

MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN SANTO DOMINGO

(Measurement of the solar radiation in Santo Domingo)

Inna Samsón*
Rodolfo Echarri**
Sergio Vera***
Andrés Sartarelli****
Ernesto Cyrulies*****

RESUMEN

Se instaló en el edificio del INTEC de Santo Domingo un solarímetro diseñado y construido por nuestro equipo. Se muestran algunas mediciones utilizando la recta de calibración estimada en Buenos Aires, República Argentina. Por otro lado, se comprueban los parámetros que mejor ajustan para el método de Hottel de día claro en esta región geográfica. Finalmente se exponen los resultados de las mediciones luego de realizar una nueva calibración en Santo Domingo.

PALABRAS CLAVES

Radiación horaria, método de Hottel, Solarímetro.

ABSTRACT

We installed a solar gauge, designed and built by our team, in a building of INTEC University, in Santo Domingo, Dominican Republic. Some measurements were made using the calibration curve estimated in Buenos Aires, Argentina. On the other hand,

* Área de Ciencias Básicas, Instituto Tecnológico Santo Domingo. República Dominicana.
E-mail: innasamt@gmail.com

** Instituto del Desarrollo Humano Universidad Nacional de General Sarmiento. República Argentina.
E-mail: recharri@ungs.edu.ar

*** CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). República Argentina.
E-mail: svera@ungs.edu.ar

**** CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). República Argentina.
E-mail: asartare@ungs.edu.ar

***** CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). República Argentina.
E-mail: ecyrulie@ungs.edu.ar

we confirmed the parameters that best fit, for the method of Hottel, in clear days and in this geographic region. Finally, we report the results of the measurements after a new calibration in Santo Domingo.

KEY WORDS

Radiation time, method of Hottel, solar gauge.

INTRODUCCIÓN

En el marco de nuestro proyecto de investigación sobre refrigeración solar por adsorción, resulta de gran utilidad conocer los valores de radiación solar. Esto nos permite, por ejemplo, tomar decisiones respecto de su forma, orientación, tamaño, etc., para realizar mejoras en los sistemas de captación (colectores).

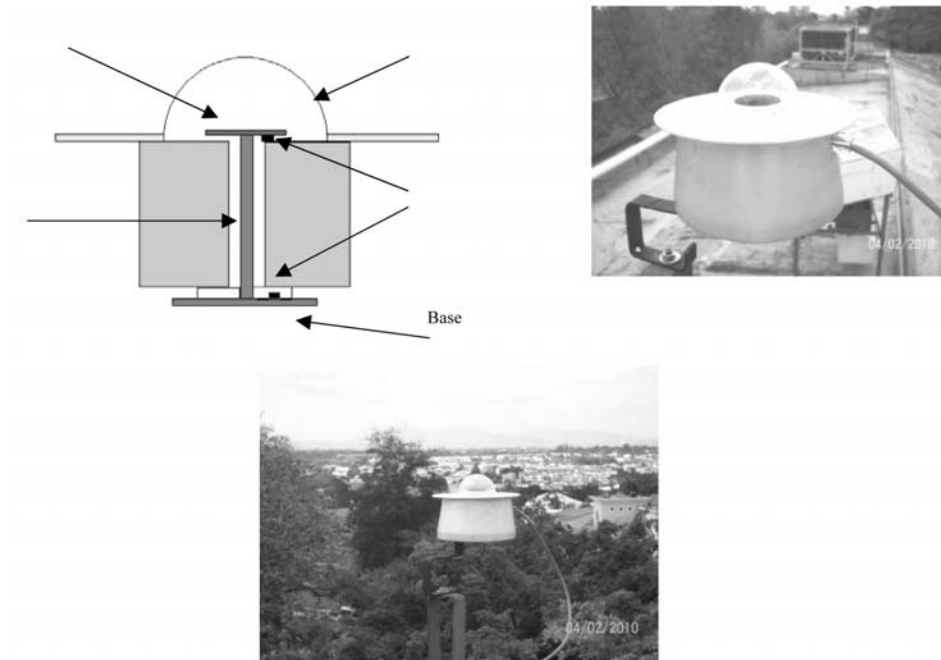
Por otro lado un plano a tope de atmosfera con dirección normal a la incidencia solar recibe un valor de radiación de aproximadamente 1367 W/m^2 . Sin embargo dicho valor sobre el nivel del mar es menor debido a diversos factores, pero el principal es la absorción de la atmósfera. Ésta última, se debe a la presencia de nubes y aerosoles. Por lo tanto para determinar la disponibilidad del recurso solar en un sitio determinado es necesario realizar mediciones.

Si bien existen varios modelos teóricos^{1,2,3} que permiten estimar los valores de radiación solar, es obvio que ninguno puede dar cuenta de la radiación particular para un punto específico de la Tierra en un instante dado. Para ello, resulta fundamental realizar mediciones y a tal efecto existen diversos tipos de instrumentos denominados genéricamente solarímetros o radiómetros. Según su principio de funcionamiento se clasifican en termoelectrónicos y fotovoltaicos⁴

Es posible adquirir uno de estos equipos, pero el mayor inconveniente es su elevado costo, que oscila entre los 1500 y 5000 euros. Por ello se decidió diseñar y construir un solarímetro de muy bajo costo y respuesta similar a los modelos comerciales⁵.

DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO

El instrumento consta de una barra metálica, uno de cuyos extremos se encuentra asociado a un disco de cobre de 30mm de diámetro que está expuesto a la radiación solar, mientras que el otro extremo está vinculado a otro disco de cobre que se encuentra en contacto con el aire circundante, y protegido de la radiación. La barra en cuestión es de acero SAE 1010, con un diámetro de 5mm y una longitud de 50mm. En la figura 1 se muestran un esquema y fotografías del instrumento.



Cuando el disco superior recibe radiación, aumenta su temperatura y el valor de ésta en el estado estacionario depende de la temperatura de la base y de la cantidad de calor que está circulando por la barra. Dicho de otro modo, de acuerdo a la ley de Fourier:

$$\dot{Q}_c = -k(T_1 - T_2)$$

Dónde el primer miembro representa el flujo de calor a través de la barra el que a su vez, despreciando las pérdidas, es igual a la radiación recibida por el disco en W/m^2 , y T_1 y T_2 [°K] son las temperaturas en los extremos de la barra. Por otro lado, k [W/m^2 °K] es la conductividad de la barra.

Haciendo un análisis de las pérdidas se encuentra que las más importantes son las debidas a las pérdidas de calor a través del aislamiento lateral de la barra, las que de todas formas son proporcionales a la diferencia de temperaturas ($T_1 - T_2$). Por lo tanto la radiación incidente sigue siendo proporcional a dicha diferencia sólo que en la expresión anterior debemos colocar una constante que tenga en cuenta tanto la conducción como las pérdidas.

Los sensores utilizados para la adquisición de datos de las placas son del tipo DS1624, que poseen una salida digital de precisión 0,03°C. La señal obtenida es adquirida por medio de un hardware y software (en C++) desarrollado por el equipo de investigación.

CALIBRACIÓN

La primera calibración se realizó en la Universidad Nacional de General Sarmiento (Bs. As). Para eso se midieron las temperaturas de ambos extremos de la barra durante las horas de sol para un día claro, y se graficó la radiación horaria calculada con el método de Hottel³ en función de dicha diferencia de temperaturas, obteniéndose una recta.

El método de Hottel permite estimar la radiación global para condiciones de atmósfera clara, según la latitud, la altura del lugar y las características del clima. Estas últimas tienen gran incidencia en la transmitancia atmosférica y la forma de cuantificarla es a partir de los parámetros r_0 , r_1 y r_k

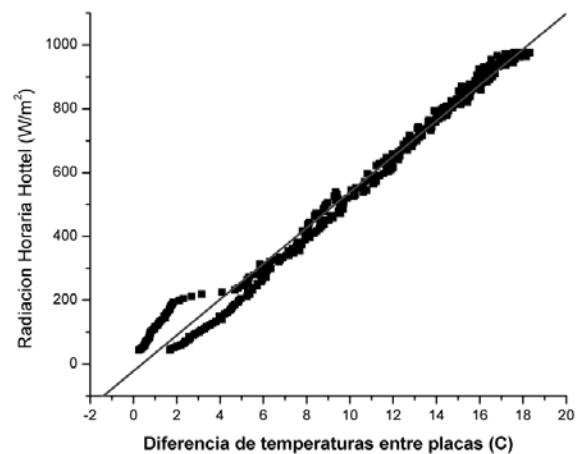
La siguiente tabla muestra los parámetros utilizados habitualmente:

TABLA 1
Factores de corrección para algunos tipos de clima

Tipo de clima	r_0	r_1	r_k
Tropical	0,95	0,98	1,02
Verano latitud media	0,97	0,99	1,02
Verano sub-ártico	0,99	0,99	1,01
Invierno latitud media	1,03	1,01	1,00

En nuestro caso se desarrolló una planilla de cálculo con la que, utilizando la correlación de Hottel, se determinaron los valores de radiación horaria.

Para el proceso de calibración se repitió el procedimiento durante varios días⁵. La figura 2 muestra la recta de calibración para el día 17 de Diciembre de 2010 en Buenos Aires, donde se puede apreciar que la suposición de linealidad es válida:



La recta de calibración se obtuvo con el promedio de datos para los días medidos y su valor es:

$$I (DT) = 56,72 [W/m^2 \cdot ^\circ K] * DT - 10,73 [W/m^2]$$

Donde $I (\Delta T)$ representa la irradiancia global horaria en función de la diferencia de temperaturas ΔT entre las placas superior e inferior del solarímetro. Se entiende por irradiancia global a la cantidad de energía por unidad de tiempo recibida por un plano horizontal de 1 m² de superficie. Asimismo, la radiación global (o total) que se mide en unidades de energía, está determinada por la radiación directa más la radiación difusa, esta última, proveniente de toda la bóveda celeste a causa de la dispersión, absorción y reemisión de los rayos solares. Es decir:

$$I_g = I_b + I_d$$

Donde: I_g es la radiación global.

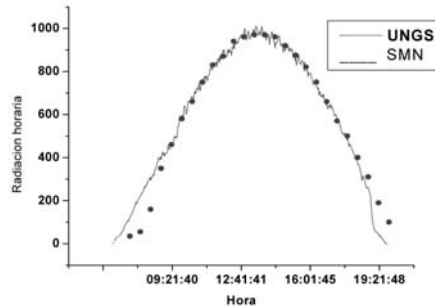
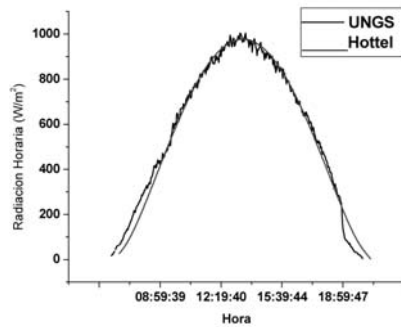
I_b es la radiación directa.

I_d es la radiación difusa.

Por otro lado se realizó otra calibración utilizando los datos del Servicio Meteorológico Nacional argentino, que nos permitió validar la curva teórica de Hottel.

De hecho si se hubiera decidido calibrar únicamente con las curvas del SMN la recta de calibración no diferiría en más del 1 % con la mostrada anteriormente. Esto indica la validez del ajuste entre los valores experimentales y teóricos.

En la figura 3 se muestran las curvas comparativas de los valores obtenidos para el 17 de Enero de 2010 con el solarímetro y las curvas de Hottel y del SMN respectivamente:



MEDICIONES REALIZADAS (INTEC)

Se instaló el solarímetro en el techo del edificio de Ramón Picazo del INTEC y se realizaron mediciones desde el 3 hasta el 24 de febrero de 2010.

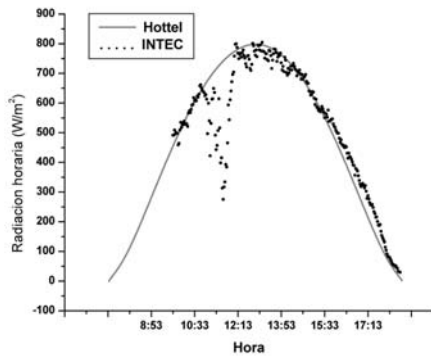
Uno de los principales propósitos de este trabajo consistió en determinar los parámetros de Hottel más apropiados para esta zona.

Luego de la contrastación de los datos obtenidos, se encontró que la mejor correlación para este método aplicado a la región de Santo Domingo, se obtiene utilizando los valores para el tipo de clima «tropical».⁶

La importancia de validar⁷ el método de Hottel en esta ciudad radica en la posibilidad futura de tomar como referencia datos estimativos de la evolución de la radiación horaria, aunque no se cuente con un solarímetro. Esto permitiría, entre otras cosas, diseñar artefactos de aprovechamiento solar.

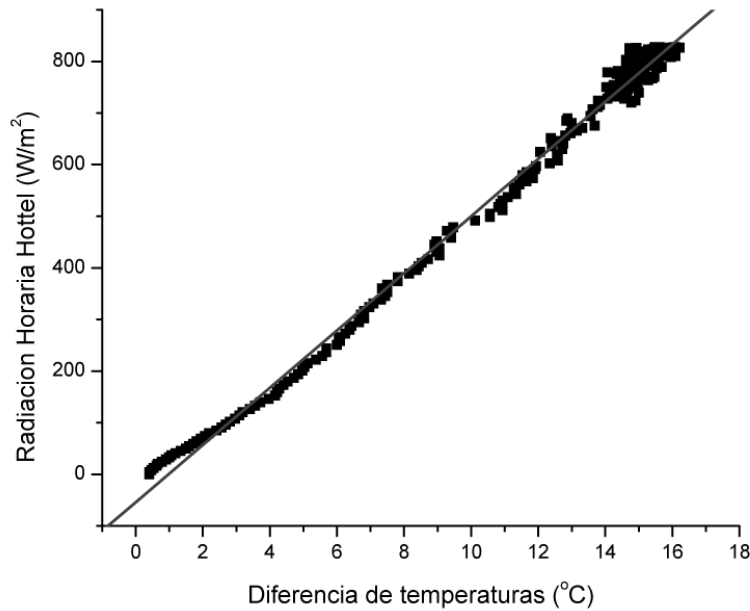
Por otro lado en el futuro será necesario realizar nuevas calibraciones del instrumento instalado en el edificio del INTEC y esto será posible realizando comparaciones con la curva de Hottel. Inclusive, de no contar con un patrón, se podría evaluar el comportamiento de otros solarímetros.

A continuación se muestra el ajuste de la curva obtenida el día 8 de febrero de 2010 en el INTEC y la curva de Hottel para el mismo día con los datos geográficos de Santo Domingo y los parámetros antes mencionados:



Tipo de clima	r_0	r_1	r_k
Tropical	0,95	0,98	1,0.2

Aunque el ajuste es razonable, se observaron desviaciones entre los valores de radiación teóricos y medidos, por ello se decidió recalibrar el equipo en el INTEC. Utilizando la misma metodología que en Buenos Aires, se determinó la nueva recta de calibración. El siguiente gráfico muestra la curva de ajuste para el día 17 de febrero de 2010 en INTEC:

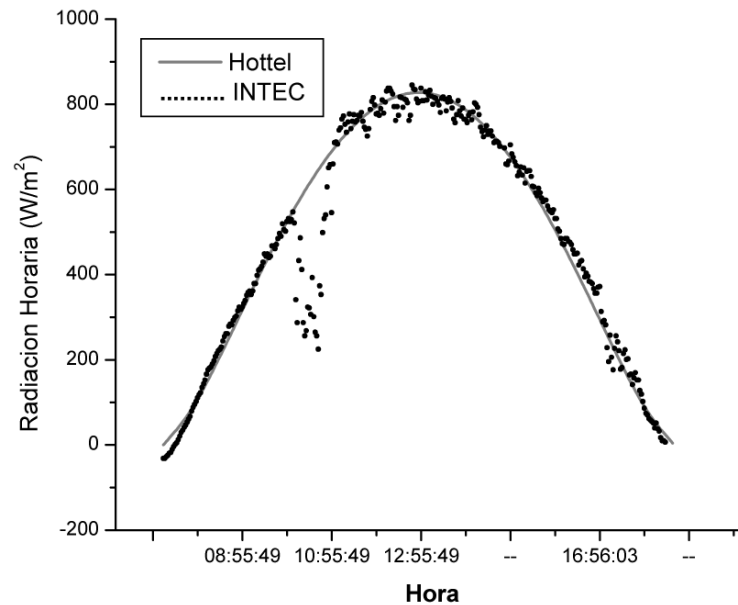


En este caso la recta de calibración resulta ser:

$$I (DT) = 55,4 [W/m^2 \cdot K] * DT - 54,0 [W/m^2]$$

Con un valor de coeficiente de correlación lineal de 0,997.

Con este dato se realizó la comparación de las curvas para el mismo día:



Se puede observar en la gráfica que los datos de radiación medidos en el INTEC resultan bien ajustados si se los compara con la curva teórica. El error porcentual sin tener en cuenta las zonas con aparición de nubosidad, ya que el modelo de Hottel es solo aplicable para días claros, es del 7,7 %.

Por otro lado y como consecuencia de la no ocurrencia de días despejados, resulta importante realizar evaluaciones futuras de la radiación difusa. Esto podría tener impacto, por ejemplo, en el diseño de colectores; probablemente los del tipo plano podrían ser más adecuados para esta zona.

CONCLUSIONES

Se instaló el solarímetro en el INTEC y se realizaron una serie de mediciones que abarcaron todo el mes de febrero. Los valores obtenidos con el instrumento utilizando la recta de calibración determinada en Buenos Aires permitieron comprobar que los parámetros de Hottel más apropiados para esta región son los del tipo de clima tropical, lo que concuerda con nuestras predicciones.

Luego se decidió volver a calibrar el quipo en el INTEC y el ajuste entre valores medidos y teóricos resultó más apropiado. Se determinó un error porcentual del 7,7 %, algo mayor que en mediciones anteriores⁵. Sin embargo si se consideran los valores por encima de los 200W/m² el error se reduce al 4,5 %. Este dato no es menor si tenemos en cuenta que para la aplicación de las mediciones a nuestro proyecto, la zona de interés está por encima de dichos valores. No obstante los datos recolectados resultan de suma importancia ya que por el momento no encontramos en Santo Domingo mediciones directas de radiación global horaria.

Agradecimientos: este trabajo se realizó con el aporte de FONDOCYT 2008-2-E1-010.

REFERENCIAS

1. Liu, B.Y.H. and Jordan, RC, The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total radiation. *Solar Energy* vol. 4 No. 3, pp. 1-19 (1960).
2. Page, J.K. The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40° N- 40°S. In Proc. U.N. Conf. on New Sources of Energy, Paper N° S98 vol. 4, pp 378- 390 (1961).
3. Hottel, H. C. (1976). A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres. *Solar Energy*, 18, 129.

4. Grossi Gallegos H, Richijk C, VI curso de aprovechamiento energético de la radiación solar. UNLu. Pág. 35- 51. (2008).
5. Echarri R., Vera S., et al, «Estudio del comportamiento de un solarímetro de bajo costo» Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Pág. (2004)
6. Passamai, V. J. Determinación de radiación solar horaria para días claros mediante planilla de cálculo. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 3, n°2 (08.89-08.92) (2000).
7. Hernández A.L., «Geosol: una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria.» Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. v.7, n.2, p.19 - 24, (2003).

Recibido: 30/08/2010

Aprobado: 15/09/2010