

**Estudio comparativo de los modelos de Hottel – Liu Jordan y Zayas-Estrada-Cajigal para la radiación solar instantánea en Valle de las Palmas, Tijuana**

**Estudo comparativo dos modelos Hottel-Liu Jordan e Zayas-Estrada-Cajigal para radiação solar instantânea no Valle de las Palmas, Tijuana**

DOI:10.34117/bjdv8n11-325

Recebimento dos originais: 28/10/2022

Aceitação para publicação: 29/11/2022

**Rosalba Carrera Peralta**

Estudiante de doctorado en Ingeniería en la Universidad Autónoma Metropolitana  
Institución: Universidad Autónoma Metropolitana  
Dirección: San Rafael Atlixo, No. 186, Col. Vicentina Iztapalapa, 09340, Ciudad de México, México  
Correo electrónico: jc\_ro88@hotmail.com

**María Cristina Castañón Bautista**

Doctora en Ciencias por la Universidad Autónoma de Baja California  
Institución: Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Dirección Blvd. Universitario, 1000, Valle de las Palmas, 22260, Tijuana B.C., México  
Correo electrónico: cristinacastanon@uabc.edu.mx

**Alicia Ravelo García**

Maestra en Ingeniería Hidráulica por la Universidad Nacional Autónoma de México  
Institución: Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Dirección Blvd. Universitario, 1000, Valle de las Palmas, 22260, Tijuana B.C., México  
Correo electrónico: alicia.ravelo@uabc.edu.mx

**Felipe Noh Pat**

Doctor en Ingeniería en Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico  
Institución: Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería  
Dirección: Campus V, Predio, s/n, por Av. Humberto Lanz Cárdenas y Unidad Habitacional Ecológica Ambiental Siglo XXIII, Col. Ex-Hacienda Kalá, San Francisco de Campeche, Camp., México  
Correo electrónico: felipnoh@uacam.mx

**René Delgado Rendón**

Doctor en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Baja California  
Institución: Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Dirección Blvd. Universitario, 1000, Valle de las Palmas, 22260, Tijuana B.C., México  
Correo electrónico: rene.delgado.rendon@uabc.edu.mx

## RESUMEN

El presente trabajo consiste en el análisis de la radiación incidente en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Valle de las Palmas que han sido registradas por la estación meteorológica ubicada en el mismo sitio. El estudio fue realizado con los datos registrados en el año 2013, de los cuales se tomaron los días típicos para cada una de las estaciones del año, esto con el fin de realizar el análisis y poder observar que tanto varía el valor de la radiación incidente en esos días de los meses que representan a cada estación del año, mostrando dos comparaciones más que corresponden a los Modelos de Hottel (1976) y Liu Jordan (1960) y al Modelo Mexicano de Zayas y Estrada-Cajigal (1983) de la Universidad Nacional Autónoma de México, para el cálculo de la radiación instantánea, en los cuales se calculó la radiación para los mismos intervalos de tiempo que registra la estación meteorológica que son cada 10 minutos.

**Palabras clave:** radiación solar instantánea, hora solar, radiación incidente, modelo de Hottel-Liu-Jordan, modelo de zayas.

## RESUMO

Este trabalho consiste na análise da radiação incidente na Faculdade de Ciências e Tecnologia Valle de las Palmas que foram registradas pela estação meteorológica localizada no mesmo local. O estudo foi realizado com os dados registrados em 2013, dos quais foram tirados os dias típicos de cada estação do ano, isto para realizar a análise e poder observar quanto o valor da radiação incidente varia naqueles dias dos meses que representam cada estação do ano, mostrando mais duas comparações que correspondem aos Modelos de Hottel (1976) e Liu Jordan (1960) e ao Modelo Mexicano de Zayas e Estrada-Cajigal (1983) da Universidade Nacional Autônoma do México, para o cálculo da radiação instantânea, na qual a radiação foi calculada para os mesmos intervalos de tempo que a estação meteorológica registra a cada 10 minutos.

**Palavras-chave:** radiação solar instantânea, hora solar, radiação incidente, modelo Hottel-Liu-Jordan, modelo Zayas.

## 1 INTRODUCCIÓN

El uso efectivo de la irradiancia solar es necesario para reducir el consumo de combustibles fósiles y para esto, los estudios para el aprovechamiento de la energía solar precisan del uso de disponibilidad de datos del sitio de estudio de radiación solar de alta calidad de una década, necesarios en la etapa de planeación, diseño y hasta financiamiento de proyectos (Polo, y otros, 2020), por lo que investigadores han desarrollado aplicaciones para el uso efectivo del recurso solar, además de los registros que pueden obtenerse a través de las mediciones con piranómetros, estaciones meteorológicas y el uso de modelos de irradiación físicos y empíricos como el modelo de Hottel-Liu-Jordan, caracterizado por la sencillez en los cálculos (Qin, Cai, Wang, Hu, & Zhang, 2021)

Como resultado de una revisión bibliográfica se encontró que existen diversos modelos para la estimación de la radiación solar como nos lo presenta Gabriela Díaz Félix en su trabajo Ocho Modelos para Estimar la Cantidad de Irradiación Solar Global en la República Mexicana (Díaz Félix, 2012) pero estos se han hecho principalmente para regiones ubicadas en el centro del país encontrándose grandes diferencias entre los resultados de los diferentes autores lo cual se atribuye a la naturaleza empírica del método que cada uno ha usado como lo dice M. Valdes-Barrón en *The solar Resource Assessment in Mexico: State of the Art* (Valdes-Barrón, Riveros-Rosas, Arancibia-Bulnes, & Bonifaz, 2014), sin embargo, para Tijuana BC no se halló algún estudio en el que se describiera un modelo para el cálculo de la radiación, por lo que se pretende que este trabajo sean un antecedente para que posteriormente se lleve a cabo la propuesta de un modelo con el que se pueda realizar el cálculo de la radiación global ya que Baja California es uno de los estados de la República Mexicana que se encuentra en la zona de mayor incidencia de radiación solar con más de  $5.8 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  de promedio diario anual, por lo que se hace necesario evaluar dicho recurso.

En la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (FCITEC) Valle de las Palmas de la Universidad Autónoma de Baja California cuenta con una estación meteorológica automática, que además de medir la radiación solar registra la velocidad del viento, humedad, temperatura, presión, etc., sin embargo, en este estudio se hace únicamente el análisis de radiación solar de los días típicos del mes representativo de cada una de las cuatro estaciones del año, que en este caso para primavera se tomó el día 15 de Mayo, para verano el 15 de Septiembre, para otoño se tomó el día 14 de Noviembre, y para la temporada de invierno se analizó el día 17 de Enero. Se hace la comparación de la radiación registrada por la estación meteorológica con la calculada mediante los modelos matemáticos propuestos por Hottel (1976) y Liu Jordan (1960) y el modelo mexicano de Zayas y Estrada-Cajigal (Fernandez Zayas & Estrada-Cajigal) de la Universidad Nacional Autónoma de México, y con base en esto determinar la confiabilidad de tales modelos, a fin de evaluar aplicaciones futuras de la instalación de tecnología que funcione a través de energía solar fotovoltaica.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

El procedimiento mediante el cual se realizó el análisis consistió en:

1. Graficar los datos registrados por la Estación Meteorológica Automática

(EMA) marca DAVIS *Wireles Vantage Pro2 Plus* para poder determinar el día típico que habría de representar al mes y a su vez a cada una de las estaciones del año con ayuda del software *Enginnering Equation Solver* (EES).

2. Se calculó la radiación solar instantánea para cielos despejados empleando los modelos matemáticos propuestos por Hottel (1976) y Liu Jordan (1960) y el modelo mexicano de Zayas y Estrada-Cajigal (1983) de la Universidad Nacional Autónoma de México, para las mismas horas que registró la estación meteorológica con intervalos de tiempo de 10 minutos.

3. Posteriormente se graficó para cada día representativo del mes los datos registrados por la EMA durante el año 2013, empleando el modelo de Hottel-Liu Jordan, y el modelo de Zayas y Estrada-Cajigal.

4. Finalmente se realizó la comparación entre los resultados de los modelos matemáticos y los valores de radiación registrados por la EMA, para poder observar el porcentaje de variación entre un modelo y otro, así como entre modelos y datos registrados.

### 3 DESARROLLO DE RESULTADOS

#### 3.1 MODELO DE HOTTEL (1976)

El modelo de Hottel expresa la transmitancia atmosférica  $\tau_b$ , en función del ángulo cenital  $\theta_z$  (mayor transmitancia en dirección vertical, menor hacia el horizonte), de la altura sobre el nivel del mar  $A$  (mayor transmitancia a mayor altura) y del tipo de clima. El modelo de Hottel está dado por:

$$\tau_b = a_0 + a_1 (e^{-k/\cos\theta_z}) \quad (1)$$

Donde  $a_0$ ,  $a_1$  y  $k$  son parámetros ajustados empíricamente.

$$a_0 = r_0 [0.4237 - 0.00821 (6-A)^2] \quad a_1 = r_1 [0.5055 + 0.00595 \{ (6.5 - A) \}^2]$$

$$k = r_k [0.2711 + 0.01858 \{ (2.5 - A) \}^2] \quad A = \text{Altitud a la que se encuentra el observador en kilómetros.}$$

Tabla 1. Factores de corrección para los tipos de climas.

Tipo de Clima	$\Gamma_0$	$\Gamma_1$	$\Gamma_r$
Tropical	0.95	0.98	1.02
Verano, latitud media	0.97	0.99	1.02
Verano, sub-ártico	0.99	0.99	1.01
Invierno, latitud-media	1.03	1.01	1.00

(Hottel, 1976)

Para la irradiancia directa sobre una superficie horizontal en una atmósfera clara, se usa  $G_{bc}$ , dado por la ecuación:

$$G_{bc} = \tau_b G_{on} \cos \theta_z = \tau_b G_o$$

(2) Donde  $G_{on}$  es la radiación extraterrestre y se encuentra dado por:

$$G_{on} = G_{sc} (1 + 0.033 \cos \left[ \frac{360n}{365} \right])$$

$n$  es el número de día del año (3)

### 3.2 MODELO DE LIU Y JORDAN (1960)

Una vez calculada la radiación directa sobre una superficie horizontal, también es necesario estimar la radiación difusa de cielo despejado en una superficie horizontal para obtener la radiación total. Liu y Jordan (1960) desarrollaron una relación empírica entre los coeficientes de transmitancia y la radiación difusa en días claros.

Para aproximar la radiación difusa incidente en una superficie horizontal, se establece la siguiente relación.

$$\tau_d = G_d / G_o \quad (4) \quad G_d = \tau_d G_o \quad (5) \quad \tau_d = 0.271 - 0.294 \tau_b \quad (6)$$

$$G_{total} = G_b + G_d \quad (7)$$

Para poder realizar el cálculo de la irradiancia mediante los modelos de Hottel y Liu y Jordan para la irradiancia directa y difusa respectivamente, primero se calculó el ángulo de declinación  $\delta$  ya que este se utiliza al calcular el ángulo cenital solar  $\theta_z$ .

Para calcular el ángulo de declinación se utiliza: $\delta = 23.45 \sin \left[ 360 \times \left( \frac{284+n}{365} \right) \right] \quad (8)$	$n$ = número de día del año. $\phi = 32.4$ Latitud de Valle de las Palmas, Tijuana, B.C.
--	---

Se utilizó la ecuación del tiempo para la conversión de hora civil a hora solar misma que se utilizó para realizar los cálculos.

$hora_{solar} = hora_{local} + (((4 * (L_{st} - L_{loc}) + E)) / 60) (9)$  Para el cálculo en horario de verano se utiliza la ecuación 10.

$$\text{hora\_solar} = \text{hora\_local} + (((4 * (\text{L\_st} - \text{L\_loc}) + E)) / 60) - 1 \quad (10)$$

Donde

L<sub>st</sub>=120 Meridiano estándar

L<sub>loc</sub>=116.675 Longitud de Valle de las Palmas, Tijuana

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos(B) - 0.032077 \sin(B) - 0.014615 \cos(2B) - 0.04089 \sin(2B)) \quad (11)$$

$$B = (n-1) * (360/365)$$

El ángulo horario (al atardecer o al amanecer) está dado por:

$$\omega_s = \arccos\left[-\tan(\varphi) \tan(\delta)\right] \quad (12)$$

Para calcular el ángulo horario se utilizó la ecuación:

$$\omega = (\text{hora\_solar} - 12) * 15 \quad (13)$$

Para el cálculo de  $\theta_z$ :

$$\theta_z = \arccos(\cos(\varphi) * \cos(\delta) * \cos(\omega) + \sin(\varphi) * \sin(\delta)) \quad (14)$$

De donde se obtuvieron los diferentes cálculos de los modelos para las mismas horas registradas por la estación meteorológica.

Irradiancia directa sobre una superficie horizontal

$$G_o = G_{sc} * (1 + 0.033 * \cos(360 * n / 365)) * \cos(\theta_z) \quad (15)$$

Dónde  $G_{sc}$  es la constante solar y es aproximadamente  $1367 \text{ W/m}^2$

Para el cálculo de los factores de corrección para los tipos de climas se utilizaron los valores de un clima de verano, latitud media, y un clima de invierno, latitud media propuesto por Hottel (1976) referidos en la tabla 1, para el cuál:

$$\tau_b = a_0 + a_1(e^{-k/\cos\theta_z}) \quad \text{Para una altitud sobre el nivel}$$

del mar  $A = 308 \text{ m} = 0.308 \text{ km}$

Por lo que la radiación difusa incidente sobre el plano horizontal se encuentra dada por;

$$G_d = \tau_d G_o \quad \text{dónde } \tau_d \text{ es la transmitancia difusa}$$

Finalmente se tiene que la radiación total incidente en Valle de las Palmas utilizando el Modelo de Hottel (1976) y Liu Jordan (1960) es:

$$G_{\text{total}} = G_b + G_d$$

### 3.3 MODELO DE ZAYAS Y ESTRADA-CAJIGAL (UNAM)

El modelo de Zayas y Estrada-Cajigal permite calcular el valor de la irradiancia global incidente sobre una superficie horizontal en una hora dada.

$$\bar{G} = \bar{G}_M \left[ \cos \left( \frac{180 \theta}{N} \right) \right]^\alpha \quad (16) \quad \begin{aligned} \theta &= \text{Hora solar verdadera} \\ \theta &= 0 \text{ al medio día} \\ \theta &= (12 - \text{hora}) \\ N &= \text{duración del día solar} \\ N &= 2 * w_s / 15 \end{aligned}$$

$\bar{G}_M$  = Radiación total máxima recibida en promedio mensual en  $W/m^2$ , cuyos valores se encuentran en la tabla 3.

$\alpha$  = Exponente adimensional empírico para  $G_M$ , los valores para cada mes se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2. Valores del exponente para los días respectivos de cada mes, para la latitud de interés, correspondientes a la radiación total.

Mes	Latitud 32°	Mes	Latitud 32°	Mes	Latitud 32°
Enero	1.1	Mayo	1.2	Septiembre	1.1
Febrero	1.1	Junio	1.2	Octubre	1.1
Marzo	1.1	Julio	1.2	Noviembre	1.1
Abril	1.15	Agosto	1.15	Diciembre	1.1

Zayas y Estrada-Cajigal (1983).

Tabla 3. Valores para  $\bar{G}_M$  de la Radiación solar en la República Mexicana mediante datos de insolación

Enero $\bar{G}_M = 665 W/m^2$	Mayo $\bar{G}_M = 794 W/m^2$	Septiembre $\bar{G}_M = 820 W/m^2$
Febrero $\bar{G}_M = 661 W/m^2$	Junio $\bar{G}_M = 867 W/m^2$	Octubre $\bar{G}_M = 804 W/m^2$
Marzo $\bar{G}_M = 695 W/m^2$	Julio $\bar{G}_M = 822 W/m^2$	Noviembre $\bar{G}_M = 648 W/m^2$
Abril $\bar{G}_M = 814 W/m^2$	Agosto $\bar{G}_M = 754 W/m^2$	Diciembre $\bar{G}_M = 765 W/m^2$

Almanza R, López S. 1978)

## 4 RESULTADOS

Los resultados de los cálculos realizados se representan mediante las siguientes gráficas.

Figura 1. Radiación calculada mediante el modelo de Hottel (1976) y Liu Jordan (1960), modelo de Zayas y Estrada-Cajigal (1983). Para la temporada de Invierno

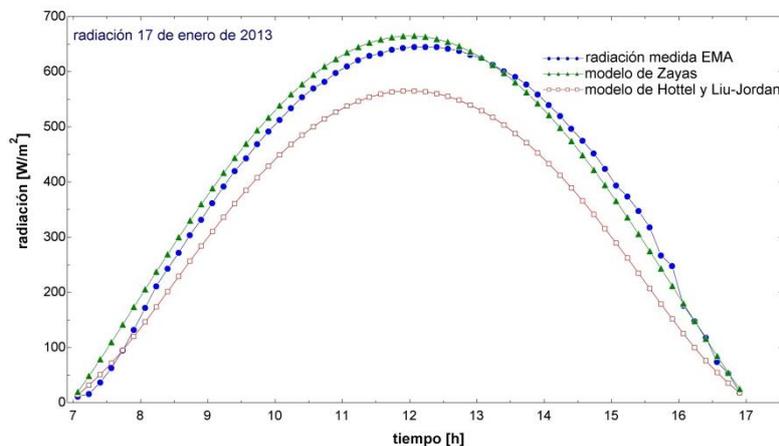


Figura 2. Radiación calculada mediante el modelo de Hottel (1976) y Liu Jordan (1960), modelo de Zayas y Estrada-Cajigal (1983). Para la temporada de Primavera

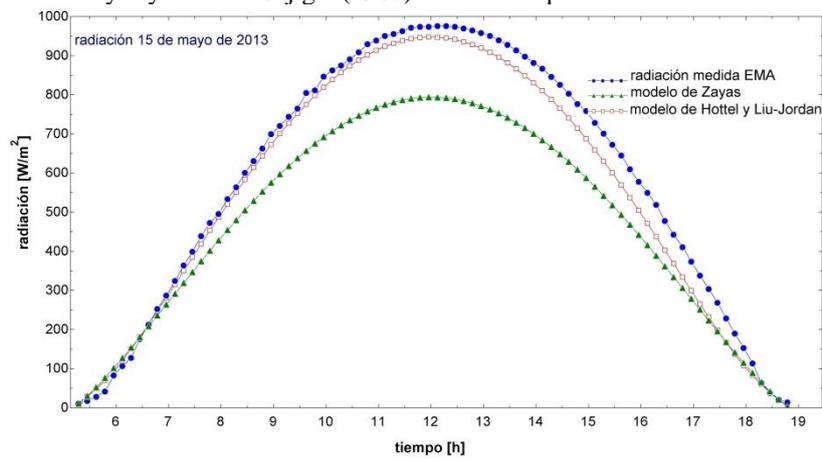


Figura 3. Radiación calculada mediante el modelo de Hottel (1976) y Liu Jordan (1960), modelo de Zayas y Estrada-Cajigal (1983). Para la temporada de Verano

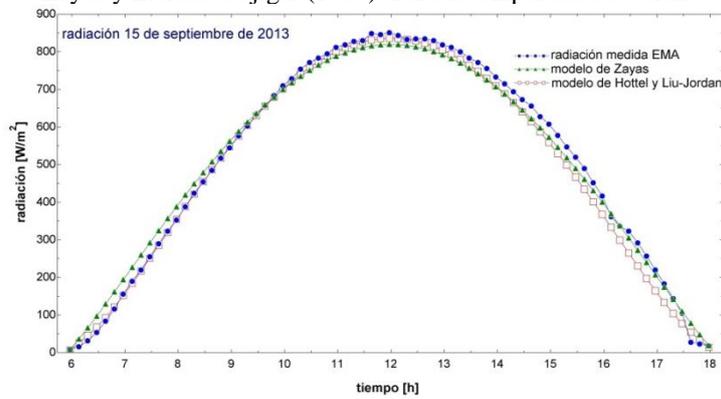


Figura 4. Radiación calculada mediante el modelo de Hottel (1976) y Liu Jordan (1960), modelo de Zayas y Estrada-Cajigal (1983). Para la temporada de Otoño

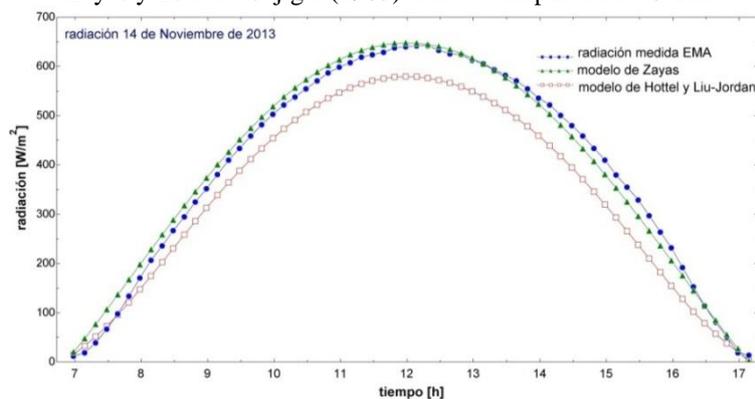


Tabla 4. Variación representada en porcentajes entre modelos matemáticos y entre modelos y datos registrados por la estación meteorológica en Valle de las Palmas, Tijuana, B.C.

Estación del año	Variación entre modelos matemáticos (%)	Variación entre el modelo de Zayas y Estrada Cajigal y datos medidos (%)	Variación entre el modelo de Hottel y Liu Jordan y datos medidos (%)
Primavera	19.4	22.7	2.8
Verano	1.9	3.8	1.8
Otoño (14/11/2013)	11.8	1.3	10.4
Invierno	17.6	3.1	14.1

## 5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como se observa en la figura 1 que corresponde a la comparación de los cálculos realizados para los modelos matemáticos de Hottel y Liu Jordan, y el modelo de Zayas y Estrada Cajigal, así como los datos registrados por la EMA, para el día 17 de Enero que fue seleccionado como el día representativo del mes en el invierno se puede observar que los datos medidos tienen un porcentaje de variación del 22.7% a las 12 del día (hora solar) con el modelo de Zayas y Estrada Cajigal, en tanto que la variación de los datos registrados a esa misma hora con el modelo de Hottel y Liu Jordan es del 14.1%, el porcentaje de variación entre modelos es del 17.6%, lo que muestra claramente que para esta estación del año el modelo de Zayas y Estrada-Cajigal, es hasta cierto punto confiable.

Como se muestra en la figura 2 las gráficas correspondientes al día 15 de Mayo que fue seleccionado como el día representativo del mes en la primavera se puede observar que los datos medidos tienen un porcentaje de variación del 3.1% a las 12 del día (hora solar) con el modelo de Zayas y Estrada Cajigal, en tanto que la variación de los datos registrados a esa misma hora con el modelo de Hottel y Liu Jordan es del 2.8%, el porcentaje de variación entre modelos es del 19.4%, en esta estación del año el modelo de Hottel y Liu Jordan es el que más se acerca a los datos reales, ya que como se observa en la figura 2, hay varios puntos que coinciden y a partir del mediodía se puede apreciar que el porcentaje de coincidencia disminuye llegando a una variación máxima del 10.26% a las 16:00 PM. También se puede ver que existe un porcentaje muy alto de variación de los datos medidos con el modelo de Zayas y Estrada Cajigal, siendo el máximo a las 12 PM con un 22.7%.

Como se presenta en la figura 3 las gráficas que corresponden al día 15 de Septiembre el cuál fue seleccionado como el día representativo del mes en el verano el comportamiento de las tres gráficas es casi el mismo, siendo el porcentaje de variación

entre los datos registrados y el modelo de Zayas y Estrada Cajigal del 3.8% a las 12:00 Hrs., y la variación entre los datos registrados por la EMA y el modelo de Hottel- Liu Jordan del 1.8%, habiendo una variación entre modelos del 1.9%, por lo que para el verano, ambos modelos tienen un porcentaje alto de confiabilidad.

Finalmente se muestran en la figura 4 las gráficas correspondientes al día 14 de Noviembre seleccionado como el día representativo del mes, en el otoño, se puede observar que el modelo de Zayas y Estrada-Cajigal presenta mayor coincidencia con respecto a la gráfica que corresponde a los datos registrados por la EMA con un porcentaje de variación del 3.1% a las 12:00 PM., del día, en tanto que con el modelo de Hottel y Liu Jordan las coincidencias con mayores porcentajes son desde que amanece hasta las 8:00 AM, y a partir de ahí empieza a haber mayor variación, llegando hasta el 14.1% al mediodía solar.

## 6 CONCLUSIÓN

El resultado del análisis de los datos registrados por la estación meteorológica automática en FCITEC Valle de las Palmas, Tijuana, B.C., así como los datos calculados mediante la utilización del modelo de Hottel-Liu Jordan y el modelo mexicano de Zayas y Estrada-Cajigal de la Universidad Autónoma de México, mostrados en la tabla 4, se puede denotar que en tres estaciones del año que son verano, otoño e invierno, el modelo mexicano de Zayas y Estrada-Cajigal resulta ser aproximado a los datos medidos con una máxima de variación del 3.8%, pero para primavera se denota un porcentaje mayor de variabilidad aproximadamente del 22.7%, cuyo comportamiento dista mucho de los datos medidos durante esos meses, esto puede ser causa de los métodos de naturaleza empírica que se utilizaron para determinar el valor de la radiación total máxima en promedio mensual  $\bar{G}_M$  resumidos en la tabla 3 valores para  $\bar{G}_M$  de la Radiación solar en la República Mexicana mediante datos de insolación (Almanza & López, 1975). Otro aspecto que se destaca es que el modelo de Hottel-Liu Jordan tiene una gran aproximación con las mediciones de primavera y verano con un máximo del 2.8%, en tanto que para otoño e invierno el porcentaje de variabilidad incrementa hasta 14.1%, hecho por el cual las aproximaciones de Zayas son mejores a excepción de los meses que conforman la estación de primavera.

Se observa que en las figuras 3 y 4, durante las primeras horas de la mañana, los datos medidos no coinciden con ninguno de los modelos, esto debido a que en los meses

de septiembre, octubre y noviembre se presentan nubosidades en las primeras horas de la mañana, empezando a despejar a partir de las 8 o 9 AM y además es de suma importancia hacer mención que los modelos utilizados en el presente trabajo son para días con cielo despejado y esa es una de las principales causas por las que se presentan tales variaciones.

## REFERENCIAS

Almanza, R., & López, S. (1975). Radiacion solar global en la República Mexicana mediante datos de insolación. Series del Instituto de Ingeniería. Recuperado el 03 de Noviembre de 2022

Díaz Félix, G. (2012). Obtenido de <https://xdoc.mx/preview/ocho-modelos-para-estimar-la-cantidad-de-irradiacion-solar-global-5eb31fb8b2286>

Fernandez Zayas, J., & Estrada-Cajigal, V. (s.f.). Cálculo de la radiación solar instantánea en la república mexicana. (U. N. México, Ed.) Obtenido de <http://datosabiertos.unam.mx/IINGEN:RUSI:472>

Hottel, H. (1976). A simple model for estimating the trasmittance of direct solar radiation through clear atmospheres. *Solar Energy*, 18(2), 129-134. doi:[https://doi.org/10.1016/0038-092X\(76\)90045-1](https://doi.org/10.1016/0038-092X(76)90045-1)

Polo, J., Fernández-Peruchena, C., Salamalikis, V., Mazorra-Aguiar, L., Turpin, M., Martín-Pomares, L., . . . Remund, J. (2020). Benchmarking on improvement and site-adaptation techniques for modeled solar radiation datasets. *Solar Energy*, 201, 469-479. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.040>

Qin, W., Cai, H., Wang, L., Hu, B., & Zhang, M. (2021). Hourly clear-sky solar irradiance estimation in China: Model review and validations. *Solar Energy*, 226, 468-482. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.08.066>

Valdes-Barrón, M., Riveros-Rosas, D., Arancibia-Bulnes, C., & Bonifaz, R. (2014). The Solar Resource Assessment in Mexico: State of the Art. *Energy Procedia*, 57, 1299-1308. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.120>