

ENERGÍA SOLAR DISPONIBLE

Universidad Nacional Autónoma de México

Introducción.

La Sección de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, cuenta con el Observatorio de Radiación Solar (ORS) en sus instalaciones en la Ciudad Universitaria ($19^{\circ} 20' 01''$ latitud Norte y $99^{\circ} 11' 54''$ longitud Oeste, a una altitud de 2268 msnm.). El ORS inició la medición de diferentes parámetros solares (Radiación Solar Global, Radiación Solar Difusa y Radiación Solar Directa), desde el Año Geofísico Internacional en 1957, así como de algunos parámetros meteorológicos auxiliares (Temperatura, Presión Atmosférica y Humedad Relativa).

Desde entonces se ha enriquecido la base de datos, implementando la medición de otros parámetros de radiación solar (Radiación Solar Ultravioleta Banda "A" y Banda "B", Radiación de

Onda Larga y Radiación Fotosintéticamente Activa), así como medidas espectrales y luminosidad. También se ha complementando la medición de los parámetros meteorológicos básicos (Precipitación, Dirección y Velocidad del Viento); y se redujo la temporalidad de las mediciones de todos estos parámetros, pasando de valores puntuales horarios (1957-1966), a valores minuto a minuto a partir de 1993.

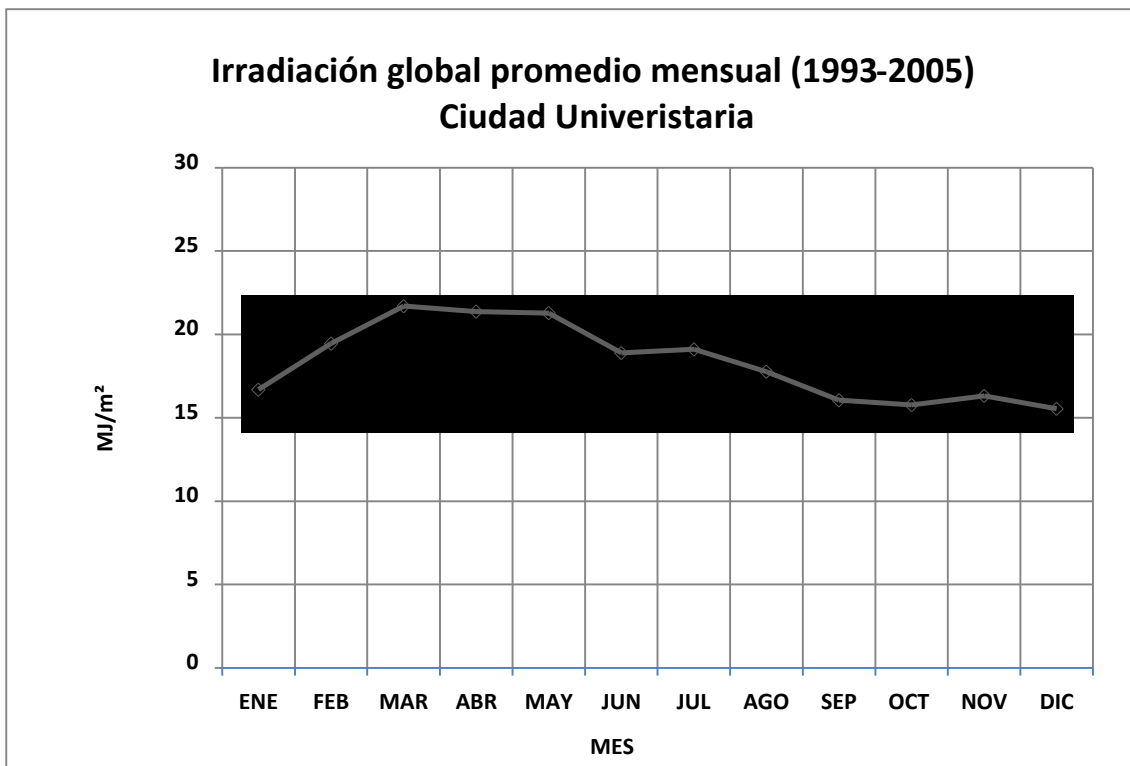
A lo largo de todo este tiempo, la función fundamental del ORS, ha sido y será la de generar información altamente confiable de los diferentes parámetros de la radiación solar que se miden, y debido a esto, en 1985, la Organización Meteorológica Mundial, confirió a la Sección de Radiación Solar, el estatus de Centro Regional Para la Medición de la Radiación Solar de la IV Región Meteorológica (AR-IV), debido a su capacidad técnico-científica, pero sobre todo a la calidad de la información que genera.

La relevancia de los datos generados por el ORS, se hace manifiesta ante los problemas actuales, de una eventual crisis de energía y de contaminación ambiental. Lo anterior ha motivado, al ORS, a generar información con valor agregado que contribuya a la planeación estratégica y diseño de herramientas tecnológicas para la generación de energía a partir de la radiación solar. Esta

información no sólo se refiere a la elaboración de mapas de climatología solar, sino al análisis

estadístico de la información que sea de utilidad para el diseño e implementación de tecnologías específicas que aprovechen dicha energía. El presente trabajo fue realizado con esta perspectiva y representa un estudio de la energía solar que puede ser aprovechable por tecnologías y diseños termosolares pasivos y fotovoltaicos, cuya fuente de energía son la radiación solar global y radiación solar directa.

Con información obtenida durante un período comprendido entre 1993 a 2005, se puede sin lugar a dudas definir la Climatología Solar de un sitio de observación (Observatorio de Radiación Solar) , entendiéndose por esto como el promedio de la irradiación solar global, que llega a la superficie en la Ciudad Universitaria (en este caso específico). Sin embargo este comportamiento medio, solo informa la cantidad de energía total que llega a la tierra por unidad de área, es decir, cuanta energía solar global por metro cuadrado se tiene (Gráfica No. 1), pero en ningún momento la Climatología Solar dice la cantidad que se puede aprovechar de ese total por algún tipo de tecnología.



Gráfica No. 1
Irradiación Solar Global Ciudad Universitaria (1993-2005)

Para poder aprovechar la energía solar se necesita saber cuál es la distribución temporal de la irradiancia en superficie, es decir, como está llegando esta energía.

Cualquier tecnología que se utilice para el aprovechamiento de energía, con ciertas condiciones de operación, tiene dos características muy importantes entre tantas otras, una es el umbral de funcionamiento, saber cuál es el mínimo de energía que necesita para comenzar a realizar el proceso para el que fue creado. La segunda es la energía mínima que necesita para alcanzar su máxima eficiencia. Si se conocen ambos valores, y se conoce la distribución energética y temporal

de la radiación solar, se sabrá con mucha precisión, y aún antes de comprar cualquier tecnología, cuál será su desempeño.

El objetivo del presente trabajo es conocer la energía solar global y directa disponible, así como las horas pico de energía para la estación Ciudad Universitaria en el Distrito Federal.

Metodología.

Energía Solar Global y Directa Disponibles.

Para estimar la energía solar disponible en el sitio de mediciones de una forma estadística, ésta se puede obtener a partir de las curvas de frecuencia acumulada de la irradiancia solar global promedio durante al menos un ciclo climatológico.

Las curvas de frecuencia acumulada se definen como aquellas que representan la frecuencia, en términos del número de horas promedio, con la que la irradiancia global incidente es mayor o igual a cierto nivel crítico, I_c .

Para construir las curvas de frecuencia acumulada de la irradiancia, correspondiente al período de tiempo que cubran los datos disponibles (v.g. 1993-2005), se realiza de la siguiente manera:

Esporádicamente, dependiendo de la cantidad de nubes, el tipo de nube y la disposición de éstas con respecto al punto de observación, el valor de la constante solar puede ser superado instantáneamente, por lo general, los valores máximos esperados no superan los 1400 W/m^2 en superficie.

Este rango de energía ($0\text{-}1400 \text{ W/m}^2$) se subdivide en niveles críticos ó umbrales de la irradiancia solar global de acuerdo con el interés práctico que se tenga para las diferentes aplicaciones que involucran el aprovechamiento de la energía solar. En este caso específico, para poder apoyar con mayor precisión a los diferentes usuarios, los niveles críticos de irradiancia solar global, se establecerán a cada 25 W/m^2 . Una vez hecha esta subdivisión, se procede a contar el número de veces que la irradiancia minuto a minuto se ubicó dentro de los intervalos de los niveles críticos. La Tabla No. 3, muestra los resultados de este conteo para el mes de Enero del periodo 1993-2005. Las columnas 2 y 3 muestran las frecuencias promedio mensual y diaria respectivamente.

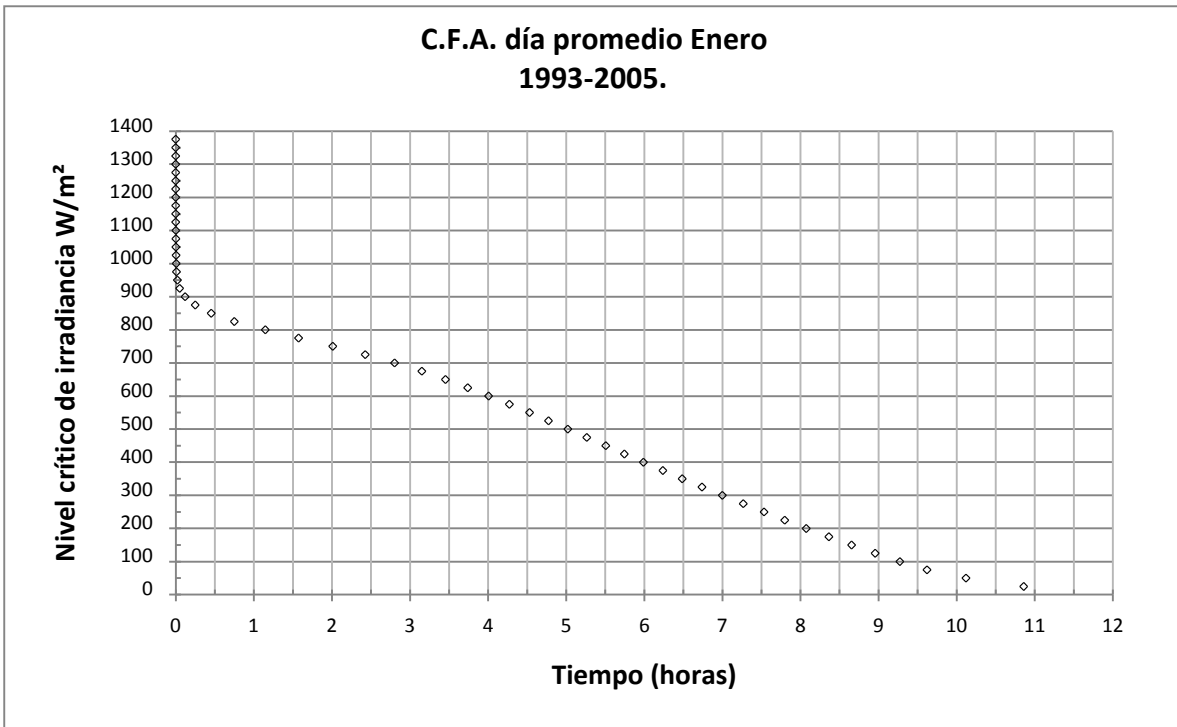
Nivel crítico W/m ²	Frecuencia acumulada 1993-2005	Frecuencia acumulada mes promedio (1993-2005)	Frecuencia acumulada día promedio (1993-2005)		Nivel crítico W/m ²	Frecuencia acumulada 1993-2005	Frecuencia acumulada mes promedio (1993-2005)	Frecuencia acumulada día promedio (1993-2005)
0-25	17861	1373.92	44.32		725-750	10047	772.85	24.93
25-50	12091	930.08	30.00		750-775	10590	814.62	26.28
50-75	8397	645.92	20.84		775-800	10310	793.08	25.58
75-100	7655	588.85	19.00		800-825	9577	736.69	23.76
100-125	7279	559.92	18.06		825-850	7166	551.23	17.78
125-150	7045	541.92	17.48		850-875	4959	381.46	12.31
150-175	7016	539.69	17.41		875-900	3136	241.23	7.78
175-200	6658	512.15	16.52		900-925	1680	129.23	4.17
200-225	6388	491.38	15.85		925-950	675	51.92	1.67
225-250	6468	497.54	16.05		950-975	291	22.38	0.72
250-275	6451	496.23	16.01		975-1000	93	7.15	0.23
275-300	6310	485.38	15.66		1000-1025	50	3.85	0.12
300-325	6141	472.38	15.24		1025-1050	33	2.54	0.08
325-350	5969	459.15	14.81		1050-1075	28	2.15	0.07
350-375	6047	465.15	15.00		1075-1100	19	1.46	0.05
375-400	5883	452.54	14.60		1100-1125	16	1.23	0.04
400-425	5769	443.77	14.32		1125-1150	6	0.46	0.01
425-450	5855	450.38	14.53		1150-1175	3	0.23	0.01
450-475	5870	451.54	14.57		1175-1200	1	0.08	0.00
475-500	6006	462.00	14.90		1200-1225	1	0.08	0.00
500-525	5847	449.77	14.51		1225-1250	2	0.15	0.00
525-550	6235	479.62	15.47		1250-1275	1	0.08	0.00
550-575	6463	497.15	16.04		1275-1300	0	0.00	0.00
575-600	6468	497.54	16.05		1300-1325	0	0.00	0.00
625-650	6874	528.77	17.06		1325-1350	0	0.00	0.00
650-675	7311	562.38	18.14		1350-1375	0	0.00	0.00
675-700	8453	650.23	20.98		1375-1400	0	0.00	0.00
700-725	9091	699.31	22.56					

Tabla 3. Frecuencia por intervalo de nivel crítico para un día promedio del mes de Enero (1993-2005).

Con el resultado de éste cálculo, las curvas de frecuencia acumulada (CFA), para cada mes del año y para el sitio de observación se representan en una gráfica donde la ordenada es el eje de la irradiancia (W/m²) subdividido en tantos intervalos como niveles críticos se tengan y la abscisa es el eje en donde se representa el tiempo en que la irradiancia se ubico dentro del intervalo del nivel crítico a lo largo del día durante periodos de 1 minuto desde que sale el Sol hasta que se oculta.

Para cada nivel crítico de irradiancia (I_c) se obtiene el tiempo en horas por día y se denota como

Y su representación gráfica se observa en la Gráfica 2:



Gráfica No. 2

Curva de Frecuencia Acumulada día promedio de Enero (1993-2005).

Partiendo de los valores obtenidos de las Curvas de Frecuencia Acumuladas, se puede calcular la Energía Solar Disponible:

Entonces:

Y su representación gráfica es:

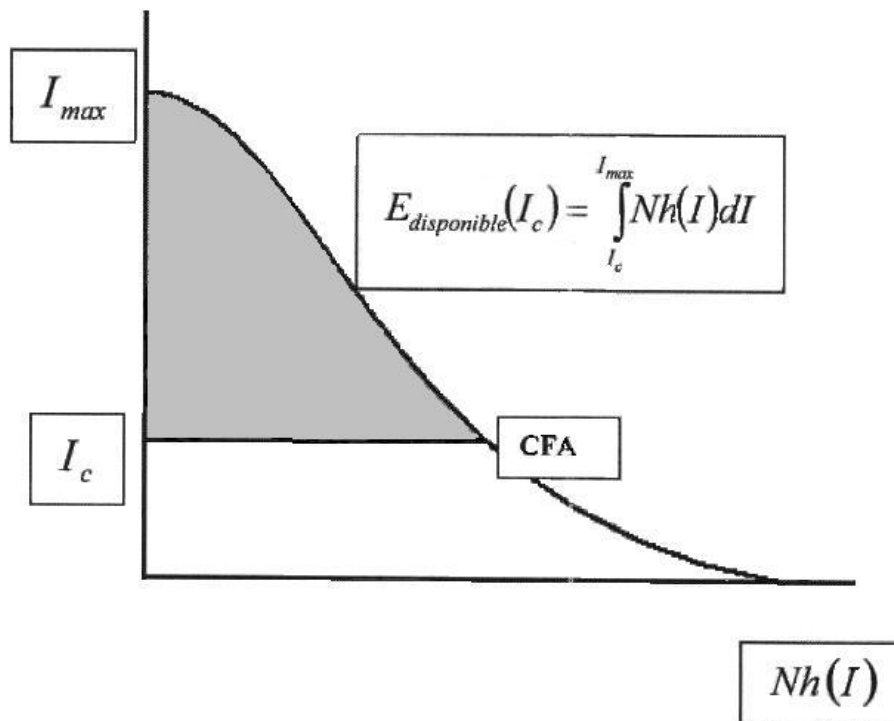
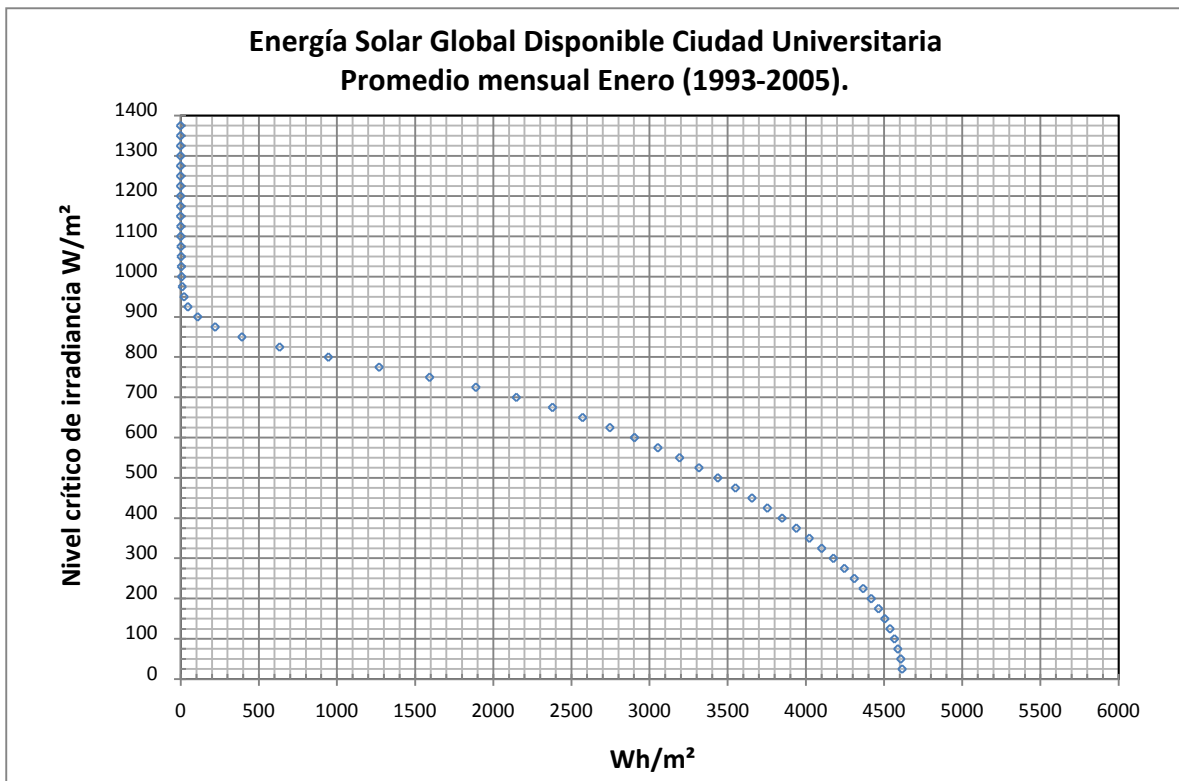


Figura 6. Representación gráfica de la energía disponible

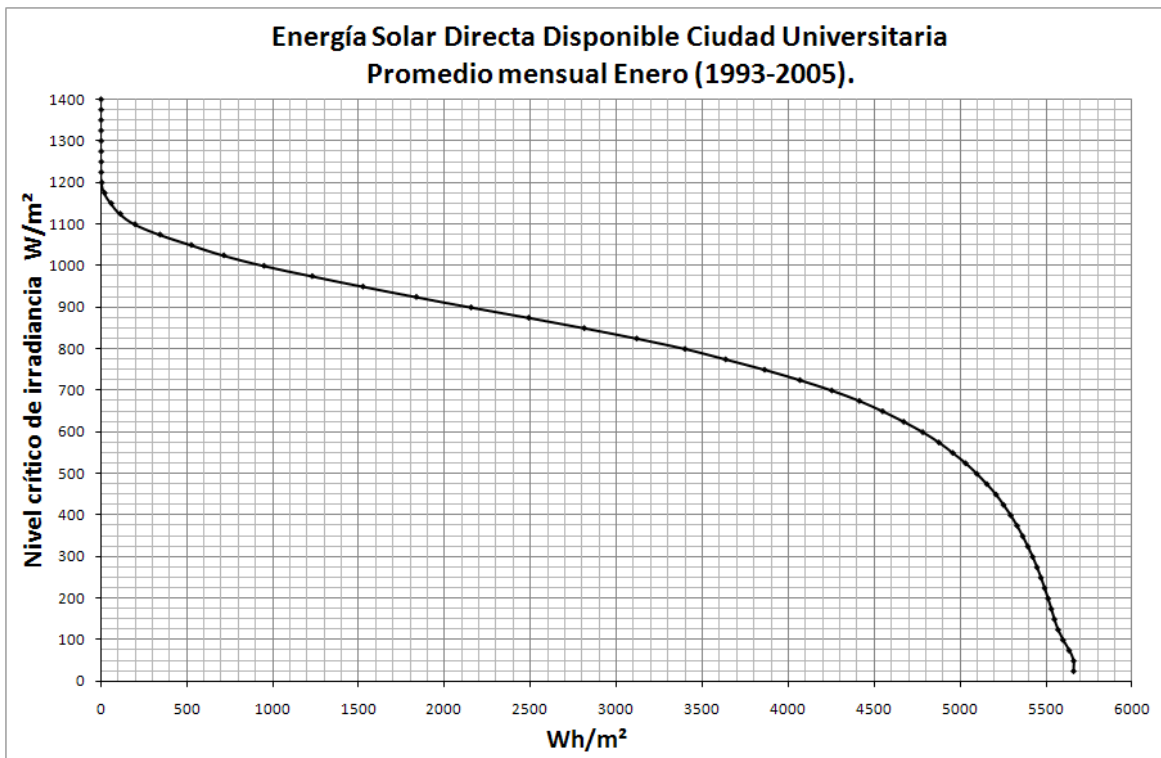
En donde la Energía Solar Disponible es el área sombreada, delimitada por la Curva de Frecuencia Acumulada (CFA), el eje vertical (Y) y la línea horizontal que representa el nivel crítico de irradiancia como límite mínimo (I_c) y la irradiancia máxima como límite superior (I_{max}).

En la Gráfica No. 3, se pueden observar los resultados numéricos de la radiación solar global disponible en el plano horizontal, para cada nivel crítico de Irradiancia.



Gráfica No. 3
Energía Solar Global Disponible, día promedio de Enero (1993-2005).

El mismo procedimiento se efectúa para los datos medidos de la radiación solar directa en el plano normal (perpendicular a los rayos solares), sin tomar en cuenta la radiación solar reflejada por cualquier objeto y/o por el albedo mismo, ya que los pirheliómetros logran colimar la radiación solar no proveniente del disco solar, en la Gráfica No. 4 se presentan los resultados para el mes de Enero, de Energía Solar Directa Disponible.



Gráfica No. 4
 Energía Solar Directa Disponible, día promedio de Enero (1993-2005).

Hora-Pico.

A el total de energía recibida diariamente, por unidad de área, en un sitio particular, se le ha denominado Recurso Solar, este valor representa la irradiación diaria que se obtiene a partir de un promedio diario, semanal, mensual, ó anual. Las unidades usadas comúnmente para este concepto en el Sistema Internacional (SI) , son los Joules sobre metro cuadrado [J/m²]. También es frecuente encontrarlas en otros sistemas de unidades como se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4. Unidades frecuentemente utilizadas para la determinación del recurso solar

Unidad	Equivalencia (SI)
MJ/m²	1 x 10 ⁶ J/m²
kWh/m²	3.6 x 10 ⁶ J/m²
Btu/ft²	11.356 x 10 ³ J/m²
Langley = 1 cal/cm²	2.4 x 10 ⁻⁵ J/m²

Para la aplicación del Recurso Solar en los Sistemas Fotovoltaicos, los ingenieros han tomado por convención otra unidad para especificar el recurso solar. En un día claro a nivel del mar, un captador horizontal puede recibir una irradiancia directa aproximada de 1000 W/m^2 al medio día solar. Por lo anterior, se le ha llamado irradiancia-pico, al valor de 1000 W/m^2 . En consecuencia, a la cantidad de irradiación recibida en un captador durante un tiempo de una hora, se ha convenido llamarla hora-pico. Así, la transformación de unidades puede escribirse de manera simple como:

$$1 \text{ hora-pico} = 1000 \text{ Wh/m}^2$$

La equivalencia con el SI

$$1 \text{ hora-pico} = 3.6 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

Para expresar al recurso solar en unidades de horas-pico, debe recordarse que el área bajo la curva de irradiancia contra tiempo representa la irradiación del día. Si se considera que esta área es igual al área de un rectángulo cuya altura corresponde a una irradiancia-pico de 1000 W/m^2 , entonces la base de este rectángulo es el número de horas en que supuestamente el Sol debería haber brillado con esta intensidad para obtener la misma irradiación del día. Las horas-pico de un sitio determinado, se obtiene al dividir el valor de la irradiación diaria en Wh/m^2 , entre 1000 W/m^2 . El resultado será el número de horas-pico en que el captador estuvo aparentemente recibiendo el valor pico de la irradiancia.

Por ejemplo, si la irradiación diaria de un lugar específico fue de 4650 Wh/m^2 , al dividir entre la irradiancia pico (1000 W/m^2), obtenemos un resultado de 4.65 horas-pico para ese lugar en ese día en particular, es decir el equivalente a una irradiancia solar de 1000 W/m^2 recibida de manera continua durante 4.65 horas (4 horas y 39 minutos) (ver Figura 7).

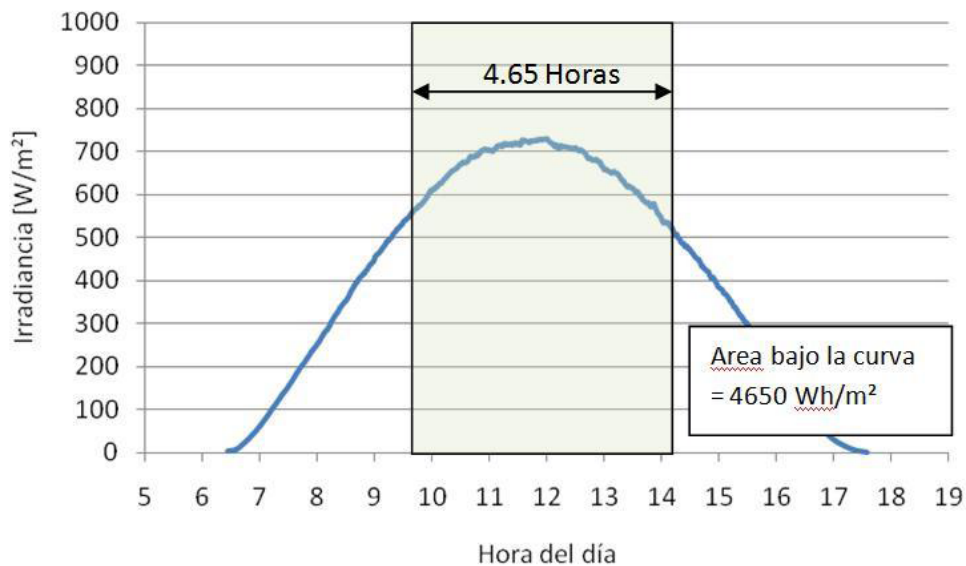


Figura 7. Representación de Horas pico.

Para el caso de los datos de radiación solar medidos en el ORS, a partir de la irradiación diaria promedio mensual de la componente global, se calculó el número de horas-pico que se reciben en promedio cada día en los diferentes meses del año. Este promedio corresponde al periodo de Enero de 1993 a Diciembre de 2005

A continuación se presentan para la Radiación Solar Global, los resultados en las Gráficas 5 a 16 de la Energía Solar Global Disponible promedio mensual y las Horas Pico (Gráfica 17); y para la Radiación Solar Directa la Energía Solar Directa Disponible promedio mensual (Gráficas 18 a 29).