

# USO DE UN MEDIDOR DE TEMPERATURA DE MUESTRA CON IRRADIACIÓN SOLAR

*Data de aceite: 01/04/2024*

### **José Enrique Salinas Carrillo**

Profesor Titular del Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán, asignado al Departamento de Ciencias de la Tierra, Tehuacán Puebla, México

### **Oscar Leopoldo Pérez Castañeda**

Profesor titular del Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán, miembro del Departamento de Ingeniería Electrónica

### **Bonfilio Javier Arango Perdomo**

Profesor del Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán, labora para el Departamento de Ingeniería Mecatrónica

### **Milton Toriz Reyes**

Profesor del Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán, asignado al Departamento de Ciencias de la Tierra

Solar (MTMCIS), el cual fue desarrollado en el Instituto Tecnológico de Tehuacán, con la finalidad de contar con tecnología económicamente viable, para realizar mediciones relacionadas con el proyecto del uso de la energía solar a través de tubos radio-conductores de radiación solar, que está registrado y financiado por el Tecnológico Nacional de México. En el artículo, se describen los aspectos teóricos de diferencias de temperaturas registradas en una porción de agua colocada en un recipiente cilíndrico que se encuentra sujeto a radiación solar, y que posteriormente se relacionan las diferencias de temperaturas con la cantidad de energía irradiada por el sol durante la tarde en un día soleado. La metodología propuesta para tomar las medidas y calcular la irradiancia en las horas de la tarde es reportada y comparada con los valores obtenidos y registrados en la República Mexicana por (). La importancia de tal estudio radica en la aplicabilidad en tecnología de uso para la implementación masiva de la radiación solar en sus formas de calor y luz.

**PALABRAS-CLAVE:** Irradiancia, tecnología, calor, luz, Tehuacán

**RESUMEN:** En el presente artículo se reportan las medidas de irradiancia solar recabadas en un punto de la ciudad de Tehuacán, usando un Medidor de Temperatura de Muestra con Irradiación

## INTRODUCCIÓN

Una propuesta de implementación del uso de la radio conducción de radiación solar en sus formas energía calorífica o energía luminosa, requiere de la determinación de la medida de la irradiación solar al inicio de un conducto tubular y a la salida de este, al pasar por una trayectoria más o menos complicada (Castillo, 2020). Dicho tubo radioconductor, es parte del proyecto de la implementación de la radiación solar para uso doméstico in situ, de un proyecto financiado por el Tecnológico Nacional de México y requiere una forma de ser evaluado como propuesta tecnológica factible, dando dos medidas de referencia, la primera es la irradiación en la entrada del tubo y la otra, la irradiación después de seguir la trayectoria deseada, hasta el punto de uso en cuestión.

Por tal motivo los departamentos de Electrónica, y Mecatrónica en conjunción con el departamento de Ciencias de la Tierra del Instituto Tecnológico de Tehuacán, se dan a la tarea de implementar el dispositivo de medida que efectúe, dada una metodología propuesta y descrita a continuación, la medida de la irradiación solar (Castañeda, 2020).

## DESARROLLO

El MTMCIS “medidor de temperatura de muestra con irradiación solar” es una aplicación electrónica que consta de un programa que determina la temperatura promedio de una muestra de capacidad calorífica conocida. Lo hace tomando el promedio de medidas durante un minuto. Y la siguiente medición es durante el siguiente minuto. Entre cada pareja de mediciones, hay un intervalo de tiempo, en el que el dispositivo se oculta de la radiación, así se obtiene un decrecimiento de temperatura en la muestra, para después hacer la siguiente toma de datos. El sistema no se recupera inmediatamente, pero lo que cuenta es la diferencia de temperaturas, que es función de la cantidad de irradiación momentánea existente, de modo que cada que comienza otra lectura, se tiene un cierto incremento en el inicio de la lectura y por ende en el final de esta. Esto para fines de cálculo es considerado con la diferencia que existe en el calor específico del fluido considerado como una función de la temperatura.

Para determinar la cantidad de energía que dicha muestra recibe entre dos medidas consecutivas solo es necesario calcular el incremento en calor  $\Delta Q$  según la Ec. (1)

$$\Delta Q = mC_p \Delta T \dots \text{Ecuación 1}$$

Si consideramos la capacidad calorífica como el  $C_p (T)$  dada como una expresión conocida para ese dispositivo, y conocemos la masa de la muestra, entonces podemos obtener, cuanto calor entró en dicha muestra al haber un incremento de temperatura  $\Delta T$  en ella, y como el calor es una medida de la energía podemos también calcular el trabajo equivalente que hizo la radiación solar en el periodo de tiempo en que se hizo la medición dada por la diferencial de la Ec. (2).

$$\Delta T = T_f - T_i \quad \text{Ecuación 2}$$

Otra cosa conocida es que, dada la geometría es posible obtener el área de irradiación, por lo que esa cantidad de calor que entro la podemos dividir entre el área efectiva perpendicular a la radiación. Así que entonces si calculamos mediante la Ec. (3) la irradiancia dada por  $E$ .

$$E = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde  $P$  es la potencia radiante y  $A$  el área efectiva.

Y la potencia radiante está dada por la Ec. (4), donde  $W$  es el trabajo desarrollado en un intervalo de tiempo  $\Delta t$

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad \text{Ecuación 4}$$

Así que haciendo el trabajo  $W = \Delta Q$  bajo la hipótesis de que el trabajo tiene su equivalente mecánico en calorías obtenemos para la Irradiancia  $E$  la Ec. (5).

$$E(t) = \frac{\Delta Q}{A \Delta t} = \frac{m C_p(T) \Delta T}{A \Delta t} \quad \text{Ecuación 5}$$

De la Ec(5) podemos deducir que de manera instantánea dicha expresión se convierte en la dada por la Ec. (6) en donde aparece la derivada de la temperatura con respecto al tiempo. Quedando como

$$E(t) = \frac{m}{A} C_p(T) \frac{dT}{dt} \quad \text{Ecuación 6}$$

Si se determinan experimentalmente tanto los valores de  $t$  medidos y los valores del ángulo de inclinación

$$\theta = \theta(t)$$

podemos encontrar la relación de ángulo entre cada medida y el cambio en minutos del tiempo. Para obtener una relación

$$E(\theta) = \frac{m}{A} C_p(T) \frac{dT}{dt(\theta)}$$

## EXPERIMENTO

Se eligió la tarde de un día soleado en el punto en la región de Tehuacán con coordenadas Latitud  $18.4791^\circ$  Longitud  $-97.4285^\circ$  Grados decimales y se efectuaron las medidas con el MTMCIS, mismas que se reportan en el Cuadro (1). En dichos datos aparece  $h_i$ ,  $d_i$ , estos son tomados con un tri pie extendido y son la medida de la altura del tri pie, y de la distancia de la sombra. Con ellos se determina el ángulo de inclinación.  $t_i$ , son las medidas del tiempo del reloj en ese día, en el formato, hora.min.

La metodología seguida en la obtención de los datos es la siguientes,  $N_o$  es el número de mediciones hecha de los datos  $t_i$ ,  $T1_i$ ,  $T2_i$ ,  $T3_i$ ,  $d_i$ ,  $h_i$  que son los datos que van presentando variación estos datos aparecen en color amarillo en la Tab. (1), lo que significa que son medidos, otro dato medido una sola vez es la masa  $m$  anexa al censor, la cual permanece constante y es la que está sujeta a radiación, en color verde aparecen los valores que se derivan de cálculos son  $DT1$ ,  $DT2$  que son las diferencias

entre las temperaturas  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  en tanto que  $Dt$  es la constante propia del medidor que da la diferencia en tiempo entre dos valores promediados al ser reportados, y el área que es calculada de manera única mediante la fórmula del área de una sección circular. En color rojo aparece lo que ha sido tomado de tablas en este caso el valor del  $C_p$  del  $H_2O$ .

## RESULTADOS

Los valores de  $t_j$  son registrados como hora.min, por lo que para fines de graficado se transforman a hora.decimal, donde por ejemplo 1h:30min es 1.50 hdec.

No	t(hr.min)	T1(°C)	T2(°C)	T3(°C)	d(cm)	h(cm)	DT1 (°C)	DT2 (°C)	m (g)	Dt1 (s)	Dt2 (s)	CpH2O (cal/gs) T2	Dt (s)	A cm2
1		29.7	31.82		6	10.3	2.12		10	60	60	4.182	60	11.341
2	3.35	32.19	34.16		6.5	10.3	1.97		10	60	60	4.178	60	11.341
3	3.51	33.94	36.04		7.4	10.3	2.1		10	60	60	4.178	60	11.341
4	4.1	33.82	35.14	36.58	8.5	10.3	1.32	1.44	10	60	60	4.178	60	11.341
5	4.22	34.14	35.34	36	9.5	10.3	1.2	0.66	10	60	60	4.178	60	11.341
6	4.36	33	35.12	36.36	10.5	10.3	2.12	1.24	10	60	60	4.178	60	11.341
7	4.43	33.41	34.31	35.51	11.4	10.3	0.9	1.2	10	60	60	4.178	60	11.341
8	5	33.75	34.9	36.34	12.7	10.3	1.15	1.44	10	60	60	4.178	60	11.341
9	5.09	34.14	34.82	34.68	13.7	10.3	0.68	-0.14	10	60	60	4.178	60	11.341
10	5.22	33.41	34.34	35.17	15.2	10.3	0.93	0.83	10	60	60	4.178	60	11.341
11	5.35	33.29	34.24	35.26	16.9	10.3	0.95	1.02	10	60	60	4.178	60	11.341
12	5.5	31.72	32.5	33.26	19.3	10.3	0.78	0.76	10	60	60	4.178	60	11.341
13	6.17	30.28	30.62	31.41	24.3	10.3	0.34	0.79	10	60	60	4.178	60	11.341
14	6.45	27.3	27.4	27.72	35.4	10.3	0.1	0.32	10	60	60	4.179	60	11.341
15	6.52	26.91	27.23	27.3	48	10.3	0.32	0.07	10	60	60	4.179	60	11.341

Tabla 1: Los valores experimentales registrados en el día 22/05/2020 en Tehuacán, en las coordenadas paralelo 18°37' latitud norte meridiano 97°38'. (en amarillo medidos, en verde calculados y en rojo de tablas)

En tabla 2 se muestran los valores obtenidos de inclinación de la radiación solar respecto a la horizontal dados en radianes y calculados a partir de las medidas de la sombra proyectada por un punto a una altura  $h$  y son una longitud de sombra  $d$ , también aparecen los valores temporales de  $t$  registrados ese día en formato decimal o sea hora.fracción-de-hora. Y los valores calculados de  $E(t)$  y  $E2(t)$ , a través de la formula dada por la  $E_c$  (5).

$\theta = \tan^{-1}$ (h/d)	t (hrdec)	E(t) cal/scm2	E2(t)
1.04332574	3.2	0.13029186	0.13029186
1.00784543	3.58	0.12095729	0.12095729
0.94779708	3.85	0.12893925	0.12893925
0.88085188	4.17	0.08104753	0.08841548
0.82578024	4.37	0.07367957	0.04052376
0.77578308	4.60	0.13016724	0.07613556
0.73475027	4.72	0.05525968	0.07367957
0.68142661	5.00	0.07060959	0.08841548
0.64466797	5.15	0.04175176	0.00859595
0.59555533	5.37	0.05710167	0.0509617
0.5473518	5.58	0.05832966	0.06262763
0.49022622	5.83	0.04789172	0.04666373
0.40091171	6.28	0.02087588	0.04850572
0.28314314	6.75	0.00614143	0.01965259
0.21137787	6.87	0.01965259	0.004299

Tabla 2: Los valores temporales, de inclinación de la radiación solar y de irradiación obtenida.

La figura 1 muestra la dispersión de los datos de irradiación calculada para las parejas de mediciones  $\Delta T1 = T_2 - T_1$  y  $\Delta T2 = T_3 - T_2$

$T_1, T_2, T_3$  son medidas de temperatura promedio, consecutivas en el tiempo con una diferencia de 1 minuto entre el reporte de ellas. Debido a que las tres primeras mediciones solo se reportaron  $T_1, T_2$  el respectivo  $\Delta T2$  se toma igualando a  $\Delta T1$  en esos tres valores. En tanto que en la Fig. (2) aparecen en lugar de las coordenadas temporales las coordenadas angulares de las mediciones hechas y en el otro eje los mismos valores declarados en la Fig. (1) de la irradiación.

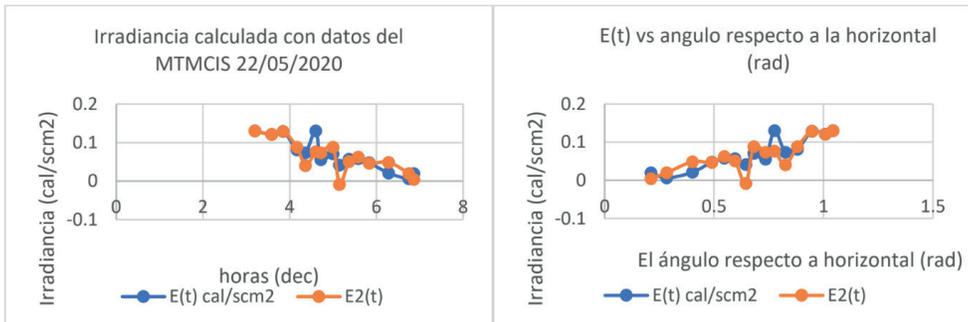


Figura 1 a.b. a) Los valores de irradiación obtenidos en función del tiempo. b) Los dos valores de irradiación en función del ángulo obtenidos mediante el uso del MTMCIS.

Nótese que comparando las Figs (1a), (1b) aparecen invertidos los datos esto se debe a que en la tarde que es cuando se efectuaron después del ángulo máximo el ángulo empieza a decrecer en tanto que el tiempo está creciendo.

En la tabla 4 aparece el reporte de los dos valores de irradiación obtenidos  $E(t)$  y  $E_2(t)$  su equivalente en  $w/m^2$  comparando con valores aproximados a los ángulos reportados por Holman, además se efectúa el cociente de  $E(t)$  entre  $E_{holman}$  para obtener que tanto cambia el valor respecto a los datos dados por Holman.

En tecno energía aseguran un valor de irradiación diaria media para México de 5.5 Kwh/m2 (Tecno Energía, 2018), este valor coincide con el máximo del día reportado en ese día de 5.45 kwh/m2. Y lo podemos comparar con el obtenido para nuestros datos

t (hrdec)	E(t) cal/scm2	E2(t) cal/ scm2	E(t) w/m2	E2(t) w/m2	Theta tan-1(h/d)	theta °	Holman w/m2	E(t)/ EHolman
3.2	0.130291861	0.13029186	5451.41148	5451.41148	1.04332574	59.7781617	901.1	6.04972975
3.583	0.120957294	0.12095729	5060.85316	5060.85316	1.00784543	57.7452895		
3.85	0.128939247	0.12893925	5394.81809	5394.81809	0.94779708	54.3047723		
4.167	0.081047527	0.08841548	3391.02852	3699.30384	0.88085188	50.469095	871.4	3.89147179
4.367	0.07367957	0.04052376	3082.7532	1695.51426	0.82578024	47.3137225		
4.6	0.13016724	0.07613556	5446.19731	3185.51164	0.77578308	44.449096	710.4	7.66638135
4.717	0.055259677	0.07367957	2312.0649	3082.7532	0.73475027	42.0980895	636	3.63532217
5	0.070609588	0.08841548	2954.30515	3699.30384	0.68142661	39.0428689	636	4.64513388
5.15	0.041751756	-0.00859595	1746.89348	-359.65454	0.64466797	36.9367538	554.6	3.14982596
5.367	0.057101667	0.0509617	2389.13373	2132.23763	0.59555533	34.1228069	554.6	4.30785021
5.583	0.058329659	0.06262763	2440.51295	2620.34022	0.5473518	31.3609479	472.1	5.16948305
5.833	0.04789172	0.04666373	2003.78958	1952.41036	0.49022622	28.0878932	381.4	5.25377446
6.283	0.020875878	0.04850572	873.446739	2029.47919	0.40091171	22.9705488	290.7	3.00463274
6.75	0.006141434	0.01965259	256.957588	822.26428	0.28314314	16.2229068	200	1.28478794
6.867	0.019652588	0.004299	822.26428	179.870311	0.21137787	12.1110598		

Tabla 4: Reporte de las irradiaciones obtenidas bajo la metodología y la comparación aproximada con los datos promedio que reporta Holman

## CONCLUSIONES

A medida que el ángulo decrece con respecto a la horizontal en la tarde, se puede observar que la cantidad de irradiación solar decrece.

Haciendo un ajuste lineal tenemos que la razón de cambio de  $\frac{\Delta E}{\Delta t}$  es de - 0.0337  $\frac{cal}{shcm2} = \frac{0.337cal}{shcm2} \times \frac{4.184J}{0.0001m2} = -1410 \frac{J}{sm2} = -1.41kW/m2h$  que lo que indica es que va decreciendo en promedio la irradiación en la tarde por dada hora 1.41 Kw/m2

También se observa que algunos accidentes atmosféricos, como es la presencia de nubes pueden hacer que esto se vea reducido grandemente en periodos de tiempo cortos.

Los datos obtenidos por nuestro método de prueba están por encima de los reportados por Holman, en una razón de 6 para cerca del ángulo superior mayor y de 1.2 para ángulos horizontales pequeños.

Si se integra el valor de la irradiancia durante las 3.7 horas registradas de la tarde donde se hicieron las mediciones, se obtiene un valor total de energía irradiada de en ese periodo de 3.7 horas

$$E_T = 11124.32 \text{ wh/m}^2 = 11.124 \text{ kwh/m}^2$$

Dividiendo este valor entre el tiempo obtenemos la radiación promedio en ese periodo de tiempo

$$\bar{E} = 3.006 \text{ kW/h}$$

## OBSERVACIONES IMPORTANTES

Respecto a los datos que publico Holman en su libro de Heat Transfer, sobre datos del Proc. ASCE Power Division en Julio de 1962. Utilizados para la predicción de Temperatura en ríos y lagos, los datos aquí reportados son superiores lo que si se aplicara a dichas predicciones elevaría la temperatura obtenida por ese estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos agradecer al Tecnológico Nacional de México, por financiar el desarrollo del proyecto “Uso de la radio conducción de radiación solar en sus formas energía calorífica o energía luminosa”. Con número de registro

## REFERENCIAS

Castañeda, O. L. (07 de 2020). Medidor de Temperatura de Muestra con Irradiación Solar (MTMCIS). (*Registro de derechos de Autor*). Tehuacán Puebla, Mexico: Indautor.

Castillo, Y. G. (2020). *Aplicación de la energía solar en casa habitacional regional*. Tehuacán Puebla, México: Tecnológico Nacional de México.

Tecno Energía. (2018). *radiacion-solar-en-mexico-somos-privilegiados*. Obtenido de tecnoenergia.mx: <https://www.tecnoenergia.mx/radiacion-solar-en-mexico-somos-privilegiados/>