

**UNIDAD DE APOYO TÉCNICO
PARA EL SANEAMIENTO BÁSICO DEL ÁREA RURAL**

ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental
Organización Panamericana de la Salud
Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

Auspiciado por:



Agencia Suiza para el
Desarrollo y la Cooperación

UNIDAD DE APOYO TÉCNICO PARA
EL SANEAMIENTO BÁSICO DEL ÁREA RURAL

ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

Sixto Guevara Vásquez
UNATSABAR – CEPIS/OPS



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental
Organización Panamericana de la Salud
Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

Auspiciado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación

Lima, 2003

Tabla de contenido

	Página
1. Introducción	2
2. Aspectos teóricos	2
3. Descripción del solarímetro casero	3
4. Estimación de la radiación solar	4
4.1 Radiación solar en plano horizontal	4
4.2 Radiación solar en plano inclinado	4
4.3 Radiación solar en plano perpendicular a los rayos solares	4
5. Ecuación del solarímetro	6
6. Procedimiento para la estimación de la radiación solar	7
6.1 Ubicación	7
6.2 Equipos necesarios	7
6.3 Determinación de la radiación solar instantánea	7
6.4 Determinación de la radiación solar diaria	7
7. Aplicaciones	7
7.1 Determinación de la radiación solar instantánea	7
7.2 Ejemplo de la estimación de la radiación solar diaria	8

ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

1. Introducción

El aprovechamiento de la energía solar está condicionado a la intensidad de radiación solar incidente sobre un área determinada, por lo que es necesario contar con registros de radiación confiables que puedan emplearse en el diseño de equipos que aprovechen la energía solar. Actualmente se disponen de mapas de radiación solar, en donde normalmente se presentan los valores promedio de radiación solar diaria, mensual o anual. El uso de estos mapas de radiación es importante para determinar las zonas geográficas que tienen un alto potencial para su aprovechamiento y para el prediseño de los equipos que utilizan como fuente la energía solar.

Actualmente, las tablas o los mapas de radiación solar se elaboran a partir de mediciones vía satélite o a partir de los datos obtenidos en las ciudades y grandes centros poblados, y raras veces, se tienen en cuenta los niveles de radiación solar a nivel de las zonas rurales. No obstante, estos datos tienen cierta incertidumbre propia de la tecnología empleada, a lo que se suma, que la mayoría de datos están referidos a grandes extensiones de territorio, por lo que su uso se hace limitado y poco práctico.

Esta limitación puede conducir al sobre o subdimensionamiento de los equipos de aprovechamiento de la radiación solar. Esta falla en los diseños puede tener graves consecuencias en lo que respecta a costos de inversión, operación o mantenimiento, así como la sostenibilidad de los sistemas cuando ellos no cumplen con el fin para el cual fueron instalados.

En el mercado existen diferentes modelos de equipos para determinar la radiación solar y que varían de costo desde algunos cientos hasta miles de dólares. A fin de contribuir a realizar una buena estimación de la radiación solar en un área de interés de una manera sencilla y económica, es que el CEPIS/OPS ha desarrollado un solarímetro casero.

De esta manera, a través del solarímetro casero es posible estimar datos sobre radiación solar para una zona en particular. En este documento se trata sobre este aspecto buscando que la metodología a aplicar sea de fácil desempeño y con el objetivo que el diseño de los equipos o sistemas solares en zonas rurales sea realizado eficientemente.

En este Informe Técnico, realizado con el apoyo de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), se exponen los aspectos de su construcción y operación del solarímetro casero.

2. Aspectos teóricos

La tasa a la cual la radiación es recibida por una superficie por unidad de área se denomina irradiancia, la misma que se expresa en unidades de potencia por unidad de área, W/m^2 .

La cantidad de radiación recibida por una superficie por unidad de área durante un determinado período se denomina irradiación. Se expresa en unidades de energía por unidad de área, Wh/m². La radiación solar en el suelo a veces se denomina insolación.

La medición de la energía solar se realiza por medio de solarímetros. Los solarímetros están basados en el principio de absorción de la radiación solar por un cuerpo negro y en la conversión de esta radiación a otra forma de energía, la misma que es proporcional a la intensidad de la radiación.

Teóricamente, un cuerpo negro capta toda la radiación a la que está expuesta. Sin embargo, en la práctica sólo se cuentan con cuerpos opacos los cuales solamente son capaces de captar una parte de la radiación total. No obstante, a partir de consideraciones termodinámicas es posible emplear estos cuerpos opacos para estimar la radiación solar instantánea sobre una región determinada. De otra parte, la energía aprovechable de la radiación solar proviene de la región del espectro visible e infrarrojo cercano, que son las ondas electromagnéticas que producen el incremento de la energía interna del cuerpo.

En las consideraciones termodinámicas se tienen en cuenta las pérdidas de energía por reflexión de los materiales del medidor y por transmisión del calor de estos mismos materiales.

El instrumento más empleado en el registro de la radiación total es el piranómetro. Un segundo instrumento es el piroheliómetro, el cual mide la radiación directa normal que proviene del sol. Precisamente, tomando como base los criterios anteriores se construyó un piranómetro, al que se ha denominado solarímetro casero.

3. Descripción del solarímetro casero

Este solarímetro casero determina la radiación solar instantánea. Está construido con materiales sencillos y de fácil adquisición, compuesto básicamente por un cuerpo opaco hueco, lleno de agua. En uno de sus extremos cuenta con un termómetro. A manera de protección para eliminar la influencia del viento, el cuerpo opaco es sostenido en el interior de una cápsula transparente. En la figura 3.1 se muestran los componentes del solarímetro.

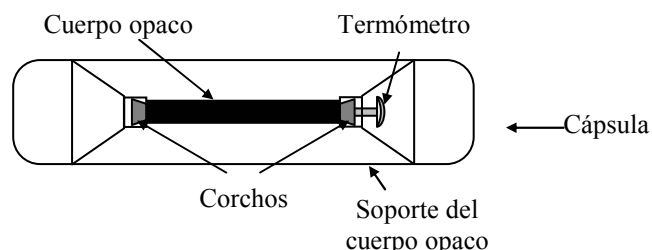


Figura 3.1. Componentes del solarímetro casero

Este solarímetro casero está en la capacidad de medir la radiación solar total, ya sea, sobre un plano horizontal, un plano inclinado o un plano normal a la radiación. El tiempo de respuesta de este equipo suele estar entre tres a seis minutos, dependiendo del valor de la intensidad de la radiación solar.

En la figura 3.2 se presenta el despiece del solarímetro casero y los pasos para su ensamblado.

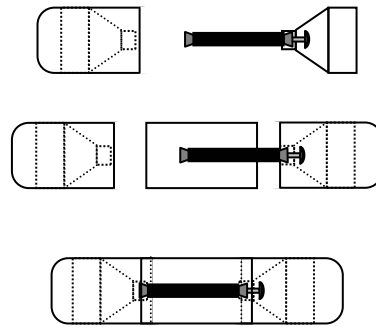


Figura 3.2. Despiece del solarímetro casero

4. Estimación de la radiación solar

La radiación solar puede ser estimada para un determinado plano, ya sea horizontal, inclinado o normal a los rayos solares.

4.1 Radiación solar en plano horizontal

Este valor representa a la radiación solar incidente sobre una superficie horizontal. Generalmente se utiliza para determinar la insolación sobre plantas vegetales, calentamiento de estanques, etc. Ver figura 4.1.

4.2 Radiación solar en plano inclinado

Este valor representa la radiación solar incidente sobre una superficie inclinada y se utiliza para diseñar calentadores solares de agua, sistemas fotovoltaicos, etc. Ver figura 4.2.

4.3 Radiación solar en plano perpendicular a los rayos solares

Este valor representa a la radiación solar incidente sobre una superficie perpendicular a los rayos solares y se utiliza para dimensionar colectores solares de enfoque, cocinas solares, etc. Ver figura 4.3.

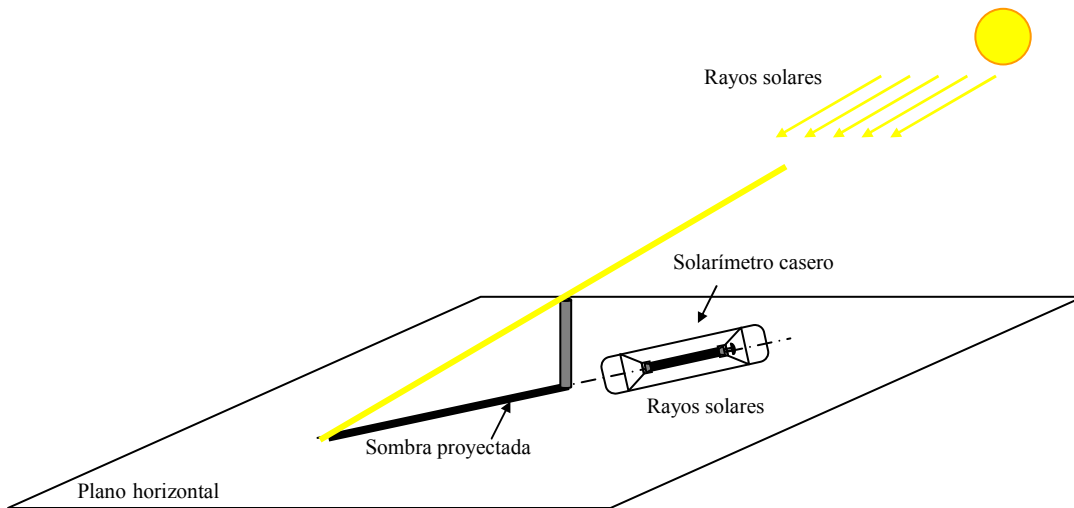


Figura 4.1. Medición de la radiación solar en plano horizontal

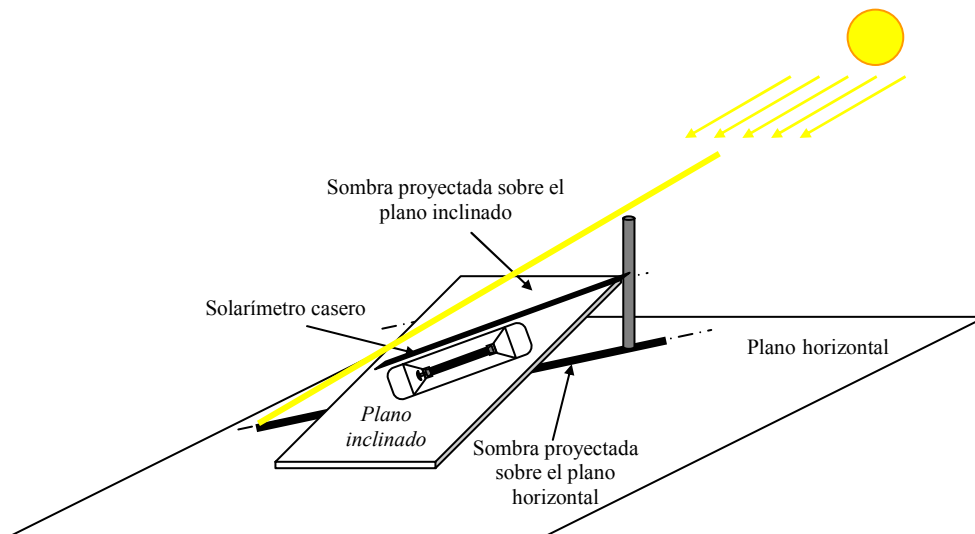


Figura 4.2. Medición de la radiación solar en plano inclinado

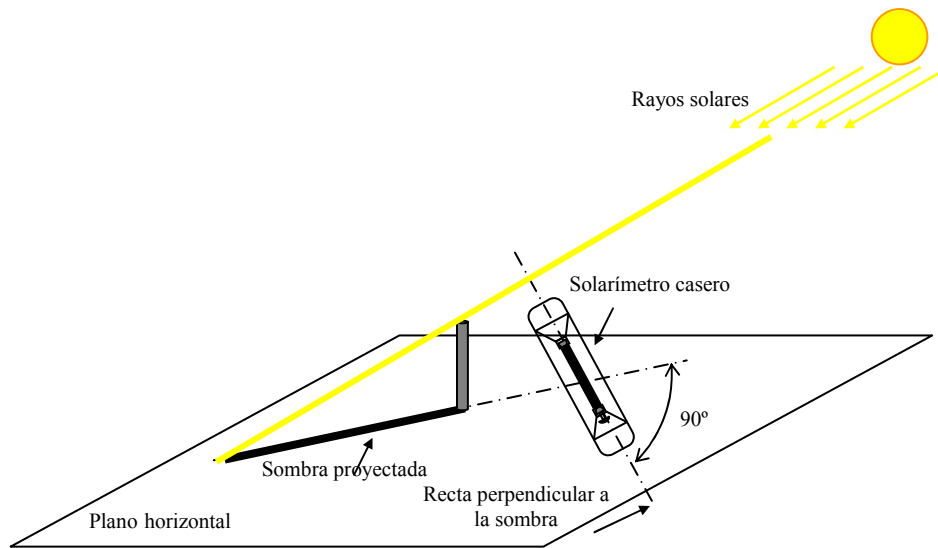


Figura 4.3. Medición de la radiación solar en plano normal a los rayos solares

5. Ecuación del solarímetro

La operación del equipo consiste en medir el tiempo que demanda un incremento determinado de temperatura. Estos datos se ingresan en la “ecuación del solarímetro”, para obtener finalmente el valor de la radiación solar instantánea. A partir de este valor, se determina la cantidad de energía solar diaria mediante la integración de valores hallados cada hora en el transcurso del día.

La ecuación considera una constante, la cual es propia del solarímetro casero en cuestión. Esta constante fue determinada a partir de la calibración con un solarímetro de referencia Haeni Solar 130. La ecuación del solarímetro casero es la siguiente:

$$R = \frac{J \times \Delta T}{t}$$

Donde:

R: Radiación solar instantánea (W/m^2)

J: Constante del solarímetro

ΔT : Diferencia de temperatura del agua después de tiempo “t” de exposición ($^{\circ}\text{C}$)

t: Tiempo de exposición (segundos)

6. Procedimiento para estimar la radiación solar

6.1 Ubicación

En función de la aplicación deseada, el solarímetro se coloca bajo cualquiera de las siguientes formas:

- a) Plano horizontal
- b) Plano inclinado a los rayos solares
- c) Plano perpendicular a los rayos solares

6.2 Equipos necesarios

- a) Solarímetro casero
- b) Cronómetro

6.3 Determinación de la radiación solar instantánea

- a) Medir la temperatura del aire ambiental
- b) Llenar el solarímetro con 62 ml de agua destilada
- c) Definir la ubicación del solarímetro
- d) Exponer el solarímetro a la radiación solar según la ubicación definida anteriormente
- e) Esperar que la temperatura del agua alcance la temperatura del aire ambiental
- f) Medir el tiempo que demanda un incremento de la temperatura del agua entre dos a cinco °C
- g) Retirar el solarímetro de la exposición a la radiación solar
- h) Calcular la radiación solar a partir de la ecuación del solarímetro

6.4 Determinación de la radiación solar diaria

A partir de los datos de radiación solar instantánea tomados cada hora se procede como sigue:

- a) Trazar la curva radiación instantánea vs. hora del día
- b) Determinar el área de la curva de radiación mediante integración o por el método del trapecio
- c) El valor obtenido corresponde a la radiación solar diaria

7. Aplicaciones

7.1 Determinación de la radiación solar instantánea

Determinar la radiación solar instantánea para la ciudad del Cuzco empleando el solarímetro casero CEPIS/OPS. La temperatura del aire al mediodía es de 28 °C y el tiempo demandado para alcanzar la temperatura de 32 °C fue de 260 segundos. La constante del solarímetro empleado para este caso es 52162.

Reemplazando en la ecuación del solarímetro casero el tiempo demandado para incrementar la temperatura entre dos valores determinados y los valores extremos de las temperaturas observadas, se tiene:

$$R = \frac{52162 \frac{W \times s}{m^2 \times ^\circ C} \times (32 - 28)^\circ C}{260 \text{ s}} = 803 \text{ W/m}^2$$

7.2 Ejemplo de la estimación de la radiación solar diaria

En una determinada ciudad se han efectuado mediciones horarias con el solarímetro casero CEPIS/OPS y se han determinado las radiaciones instantánea indicadas en el tabla 7.1. El solarímetro fue colocado en un plano inclinado 15° respecto al plano horizontal y orientado hacia la línea ecuatorial a fin de diseñar un calentador solar de agua. Determinar los siguientes valores:

- La radiación solar instantánea para cada punto de la medición
- La curva de radiación instantánea durante el día, y
- La irradiación solar en el plano inclinado

Se sabe además, que la hora de salida del sol fue a las 6:09 horas y la puesta se realizó a las 18:15 horas.

Tabla 7.1. Datos del solarímetro casero

n	Hora del día h:mm	Temperatura ambiental (°C)	Tiempo* (s)	Incremento de temperatura (°C)
1	6:09	15	-	-
2	8:00	17	463	2
3	9:00	19	246	2
4	10:00	19	164	2
5	11:00	20	141	2
6	12:00	20	134	2
7	13:00	21	138	2
8	14:00	20	173	2
9	15:00	20	258	2
10	16:00	19	428	2
11	18:15	18	-	-

* El tiempo corresponde al lapso necesario para incrementar la temperatura

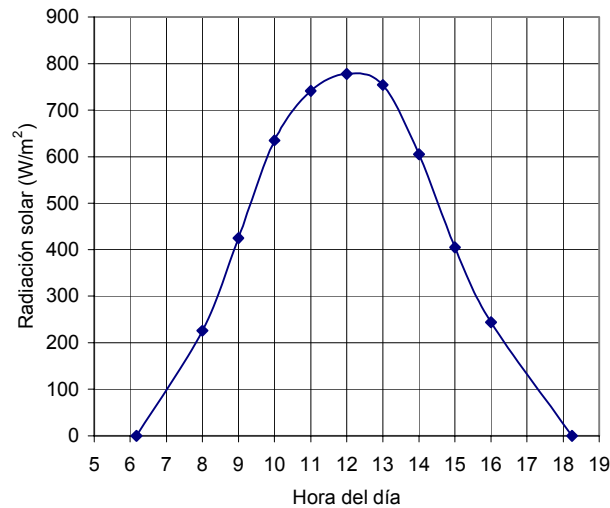
- Radiación solar instantánea para cada punto de la medición:* La radiación solar instantánea se obtiene utilizando la ecuación del solarímetro casero. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 7.2.

Cuadro 7.2. Radiación solar instantánea durante el día

n	Tiempo (h)	Radiación solar Instantánea (W/m ²)
1	6,17	0
2	8,00	226
3	9,00	425
4	10,00	635
5	11,00	741
6	12,00	778
7	13,00	754
8	14,00	605
9	15,00	405
10	16,00	244
11	18,25	0

b) *Curva de radiación instantánea durante el día. En el gráfico 7.1, se muestra la curva de radiación solar instantánea.*

Gráfico 7.1. Curva de radiación instantánea durante las horas de sol



Irradiación solar diaria en el plano inclinado: Para la determinación de la cantidad de radiación diaria se procede a integrar la curva por el método del trapecio, empleando la siguiente ecuación:

$$H_d = \sum_1^{n-1} \left[\frac{(R_n + R_{n+1}) \times (t_{n+1} - t_n)}{2} \right]$$

Donde:

H_d : Radiación solar diaria (Wh/m²)

R_n : Radiación instantánea (Wh/m²)

t_n : tiempo (horas) para la medición "n"

n : número de medidas de radiación obtenidas

Para el presente caso $n=11$, entonces:

$$H_d = \frac{(R_2 + R_1) \times (t_2 - t_1)}{2} + \frac{(R_3 + R_2) \times (t_3 - t_2)}{2} + \dots + \frac{(R_{11} + R_{10}) \times (t_{11} - t_{10})}{2}$$

Reemplazando:

$$H_d = \frac{(225 + 0) \times (8 - 6,17)}{2} + \frac{(424 + 225) \times (9 - 8)}{2} + \dots + \frac{(0 + 243) \times (18,25 - 16)}{2}$$

$$H_d = 207 + 326 + 530 + 688 + 760 + 766 + 680 + 505 + 325 + 275$$

$$H_d = 5062 \text{ Wh/m}^2$$

De esta manera, la radiación solar diaria en el plano inclinado es de 5062 Wh/m^2 .