que está más frío que dicho foco. El fluido, que se ha evaporado, regresa al compresor, cerrándose el ciclo.

La cantidad de calor que se puede bombear depende de la diferencia de temperatura entre los focos frío y caliente. Cuanto mayor sea ésta diferencia, menor será el rendimiento de la máquina.

Las bombas térmicas tienen un rendimiento, denominado ***COP*** (*coefficient of performance*, en castellano, ***CEE*** coeficiente de eficiencia energética) mayor que la unidad. Aunque esto puede parecer imposible, se debe a que en realidad se está moviendo calor usando energía, en lugar de producir calor como en el caso de las resistencias eléctricas. Una parte muy importante de este calor se toma de la entalpía del aire atmosférico. En toda bomba de calor se verifica que el calor transmitido al foco caliente es la suma del calor extraído del foco frío más la potencia consumida por el compresor, que se transmite al fluido.

Aplicaciones

El uso más común es el refrigerador. La bomba de calor en este caso extrae el calor de los alimentos (foco frío), y lo bota en la parte trasera. Al escalar este sistema, se obtienen los aires acondicionados. Al invertir la dirección del flujo calórico se puede extraer calor desde la atmósfera o bien del suelo e inyectarlo a una construcción. Este principio se utiliza mucho en los hogares de Suiza, donde es común extraer el calor de tuberías localizadas unos metros bajo tierra. En el caso de la energía solar térmica se hace necesaria la bomba de calor, para los sistemas donde el fluido portador de calor no llega a la temperatura deseada, pero aun así contiene energía aprovechable.