

ENERGIA SOLAR

- I. Introducción
- II. Sistemas de captación
 - II.1. Utilización pasiva de la energía solar
 - II.2. Utilización activa de la energía solar
 - II.2.1. Conversión térmica
 - II.2.1.1. Conversión térmica de baja temperatura
 - II.2.1.2. Conversión térmica de media y alta temperatura
 - II.2.1.2.1. Tipos de centrales termosolares
 - II.2.2. Conversión fotovoltaica
 - II.2.2.1. Aplicaciones
 - II.2.2.2. Ventajas e inconvenientes
- III. Expresiones matemáticas necesarias para las aplicaciones prácticas



ENERGIA SOLAR

I. Introducción.

Es la energía procedente del Sol debida a reacciones termonucleares de fusión, en las que el hidrógeno se transforma en helio. Esta energía llega a la Tierra por medio de ondas electromagnéticas a modo de radiación. El porcentaje de energía que llega del Sol es aproximadamente del 42% de radiación visible, el 53% de infrarrojo y el 5% restante de ultravioleta.

La **fusión nuclear** consiste en la unión de dos núcleos atómicos a elevadas temperaturas para dar lugar a otro más pesado, liberando gran cantidad de energía.

Las **ondas electromagnéticas** son una manera de transmisión de energía en forma de ondas por el vacío o cualquier medio material.

Es una fuente de energía limpia, inagotable y gratuita, disponible todo el año con las limitaciones propias del clima y la temporada. Si se concentra la radiación solar puede alcanzar hasta los 3000 °C.

Por otro lado tiene los inconvenientes de que es aleatoria y dispersa, por lo que es necesario cubrir grandes superficies para tener una potencia aprovechable.

Algunos datos de interés:

Potencia del Sol = $4 \cdot 10^{26}$ W

Energía del Sol que llega a la Tierra = $5,5 \cdot 10^{24}$ J/año

Intensidad de radiación que llega en las capas altas de la atmósfera = $1'38$ kW/m²

Intensidad de la radiación que llega a la superficie terrestre ~ 1000 W/m²

¿De qué depende la incidencia del Sol?

- La hora
- La inclinación de la Tierra respecto del Sol, variable a lo largo del año.
- Condiciones meteorológicas
- Grado de contaminación

¿De qué formas podemos aprovechar la energía del Sol?

- Aprovechando el calor (conversión térmica)
- Aprovechando la luz (conversión fotovoltaica)

La energía solar presenta dos características que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales:

- **Dispersión:** su densidad apenas alcanza 1000 W/m^2 , muy por debajo de otras densidades energéticas, lo que hace necesarias grandes superficies de captación o sistemas de concentración de los rayos solares.
- **Intermitencia:** hace necesario el uso de sistemas de almacenamiento de la energía captada

II. Sistemas de captación

El primer paso para el aprovechamiento de la energía solar es su captación, aspecto dentro del que se pueden distinguir dos tipos de sistemas:

- **Pasivos:** no necesitan ningún dispositivo para captar la energía solar, el aprovechamiento se logra aplicando distintos elementos arquitectónicos. Aquí, se introduce el concepto de **arquitectura bioclimática** con el diseño de edificaciones para aprovechar al máximo los recursos disponibles (sol, viento,...) reduciendo así, en lo posible, el consumo energético y minimizando el impacto ambiental.
- **Activos:** captan la radiación solar por medio de un elemento de determinadas características, llamado "colector"; según sea éste se puede llevar a cabo una conversión térmica aprovechando el calor contenido en la radiación solar (a baja, media o alta temperatura), o bien una conversión eléctrica, aprovechando la energía luminosa de la radiación solar para generar directamente energía eléctrica por medio del llamado "efecto fotovoltaico"

II.1. Utilización pasiva de la energía solar

Un diseño pasivo es un sistema que capta la energía solar, la almacena y la distribuye de forma natural, sin mediación de elementos mecánicos. Sus principios están basados en las características de los materiales empleados, en la orientación, y en la utilización de fenómenos naturales de circulación del aire. Los elementos básicos usados por la arquitectura solar pasiva son:

- Acristalamiento: capta la energía solar y retiene el calor igual que un invernadero
- Masa térmica: constituida por los elementos estructurales del edificio o por algún material acumulador específico (agua, tierra, piedras). Tiene como misión almacenar la energía captada.

Cuando estamos en un clima frío, es conveniente aprovechar al máximo la radiación solar (calefacción y ACS), para ello, se aprovecha el efecto invernadero de los cristales y se evitan al máximo las pérdidas de calor.

Cuando, por el contrario, el clima es cálido, los muros deben ser más anchos, el tejado y la fachada deben ser claros para reflejar la luz solar, se deben poner toldos, una ventilación adecuada, vegetación que permita refrigerar en verano y mantener el calor en invierno,....

Las aplicaciones más importantes de los sistemas solares pasivos son la calefacción y la refrigeración. La refrigeración surge más bien como una necesidad de utilizar los sistemas de calefacción de forma continuada durante todo el año.



Vivienda bioclimática "El Muro"

La integración de colectores de aire, la utilización de paredes internas como muros acumuladores de calor y la aplicación de ventiladores, aumenta la eficacia de los sistemas pasivos, y se les conoce como "híbridos", ya que utilizan ciertos sistemas mecánicos activos.

En los últimos años se han mejorado mucho los sistemas pasivos que permiten un considerable ahorro energético.

II.2. Utilización activa de la energía solar

II.2.1. Conversión térmica

Se basa en la absorción del calor del Sol. Si el cuerpo es negro, la absorción es máxima y el cuerpo se calienta... y si es blanco refleja las radiaciones y el cuerpo no experimenta variación de temperatura.

La conversión térmica puede ser de tres tipos: de baja, media y alta temperatura.

II.2.1.1. Conversión térmica de baja temperatura

Se utilizan **colectores**, que absorben el calor del Sol y lo transmiten a un fluido (suele ser agua).

Esta tecnología comprende el calentamiento de agua *por debajo de su punto de ebullición*. El conjunto de elementos para el suministro de agua caliente se conoce como "sistema solar activo de baja temperatura", distinguiéndose los siguientes subsistemas:

- Subsistema colector: Capta la energía solar y está formado por los colectores llamados también "placas solares", "captadores" o "paneles". Son planos, en forma de caja metálica, en la que se disponen una serie de tubos, pintados de color negro, por los que circula agua. El interior del colector está pintado, de color negro mate. Así se logra máxima absorción. En la parte superior se dispone de un cristal que permite el paso de los rayos y hace de aislante térmico, induciendo un efecto invernadero artificial.

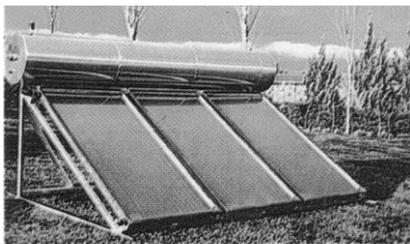


Figura 3.14. Colector plano.



Figura 3.15. Partes de un colector.



- Subsistema de almacenamiento: Depósitos que almacenan el agua caliente procedente de los paneles
- Subsistema de distribución: Instalación de tuberías y accesorios que permite transportar el agua caliente desde el colector hasta los depósitos de almacenamiento y desde aquí a los puntos de consumo



Es de destacar que los equipos solares de baja temperatura no garantizan la totalidad de las necesidades energéticas, por lo que necesitan de un equipo convencional de apoyo (calentadores eléctricos o a gas, etc.) que suplan la carencia de energía solar, fundamentalmente debido a las condiciones climatológicas.

II.2.1.2. Conversión térmica a media y alta temperatura

En este caso, usamos la radiación solar para la obtención de energía eléctrica, a partir del calentamiento previo de un fluido.

Este aprovechamiento se realiza en las denominadas **centrales solares termoeléctricas**, que son unas instalaciones en las que, haciendo uso de la radiación solar, se calienta un fluido que va a mover una turbina conectada a un alternador para producir energía eléctrica.

Existen varios tipos de centrales, según la forma que utilicemos para captar la radiación solar, pero todas se basan en la **concentración de la radiación solar**, para lo que se pueden utilizar lentes o espejos.

Todas estas centrales disponen de:

1. Un sistema de captación de la radiación solar
2. Un sistema por el que circula el fluido caloportador
3. Un sistema de producción de energía eléctrica, en el que ese fluido a alta presión y temperatura, se descomprime en una turbina de vapor

Canalizando la radiación hacia un punto o una superficie llamado "foco", éste eleva su temperatura muy por encima de la alcanzada en los colectores planos (200 a 500°C.).

II.2.1.2.1. Tipos de centrales termosolares

De concentración en un punto:

- a) De disco parabólico con motor Stirling
- b) De torre central con generación directa de vapor
- c) De torre central con sistema de acumulación de calor (sales inorgánicas)

De concentración en una línea:

- d) De espejos Fresnel
- e) De concentradores cilindro-parabólicos

A continuación, veremos muy brevemente cada una de estas centrales:

a) De disco parabólico con motor Stirling

En este tipo de centrales se usan una serie de concentradores solares, que en su foco tienen situado un motor Stirling.

Este tipo de motores funciona por medio de calor en lugar de usar combustibles

El funcionamiento consiste en el calentamiento de un fluido localizado en el receptor hasta una temperatura aproximada de unos 750° C. Esta energía se usa para la generación de energía por el motor.

Presenta la ventaja de que se pueden alcanzar temperaturas muy altas en el foco (es capaz de concentrar la radiación entre 200 y 1000 veces).

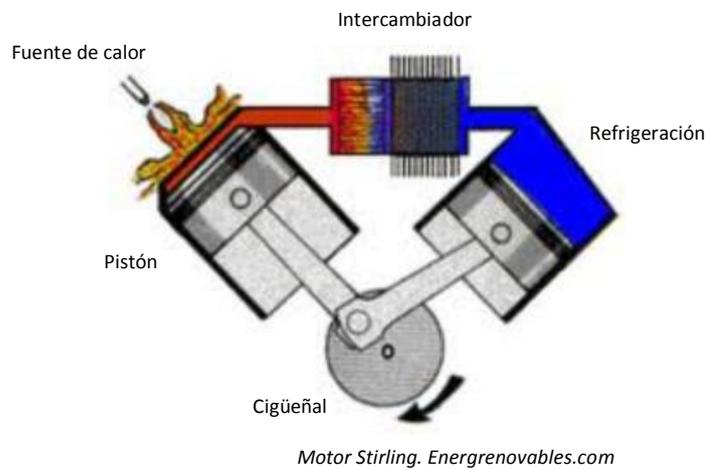
Cada módulo puede producir entre 2 y 10 KW

Se pueden alcanzar rendimientos superiores al 50%.

Presenta la desventaja de que este tipo de motores no están muy desarrollados, por lo que esta tecnología se considera aún dentro del campo experimental (el ciclo se compone de 4 tiempos y sólo en uno de ellos se produce energía)



Disco Stirling con diseño propio Abengoa Solar



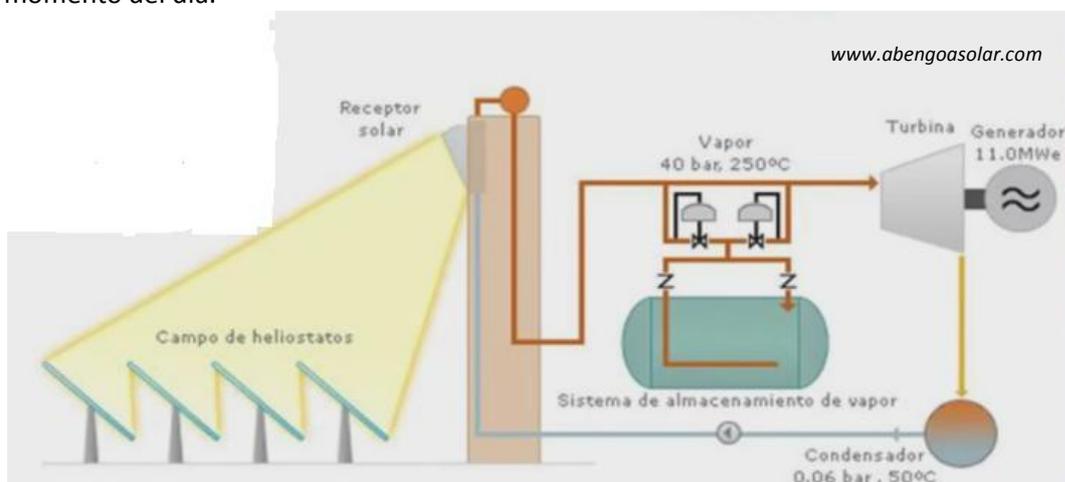
b) De torre central con generación directa de vapor

Se utiliza una torre que puede tener entre 100-200 m de altura en la que se concentra toda la radiación captada por un sistema de espejos planos denominados **helióstatos**.

En este caso, el fluido caloportador circula por el interior de la torre, y es el mismo que se utiliza para transformarse en vapor y mover la turbina que va unida al alternador.

El [funcionamiento](#) es el siguiente: el calor captado en el absorbedor es cedido a un fluido portador circulando en circuito cerrado que se convierte en vapor a alta presión. Este vapor alimenta a una turbina que actúa sobre un alternador produciendo energía eléctrica.

Los captadores tienen que estar constantemente orientados hacia el Sol, por lo que sus soportes han de ser móviles y cuentan con un sistema informático que determina de forma precisa la posición en cada momento del día.



En este tipo de centrales, puede haber varios tipos de configuraciones: los concentradores pueden estar situados al norte de la torre, si está en el hemisferio norte, o alrededor de ella.



Fuente: ewind.com

Planta termosolar de Torre PS 20 en San Lúcar la Mayor (Sevilla). Fuente: Abengoa.es

El problema principal de este tipo de centrales es que la producción de energía no es constante, ya que sólo se puede producir durante las horas de luz, esto genera problemas con la parada de la turbina. Este problema se soluciona con el siguiente tipo de centrales

c) De torre central con sistema de acumulación de calor (sales inorgánicas)

Este tipo de centrales es similar al anterior, pero con la variación de que el fluido caloportador que circula por la torre central es una mezcla de sales fundidas de nitrato potásico y sódico que tiene un punto de fusión que ronda los 220°C. La temperatura del fluido alcanza los 560°C.



Esquema de funcionamiento Planta termosolar con sistema de acumulación de calor. Fuente: manuelricosecades.blogspot.com

Este fluido se almacena, de manera que somos capaces de almacenar la energía solar en forma de energía térmica para poder transformarla en energía eléctrica cuando sea necesario. Esto va a permitir mantener la generación de electricidad las 24 horas del día, con lo que se soluciona el problema del desabastecimiento y de los paros de la turbina.

d) De espejos Fresnel

En este caso, se utilizan espejos planos, situados en una distribución determinada denominada disposición Fresnel, de manera que concentran la radiación en una línea focal a través de la cual circula un fluido caloportador. Este fluido puede ser de varios tipos, en el caso de las centrales construidas en España se utiliza agua.

A la entrada del sistema tenemos agua líquida y a la salida (600-900m después), podemos tener agua, vapor o una combinación de agua y vapor que es lo más común.

Este vapor se utiliza para hacer funcionar una turbina de vapor que mueve un alternador para producir energía eléctrica.

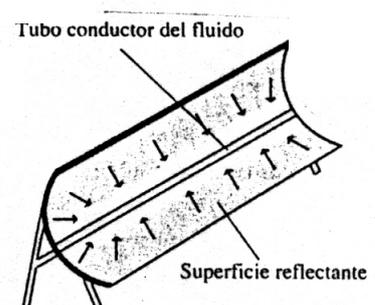


Espejos en distribución Fresnel. Fuente: manuelricosecades.blogspot.com

e) De concentradores cilindro-parabólicos

Esta es la tecnología más usada para alcanzar una concentración de tipo medio (temperaturas entre 300 – 400°C). Este colector consiste en un espejo cilindro-parabólico que refleja la radiación recibida sobre un tubo de vidrio dispuesto en la línea focal. Dentro del tubo de vidrio están el absorbedor y el fluido portador del calor. Miden unos 6m de alto por 12m de longitud.

Este fluido es un fluido orgánico sintético llamado aceite térmico.



Para que se puedan concentrar los rayos solares, estos

colectores se montan igual que los planos, es decir, mirando al Sur (si estamos en el hemisferio norte) y con una inclinación igual a la latitud del lugar. Además necesitan un dispositivo que vaya haciendo girar los espejos a lo largo del día, sincronizado con el movimiento aparente del Sol.

El calor así generado, se puede llevar hasta un sistema de almacenamiento térmico, si la planta dispone de él, o usarse directamente para la generación de vapor y producción de energía eléctrica.



Planta Andasol I (Granada). Fuente: www.rewbl.com

Un caso particular: El proyecto EUCLIDES™

En el ITER (Instituto Tecnológico y de Energías Renovables) situado en Granadilla (Tenerife) el proyecto EUCLIDES ha conducido al desarrollo de una nueva tecnología de concentración fotovoltaica. Esta tecnología se basa, principalmente, en cuatro componentes: los módulos de concentración, la óptica de concentración, los disipadores y la estructura de seguimiento. En septiembre de 1995 fue instalado un prototipo de 24 metros de largo en Madrid, con el que se han obtenido eficiencias de 16.4% (a 800 W/m² y 25°C) y de 9.6% en condiciones de operación.



En esta línea de investigación, ITER y Solarex han realizado la instalación de la mayor planta de concentración fotovoltaica conectada a red del mundo, la planta fotovoltaica de concentración EUCLIDES™. La planta ha sido instalada en el sur de la isla de Tenerife, en los terrenos del ITER.

La planta, con una potencia total de 480 kW, está compuesta por 14 líneas paralelas, cada una de 84 metros de largo. Los arrays tienen orientación Norte/Sur y los módulos de cada array están colocados en serie. Cada línea tiene 138 módulos y 140 espejos.

La tecnología de los espejos está basada en láminas metálicas reflectivas conformadas al perfil parabólico mediante costillas de aluminio.

Con el fin de estudiar el rendimiento de varias tecnologías para la ejecución de futuras plantas de concentración EUCLIDES™, se ha decidido tres tipos de materiales diferentes para la construcción de las láminas reflectoras.

En el módulo receptor las células de concentración están interconectadas y encapsuladas como en un módulo plano. Cada módulo de concentración consta de 10 células Solarex, conectadas en serie. Además, cada módulo es enfriado mediante disipadores.

II.2.2. Conversión fotovoltaica

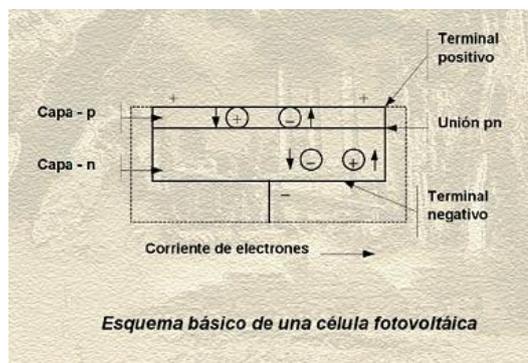
La conversión de la energía solar en energía eléctrica está basada casi por completo en el denominado "**efecto fotovoltaico**", o producción de una corriente eléctrica en un material semiconductor como consecuencia de la absorción de radiación luminosa.

La luz del Sol se transforma directamente en energía eléctrica en las llamadas **células solares o fotovoltaicas**, que es el elemento básico formado, en el tipo más extendido, por un material semiconductor, como silicio dopado con boro (*capa positiva: 3 electrones exteriores contra los 4 de silicio*) y fósforo (*capa negativa: 5 electrones exteriores contra los 4 de silicio*).



Célula solar fotovoltaica

Al incidir luz (fotones) sobre estas células se origina una corriente eléctrica (*efecto fotovoltaico*), aunque el rendimiento de este proceso es muy pequeño, pues en el mejor de los casos sólo un 25% de la energía luminosa se transforma en eléctrica.



Para obtener suficiente tensión, se conectan varias de ellas en *serie*. Son los llamados **módulos** o **paneles fotovoltaicos**.



Paneles fotovoltaicos

Las células del panel están protegidas por un cristal y se construyen de forma que se pueden unir con otros paneles.

Las instalaciones fotovoltaicas han de ir provistas de **acumuladores**, capaces de almacenar la energía eléctrica no utilizada en forma de energía química. En algunos casos, también puede estar conectado en paralelo con la red, para emplear la energía de la misma cuando falte el Sol.



Acumuladores

Enlace a infografía de [conversión fotovoltaica](#) de Consumer Eroski

II.2.2.1. Aplicaciones

- ✓ Aplicaciones remotas: lugares donde sólo se prevé un pequeño consumo de electricidad (repetidores de radio y televisión, radiofaros, balizas, etc.), y en los que es necesario una acumulación a base de baterías
- ✓ Usos rurales: instalaciones aisladas de la red general que no suelen requerir acumulación (riego, molienda, descascarillado, etc.)
- ✓ Autogeneración: centros de consumo conectados a la red, utilizando la energía solar como base y la de la red como complemento
- ✓ Grandes centrales: generación masiva de electricidad, sólo posible en condiciones favorables de evolución de la tecnología fotovoltaica, el coste de las fuentes energéticas convencionales y las condiciones climáticas

Es necesario destacar que los costes de las células fotovoltaicas siguen siendo altos en la actualidad, debido principalmente a la complejidad de la fabricación de las mismas. Es por ello que se siguen realizando importantes investigaciones respecto a la reducción de costes de las células, centrados en dos facetas fundamentales:

- ✓ Utilización de nuevos materiales: existen semiconductores con propiedades fotovoltaicas, cuyo coste de producción es mucho más bajo que el del silicio
- ✓ Aumento de la radiación incidente: existen dos opciones al respecto; o utilizar células bifaciales, capaces de recibir la radiación solar por ambas caras, o utilizar concentración óptica por medio de lentes

II.2.2.2. Ventajas e inconvenientes

Ventajas	Inconvenientes
Energía limpia, pues no emite ningún tipo de residuo.	Las instalaciones exigen una gran superficie de suelo.
Fuente inagotable y gratuita de energía.	La radiación solar no es uniforme, pues su uso se limita a zonas de elevado número de horas de sol al año.
Compensan desigualdades: los países menos desarrollados disponen de ella y no necesitan importarla	El coste de las instalaciones es alto en relación a su rendimiento.
	Aunque es una energía limpia, producir y mantener los paneles fotovoltaicos es contaminante.
	Las instalaciones modifican el entorno inmediato, dada su magnitud.

Nota: Los semiconductores son sustancias, de conductividad eléctrica intermedia entre un aislante y un conductor y, según sus características, se clasifican en dos tipos: "tipo p" y "tipo n". Estas características se consiguen añadiendo impurezas que afectan a las propiedades eléctricas del semiconductor, proceso que se llama "dopado". Añadiendo al silicio impurezas de fósforo se consigue un semiconductor tipo n, mientras que añadiendo boro, se consigue un semiconductor tipo p. El alto grado de pureza necesario para la obtención de semiconductores será el motivo principal de su elevado coste.

Un disco monocristalino de silicio dopado en su superficie expuesta al Sol hasta hacerla de tipo n y en su parte inferior de tipo p, constituye una "célula solar fotovoltaica", completada por unos contactos eléctricos adecuados para hacer circular la corriente eléctrica por el circuito exterior.

Generalmente, conectando 36 de ellas y montándolas entre dos láminas de vidrio que las protegen de la intemperie, se obtiene un "módulo fotovoltaico", capaz de proporcionar una corriente continua de 18 V con una iluminación de 1 kW/m².

Una serie de módulos montados sobre un soporte mecánico constituyen un "panel fotovoltaico"; según se conecten dichos módulos en serie o en paralelo, puede conseguirse casi cualquier valor de tensión y de intensidad de corriente.

Aquí les pongo otros enlaces a infografías también de Eroski que me parecen interesantes:

- [Placas solares móviles](#)
- [Láminas nanosolares](#)
- [Energía solar en viviendas comunitarias](#)

III. Expresiones matemáticas necesarias para las aplicaciones prácticas

Para calcular las dimensiones necesarias de un colector solar, si queremos obtener una potencia determinada, necesitamos saber, entre otras cosas, la cantidad de calor que se recibe en el punto de la tierra en el que queremos realizar la instalación.

Así, ese calor, Q, se puede obtener a partir de la expresión:

$$Q = K \cdot S \cdot t$$

Q= cantidad de calor (calorías)

K = constante solar (cal/min · cm²)

S = Superficie sobre la que incide la radiación (cm²)

t = Tiempo durante el cual está recibiendo radiación

La **constante solar** es la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de la atmósfera en un plano perpendicular a los rayos. En la superficie de la tierra, en las mejores condiciones, no supera el valor de 1,3 cal/min · cm². Toma valores entre 0 y 1,3 cal/min · cm², pudiendo tomarse como media en un día de verano 0,9 cal/min · cm²

Otra expresión útil para calcular la cantidad de calor, es en función de la masa de material que almacena ese calor

$$Q = C_e m \Delta T$$

Q= cantidad de calor (kcalorías)

M = masa (kg)

ΔT = variación de temperatura (°C)

C_e = calor específico Kcal/Kg°C (en el caso del agua toma el valor 1 Kcal/Kg°C)

$$\eta = E_{\text{salida}} / E_{\text{entrada}}$$

o, en función de la potencia:

$$\eta = P_{\text{salida}} / P_{\text{entrada}}$$

La potencia captada por un colector solar, depende de la densidad de radiación que incide en un determinado lugar y de la superficie de captación

$$P_{\text{inc}} = \rho_{\text{rad}} \cdot S$$

P_{inc} = Potencia captada por el colector (w)

ρ_{rad} = densidad de radiación (w/m²)

S = superficie de captación (m²)

PROBLEMAS

1. Suponiendo una densidad de radiación media de 1000 W/m^2 , calcula la potencia que conseguiremos con un grupo de colectores solares que ocupan una superficie total de 225 m^2 y que tienen un rendimiento del 60%. (Solución: 135 kW)
2. Calcula la superficie que deben ocupar los colectores planos de una instalación si pretendemos que desarrollen una potencia de 75 kW con un rendimiento del 50%. Suponemos una radiación solar de 1000 W/m^2 . (Solución: 150 m^2)
3. Calcula la energía solar total que recibe España a lo largo de un año, sabiendo que su superficie aproximada es de $500\,000 \text{ km}^2$ y suponiendo una insolación media de 2200 h anuales y una densidad de radiación media de 1399 W/m^2 (Solución: $5,15 \cdot 10^{21} \text{ J}$)
4. Calcula la superficie de panel fotovoltaico necesario para alimentar una estufa eléctrica de 1500 W de potencia durante 2 horas. Supón una densidad de radiación de 1000 W/m^2 , un aprovechamiento solar de 6 horas y un rendimiento del equipo de 20% (Solución: $2,5 \text{ m}^2$)
5. Se desea instalar un conjunto de paneles solares para abastecer una vivienda con un consumo estimado de 525 kWh mensuales. Calcula la superficie de panel necesaria suponiendo una densidad de radiación de 1250 W/m^2 , un aprovechamiento solar diario de 5 horas y un rendimiento de la instalación del 25%. (Solución: $11,2 \text{ m}^2$)
6. Determina la cantidad de calor que habrá entrado en una casa, durante un día del mes de julio, suponiendo que dispone de una cristalera de $3 \times 2 \text{ m}$ y que no se han producido pérdidas ni reflexiones en el vidrio. (Solución: 32400 Kcal). (El coeficiente de radiación solar es $K = 0,9 \text{ cal/min} \cdot \text{cm}^2$ y suponemos 10 horas de insolación diarias en el mes de julio.)
7. Un colector solar plano que tiene una superficie de 4 m^2 debe calentar agua para uso doméstico. Sabiendo que el coeficiente de radiación solar es $K = 0,9 \text{ cal/min} \cdot \text{cm}^2$ y que el consumo de agua es constante, a razón de 6 litros/min, determina el aumento de temperatura del agua si está funcionando durante 2 horas. Se supone que inicialmente el agua está a 18°C y que no hay pérdidas de calor (Solución: 24°C)