

AÑO METEOROLÓGICO TÍPICO PARA TEMIXCO, MORELOS.

José de Jesús Quiñones Aguilar, Isaías Moreno Cruz, Camilo A. Arancibia Bulnes

Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Privada de Xochicalco s/n, 62580 Temixco, Morelos, México. Email: jjqa@ier.unam.mx

Fernando U. Morales López

Universidad Tecnológica de los Valles Centrales de Oaxaca, Avenida Universidad s/n, 71270 San Pablo Huixtepec, Oaxaca, México.

David Riveros Rosas

Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la investigación Científica s/n, Coyoacán, Cd. Universitaria, 04150 Ciudad de México, D.F.

RESUMEN

Este artículo, tiene como finalidad presentar los resultados y el procedimiento estadístico para la obtención de un año meteorológico típico (AMT) con datos tomados de la Estación Solarimétrica y Meteorológica (ESOMET-IER), instalada en el Instituto Energías Renovables de la UNAM, que se localiza en Temixco Morelos, correspondiente a una latitud de 18°50'25.62"N, longitud de 99°14'10.49"O y una altura sobre el nivel del mar de 1253 m. El año meteorológico típico se construye a partir de datos de medidos durante un período de 6 años. Para esto se examinan las diferentes propuestas para la construcción de un AMT de los autores Naseem M. Sawaqed^[1], Olayinka S. Ohunakin^[2], A. Argiriouel^[3], y el estándar internacional ISO 15927-4. Todas estas propuestas tienen como factor común un análisis estadístico de sensibilidad de diferentes pesos asignados a diferentes parámetros meteorológicos. El caso de estudio de este artículo esta enfatizado en el cálculo del AMT para la modelación de sistemas de concentración solar, por lo que el parámetro con mayor peso es la variable de irradiancia solar.

Palabras clave: Irradiancia solar; Irradiancia directa normal; Año meteorológico típico.

ABSTRACT

This article aims to present the results and the statistical procedure for obtaining a typical meteorological year (TMY) based on data taken from the Solarimetric and Weather Station (ESOMET-IER), installed in the Renewable Energy Institute of UNAM. This station is located in Temixco Morelos, corresponding to latitude 18 ° 50'25.62 "N, longitude 99 ° 14'10.49 " W, and 1253 m height from sea level. The typical meteorological year is constructed from data measured over a period of 6 years. For this, the various proposals for the construction of a TMY from M. Naseem Sawaqed [1], Olayinka S. Ohunakin [2], A. Argiriouel [3] and ISO 15927-4 International Standard, are examined. All these proposals have in common a statistical analysis of sensitivity of different weights assigned to different meteorological parameters. The case study of this article emphasizes the calculation of TMY for modeling of solar concentrating systems, so the parameter with the highest weight is solar irradiance.

Keywords: Solar Irradiance; normal direct irradiance; typical meteorological year.

1. INTRODUCCIÓN

Se denomina un año meteorológico típico (AMT), para un lugar determinado, a un conjunto de datos de mediciones reales, comúnmente por hora, que forman un año completo de datos meteorológicos y de irradiancia solar. Este AMT, a diferencia de un año calendárico real, se construye a partir de datos de mediciones de varios años, buscando crear un año artificial, que sea representativo del lugar. Este tipo de información es muy útil para simular el comportamiento de largo plazo de sistemas para el aprovechamiento de la energía solar.

Para determinar el AMT en el presente caso, se consideraron seis años consecutivos de datos medidos de 2010 a 2015. De esta manera el AMT para Temixco Morelos, fue determinado seleccionando cada uno de los 12 meses que conforman a un año, de entre los meses medidos para estos seis años, basándonos en el procedimiento y el análisis estadístico que se presenta en el siguiente artículo. Cabe mencionar que el AMT determinado en este trabajo considera como preponderante la variable de la irradiancia solar global, a la cual se le

designó el mayor peso. En un futuro cercano se buscará generar un año basado en datos de radiación directa, específicamente para simulación de sistemas de concentración solar.

Por otro lado, con el método estadístico aquí presentado es posible determinar años meteorológicos para desarrollos o estudios de cualquier otra área, por ejemplo para el área de eólica se tendría que considerar como variable preponderante a la velocidad y dirección de viento y así para otros estudios en otras áreas, habría que considerar la variable preponderante para cada caso específico. Los años meteorológicos típicos resultantes serán diferentes, dependiendo a qué variable se le otorgue más peso.

2. DESARROLLO

2.1. Determinación de la distribución acumulativa de corto y largo plazo.

Este estudio parte de una base de datos con registros cada 10 minutos para cinco variables (irradiancia solar global, temperatura, humedad, velocidad de viento y presión), de esta base de datos se determinan los promedios diarios para cada una de las seis variables. Una vez obtenida esta información se procede de la manera siguiente:

El primer paso es obtener las distribuciones de probabilidad acumulativas para cada variable, para cada uno de los meses medidos. Estas se llaman distribuciones acumulativas de “corto plazo”. Además se juntan todos los datos para un determinado mes de todos los años y se obtiene una distribución de probabilidad acumulativa de “largo plazo”. Primero se ordenan los datos del conjunto que se esté considerando, ya sea de corto o largo plazo, de menor a mayor. Luego se asignan los valores de la probabilidad acumulativa (CDF, por sus siglas en inglés) mediante la ecuación siguiente

$$CDF_j = \frac{1}{n} j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Para el corto plazo, n es el número de datos que corresponde al mes en cuestión, por ejemplo para enero n es igual a 31, y j corresponde al índice de rango que corresponde a un cierto dato dentro del conjunto ordenado de manera ascendente, es decir $j = 1, 2, \dots, n$. Así de esta forma el elemento de menor magnitud le correspondería el primer número de orden (1/31) y hasta el valor más alto del mes, con índice n , que le correspondería un valor de CFD igual a la unidad (n/n).

La distribución acumulativa de corto plazo determina la probabilidad de que valores menores a cierto valor específico se presenten durante ese mes de registros. Por otro lado, la distribución acumulativa de largo plazo determina la probabilidad de que lo mismo ocurra para un mes dado (por ejemplo, Enero) a lo largo de cualquiera de los seis años en cuestión. Todo este análisis se realiza por separado para cada una de las cinco variables. La figura 1 presenta la distribución acumulativa para la variable de irradiancia solar global para cada uno de los meses de Enero de los seis años, así como la distribución acumulada de largo plazo.

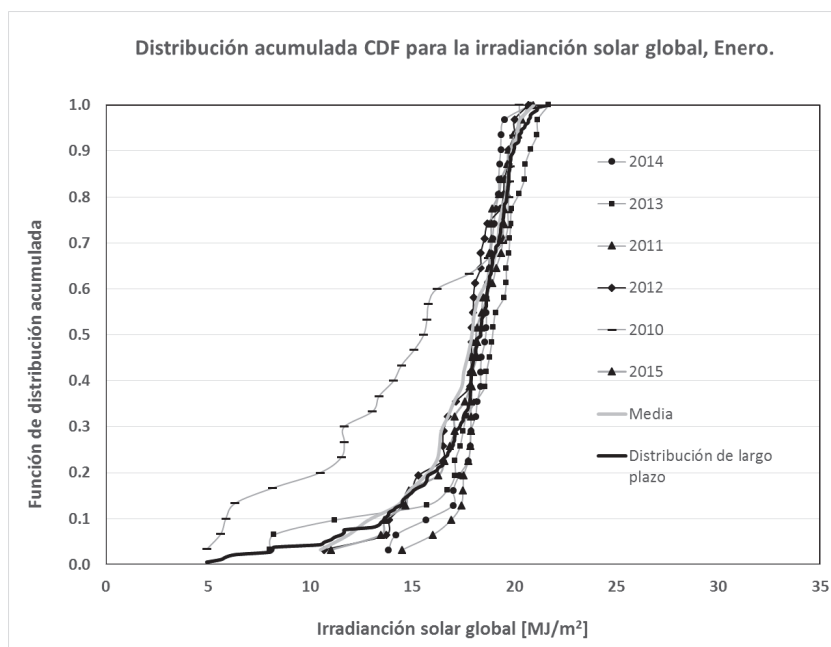


Figura 1. Distribución acumulativa para la variable de irradiancia solar global, para el mes de enero.

2.2. Determinación del estadístico de Finkelstein-Schafer.

El segundo paso es determinar el factor de Finkelstein-Schafer FS , que sirve de base para un método estadístico no paramétrico^[5]. Este factor determina qué tan próxima es cada una de las CDF de corto plazo con respecto a la CDF de largo plazo. Para cada día de todo el conjunto de datos de cierta variable, se obtiene la diferencia absoluta δ_i , entre los valores de probabilidad que le corresponden a

ese día particular en la CDF de corto plazo y la de largo plazo. De esta manera la ecuación que determina el FS_j para cada mes está dada por

$$FS_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i \quad (2)$$

Donde i se mueve sobre el número de datos totales disponibles N para un cierto mes, al juntar los seis años y j es el parámetro de la variable meteorológica considerada; es decir, para la irradiación solar global $j = 1$, para la temperatura media $j = 2$ y así sucesivamente. La tabla 1 muestra los valores calculados por el factor FS , correspondientes al mes de enero y por los seis años en cuestión.

Tabla 1. Valores estadísticos del factor de Finkelstein-Schafer para el mes de enero de cada año.

Año	FS
2010	0.151
2011	0.188
2012	0.047
2013	0.084
2014	0.063
2015	0.081

2.3. Determinación del índice ponderado compuesto WS

El siguiente paso es agrupar los FS calculados, para las seis variables consideradas en este estudio. Dicha agrupación se lleva a cabo mediante el uso del índice ponderado compuesto, como lo proponen Sawaqed y colaboradores^[1], el cual se define por

$$WS = \sum_{j=1}^m w_j FS_j \quad (3)$$

Donde, w_j es el peso ponderado asignado a cada una de las variables, FS_j es el factor determinado en el paso anterior y m es el número de términos de la suma, determinado por el número de parámetros o variables meteorológicas consideradas. La tabla 2 muestra los factores de peso que fueron asignados a cada una de las variables meteorológicas. Estos factores son arbitrarios, pues dependen de qué tanto peso se le desee dar a cada variable. Los valores usados en este caso son los convencionales, donde se le da un peso mucho mayor a la radiación solar que a las otras variables.

Tabla 2. Índice ponderado W_j , asignado a cada variable meteorológica.

Parámetro	Factor W_j
Irradiación solar global	6/10
Temperatura promedio	1/10
Humedad relativa	1/10
Velocidad de viento	1/10
Presión barométrica	1/10

Para cada FS determinado por cada variable, se tendrá que determinar un WS para cada uno de los meses, de cada uno de los años. Finalmente, la suma de cada uno de estos WS por mes nos dará el WS final para ese mes en cuestión. La tabla 3 muestra el índice WS determinado para los seis años de análisis.

Una vez obtenidos los WS para cada uno de los meses y años, se procede a ordenar de forma ascendente los meses de acuerdo a este factor. De esta lista ascendente se seleccionan los primeros cinco años, que serán los posibles candidatos para seleccionar el mes que conformara el año meteorológico. La tabla 4 muestra la lista para el mes de enero. En particular, como se puede ver para el mes de enero, los mejores candidatos parecen ser los de los años 2010, 2011, pero es necesario considerara un conjunto más amplio de años para aplicar otros criterios

Tabla 3. Valores estadísticos del índice ponderado *WS*.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	0.004	0.010	0.012	0.014	0.009	0.010	0.004	0.010	0.008	0.020	0.010	0.013
2011	0.006	0.015	0.013	0.024	0.009	0.013	0.006	0.012	0.024	0.018	0.017	0.021
2012	0.015	0.023	0.009	0.007	0.014	0.012	0.010	0.009	0.007	0.014	0.007	0.013
2013	0.007	0.014	0.005	0.011	0.004	0.013	0.004	0.008	0.023	0.007	0.016	0.002
2014	0.009	0.022	0.010	0.008	0.006	0.006	0.017	0.006	0.012	0.014	0.007	0.013
2015	0.009	0.005	0.006	0.020	0.007	0.008	0.011	0.010	0.005	0.010	0.023	0.015

Tabla 4. Orden ascendente del factor *WS*, para el mes de enero.

Año	Ene
2010	0.004
2011	0.006
2013	0.007
2014	0.009
2015	0.009
2012	0.015

2.4. Determinación de los meses del AMT.

De acuerdo a lo anterior, para el mes de enero los posibles candidatos serían el 2010, 2011, 2013, 2014 y 2015. Una vez determinados los meses candidatos se procede de la manera siguiente:

En primer lugar, continuando con el ejemplo del mes de enero, se determina la media y la mediana de las distribuciones de largo y corto plazo, para la variable de mayor ponderación, que es la irradiación solar global. Una vez obtenido estos valores, se determina el valor absoluto de las diferencias entre las medias de corto y largo plazo, así como entre las medianas de corto y largo plazo, para los años que han sido seleccionados como candidatos. La tabla 5 muestra las diferencias absolutas mencionadas anteriormente.

Tabla 5. Determinación de las diferencias de medias y medianas para el mes de enero entre el corto y largo plazo.

Enero					
Año	2010	2011	2013	2014	2015
Diferencia en la media	2.68	0.96	0.62	0.71	0.19
Diferencia en la mediana	2.32	0.41	1.01	0.66	0.20

Una vez obtenidos las diferencias entre medias y medianas, en este caso para los cinco años seleccionados, se procede tabular dicha información seleccionando el parámetro que tenga el valor máximos para cada año, ya sea la media o la mediana. Posteriormente estos máximos valores obtenidos se ordenan de manera ascendente y el menor valor de los máximos obtenidos definirá el año a utilizar. En este ejemplo, para el mes de enero que formara parte del AMT. De este último análisis estadístico se determinó que para el mes de enero se tomara al año 2015 como el primer mes que conformara el AMT.

Tabla 7. Determinación de diferencias entre medias y medianas de largo y corto plazo para el mes de enero y jerarquización para la conformación del AMT. Se subraya el mes seleccionado.

Enero				
Año	Dif. Media	Dif. Mediana	Dif. Máxima	Orden
2010	2.68	2.32	2.68	5
2011	0.96	0.41	0.96	3
2013	0.62	1.01	1.01	4
2014	0.71	0.66	0.71	2
2015	0.19	0.20	0.20	1

3. RESULTADOS

De forma análoga se llevó a cabo el cálculo correspondiente para determinar los once meses restantes, quedando representados cada uno de ellos por los años que se muestran en la tabla .

Tabla 8. Meses que conforman el AMT para Temixco, Morelos.

Año Meteorológico Típico ESOLMET IER-UNAM												
Año	2015	2011	2011	2013	2014	2010	2015	2015	2014	2013	2014	2014
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.

La grafica 2 muestra las distribuciones para la irradiación solar global, para cada uno de los cinco años seleccionados, así como la media y la distribución correspondiente a los meses que conformaron al AMT. Cabe mencionar que entre las distribuciones del AMT y la media se obtuvo una máxima diferencia porcentual del 5.3%.

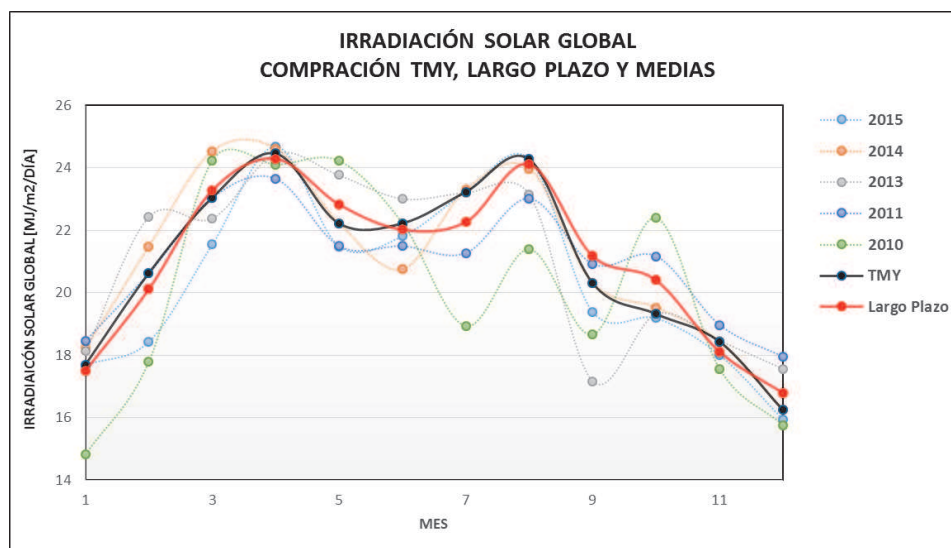


Figura 3. Distribuciones de la irradiación solar global en un plano horizontal. Año meteorológico típico (TMY, por sus siglas en inglés), media de largo plazo y medias mensuales para los años 2010, 2011, 2013, 2014 y 2015.

4. CONCLUSIONES

De lo anterior podemos concluir que el método aquí presentado es un método confiable para la determinación de años meteorológicos típicos (AMT), que da una buena cercanía con los valores medios observados, pero introduciendo la variabilidad diaria que se requiere para las simulaciones dinámicas de sistemas solares térmicos. Además podemos concluir que los promedios de largo plazo son una buena aproximación para las medias del AMT. Sin embargo existen diferencias importantes para algunos puntos a lo largo del año y en la variabilidad que se da en cada mes con respecto a la media. Por ello no recomendamos a esta distribución como una distribución representativa de algún lugar, debido a que esta diferencia también puede cambiar de manera significativa de acuerdo a la variable que se determine como preponderante.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico recibido por parte del Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM), a través del Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CeMIE-Sol), en el marco de la Convocatoria 2013-02, del Fondo SECTORIAL CONACYT-SENER-SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA, dentro del Proyecto Estratégico No. 16 con título: "Inventario Nacional del Recurso Solar", por medio del cual fue posible desarrollar la investigación y apoyar la formación de recursos humanos a nivel posgrado. Isaías Moreno Cruz agradece el apoyo de CONACYT a través de una beca de doctorado.

6. REFERENCIAS

- [1] Naseem M. Sawaqed, Yousef H. Zurigat and Hilal Al-Hinai. A step-by-step application of Sandia method in developing typical meteorological years for different locations in Oman. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH Published online 1 April 2005 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/er.1078 Int. J. Energy Res. 2005; 29:723–737.
- [2] Olayinka S. Ohunakin, Muiyiwa S. Adaramola, Olanrewaju M. Oyewola, Richard L. Fagbenle, and Fidelis I. Abam A Typical Meteorological Year Generation Based on NASA Satellite Imagery (GEOS-I) for Sokoto, Nigeria. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy Volume 2014, Article ID 468562, 7 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/468562>.
- [3] Argiriou , S. Lykoudis, S. Kontoyiannidis, C. A. Balaras , d. Asimakopoulos, M. Petrakis and P. Kassomenos. Comparison of methodologies for AMT generation using 20 years data for athens, greece. Solar Energy Vol. 66, No. 1, pp. 33–45, 1999 Ó 1999 Elsevier Science Ltd. P I I : S0038 – 092X(99)00012 – 2.
- [4] International Standard ISO 15927-4 Hygrothermal performance of buildings — Calculation and presentation of climatic data — Part 4: Hourly data for assessing the anual energy use for heating and cooling. First edition 2005-07-15.
- [5] J. M. Filkenstein and R. E. Schafer, “Improved goodness-of-fit tests,” Biometrika, vol. 58, no. 3, pp. 641–645, 1971.