

## ¿COMO SE MIDE LA RADIACION SOLAR?

*Antonio Mestre*

### LA RADIACION SOLAR Y SU MEDIDA

El Sol constituye una fenomenal fuente energética para todo el Sistema Solar, que emite un flujo radiante de  $3.85 \cdot 10^{26}$  w. De esta enorme cantidad de energía, del orden de  $1.1 \cdot 10^{17}$  son absorbidos por nuestro planeta, proporcionando la energía que hace posible los movimientos atmosféricos y la existencia de la vida. Se puede afirmar que la radiación solar está en el origen último de la práctica totalidad de los procesos físicos y biológicos que tienen lugar en el planeta.

La radiación solar alcanza las capas exteriores de la atmósfera terrestre a un ritmo que varía ligeramente, de acuerdo con el nivel de actividad de la atmósfera solar y la distancia Tierra-Sol.

Se denomina "constante solar" a la cantidad de energía radiante procedente del Sol que, por término medio, se recibe por unidad de tiempo y área por una superficie perpendicular a los rayos solares situada en el límite exterior de la atmósfera, cuando la distancia de la Tierra al Sol es de 1 unidad astronómica ( $149,68 \times 10^6$  km.). La medición de esta constante ha concentrado un considerable interés científico durante las últimas décadas, habiéndose adoptado el valor medio de  $1367 \text{ w/m}^2$  (Frolich y Brusa, 1982).

Al atravesar la atmósfera, la radiación solar sufre un proceso de atenuación, como consecuencia de la absorción selectiva por las moléculas de los gases presentes en la atmósfera, de la difusión por moléculas de aire o partículas en suspensión y de la reflexión en las nubes.

Como resultado de la intervención de la atmósfera, se modifica la distribución espectral de la radiación solar, al tiempo que se reduce la magnitud del flujo radiante, que finalmente alcanza la superficie en 2 formas distintas, como radiación directa y como radiación difusa:

a) **Componente directa de la radiación solar.**

Es la que se recibe directamente del disco solar, en dirección perpendicular a los rayos solares.

b) **Componente difusa de la radiación solar.**

Es aquella que se recibe desde todo el hemisferio celeste, excepción hecha del disco solar. Se origina como consecuencia de los procesos de difusión y reflexión, incluyendo también la radiación que proviene de reflexión en el suelo.

Se denomina irradiación a la magnitud del flujo radiante incidente por unidad de superficie. Al flujo total recibido por una superficie unitaria horizontal, originado tanto por la componente directa como por la difusa se le denomina irradiación global.

La medida de la irradiación global ha adquirido un enorme interés, no sólo para los que diseñan instalaciones colectoras y de aprovechamiento de la energía solar, sino también para arquitectos, agrónomos, hidrólogos, meteorólogos o climatólogos. Por otra parte, para numerosas aplicaciones, es de gran importancia la determinación por separado de las componentes directa y difusa. Por citar un ejemplo al respecto, se puede indicar que la componente difusa es mucho más rica que la directa en energía activa desde el punto de vista de la fotosíntesis.

Los elementos sensores que permiten la medida en superficie de la irradiación solar, se pueden agrupar en 4 tipos distintos, atendiendo al principio físico en que están basados :

a) **Sensores calorimétricos.**

La energía radiante es transformada en flujo de calor, que puede ser medido por varios métodos, como el incremento de temperatura de un metal o la energía eléctrica requerida para mantener constante la diferencia de temperaturas entre dos puntos.

b) **Sensores termomecánicos.**

El flujo radiante se determina mediante la magnitud de la flexión producida en una lámina bimetálica, formada por dos

chapas unidas, compuestas de materiales que poseen coeficientes de dilatación térmica muy distintos.

**c) Sensores termoelectrónicos.**

Se basan en el hecho de que, si se mantienen dos alambres metálicos de diferentes propiedades físicas, unidos por sus extremos, se establece en el circuito por ellos formado, una fuerza electromotriz proporcional a la diferencia de temperaturas entre sus extremos. La irradiación se puede obtener a partir de la f.e.m. originada cuando un extremo es sometido al flujo radiante, manteniéndose al otro en sombra. En general éstos pequeños circuitos se agrupan, denominándose al conjunto termopila.

**d) Sensores fotoeléctricos.**

Se basan en la corriente eléctrica que se genera al incidir el flujo radiante en un elemento sensible compuesto por materiales semiconductores.

Antes de describir los instrumentos de medida de la irradiación solar, es oportuno hacer mención a los avances que se han producido en los últimos años en la estimación de la radiación de onda corta que llega a la superficie terrestre, mediante la utilización de datos procedentes de observaciones satelitarias, en particular de medidas de satélites geoestacionarios en el canal visible, así como observaciones meteorológicas en superficie.

## **INSTRUMENTOS DE MEDIDA RADIOMÉTRICOS**

### **A.-Instrumentos de medida de la componente directa de la irradiación solar**

La irradiación directa se mide mediante un instrumento de aspecto telescópico denominado pirheliómetro. Este tipo de instrumentos deben seguir el movimiento aparente del Sol en la bóveda celeste, para lo cual se montan sobre un equipo denominado seguidor solar, que mantiene constantemente alineado el eje del instrumento con el centro del disco solar.

La Organización Meteorológica Mundial ha establecido una clasificación

jerarquizada de los pirheliómetros en 3 categorías, según su sensibilidad, la estabilidad de los factores de calibración, la linealidad de la respuesta y la calidad de los equipos auxiliares:

**a) Pirheliómetros absolutos.**

Son aquellos que se autocalibran, evaluándose la irradiación a partir de parámetros físicos del instrumento. El Centro Radiométrico Mundial de Davos (Suiza), mantiene un grupo de instrumentos de éstas características que actúan como Patrones Radiométricos Mundiales.

**b) Pirheliómetros "standard" de referencia.**

Son los que se calibran frente al grupo de Patrones Mundiales, en las denominadas comparaciones interpirheliométricas, que se desarrollan una vez cada 5 años. A este grupo pertenecen los patrones regionales y algunos nacionales que sirven de referencia a los instrumentos operativos de las Redes Radiométricas.

**c) Pirheliómetros secundarios.**

Se utilizan de forma operacional en las redes radiométricas, siendo más sencillos y robustos que los anteriormente citados. Se calibran periódicamente por comparación con los patrones nacionales.

### **A1. Pirheliómetros absolutos.**

El primer instrumento de éstas características fue desarrollado por Abbot, era de tipo calorimétrico y estaba basado en el principio de medir la irradiación mediante el calentamiento del agua que fluye a través de las paredes de un receptor sobre el que incide la radiación solar.

Desde la década de los años sesenta se ha desarrollado una nueva generación de equipos, denominados pirheliómetros absolutos de cavidad, de tipo termoelectrónico, en los cuales la cavidad receptora absorbe la radiación solar incidente, mientras un transductor permite transformar el flujo de calor producido en energía eléctrica.

Los instrumentos de cavidad más usados son: El denominado PACRAD (Primary Absolute Cavity Radiometer), el ACR (de

cavidad activa) y el PMO. De éste último tipo es el instrumento que se utiliza como patrón nacional para la Red Radiométrica del INM.

### **A2. Pirheliómetros "Standard" de referencia.**

Los dos instrumentos de esta categoría más utilizados son:

El pirheliómetro de compensación de Angstrom (1899), inicialmente concebido como absoluto. El elemento sensor consta de 2 laminillas metálicas idénticas cuidadosamente lacadas en negro, una de las cuales está sometida al flujo radiante, en tanto que la otra, en sombra, se calienta por medio de una corriente eléctrica que compensa el calentamiento de la otra lámina por la acción solar.

El pirheliómetro de disco de plata, desarrollado en 1922 por Abbot, cuyo principio de operación es la medida de la variación de temperatura del elemento sensor, un disco de plata que es alternativamente expuesto a la irradiación o sombreado.

### **A3. Pirheliómetros secundarios u operacionales.**

Son de tipo termoelectrico, utilizando la termopila como elemento sensible.

Los más empleados son:

- El pirheliómetro de incidencia normal, cuyo elemento sensible es una termopila formada por alambres de cobre plateado-constantán. Están provistos de un mecanismo de compensación térmica, pudiendo considerarse una versión termoelectrica del pirheliómetro de disco de plata.

- El Actinómetro Linke-Feussner. Contiene una termopila con 40 elementos de constantán-manganeso, agrupados en 2 conjuntos de 20 elementos cada uno, distribuidos de forma circular. En éste instrumento la compensación de variaciones rápidas de temperatura se efectúa mediante una termopila adicional colocada en oposición al elemento sensible, que no está expuesta a la radiación solar.

## **B.- Instrumentos de medida de la irradiación global.**

La irradiación global se mide mediante unos equipos denominados piranómetros. Estos equipos reciben en su superficie receptora horizontal la irradiación que llega desde el conjunto de la bóveda celeste.

Los elementos sensores de éstos equipos son en la actualidad, en su mayoría, de tipo termoelectrico. El detector está protegido por una doble cúpula semiesférica, con objeto de evitar que incida sobre el sensor la radiación infrarroja procedente de la cúpula exterior. Frecuentemente el instrumento está protegido de un excesivo calentamiento por una pantalla lacada en blanco, lo que le confiere un aspecto característico (véase la fotografía).

La calibración de éstos instrumentos se efectúa, bien por comparación con un pirheliómetro de referencia o por comparación con un piranómetro de referencia previamente calibrado por el anterior procedimiento. Dado que deben captar la irradiación procedente de toda la bóveda celeste, es muy importante que estén debidamente instalados disponiendo de un horizonte libre de obstáculos.

Atendiendo al tipo de sensor, los piranómetros se clasifican en los siguientes tipos:

#### **- Piranómetros termoelectricos .**

Entre los más utilizados se pueden citar :

-El PSP (Piranómetro de precisión espectral). Dotado de una termopila circular de múltiples elementos. Reemplazando la cúpula exterior por filtros hemisféricos tipo Scott, que transmiten la radiación sólo en determinados intervalos de longitudes de onda se pueden realizar medidas de tipo espectral.

- El CM 6. Dotado de un sensor provisto de 64 termopares.

- El CM 10. Versión mejorada del CM6, provisto de una termopila conteniendo 100 termopares impresos en material cerámico.

#### **- Piranómetros termomecánicos.**

Se han utilizado profusamente los actinógrafos bimetálicos, actualmente en desuso, dada su gran inercia térmica y su dificultad de calibración, por lo que no son adecuados para medidas de irradiación en períodos inferiores a 1 día.

**- Piranómetros fotovoltaicos.**

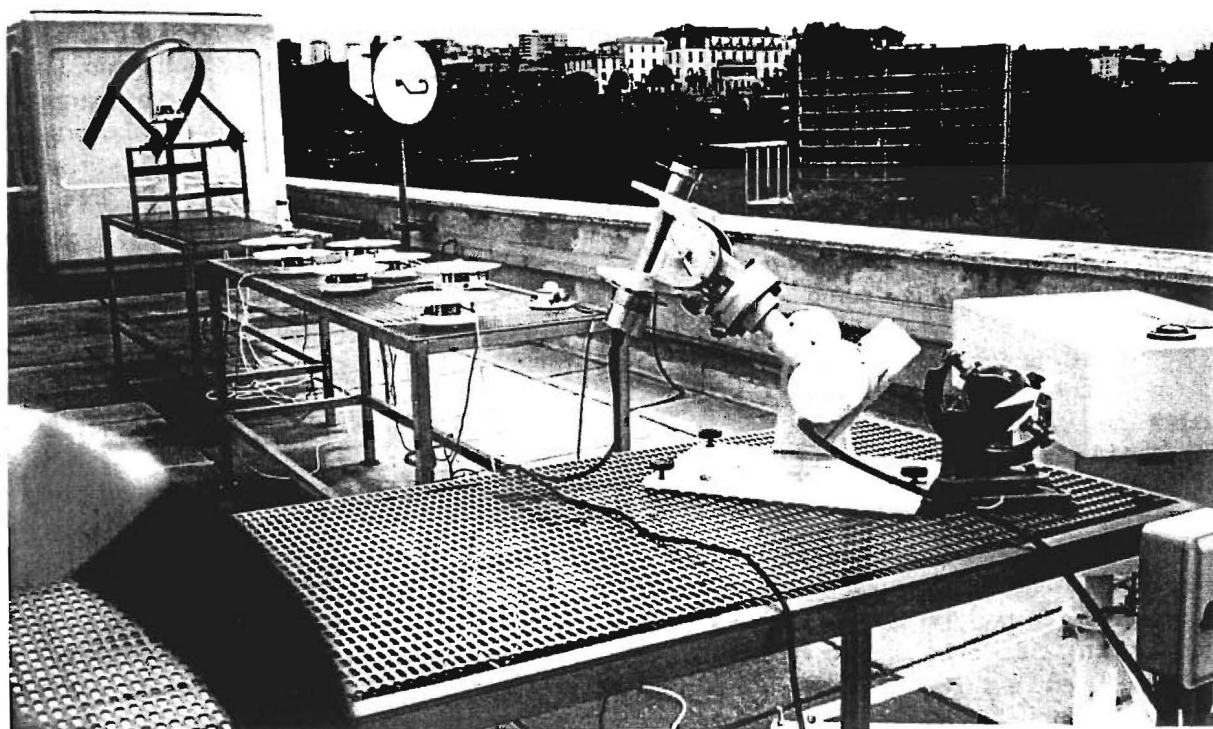
No tienen una gran precisión, pero su respuesta es instantánea y su coste más reducido que en los otros tipos. No obstante su difusión se ha visto reducida por sus problemas de calibración.

**C) La medida de la componente difusa.**

La componente difusa de la irradiación se mide, equipando a un piranómetro con un dispositivo denominado "banda de sombra", que elimina la componente directa de la radiación solar (véase la fotografía).

Esta banda está diseñada de modo que cubra completamente la cúpula del piranómetro, para cualquier posición del disco solar a lo largo del día.

Dado que la propia banda intercepta también parte de la radiación difusa total, tiene que compensarse éste hecho con la introducción de un factor de corrección denominado "factor de banda".



En la fotografía, tomada en la terraza de la sede central del INM, se aprecia, en primer término, un pirheliómetro de incidencia normal, en el centro 7 piranómetros en proceso de calibración y al fondo un piranómetro provisto de banda de sombra.