

MEDICIONES DE RADIACIÓN SOLAR EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA

Roberto Javier Romero y Viloría

e-mail: romeroviloría@gmail.com

Resumen: El diseño de sistemas fototérmicos y fotovoltaicos para generación de calor y electricidad, requiere de conocer con exactitud, la cantidad de radiación solar recibida durante un determinado período de tiempo, en el lugar donde será instalado el sistema, lo que también se conoce como el recurso solar disponible en la región de estudio. Una vez que se cuenta con esta información, se pasa a la etapa de cálculo del sistema y se procede a determinar las características de los elementos que conformen el sistema fototérmico o fotovoltaico, en especial el tipo de concentradores y el tipo de paneles solares. Para llevar a cabo los registros diarios de radiación solar, se requiere de equipos de medición de energía solar directa y global, denominados pirheliómetro y piranómetro, los cuales pueden tenerse por separado o bien integrados en una estación meteorológica, como es el caso de la Universidad Politécnica de Puebla. En este artículo se realiza un análisis de la radiación solar medida en la universidad, región Cholula-Huejotzingo, durante los 12 meses que lleva en operación la estación meteorológica, y tomando en cuenta además las condiciones atmosféricas que se presentaron durante ese período de tiempo.

Palabras clave: Fototérmico, Fotovoltaico, Estación meteorológica, Radiación solar.

1. Introducción

Cada día que transcurre en este siglo XXI, crece el interés por el uso de las energías renovables, para muy diversas aplicaciones donde se requiere la utilización de algún tipo de energía, y en especial la energía eléctrica, que es fundamental en las sociedades modernas. El interés actual por las energías renovables, se deriva principalmente del hecho de conocer que en un futuro próximo, se reducirán en forma muy significativa los actuales yacimientos de energías no-renovables como el carbón, el petróleo, el gas y el uranio, y que es muy probable que en este mismo siglo lleguen a su fin, dado los actuales crecimientos de la población y de la economía mundial. Por otro lado, existe también la preocupación por el deterioro ambiental

que las energías no-renovables han ocasionado al planeta, en particular el calentamiento global, el aumento en la intensidad de los fenómenos meteorológicos y la contaminación que sufren la mayor parte de las ciudades medianas y grandes de muchos países, sobre todo los señalados como en vías de desarrollo.

Por tales motivos, se realizan numerosos estudios en todo el mundo, sobre cómo aprovechar las fuentes de energías renovables como el sol, el agua, el viento, la biomasa y la geotermia; así, la Universidad Politécnica de Puebla, sumándose a esta gran preocupación, muestra interés por estudiar los flujos de energía solar y energía eólica, en especial la medición de la energía solar en la región Cholula-Huejotzingo, donde se encuentra localizada, teniendo, para el desarrollo de la investigación, el apoyo de registros estadísticos confiables de la estación meteorológica, ubicada ahí mismo.

2. Recurso solar

La energía que nos llega del sol corresponde a ondas electromagnéticas, que dependiendo de su longitud de onda se verán como luz o se sentirán como calor; la energía que se utiliza en sistemas solares corresponde a fotones que abarcan gran parte de las frecuencias del espectro electromagnético que van desde el UV hasta el IR, con contenidos energéticos que van desde elevados a altas frecuencias, hasta reducidos en bajas frecuencias, por ejemplo en función de la longitud de onda, la luz visible está comprendida entre 0.4 μm (violeta) y 0.7 μm (rojo).

La intensidad solar recibida por unidad de área, recibe el nombre de "irradiancia solar", y se expresa en W/m^2 ; fuera de la atmósfera presenta un valor de $1353 \text{ W}/\text{m}^2$ (constante solar), ya dentro de la atmósfera se atenúa, y a nivel del mar alcanza valores promedio de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$, este último valor se utiliza para el diseño de sistemas fototérmicos y fotovoltaicos.



Figura 1. Radiación solar directa, difusa y global recibida en un panel fotovoltaico. La mayor parte de la radiación extraterrestre proviene de la energía del sol, parte de la cual llega en forma directa y otra parte por dispersión y atenuación en nubes.

La radiación solar puede llegar a la superficie terrestre, en forma directa, en forma atenuada por nubes y partículas suspendidas en el aire, o bien por reflexión en diversos objetos, de ahí que se utilicen los siguientes términos:

- Energía o radiación solar directa (sin atenuación)
- Energía o radiación solar difusa (atenuada)
- Energía o radiación solar global (suma de las dos anteriores).

La radiación solar directa se mide con un pirheliómetro y la radiación solar global con un piranómetro, ambas dependen de factores como las coordenadas del lugar, en especial la latitud, de la altitud sobre el nivel del mar, de la hora del día en que se efectúa la medición y de las condiciones atmosféricas que prevalezcan en ese momento. Cuando se mide la irradiancia durante un período determinado de tiempo, recibe el nombre de "irradiancia" (insolación) y se expresa normalmente en Wh/m^2 , de tal manera que representa el valor de energía solar recibida durante un cierto número de horas, por ejemplo, $800 W/m^2$ durante 6 horas corresponde a un valor de irradiancia (insolación) de $4.8 KWh/m^2$.

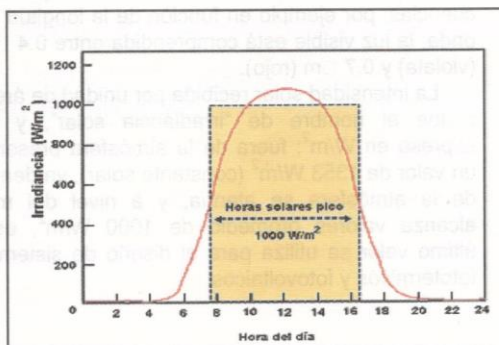


Figura 2. Irradiancia (insolación) solar diaria en un determinado día.

Se acostumbra utilizar un valor promedio diario y anual de la irradiancia, en KWh/m^2 , al cual se le denomina "recurso solar", y al plasmar sus valores en mapas locales, regionales o nacionales, sirve para el diseño del sistema solar, que puede indicar el número de horas-pico (para una irradiancia de $1000 W/m^2$) en un lugar determinado.

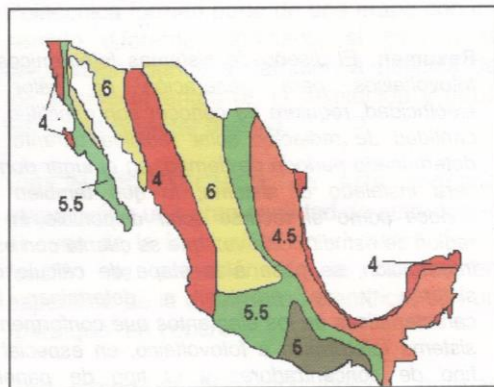


Figura 3. Irradiancia (insolación) solar global diaria promedio en horas-pico en México.

3. Registros de la radiación solar

Para llevar a cabo los registros diarios de la radiación solar, se emplea una estación meteorológica equipada con diversos instrumentos de medición, entre ellos el piranómetro (instrumento que mide la radiación solar global) y un pirheliómetro portátil (instrumento que mide la radiación solar directa). La estación meteorológica de la Universidad Politécnica de Puebla, es una estación meteorológica automática e inalámbrica, que utiliza sensores electrónicos para la medición de los parámetros atmosféricos. La recolección de los datos de la estación meteorológica se lleva a cabo en forma automática, y está programada para efectuarlos cada 30 minutos, además de enviarlos vía radio a la consola de control.

La ubicación de la estación meteorológica de la universidad es:

- Tercer Carril del Ejido Serrano, San Mateo Cuanalá
- Municipio de Juan C. Bonilla en el Estado de Puebla
- Latitud Norte: $19^{\circ} 05' 38''$
- Longitud Oeste: $98^{\circ} 23' 02''$
- Altitud: 2234 msnm (metros sobre el nivel del mar)

Las características de la estación meteorológica son las siguientes:

- Estación Meteorológica Inalámbrica
- Banda: 900 MHz
- Marca: Davis

- Modelo: Vantage Pro2 Plus
- Sensores: viento, temperatura, presión, humedad, lluvia, radiación solar y radiación ultravioleta.
- Software: Weatherlink

Los registros diarios de la radiación solar, comprenden el período que va desde el 10 de diciembre de 2007 al 10 de diciembre de 2008, y se presentan ejemplos de tabla y gráfica diaria, incluso, también mensual y anual.

3.1 Registro diario de radiación solar

Los registros diarios de la radiación solar se realizan a intervalos de cada media hora, lo cual arroja 48 lecturas, como se muestra en la gráfica de la figura 4, donde se pueden apreciar los siguientes valores:

- Irradiancia solar máxima diaria = 809 W/m^2 (1:00 p.m.)
- Número de horas de radiación solar = 12 horas (7 a.m. a 6:30 p.m.)
- Promedio diario de irradiancia (superior a 0 W/m^2) = 467 W/m^2
- Promedio diario de irradiancia (superior a 400 W/m^2) = 659 W/m^2
- Insolación solar promedio (7.5 horas) = $4945 \text{ Wh/m}^2 = 4.94 \text{ KWh/m}^2$

El valor de radiación solar útil, considerado para el diseño de sistemas fototérmicos y fotovoltaicos, se estima por arriba de los 400 W/m^2 , de ahí el valor calculado para el recurso solar diario de 4.9 KWh/m^2 en los datos anteriores, correspondientes al 11 de Diciembre de 2007.

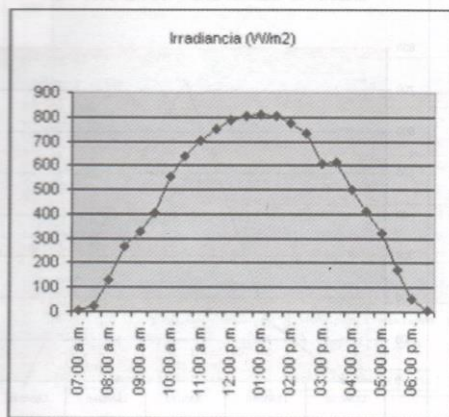


Figura 4. Registro diario de irradiancia durante un período de 12 horas, efectuadas entre las 7:00 y las 18:30 horas del día 11 de Diciembre de 2007.

3.2 Registro mensual de radiación solar

Se refieren a los realizados durante un mes; por ejemplo, Enero 2008, a intervalos de cada media hora, como se muestran en la gráfica de la figura 5, donde se pueden apreciar los siguientes valores:

- Irradiancia solar máxima mensual = 821 W/m^2 (19 Ene 2008)
- Número de horas promedio mensual de radiación solar = 11 horas
- Promedio mensual de irradiancia máxima = 755 W/m^2
- Insolación solar promedio mensual (7.5 horas) = 5.66 KWh/m^2

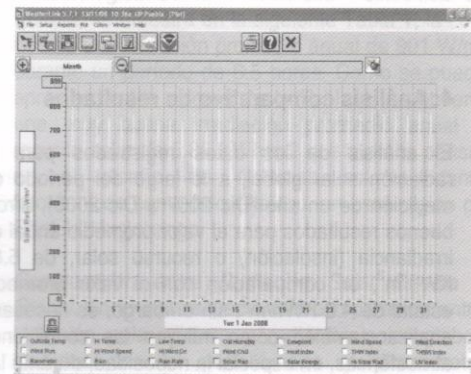


Figura 5. Registro mensual de irradiancia durante un período de 31 días.

3.3 Registro anual de radiación solar

Es la integración total de los registros mensuales de la radiación solar realizados durante un año, de Diciembre 2007 a Diciembre 2008, a intervalos de cada media hora, tal y como se muestran en la gráfica de la figura 6, donde se pueden apreciar los siguientes valores:

- Irradiancia solar máxima en el año = 1440 W/m^2 (2 Ago - 2:00 p.m.)
- Máximo horas radiación solar = 13.5 hrs. (14 May 7:30 a 8:30 p.m.)
- Mes de mayor radiación solar en el año = Mayo
- Promedio anual máximo de irradiancia = 901 W/m^2
- Insolación solar anual promedio (6.5 horas) = 5.85 KWh/m^2

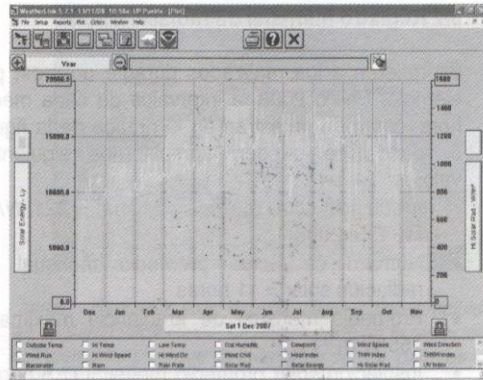


Figura 6. Registro anual de irradiancia durante un periodo de 12 meses.

4. Análisis comparativo de resultados

El análisis de los datos registrados para la radiación solar global, a lo largo del periodo de medición de un año (Dic 2007 a Dic 2008), arroja buenos resultados para el valor promedio anual de irradiancia (insolación) o recurso solar, de 5.85 KWh/m^2 , en comparación con el valor promedio estatal de 4.8 KWh/m^2 ; sin embargo, es necesario analizar también cómo influyen las condiciones atmosféricas, en especial la nubosidad, durante las horas de insolación en un día completo, comparando los registros obtenidos con un pirheliómetro y un piranómetro.

a) Valores de irradiancia registrados para un día despejado. Por ejemplo, para un día despejado (3 de Abril de 2008), se obtuvieron los valores de irradiancia mostrados en la gráfica de la figura 7, en la cual se puede apreciar que tanto la radiación solar directa registrada con el pirheliómetro, como la radiación solar global registrada con el piranómetro, siguen la misma forma geométrica. Los valores de radiación solar global son menores, alrededor del 93%, que los valores de radiación solar directa, en la hora de mayor radiación, debido a que la radiación solar difusa es mínima.

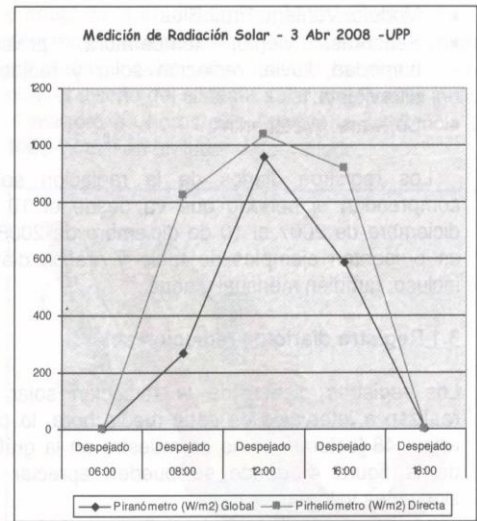


Figura 7. Registro de irradiancia global y directa para un día despejado.

b) Valores de irradiancia registrados para un día lluvioso. Por ejemplo, para un día lluvioso (15 de Abril de 2008), se obtuvieron los valores de irradiancia mostrados en la gráfica de la figura 8, en la cual se puede apreciar que la irradiancia directa disminuye en forma considerable, comparada con la irradiancia global, sobre todo en el punto correspondiente al cenit solar, alrededor de las 12:00 hrs., de tal manera que los valores de radiación solar global, son mayores en un 150% que los valores de radiación solar directa.

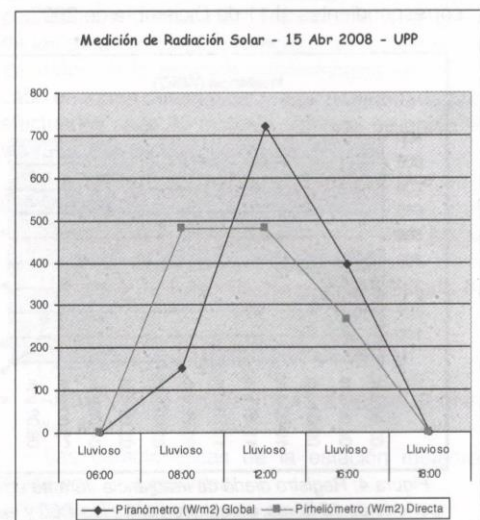


Figura 8. Registro de irradiancia global y directa para un día lluvioso.

c) Valores de irradiancia registrados para un día nublado. Para el caso de un día nublado se pueden presentar dos situaciones, un día totalmente nublado con muy poca radiación solar (figura 9), y un día parcialmente nublado con períodos despejados en los cuales se recibe una considerable radiación solar (figura 10).

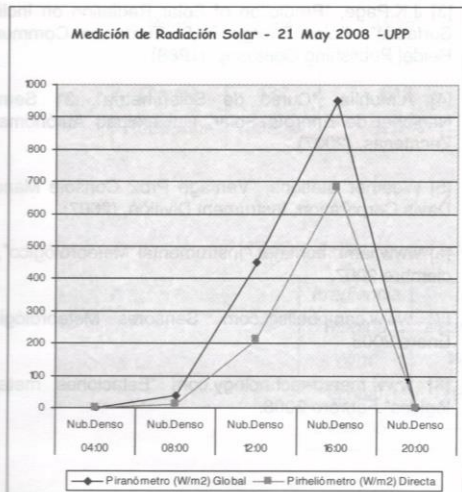


Figura. 9. Registro de irradiancia global y directa para un día nublado denso.

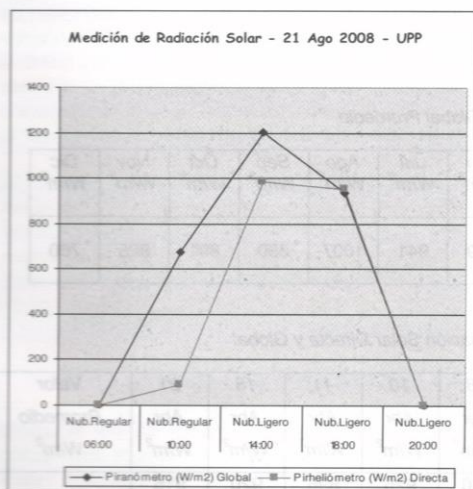


Figura. 10. Registro de irradiancia global y directa para un día nublado ligero.

5. Conclusiones

De las mediciones de radiación solar (irradiancia e irradiación) realizadas a lo largo de un año (Dic 2007 a Dic 2008) en la región Cholula-Huejotzingo, se pueden obtener diversas conclusiones:

Valores Promedio de la Radiación Solar: En los registros diarios, los valores máximos de irradiancia (W/m^2), se obtienen alrededor de la hora correspondiente al cenit solar para cada día, el cual va cambiando a lo largo del año, en función de la latitud del lugar, que en el caso de la Universidad Politécnica de Puebla, es de Latitud Norte: $19^{\circ} 05' 38''$. Los valores anuales promedio de irradiancia global, registrados en la estación meteorológica de la Universidad Politécnica de Puebla, se muestra en la siguiente Tabla 1, la cual nos da una radiación promedio anual de $901 W/m^2$ durante un período de 6.5 horas. Como se puede apreciar de los valores de la Tabla 1, se obtiene una muy buena irradiación promedio anual o recurso solar de $5.85 KWh/m^2$ que permite pensar en el diseño de sistemas solares, tanto fototérmicos como fotovoltaicos, en esta región de Cholula-Huejotzingo.

Comparación entre Radiación Solar Directa y Global. En lo que respecta a la comparación entre radiación solar directa y radiación solar global, medidas con el pirheliómetro y piranómetro respectivamente, se puede concluir que en un día despejado, la diferencia entre ambas, no supera el 10% en el valor correspondiente al punto de máxima radiación recibida en el cenit solar, como se muestra en la Tabla 2. Por lo tanto, se puede concluir que conociendo una de ellas, se puede obtener un valor aproximado de la otra, lo cual puede ser muy útil cuando no se dispone de ambos medidores de radiación solar.

Radiación Solar y Condiciones Atmosféricas. Cuando se presentan condiciones distintas a un día despejado, como es el caso de los días nublados, con lluvia, con alta contaminación, con neblina o con una elevada concentración de diversas partículas, los valores de la radiación solar directa se reducen considerablemente, comparados con la radiación solar global, como se ilustra en la Tabla 3. De la Tabla 3 anterior se puede concluir, que las condiciones atmosféricas que más afectan a la radiación solar, son los días nublados densos, en los cuales la reducción de energía solar directa supera valores del 52 %.

En el caso de días nublados ligeros y regulares, ocurre un fenómeno muy especial con la radiación solar global, el cual consiste en que las nubes actúan como un embudo de concentración, que

amplía los valores de energía solar recibidos, aún con valores por arriba de los recibidos en las condiciones de días despejados, del orden del 25%, como se muestra en la Tabla 4. Esta conclusión puede servir para dar inicio a otra investigación, en la que se tome en cuenta el comportamiento de las nubes como un tipo de lente óptica, que concentra la radiación solar y amplifica los valores recibidos, aún por arriba de los valores recibidos en condiciones atmosféricas despejadas.

Como conclusión general, se puede mencionar que es muy importante realizar mediciones de radiación solar, ya sea global o directa, en una región determinada, donde se planeé llevar a cabo la realización de proyectos de energía solar, ya sea para aplicaciones fototérmicas o bien para aplicaciones fotovoltaicas, ya que de dichas mediciones se pueden obtener diversas conclusiones que permitan optimizar dichos proyectos. Las mediciones se pueden efectuar con piranómetros o bien con pirheliómetros, y se pueden hacer comparaciones y proyecciones entre radiación solar global y directa, tomando en cuenta trabajos como el expuesto en el presente artículo; de tal manera que, con un equipo sencillo de medición y conociendo el comportamiento bajo diferentes condiciones atmosféricas, se pueden obtener valores estimados de la radiación solar global y directa, para luego obtener el valor promedio de irradiación de un determinado lugar, o recurso solar correspondiente.

6. Referencias

- [1] S.Wider, "Introduction to Solar Energy for Scientist and Engineers", John Wiley and Sons, N.Y. (1982).
- [2] M.Iqbal, "An Introduction to Solar Radiation", Academia Press, (1983).
- [3] J.K.Page, "Prediction of Solar Radiation on Inclined Surfaces", Solar Energy R&D European Community, Reidel Publishing Company (1988).
- [4] A.Muhlia, "Curso de Solarimetría", 31 Semana Nacional de Energía Solar, Universidad Autónoma de Zacatecas, (2007).
- [5] Weather Stations, "Vantage Pro2 Console Manual", Davis Corporation, Instrument Division, (2007).
- [6] www.lambrech.net "Instrumental Meteorológico", Diciembre 2007.
- [7] www.campbellsci.com "Sensores Meteorológicos, Enero 2008.
- [8] www.meteo-technology.com "Estaciones meteorológicas" Febrero 2008.

TABLA. 1. Irradiancia Global Promedio

Irradiancia Global Promedio	Ene W/m ²	Feb W/m ²	Mar W/m ²	Abr W/m ²	May W/m ²	Jun W/m ²	Jul W/m ²	Ago W/m ²	Sep W/m ²	Oct W/m ²	Nov W/m ²	Dic W/m ²
Mensual	753	850	925	998	995	989	941	1007	880	891	825	760

TABLA. 2. Comparación entre Radiación Solar Directa y Global

Irradiancia Medida W/m ²	01 Abr W/m ²	02 Abr W/m ²	03 Abr W/m ²	04 Abr W/m ²	07 Abr W/m ²	08 Abr W/m ²	10 Abr W/m ²	11 Abr W/m ²	18 Abr W/m ²	21 Abr W/m ²	Valor Promedio W/m ²
Global	947	953	960	933	840	930	926	896	920	916	
Directa	1016	1020	1036	972	940	1020	970	956	1004	997	
Diferencia	6.8%	6.6%	7.3%	4.0%	10.6%	8.8%	4.5%	6.3%	8.3%	8.1%	7.1%

TABLA. 3. Radiación Solar y Condiciones Atmosféricas

Irradiancia Medida W/m ²	Día Lluvioso W/m ²	Día Nublado Denso W/m ²	Día Nublado Ligero W/m ²	Día Neblina W/m ²	Día Contaminación W/m ²
Global	722	450	1202	940	905
Directa	482	213	986	1008	986
Reducción	33.2%	52.7%	18.0%	+ 7.2%	+ 8.9%

TABLA. 4. Días despejados vs días ligeramente nublados

Irradiancia Medida W/m ²	Día Despejado W/m ²	Día Nublado Ligero W/m ²
Global	960	1202
Elevación	-----	25.2%