
**Instrumentos de
medida usados
en instalaciones
solares fotovoltaicas**

**unidad
didáctica7**

1. Instrumentos de medición de la radiación solar

La medida de la radiación solar en la superficie terrestre es de gran importancia para el estudio de las condiciones climáticas y atmosféricas. Conociendo los valores de la radiación solar a lo largo del año en un área determinada, es posible saber si es factible la utilización de los sistemas fotovoltaicos, o cómo deben realizarse de forma que se garantice su máximo aprovechamiento a lo largo del mismo, ya que se trata de un periodo de tiempo dónde las variaciones de la intensidad de la radiación solar sufren las alteraciones significativas.

La radiación solar se mide usualmente mediante instrumentos especiales destinados a tal propósito denominados **radiómetros**. Existen varias clases de radiómetros, dependiendo del tipo de radiación a medir.

- La **radiación global** se mide generalmente sobre una superficie horizontal con un instrumento de medida denominado **piranómetro**.
- La **radiación difusa** se mide también sobre una superficie horizontal con un con un piranómetro, que incorpora un disco o una banda sombreadora, para evitar la visión del disco solar o con un **albedómetro**.
- La **radiación directa** se mide sobre una superficie normal a los rayos solares, mediante un instrumento denominado **pirheliómetro**.

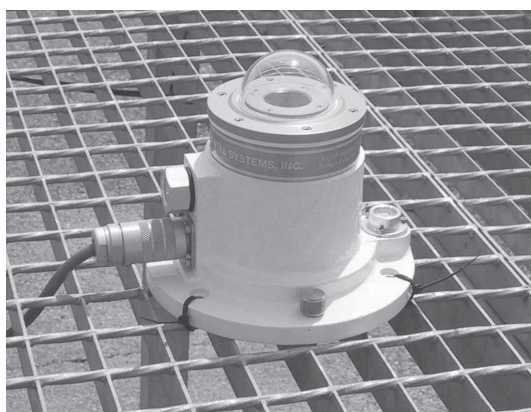
La OMM (Organización Meteorológica Mundial), fija unas normas que establecen la precisión de estos instrumentos de medida. Las medidas que realizan estos instrumentos son: radiación global y difusa en el plano horizontal y la radiación directa normal.

1.1. Medida de la radiación global

Para la medida de la radiación global se emplea, como hemos dicho, el **piranómetro**. El piranómetro, también llamado *solarímetro* y *actinómetro*, es un instrumento con el que se mide la radiación solar global (difusa y directa), que se recibe en todas las direcciones, pero que usualmente se usa para medir la que se recibe sobre una superficie horizontal. Es un instrumento sencillo que no requiere la incorporación de mecanismos de seguimiento solar.

El piranómetro se sitúa en posición horizontal en el plano de los módulos del sistema y a la altura del perfil superior del mismo, de forma que en ningún caso proyecte sombras sobre el propio módulo.

El principio físico utilizado generalmente en la medida es un termopar sobre el que incide la radiación a través de dos cúpulas semiesféricas de vidrio, cuya función principal es filtrar la radiación infrarroja procedente de la atmósfera y la radiación de onda corta procedente del sol, evitando que alcance al receptor. Unas placas pintadas de blanco y de negro actúan como sensores o termopilas. Las placas negras se calientan más que las blancas, debido a que absorben más radiación solar. Este calor fluye atravesando los sensores hacia el cuerpo del piranómetro, proporcionando una señal eléctrica proporcional a la radiación incidente. Las cúpulas de vidrio también evitan el enfriamiento causado por el viento y el efecto de la contaminación atmosférica sobre los sensores. La cúpula de cristal limita la respuesta al rango de 300 a 2.800 nm preservando un campo de visión de 180 grados. Otra función de la cúpula es la de proteger la termopila de la convección. Con este aparato se obtienen medidas de la radiación en W/m^2 .



Existe una gran cantidad de piranómetros con detectores basados en fotocélulas. Estos dispositivos tienen una respuesta prácticamente instantánea para las variaciones bruscas de la radiación solar. Esta característica, junto a su ligereza y su bajo costo constituyen sus principales ventajas. Su mayor dificultad radica en las limitaciones que presenta por captar sólo el 60% de la radiación solar incidente, aunque eso no impide que cada vez se usen más en la evaluación de sistemas solares fotovoltaicos.

Existen varios modelos de piranómetros: desde los más costosos (2% de precisión), hasta los más baratos (5% de precisión), y de varios modelos de fabricantes. La OMM establece que las características de los piranómetros estarán comprendidas dentro de las siguientes especificaciones:

- Variación de la respuesta con la temperatura ambiente: $\pm 1\%$.
- Variación de la sensibilidad del sensor a las diferentes regiones del espectro de la radiación solar: $\pm 2\%$.
- Linealidad de la respuesta: $\pm 2\%$.
- Variación de la respuesta con el ángulo de incidencia: $\pm 1\%$.

1.2. Medición de la radiación difusa

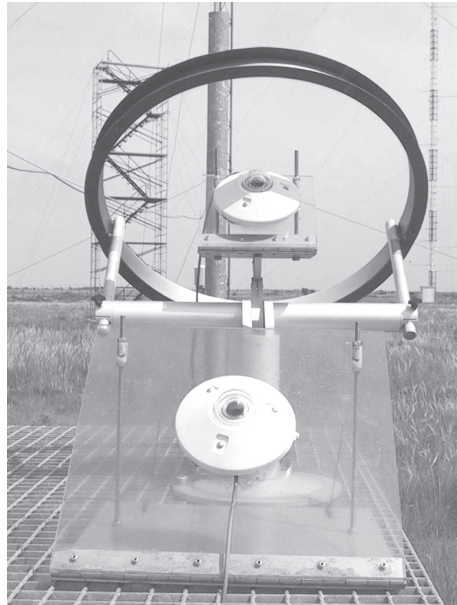
Para medir la radiación difusa (o radiación solar procedente de la dispersión de los rayos solares por los constituyentes atmosféricos), también se emplean los **piranómetros**. Para eliminar que la componente directa de la radiación incida sobre el sensor, se instala un sistema que consiste en una banda o un disco parasol que evita la radiación solar directa sobre el mismo. Se puede utilizar un disco móvil dotado de un movimiento ecuatorial, en el que la sombra se proyecta permanentemente sobre la superficie sensible del piranómetro, o también se puede adaptar una banda parasol que se desplaza manualmente a lo largo del año.

Debido a la geometría de este elemento, parte de la radiación difusa procedente de los alrededores resultará también bloqueada, por lo que es necesario aplicar un factor de corrección a las medidas. La determinación de este factor de corrección es

Energía solar fotovoltaica

Instrumentos de medida usados en instalaciones solares fotovoltaicas

compleja, y se realiza mediante combinación de consideraciones teóricas y aproximaciones empíricas. La posición del parasol debe verificarse todos los días, teniendo en cuenta la declinación solar.



1.2.1. Albedómetro

El albedo es la relación que existe entre la radiación reflejada por el suelo, respecto de la radiación global incidente. El **albedómetro** está constituido por dos piranómetros iguales contrapuestos. Uno orientado hacia arriba (cielo) y el otro hacia abajo (tierra). El que está orientado hacia arriba mide la radiación global (directa + difusa) que incide sobre el terreno mientras que el orientado hacia abajo mide la radiación global reflejada por el terreno.



Con los albedómetros se puede calcular la radiación neta obtenida, a través de la diferencia entre la radiación global incidente y la radiación global reflejada. Los albedómetros miden en el campo espectral $0,3 \mu\text{m}$ a $3 \mu\text{m}$. Ambos piranómetros han de tener la misma sensibilidad.

1.3. Medida de la radiación directa

Se realiza con un instrumento denominado **pirheliómetro**. Mide la radiación solar, en función de la concentración de un punto de luz creado por una esfera de cristal sobre un papel marcado con una escala convencional. Como sensor se utiliza una placa negra, cuya temperatura, que se mide con un sistema de termopar, varía con la radiación solar directa que llega a la placa. Consiste en un tubo largo (especie de telescopio) con una ranura circular por la cual penetra el rayo de sol, proyectándose en el otro extremo, donde se encuentra el receptor, la imagen del disco solar más un anillo de cielo que rodea este. Éste debe permanecer siempre normal a los rayos solares, por lo que está dotado de un dispositivo automático de seguimiento del sol. El ángulo de abertura está comprendido entre 5° y 11° , si bien, a mayor ángulo, mayor será la cantidad de radiación solar procedente de la aureola solar captada por el detector, pero menores serán las exigencias de precisión en el seguimiento de la trayectoria solar. El error provocado por una abertura excesiva, aumenta en proporción a la cantidad de radiación del cielo admitida.

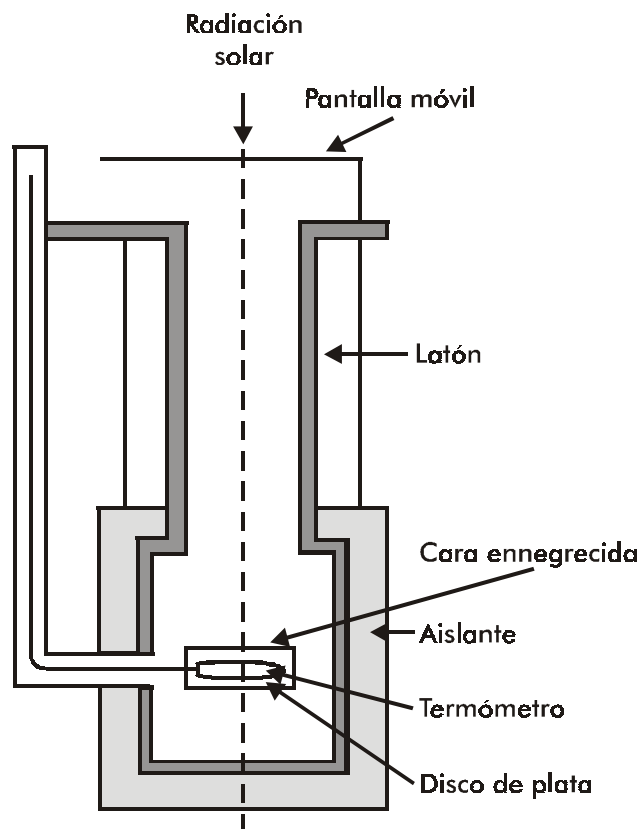
El pirheliómetro debe estar situado sobre un sistema de seguimiento solar de gran precisión. El equipo auxiliar para seguir al disco solar durante su travesía por el cielo se conoce como montaje ecuatorial. El dispositivo es activado eléctricamente, o por un mecanismo de relojería. Mediante un dispositivo reductor de engranajes, la rotación del eje al cual se halla sujeto el pirheliómetro se produce a una velocidad constante, siguiendo el movimiento del sol. El eje de rotación es perpendicular al plano del ecuador celeste. El eje necesita ser ajustado diariamente a medida que cambia la declinación del Sol. Las observaciones realizadas con el uso de un montaje ecuatorial necesitan supervisión continua por parte del personal calificado. Los montajes ecuatoriales accionados por motores sincrónicos eléctricos, que dependen de la estabilidad de la frecuencia de línea, tienden a desincronizarse con el movimiento del Sol.

Energía solar fotovoltaica

Instrumentos de medida usados en instalaciones solares fotovoltaicas

Se deben tomar precauciones para que los cables del pirheliómetro no se retuerzan por el movimiento del montaje ecuatorial, que implicaría una carga suplementaria al motor y podría eventualmente producir daños al pirheliómetro mismo.

Existen diferentes montajes. El pirheliómetro de disco de plata de Abbot, permite deducir la intensidad de la radiación directa a partir de lecturas termométricas sucesivas, abriendo y cerrando alternativamente la entrada del aparato, estando sometido a unas normas muy estrictas, ya que el tiempo de exposición tiene que ser muy preciso.



Pirheliómetro de disco de plata de Abbot

Consiste en un disco de plata ennegrecida por una de sus caras, con un agujero ciego en el que se inserta un termómetro aislado por un manguito de madera. El disco está situado en el fondo de un tubo de latón que se puede obturar con

ayuda de una pantalla móvil situada en el otro extremo; de esta forma se puede exponer el disco durante un tiempo determinado a la radiación solar, actuando el aislante como elemento refrigerante.

Este instrumento se utiliza para la medición de la radiación solar directa expresada en unidades de W/m^2 .

Para su funcionamiento debe estar conectado a una unidad de control auxiliar para poder determinar mediante cálculo la potencia que es recibida desde el sol.

Su importancia radica en que mediante este instrumento es posible realizar la calibración de otros instrumentos de radiación solar.

Es esencial mantener los domos de vidrio de los pirheliómetros y piranómetros, limpios y perfectamente transparentes, y es parte de la rutina diaria de las observaciones. Los montajes ecuatoriales necesitan ser atendidos durante todo el día.

2. Medición de la duración del brillo solar

Se realiza con un aparato meteorológico llamado **heliógrafo** o **heliografógrafo**. Los heliógrafos sirven para medir la duración de la luz solar, que se puede definir como el intervalo de tiempo durante el cual se ve el disco solar, y determinan los períodos del día durante los cuales la intensidad de la radiación directa es superior a un cierto umbral, 120 W/m^2 , que está reconocido a nivel mundial.



El instrumento más común para la medida del número de horas de sol es el heliógrafo de Campbell-Stokes. Este instrumento consiste en una bola de vidrio macizo que actúa como lente y concentra los rayos solares sobre una banda de cartulina teñida de azul. La banda se fija por medio de ranuras a un soporte curvo y concéntrico con la esfera, y tiene impresa una escala que representa las horas. Si el sol brilla durante todo el día, sobre la banda se forma una traza carbonizada continua y la duración de la insolación se determina midiendo la longitud de la traza carbonizada. Si lo hace de forma discontinua, dicha traza es intermitente. En este caso, la insolación se determina sumando la longitud de las trazas resultantes. El que el elemento focalizador sea una esfera de cristal, hace

que no sea necesario mover este foco constantemente, debido al movimiento aparente del sol a lo largo del día y de las estaciones.

Las bandas son de duración diaria, se cambian al atardecer o antes de la salida del sol, y se anota en su reverso la fecha de la colocación de la banda.

Se utilizan tres tipos distintos de bandas según la época del año:

- a. Desde comienzos de marzo hasta mediados de abril y desde comienzos de septiembre hasta mediados de octubre (alrededor de cada equinoccio) se utilizan bandas rectas, llamadas bandas equinociales y se acoplan a las ranuras centrales del soporte.
- b. Desde la mitad de octubre hasta fin de febrero se utilizan bandas curvadas cortas, que se colocan en las ranuras superiores.
- c. El resto del año, de mediados de abril hasta el fin de agosto, se usan bandas curvadas largas, colocadas entre las ranuras inferiores.

El heliógrafo debe colocarse sobre una base nivelada y firme, a una altura mínima de un metro (se recomienda la sustentación de piedra fija, obras de fábrica fijas o metal), en un lugar en el que no haya obstáculos para que los rayos de sol incidan en el aparato sin impedimento alguno durante todo el día. Éste se debe colocar orientado a mediodía.

El heliógrafo ha de estar ajustado para la latitud geográfica del lugar en donde va a ser instalado. Por lo general estos aparatos se fabrican para un pequeño número de latitudes típicas y dejan margen a la afinación final por medio de un dispositivo de latitud variable. Así como ha de ajustarse a la latitud, también debe hacerse lo mismo en cuanto a la longitud geográfica. Si el heliógrafo no está bien ajustado (latitud-longitud), las marcas o quemaduras que presenten las bandas no estarán paralelas a la línea central de las mismas, con lo que se corre el riesgo de perder datos de insolación.

La esfera está montada concéntricamente dentro del casquete esférico, sobre el que se coloca la cartulina. Por su cara interna este soporte lleva tres sistemas de ranuras, destinados a los tres tipos de banda que deben usarse, para acomodarse a los desplazamientos del sol en declinación. Las dimensiones del casquete y la

esfera son tales que los rayos formen un foco muy intenso sobre la cartulina. La esfera se fija en un soporte cóncavo, hacia arriba, de forma esférica por medio de un par de tornillos.

Como el sol va variando en altura en el curso del año, el foco del heliógrafo se va desplazando en consecuencia, por lo que el marco metálico provisto de ranuras-guías y concéntrico con la bola de vidrio, que sostiene la banda graduada, puede ajustarse buscando la posición más idónea para cada época del año.

Los velos de nubes altas muchas veces no impiden que los rayos solares conserven fuerza suficiente para quemar la cartulina, pero también puede ocurrir que lleguen a taladrarla; mientras sea visible claramente la huella del foco debe contarse como verdadera insolación.

Este heliógrafo tiene el inconveniente de que sus indicaciones dependen de la calidad de la cartulina empleada y de las características ópticas del vidrio. Por consiguiente, proporciona solamente un índice muy útil y muy importante, pero carece de los atributos de una verdadera magnitud medible.

3. Ubicación y exposición de los instrumentos de medición de la radiación solar

El lugar debe permitir una visión continua del sol, del amanecer al anochecer durante todo el año.

Los instrumentos de medición de radiación solar deben estar firmemente fijados a un soporte rígido, próximo a la instalación de teleindicadores y/o instrumentos registradores, los cuales se instalarán bajo techo para impedir que les afecten las variaciones climatológicas. Un techo plano proporciona un sitio de observación de radiación solar apropiado.

El lugar en el que va a captar la radiación debe estar alejado de las fuentes de contaminación y de radiación distintas de la solar.

Como la instalación de instrumentos de teleindicación de radiación solar basados en principios termoeléctricos, se recomienda el uso de cables blindados con dispositivos de puesta a tierra en ambos extremos.

4. Medida de la temperatura ambiente

La medida de la temperatura ambiente se realiza mediante una sonda de insola-
ción o con un termómetro de mercurio, situados siempre a la sombra para que no
resulten afectados por la temperatura que pueden alcanzar sus componentes.

Teniendo como datos las características generales de la instalación, la temperatu-
ra ambiente, la radiación solar y la energía producida, podrá verificarse el correc-
to funcionamiento de la instalación.