

TERMOMETRO Y SOLARIMETRO DE BAJO COSTO PARA LA REALIZACION DE EXPERIENCIAS SOLARES

Luis R. Saravia¹ y Carlos Cadena²
INENCO³

Universidad Nacional de Salta
calle Buenos Aires 177
4400, Salta, Argentina
tel. 87-255423, fax 87-255389
e-mail saravia@ciunsa.edu.ar

RESUMEN

En la realización de experiencias con utilización de la energía solar de tipo educativo, o relacionadas con aplicaciones rurales que requieren poca inversión, se hace necesario disponer de instrumentación de muy bajo costo para el seguimiento de las experiencias. Los dos elementos de mayor utilidad, son un termómetro y un solarímetro. En este trabajo se propone resolver el problema mediante el uso de un instrumento con un circuito electrónico de costo mínimo armado por el propio usuario. Se supone que éste tiene alguna experiencia artesanal en el armado de circuitos eléctricos.

El sensor a usar como termómetro es un diodo de silicio, tipo 1N914 o similar, cuya tensión de juntura cambia con la temperatura en el orden de 2 a 3 milivoltios por grado centígrado, tiene poca masa y cuesta algunos centavos. Para visualizar la medida se utiliza un potenciómetro con dial, que puede generar una tensión de referencia variable, y un led que mediante un circuito electrónico compara la tensión entregada por el sensor con la del potenciómetro. El Led puede indicar cuando se igualan ambas, y en ese momento la posición del dial ligado al eje del potenciómetro, da una medida de la tensión en el diodo.

Para el solarímetro se propone aprovechar el circuito del termómetro utilizando un sensor térmico consistente en una pequeña chapa de cobre ennegrecida a la cual se adhiere un diodo de silicio. La chapa se coloca en un recipiente donde se expone al sol a través de una ventana transparente y ocupa la mitad de un círculo. La otra mitad está ocupada por una chapa similar pero pintada de blanco, a la cual se pega otro diodo con idénticas características eléctricas y que sirve de referencia.

Se discute la construcción y calibrado de los dos instrumentos.

INTRODUCCION.

Los dos instrumentos, de mayor utilidad para el seguimiento de experiencias solares sencillas son un termómetro y un solarímetro. Cuando se arman experiencias de tipo educativo o relacionadas con aplicaciones rurales de poca inversión resulta de interés disponer de unidades de muy bajo costo. En este trabajo se propone resolver el problema mediante el uso de un instrumento con un circuito electrónico de costo mínimo armado por el propio usuario.

Una posibilidad en relación con el termómetro es el uso de termómetros de vidrio. Ello tiene un doble problema. Por un lado, el instrumento es muy frágil, sobre todo teniendo en cuenta la falta de entrenamiento

¹ Investigador del CONICET

² Profesional Adjunto CONICET

³ Instituto UNSa-CONICET

en la utilización de instrumental por parte de los posibles usuarios. Por otro lado, su bulbo es grande, impidiendo seguir cambios rápidos en el tiempo. Otra posibilidad es la de utilizar termómetros electrónicos, con un termistor o una termocupla. Ellos no tienen los problemas ya mencionados, pero el costo es algo elevado, ya que se debe usar un LCD como visor.

Aquí se propone construir un termómetro electrónico de muy bajo costo. Como sensor se usa un diodo rectificador, cuya tensión de juntura V cambia con la temperatura T de acuerdo a la siguiente expresión (2) :

$$V = \frac{E_g}{q} - \frac{4.6kT}{q} (\ln M - \ln I)$$

donde k , q y M son constantes e I es la corriente que pasa por el diodo. Si el circuito fija el valor de la corriente I , la tensión dependerá linealmente con la temperatura.

Como visor se utiliza un led y un potenciómetro. Se gira el potenciómetro hasta que el led se encienda. En ese momento la posición del eje del potenciómetro, indicada en un dial, dará el valor de la medida.

Por otra parte, se utiliza un método térmico para medir la radiación solar incidente en una superficie. El instrumento, de nombre solarímetro, usará para la medida el circuito electrónico construido para el termómetro. Como sensor se utiliza una chapita de cobre de poco espesor, 0.1 mm, con forma de semicírculo y pintada de negro, a la cual se le pega un diodo de silicio y se la ubica sobre el fondo plano de una caja de plástico. La otra mitad del círculo se ocupa con una chapa igual a la anterior, incluyendo el diodo, salvo en su color, que será blanco. Además se coloca una cubierta transparente de acrílico por encima de las chapas. Cuando se exponen las chapas al sol, la radiación atraviesa la cubierta y es absorbida preferentemente por la superficie negra, levantando su temperatura por encima de la blanca. Las temperaturas de la dos chapas son medidas con los diodos de silicio usando el mismo circuito que el utilizado con el termómetro. La diferencia entre las dos temperaturas será proporcional a la radiación total incidente sobre la chapa.

A los efectos de proveer una buena calibración a los equipos ensayados, se resolvió contrastar el solarímetro con un PSP. Mientras que la calibración de temperatura se realizó con un calibrador que resuelve a la décima de grado.

En las secciones que siguen se describen la construcción de los instrumentos y su calibración.

CONSTRUCCION DEL TERMOMETRO Y EL SOLARIMETRO.

El termómetro

La Fig. 1 muestra el circuito electrónico del termómetro.

El diodo, de silicio, entrega una señal dependiente con la temperatura, que cambia en el orden de los 2.3 mV por cada grado. Su valor a 0° C está cerca de los 300 mV. La señal es entregada a un amplificador LM324 para multiplicar su valor aproximadamente 10 veces, y luego se alimenta a un circuito integrado comparador LM311. En la otra entrada del mismo se conecta una tensión proveniente del circuito del potenciómetro. Se mueve éste hasta lograr que su señal sea igual a la producida por el diodo. En ese momento el comparador enciende el Led para indicar al usuario que debe mirar en el dial del potenciómetro la temperatura medida. El Led es manejado a través de un amplificador de corriente. El LM324 tiene 4 amplificadores, de los cuales el circuito emplea dos. En la figura 1 se indican las patas usadas en cada integrado, para facilitar el armado. Como fuente se utiliza una pila de 9 voltios. La señal que se obtiene depende de la tensión de alimentación, por lo que se ha agregado un circuito de regulación para mantener constante la tensión que recibe el circuito.

El circuito se arma sobre una pequeña plaqueta, 4x4 cm², y se coloca en una caja cilíndrica de plástico en cuyo fondo se instala el potenciómetro, dial y Led. Por la tapa se coloca la pila que alimenta el circuito. El dial con sus divisiones fue dibujado con un programa escrito en BASIC. Resulta sencillo dibujar un dial con 80 a 100 divisiones, cada una dividida en dos.

El diodo se puede colocar en el extremo de una birome de plástico, reemplazando el elemento que escribe, con lo cual se puede manejar sencillamente. Esta punta se conecta a la caja con dos enchufes del tipo "hembra banana".

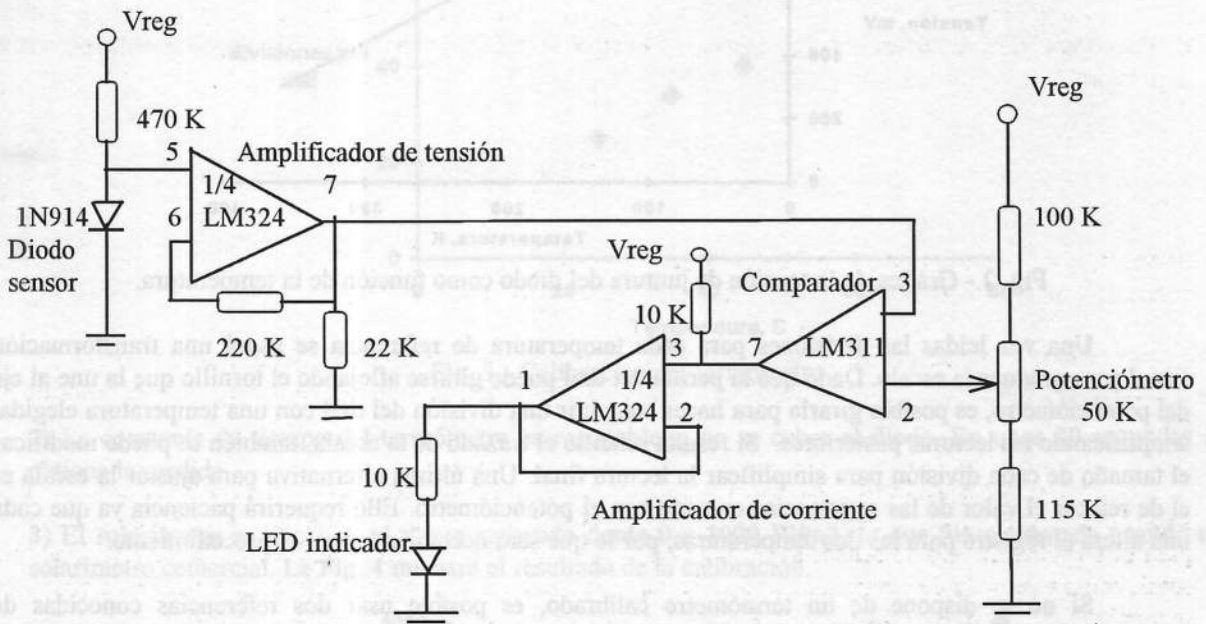


Fig. 1.- Circuito del termómetro

El solarímetro

Se monta en una caja de plástico del mismo tipo que la usada para el termómetro. Sobre el fondo se pegan las chapas de cobre con los diodos de silicio. Sobre las chapas se coloca una cubierta transparente, habitualmente de acrílico. Se separa la chapa de la cubierta usando un aro de plástico hecho con una trozo de cañería. La distancia de separación es del orden de los 3 mm. Los cables de los diodos se pasan al interior de la caja y se sueldan a tres conectores de tipo "banana hembra". El resto de la caja se rellena con un aislante térmico del tipo de fibra de vidrio o relleno de campera .

Los distintos diodos tienen comportamientos algo diferentes frente a cambios de temperatura. La medida con el solarímetro se simplifica si se usan dos diodos con similar respuesta. Ellos se pueden obtener por selección entre un grupo de más de cinco diodos midiendo la tensión umbral con un voltímetro.

CALIBRADO Y USO DEL TERMOMETRO

El diodo de silicio entrega una señal razonablemente lineal en el intervalo de medida elegido, por lo que bastan dos temperaturas conocidas para calibrar el dial del potenciómetro. La curva voltaje-temperatura que se obtiene (2) es del tipo que se muestra en la Fig. 2.

Lo más sencillo es utilizar un termómetro ya calibrado usando agua caliente en un termo como fuente para las dos temperaturas. Las mismas se elegirán de acuerdo al rango que se desea medir, procurando que estén cerca de los extremos de la escala. Las resistencias colocadas en serie con el potenciómetro determinan el rango del termómetro. Las indicadas en la Fig. 1 fueron usadas con una escala entre 0° y 55°C. Deberán ser cambiadas si se desea utilizar otro rango.

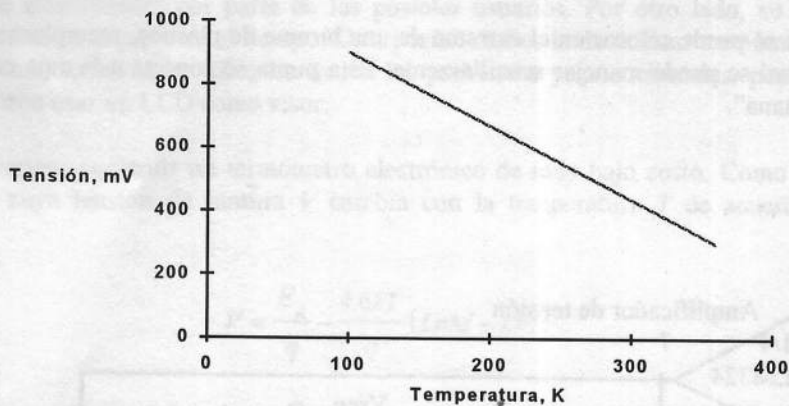


Fig. 2.- Gráfica de la tensión de juntura del diodo como función de la temperatura.

Una vez leídas las divisiones para cada temperatura de referencia se usará una transformación lineal para graduar la escala. Dado que la perilla del dial puede girarse aflojando el tornillo que la une al eje del potenciómetro, es posible girarla para hacer coincidir una división del dial con una temperatura elegida, simplificando las lecturas posteriores. Si resulta sencillo el trazado de la escala, también se puede modificar el tamaño de cada división para simplificar la lectura final. Una última alternativa para ajustar la escala es el de retocar el valor de las resistencias en serie con el potenciómetro. Ello requerirá paciencia ya que cada una altera el registro para las dos temperaturas, por lo que será necesario repetir el procedimiento.

Si no se dispone de un termómetro calibrado, es posible usar dos referencias conocidas de temperatura. Las más sencillas de usar son el punto de fusión del hielo a 0 C, el cambio de fase del sulfato de sodio decahidratado a 32.4°C o la ebullición del agua, que dependerá de la altura del lugar.

4.- CALIBRACIÓN Y USO DEL SOLARÍMETRO

La mayor dificultad para la calibración del solarímetro es la de no poder obtener con facilidad un solarímetro calibrado que sirva de referencia. Se propone usar como referencia la propia radiación solar en un día claro con buena visibilidad, es decir, con poco polvo contaminante en la atmósfera. En esas condiciones la radiación directa normal al haz solar puede ser calculada con una precisión aceptable mediante la fórmula de Hottel, la que se detalla en diversos libros sobre energía solar (1). Conviene realizar el calibrado cerca del mediodía de un día claro, de manera que las condiciones sean estables.

El solarímetro se colocará frente al sol con su superficie normal al haz directo incidente. Se ubicará frente al solarímetro una pantalla con un orificio central, de manera que llegue a la superficie la radiación directa y se corte la radiación difusa, ya que ésta no se calcula mediante la expresión de Hottel. Se espera hasta que el solarímetro se estabilice y se mide con el circuito del termómetro conectado sucesivamente a los dos sensores. Si $N_{i,c}$ es el número de divisiones de la escala para el sensor calentado por la radiación, $N_{o,c}$ el valor que se obtiene con el sensor de la chapa blanca, e I_c la radiación solar calculada y expresada en vatios/m², la constante de calibración valdrá

$$I_c / (N_{i,c} - N_{o,c})$$

RESULTADOS

El costo de los materiales usados en la construcción de los dos instrumentos es muy bajo, del orden de U\$S 10.00. Las medidas realizadas con estos instrumentos muestran las siguientes particularidades :

1) el termómetro es lineal en el rango ensayado, desde 0 a 80°C, lo que fue constatado usando una fuente calibrada. La Fig. 3 muestra el resultado de la calibración

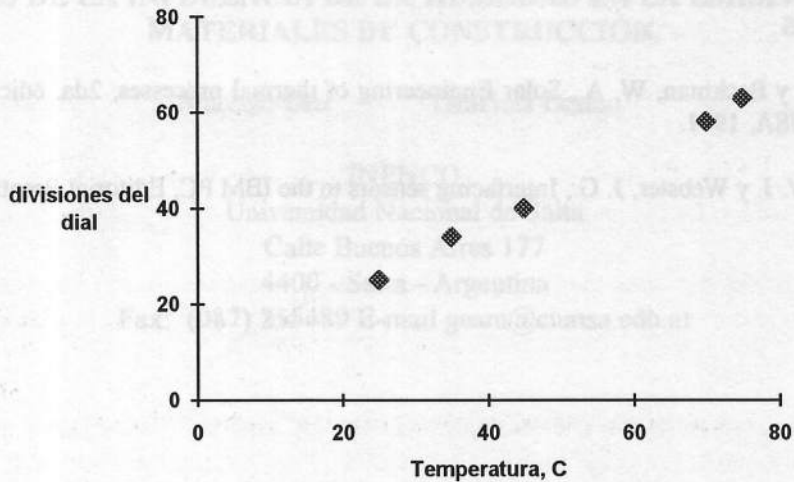


Fig. 3.- Calibración del termómetro

2) La constante de tiempo del termómetro es razonable si no se cubre el diodo. En unos 30 segundos se obtiene la medida.

3) El solarímetro es lineal en el rango ensayado desde 0 a 1000 W/m², lo que fue constatado usando un solarímetro comercial. La Fig. 4 muestra el resultado de la calibración.

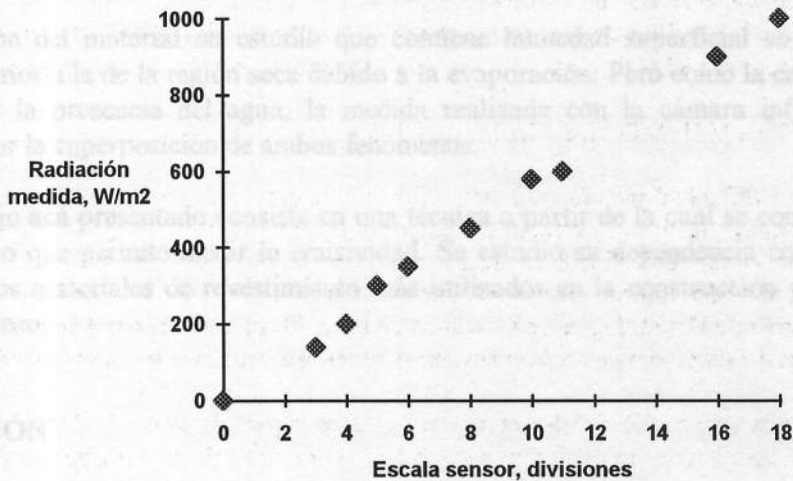


Fig. 4.- Calibración del solarímetro

4) La constante de tiempo del solarímetro es mayor, necesitándose 2 o 3 minutos para lograr la estabilidad. Se recomienda usar una chapa de cobre y una mano de pintura bien delgadas. La lámina de acrílico a usar, también debe ser delgada, para no agregar masa en la cavidad.

5) Sería interesante usar una cúpula esférica. Se están haciendo ensayos con acrílico y con las cubiertas de vidrio de lámparas incandescentes, pero aún no se ha llegado a resultados definitivos.

6) El corrimiento en la medida de temperatura con la temperatura ambiente a la que se encuentra la caja que contiene el circuito es razonable, del orden de 0.1°C por cada grado de cambio de la temperatura de la caja. Ello fue ensayado en el intervalo de 0 a 25°C.

7) El rango de la escala en el cual el LED pasa de encendido a apagado es pequeño, del orden de media división, por lo que la apreciación de la medida es razonable, pudiéndose detectar variaciones del orden de medio grado o algo menos.

8) No se hicieron mediciones de la respuesta espectral del solarímetro, pero al ser la cubierta de acrílico, se estima que la misma, no será tan buena como la de un vidrio de calidad.

REFERENCIAS

- 1.- Duffie, J. A. y Beckman, W. A., Solar Engineering of thermal processes, 2da. edición, Editorial John Wiley & Sons, USA, 1991.
- 2.- Tompkins, W. J. y Webster, J. G., Interfacing sensors to the IBM PC, Editorial Prentice Hall, USA, 1988

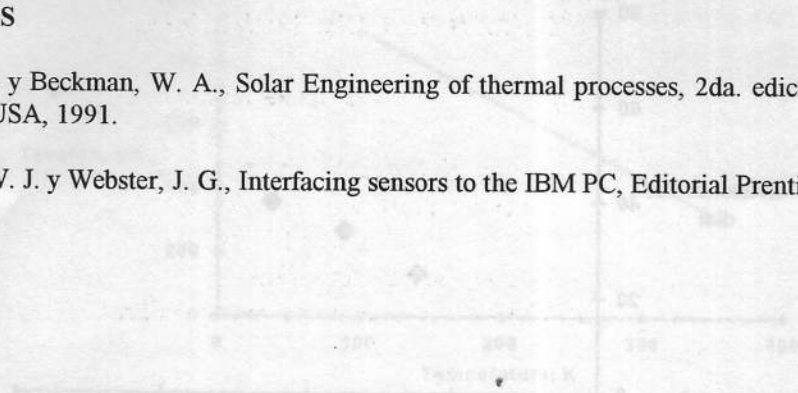


Fig. 2.- Gráfica de la tasa de cambio de índice de refracción de la temperatura.

Una vez obtenidos los datos experimentales se procedió a la construcción de una curva de calibración que relaciona la temperatura con el índice de refracción de la atmósfera. Para ello se utilizó un programa de computadora que permite el análisis de datos y la construcción de gráficas. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 2. Como se puede observar, la tasa de cambio de índice de refracción de la atmósfera con respecto a la temperatura es una función decreciente. Esto significa que a medida que la temperatura aumenta, la tasa de cambio de índice de refracción de la atmósfera con respecto a la temperatura disminuye.

4.- CALIBRACIÓN Y USO DEL SCHARIOMETRO

La calibración del schariómetro se realizó en un laboratorio de óptica. Para ello se utilizó un láser de helio-neón que emite luz roja con una longitud de onda de 632.8 nm. La luz del láser se dirige a través de un sistema de lentes y se enfoca en un punto sobre la superficie del schariómetro. La luz que se refleja en la superficie del schariómetro es captada por un sistema de lentes y se dirige a un detector de luz. El detector de luz genera una señal eléctrica que es procesada por un sistema de computación. Los resultados de la calibración se muestran en la figura 3.

El uso del schariómetro se realizó en un laboratorio de óptica. Para ello se utilizó un láser de helio-neón que emite luz roja con una longitud de onda de 632.8 nm. La luz del láser se dirige a través de un sistema de lentes y se enfoca en un punto sobre la superficie del schariómetro. La luz que se refleja en la superficie del schariómetro es captada por un sistema de lentes y se dirige a un detector de luz. El detector de luz genera una señal eléctrica que es procesada por un sistema de computación. Los resultados de la calibración se muestran en la figura 3.

Los resultados de la calibración se muestran en la figura 3. Como se puede observar, la tasa de cambio de índice de refracción de la atmósfera con respecto a la temperatura es una función decreciente. Esto significa que a medida que la temperatura aumenta, la tasa de cambio de índice de refracción de la atmósfera con respecto a la temperatura disminuye.