

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ**  
Instituto de Ingeniería y Tecnología

**E N E R G Í A   S O L A R**

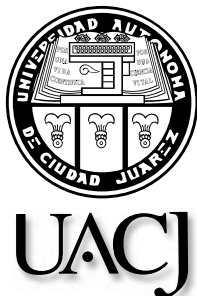
---

**Colectores solares planos**  
*Tratamiento teórico Vol. 1*

---

**Jenaro Carlos Paz Gutiérrez**

Ciudad Juárez, Chihuahua, México. 2006



Felipe Fornelli Lafón  
*Rector*

Héctor Reyes Leal  
*Secretario general*

Rafael Woo  
*Director del Instituto  
de Ingeniería y Tecnología*

Paz Gutiérrez, Jenaro Carlos

Colectores solares planos : tratamiento teórico, volumen 1 / Jenaro Carlos  
Paz Gutiérrez. Ciudad Juárez, Chih. : Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.  
Instituto de Ingeniería y Tecnología, 2005.

116 p.; 22 cm.—(Energía solar)  
ISBN: 968-7845-78-3

1. Colectores solares
2. Energía solar – Colectores
3. Colectores solares – Diseño y construcción

TJ812 P39 2005  
621.472 P39 2005

Cuidado de la edición: Marlon Martínez Vela  
Formato: Raúl Betances Sáenz  
Cubierta: Marco Antonio López

D.R. © Primera edición: 2006  
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez  
Calle Henri Dunant núm. 4016, Zona Pronaf  
32310 Ciudad Juárez, Chihuahua  
Impreso en México / *Printed in Mexico*

# Índice

Introducción.....	<b>5</b>
Colectores solares planos .....	<b>9</b>
Declinación solar y pendiente de los colectores .....	<b>13</b>
Tratamiento mecánico-estadístico de la radiación de cuerpo negro .....	<b>31</b>
Intercambio de calor de radiación entre sistemas cerrados grises.....	<b>47</b>
Transferencia de calor por convección .....	<b>53</b>
Absorción, reflexión y transmisión de la radiación .....	<b>57</b>
Eficiencia del colector .....	<b>61</b>
Coefficiente de pérdida de calor $U_L$ .....	<b>63</b>
Factor de eficiencia del colector plano y factor de calor removido .....	<b>67</b>
Datos de insolación.....	<b>75</b>
Cálculo de la eficiencia del colector .....	<b>107</b>
Bibliografía .....	<b>115</b>



# Introducción

**E**l desarrollo de sistemas que operan utilizando energía solar, ha avanzado para contrarrestar las constantes crisis de energéticos que a nivel mundial se han venido presentando desde finales de 1970.

Estas crisis han sido causadas por la falta de materia prima que se puede utilizar como energético y por los elevados costos de extracción, procesado y distribución de los mismos; la última crisis que estamos viviendo tiene repercusiones políticas en el contexto del Medio Oriente y cada año que pase se verá un recrudescimiento debido a que las reservas probadas de hidrocarburos sólo garantizan el abastecimiento para las próximas dos décadas.

La solar es una fuente renovable de energía y se ha usado históricamente con diferentes fines. Entre otros podemos mencionar la evaporación de las aguas del mar para obtener la comúnmente conocida sal y también la exposición de frutas y productos agrícolas al sol para obtener alimentos deshidratados.

El calentamiento de agua mediante el sol es un método común en países como Japón, Israel y Australia, ya que si una unidad solar es usada como suplemento en un calentador regular de agua, aquella puede ahorrar hasta el 90% de la energía usada por el sistema convencional. En ciertas partes del planeta no es necesario un calentador convencional de agua, pues la unidad solar puede abastecer suficiente agua caliente (38°C a 55°C).

Son pocas las regiones del globo terráqueo que reciben más de 180 kilolangleys (1 langley = 1 cal/cm<sup>2</sup>), ó 2000 KWh/m<sup>2</sup> de insolación por año, una de estas regiones es la zona árida de Ciudad Juárez-El Paso (Tabla 1).

**Insolación mensual y anual  
en Ciudad Juárez-El Paso  
(sobre una superficie horizontal)**

<b>Mes</b>	<b>Insolación promedio</b>	<b>días/mes</b>	<b>Total/mes</b>
	<b>diaria Wh/m2</b>		<b>Wh/m2</b>
ene	3469	31	107539
feb	4538	28	127064
mar	5856	31	181536
abr	7092	30	212760
may	7834	31	242854
jun	8027	30	240810
jul	7365	31	228315
ago	6759	31	209529
sep	5866	30	175980
oct	4932	31	152892
nov	3798	30	113940
dic	3203	31	99293
	Insolación anual	Total	2,092,512 Wh/m2 (180,044.8 Langleys)

**Tabla 1**

Cuando hablamos de insolación, nos referimos a la energía total radiante que proviene del sol y que incide en un área unitaria de un plano horizontal localizado sobre la superficie de la tierra. Incluye toda la energía en las longitudes de onda emitidas por el sol (aproximadamente 0.1 a 7.0 micrones). La radiación solar es difusa y el promedio anual de potencia solar recibida por una superficie de un metro cuadrado sobre la tierra por este concepto es de 50 kilolangleys ó 580 KWh/m<sup>2</sup> (Tabla 2).

**Radiación solar difusa mensual  
y anual en Ciudad Juárez-El Paso  
(sobre una superficie horizontal)**

Mes	Radiación promedio	días/mes	Total/mes
	diaria Wh/m2		Wh/m2
ene	1057	31	32767
feb	1245	28	34860
mar	1566	31	48546
abr	1785	30	53550
may	1889	31	58559
jun	1971	30	59130
jul	2298	31	71238
ago	2121	31	65751
sep	1748	30	52440
oct	1340	31	41540
nov	1079	30	32370
dic	964	31	29884
	Radiación difusa	Total	580,635 Wh/m2 (49,959.23 Langleys)

**Tabla 2**

En el desarrollo de aplicaciones que operan a base de energía solar, la única forma de obtener más energía por unidad de tiempo es aumentando el tamaño del área receptora y orientándola hacia el sol en lugar de que incida sobre la horizontal.

Una de las principales causas de la alta insolación sobre la región es la poca nubosidad existente. El promedio en un año es aproximadamente del 90%, (véase Tabla 6).

Este libro, es el primero de una serie de publicaciones que pretenden presentar diferentes aspectos relacionados con la energía solar y sus aplicaciones, en él se presentan los conceptos teóricos acerca de la energía solar, cubriendo en forma particular el tema relacionado con el diseño de colectores solares planos que convierten la radiación solar en energía térmica y la manera de poder medir su eficiencia. Lo anterior es indispensable para poder utilizarlos como solución a diferentes problemas o necesidades que surgen en el desarrollo de la región. En siguientes publicaciones trataremos el aspecto práctico de su construcción, de los aspectos teóricos acerca de su conversión a energía eléctrica y también de su aplicación en este rubro.

En los siguientes capítulos se hace un estudio de los factores que hay que tener en cuenta para aprovechar la radiación solar como energía térmica. En el capítulo 1, “Colectores solares planos”, se describe uno con todos sus componentes y los conceptos de operación de manera general. En el capítulo 2, “Declinación solar y pendiente de los colectores”, se definen algunos conceptos, ángulos y la manera de calcular la inclinación de los mismos para tener incidencia normal del sol en cualquier momento, también se presentan unas tablas para poder estimar la cantidad de energía incidente sobre un colector inclinado  $45^\circ$  con respecto a la horizontal, cuando se conoce la cantidad de energía solar que incide sobre la horizontal. En el capítulo 3, “Tratamiento mecánico-estadístico de la radiación de cuerpo negro”, se presenta la energía solar como un campo de bosones que satisfacen las ecuaciones de Maxwell y cuya distribución de energía obedece a la ley de distribución de Planck. Se calcula la cantidad de insolación que recibe la Tierra. En el capítulo 4, “Intercambio de calor de radiación entre superficies grises y el coeficiente de transferencia de calor radiado”, se estudia la cantidad de calor que se transfiere entre dos superficies (placa absorbente y vidrio, por ejemplo) las cuales se encuentran a diferente temperatura. En el capítulo 5, “Transferencia de calor por convección”, se estima la cantidad de calor que se transfiere por el fenómeno de convección. En el capítulo 6, “Absorción, reflexión y transmisión de la radiación”, se cubre este tipo de fenómenos en superficies opacas y transparentes, se estudia el porcentaje de energía aprovechable por el absorbente cuando éste está cubierto por una protección de vidrios. En el capítulo 7, “Eficiencia del colector”, se presenta una fórmula para el cálculo de la misma, la cual será complementada en los siguientes capítulos. En el capítulo 8, “Coeficiente de pérdida de calor  $U_L$ ”, se calcula la cantidad de calor que se desaprovecha en un colector solar plano, dependiendo de las características físicas del diseño del mismo. En el capítulo 9, “Factor de eficiencia del colector plano y factor de calor removido”, se estima el factor de eficiencia de un colector, haciendo uso de todos los conceptos vistos en los capítulos anteriores. En el capítulo 10, “Datos de insolación”, se presenta un histórico de los mismos para diferentes periodos. Finalmente en el capítulo 11, “Cálculo de la eficiencia del colector”, se calcula la eficiencia, el día 15 de octubre, con los datos de las características del colector, así como de los de insolación sobre la región.



# Colectores solares planos

El colector solar plano trabaja haciendo pasar un líquido a través de él, convirtiendo la energía luminosa del sol en calor y elevando la temperatura del líquido que fluye. Puede usarse agua pura, pero es mejor una solución anticongelante.

Para atrapar la energía solar y convertirla en calor se utiliza un proceso que por todos es entendido. Toda superficie negra expuesta al sol se pondrá más caliente que una de cualquier otro color. Una pintura negra mate no brilla y por lo tanto no pierde energía por reflexión. Por consiguiente, si una superficie se pinta de negro mate y se pone un líquido en contacto con la parte posterior, el líquido se calentará eficientemente. Este simple aparato es llamado el “absorbente”. Usualmente es una lámina de metal con pasajes para el líquido los cuales están pintados de negro mate por un lado.

Una vez que la energía solar se convierte en calor y que se absorbe por el líquido, se debe aislar el absorbente térmicamente para prevenir pérdidas de calor. La parte posterior del absorbente así como los lados deben aislarse con fibra de vidrio o espuma de uretano. Sin embargo, en el caso del uretano, se debe usar una cobija de una pulgada de fibra de vidrio para protegerlo de las altas temperaturas. Las pérdidas de calor por el lado soleado del absorbente se reducen con una cubierta de vidrios. El vidrio transmite la radiación solar de alta energía (pequeñas longitudes de onda) hacia el absorbente y retarda la radiación de pequeña energía (grandes longitudes de onda) que es emitida por el absorbente caliente hacia el exterior, también evita que las corrientes de aire lo enfríen.

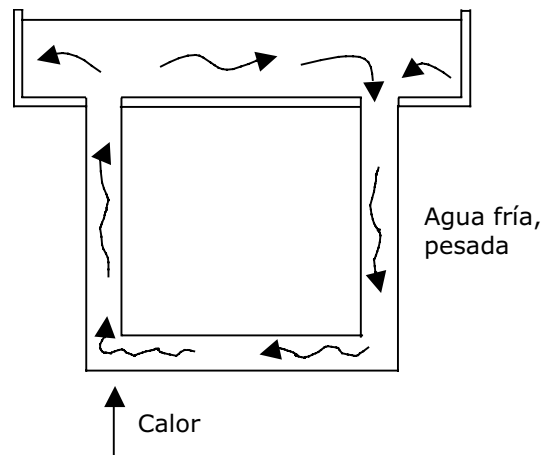
En sí, las partes del colector solar son las siguientes: (1) el absorbente, para convertir la radiación solar en calor, (2) la cubierta de vidrios para detener la pérdida de éste hacia afuera, (3) el aislamiento de los lados y de la parte inferior para impedir también la pérdida de calor. Todo esto se mantiene junto por (4) el marco del colector.

Debido a la naturaleza intermitente de la radiación solar, en la mayoría de los sistemas de calentamiento de un líquido por el sol se necesita un tanque de almacenamiento para tenerlo disponible cuando se necesite. Este tanque debe alimentar al colector solar y éste al primero.

El sistema que ayuda a la circulación del líquido puede ser una bomba con controles automáticos o bien, dentro de un sistema propiamente diseñado y construido esta circulación ocurrirá automáticamente por acción termosifónica (llamada también convección natural o circulación por gravedad).

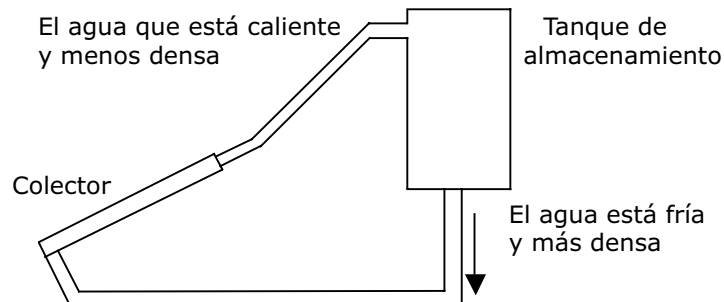
Si se aplica calor al lado izquierdo de un recipiente en forma de U con agua, la densidad de él decrecerá considerablemente (véase Figura 1). El balance entonces en el tubo se ve afectado y el agua fría más pesada en el lado derecho fluirá para balancear la situación. Ésta a su vez se calentará y subirá; por lo tanto un flujo se establece. El flujo continuará hasta que la fuente de calor se retire

o que la temperatura de todo el sistema sea la misma. En este momento las densidades de las dos partes del tubo en U son iguales y el flujo termina.



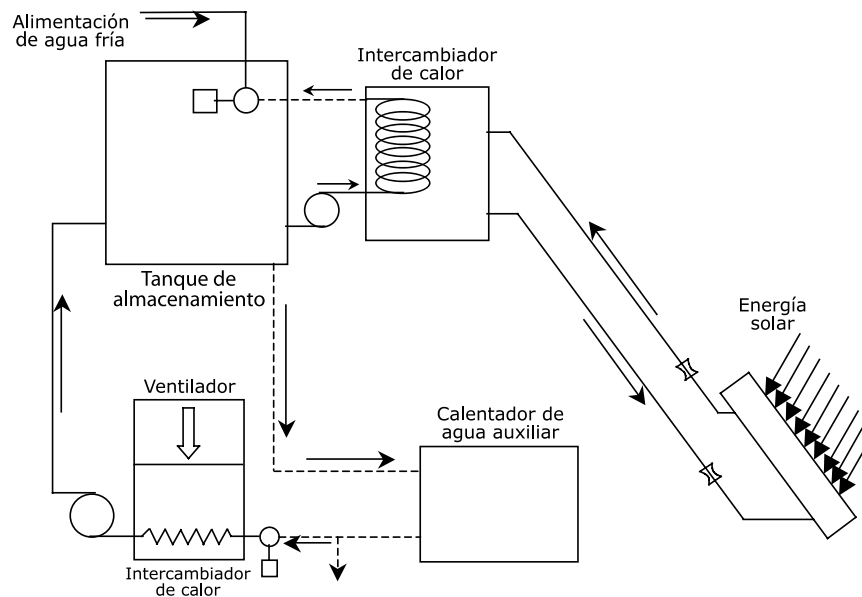
**Figura 1**

Estos principios de flujo por termosifón pueden ser usados con excelentes resultados en un calentador solar (véase Figura 2). En tanto la energía solar incide en el absorbente del colector y calienta el líquido que contiene, este líquido (liviano) sube. Éste es empujado por el líquido frío (más pesado) en la entrada del colector. En tanto que el líquido frío llega al absorbente, se calienta, sube y más líquido frío empuja de la parte inferior del colector. Así se establece el flujo y continuará hasta que el líquido deje de ganar calor del sol, esto es, hasta que ya no haya suficiente calor para subir la temperatura del fluido en su paso por el absorbente. Nótese que no son necesarios ni termostatos, ni relevadores, ni motores, ni bombas, ni electricidad.



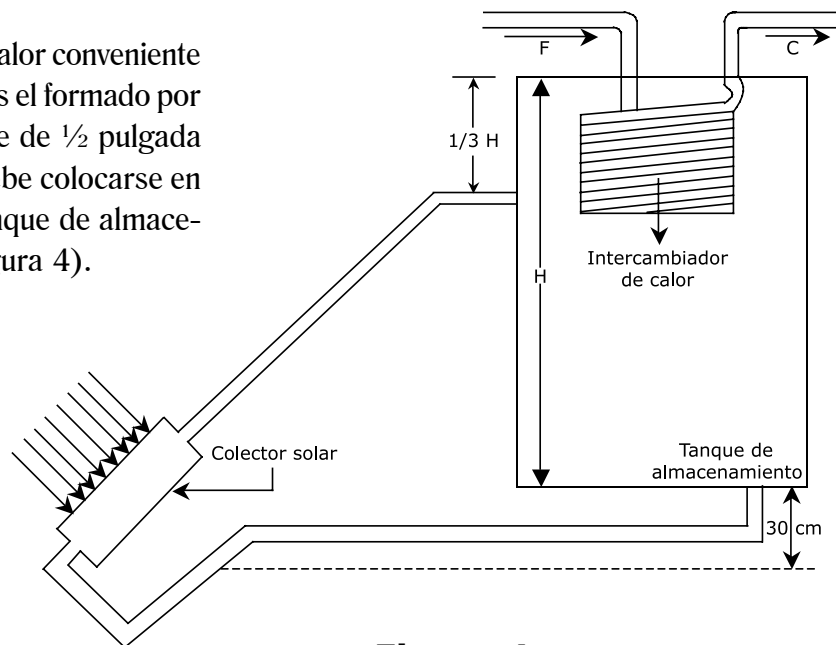
**Figura 2**

Cuando el líquido que circula por los colectores es una solución anticongelante, deberá usarse un intercambiador de calor dentro del tanque de almacenamiento para sacar el calor de éste y poder utilizarlo para calentar agua para uso doméstico o para calentar el aire de una habitación (véase Figura 3).



**Figura 3**

El tipo de intercambiador de calor conveniente para un sistema termosifónico, es el formado por unos 6 metros de tubo de cobre de ½ pulgada con forma de serpentín. Éste debe colocarse en la tercera parte superior del tanque de almacenamiento del líquido (véase Figura 4).



**Figura 4**



# Declinación solar y pendiente de los colectores

En el estudio de los procesos térmicos solares es muy importante el medio de captación de la energía solar, ya que con base en esto se puede diseñar todo un sistema que opere utilizándola y aprovechando el mayor porcentaje posible. Para recolectar la mayor cantidad de energía radiante procedente del sol, es necesario contar con un sistema de colectores que ofrezcan su cara perpendicular a la incidencia de los rayos solares, a la hora en que el sol se encuentra en su posición más alta sobre el meridiano local (12 horas tiempo solar).

La relación geométrica entre un plano con cualquier orientación particular relativa a la Tierra a cualquier hora y la radiación solar incidente, esto es, la posición del sol con respecto a ese plano, se puede describir en términos de algunos ángulos (véase Figura 5).

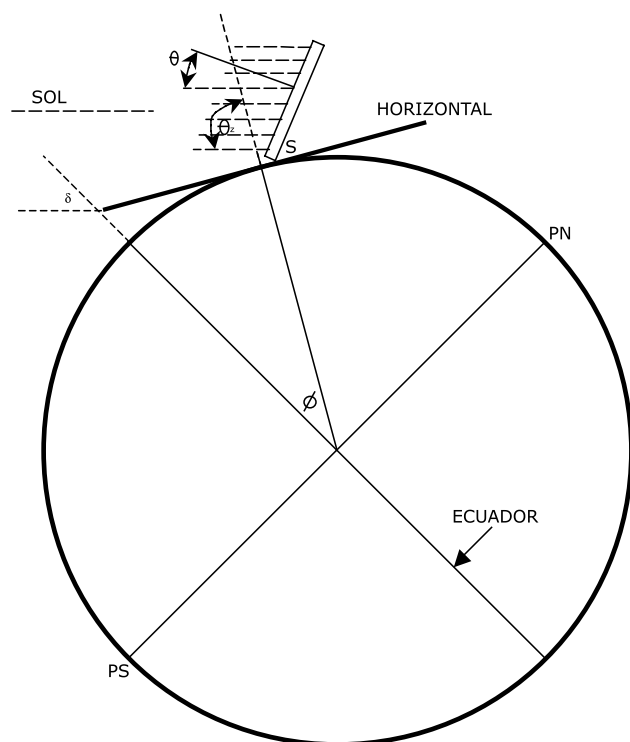


Figura que muestra las definiciones de los ángulos  
 $\phi$   $\delta$   $s$   $\theta$ .

**Figura 5**

Estos ángulos y su definición son los siguientes:

$\phi$  = Latitud (norte positiva).

$\delta$  = Declinación (posición angular del sol al mediodía solar con respecto al plano del ecuador) (norte positiva).

$s$  = El ángulo entre la horizontal y el plano (pendiente).

$\gamma$  = Desviación de la normal a la superficie con respecto al meridiano local, el punto cero corresponde al sur, el este es positivo y el oeste negativo.

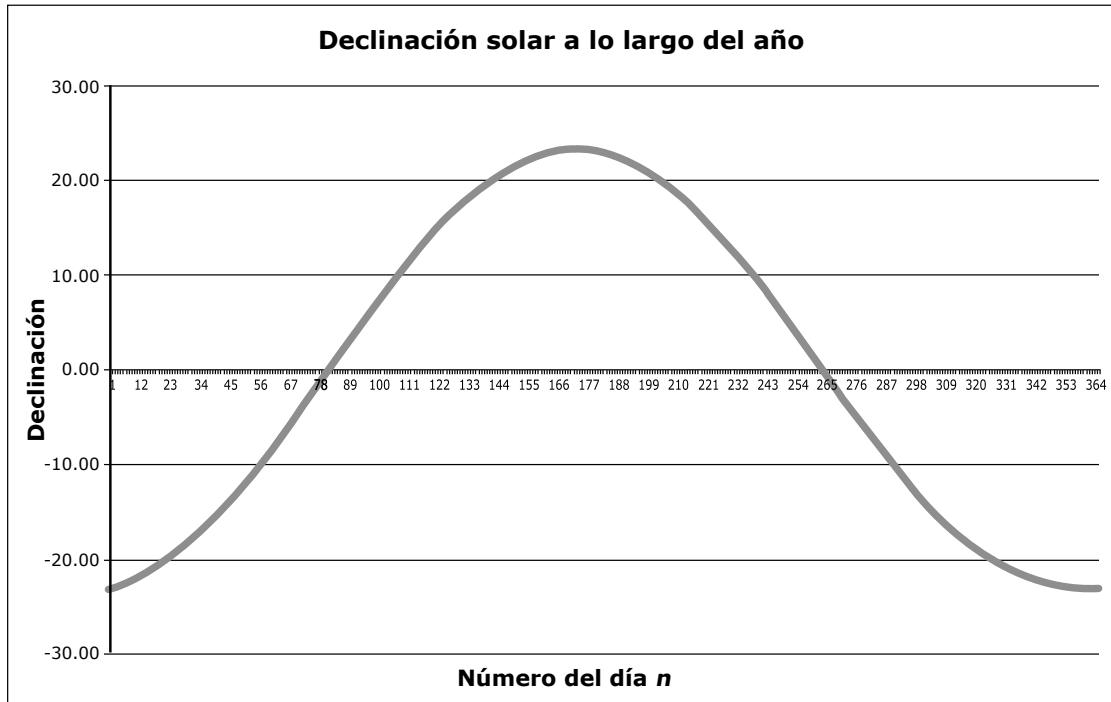
$W$  = Ángulo de la hora, el mediodía solar corresponde al cero, y cada hora es igual a  $15^\circ$  de longitud con las mañanas positivas y las tardes negativas.

$\theta$  = El ángulo de incidencia de la radiación. Este ángulo se mide con respecto a la normal.

La declinación,  $\delta$ , se puede encontrar con la ecuación aproximada de Cooper (1969),

$$\delta(n) = 23.45 \text{sen} \left[ 360 \frac{284 + n}{365} \right]$$

donde  $n$  es el día del año. Véase gráfica en la Figura 6.



**Figura 6**

La relación entre  $\theta$  y los otros ángulos está dada por:

$$\cos \theta = \text{sen} \delta \text{ sen} \varnothing \cos S - \text{sen} \delta \cos \varnothing \text{ sen} S \cos \Upsilon + \cos \delta \cos \varnothing \cos S \cos W + \cos \delta \text{ sen} \varnothing \text{ sen} S \cos \Upsilon \cos W + \cos \delta \text{ sen} S \text{ sen} \Upsilon \text{ sen} W \quad (1)$$

Si consideramos un colector orientado en la dirección norte-sur ( $\Upsilon=0$ ) a las 12 horas tiempo solar ( $W=0$ ) tendremos que

$$\cos \theta = \text{sen} \delta \text{ sen} \varnothing \cos S - \text{sen} \delta \cos \varnothing \text{ sen} S \cos \Upsilon + \cos \delta \cos \varnothing \cos S + \cos \delta \text{ sen} \varnothing \text{ sen} S \cos \Upsilon \quad (2)$$

$$\cos \theta = \text{sen} \delta [\text{sen}(\varnothing - S)] + \text{cos} \delta [\text{cos}(\varnothing - S)] = \text{cos}(\delta + S - \varnothing)$$

$$\theta = \delta + S - \varnothing \quad (3)$$

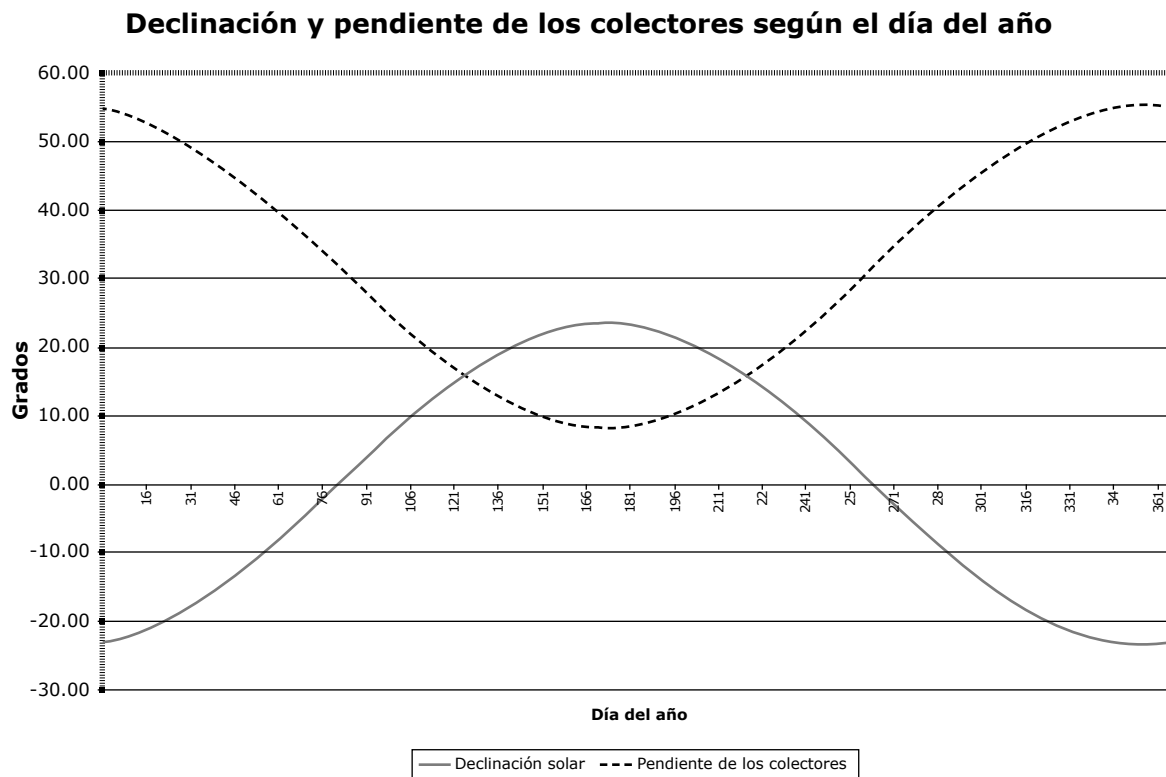
Si lo que deseamos es que la radiación solar incida perpendicularmente sobre el colector tenemos que hacer  $\theta = 0^\circ$  y

$$S = \varnothing - \delta \quad (4)$$

Teniendo en cuenta que la latitud de Ciudad Juárez es de  $31^\circ 39'$  entonces  $\varnothing = 31.65^\circ$  y

$$S(n) = 31.65^\circ - \delta(n) \quad (5)$$

será la fórmula para calcular la pendiente de los colectores para incidencia normal en cualquier día del año. Véase Figura 7 y Tabla 1.



**Figura 7**

**Tabla 3**

Declinación solar y pendiente de los colectores para tener incidencia normal al mediodía solar los días primero y quince de cada mes del año.  
 Ciudad Juárez, Chihuahua

Mes	Día	Declinación (grados)	Pendiente (grados)
Enero	1	-23.01	54.66
	15	-21.26	52.91
Febrero	1	-17.51	49.16
	15	-13.28	44.93
Marzo	1	-8.29	39.94
	15	-2.81	34.46
Abril	1	4.01	27.63
	15	9.41	22.23
Mayo	1	14.9	16.74
	15	18.79	12.85
Junio	1	22.03	9.61
	15	23.31	8.33
Julio	1	23.12	8.52
	15	21.51	10.13
Agosto	1	17.91	13.73
	15	13.78	17.86
Septiembre	1	7.72	23.92
	15	2.21	29.43
Octubre	1	-4.21	35.86
	15	-9.59	41.24
Noviembre	1	-15.36	47.01
	15	-19.14	50.79
Diciembre	1	-22.10	53.75
	15	-23.33	54.98

Otros ángulos suelen definirse, y el más frecuente es  $\theta_z$  = ángulo zenital, ángulo entre el rayo del sol y la vertical.



De la Figura 5 vemos que para superficies horizontales ( $S = 0$ ), tenemos que

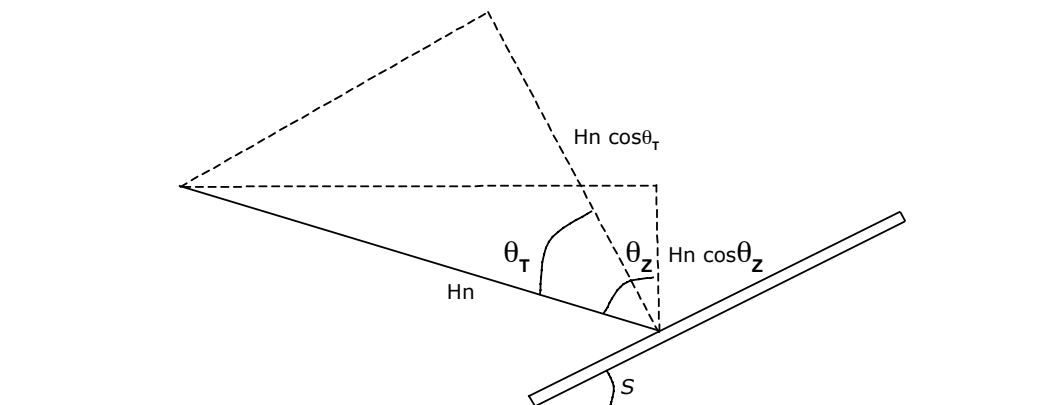
$$\cos \theta_z = \text{sen} \delta \text{ sen} \varnothing + \text{cos} \delta \text{ cos} \varnothing \text{ cos} W \quad (6)$$

Y por lo tanto, cuando se tiene un colector con una cierta pendiente  $S$  la relación que nos da el ángulo con que inciden los rayos solares sobre el colector es

$$\cos \theta_T = \text{sen} \delta \text{ sen}(\varnothing - S) + \text{cos} \delta \text{ cos}(\varnothing - S) \text{ cos} W \quad (7)$$

Por lo tanto, el factor que convierte la radiación sobre la superficie de la Tierra a ésta sobre el plano del colector es

$$R = \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z} \quad (8)$$



**Figura 8**

Al mediodía solar ( $W = 0$ ) y

$$\cos \theta_T = \text{sen} \delta \text{ sen}(\varnothing - S) + \text{cos} \delta \text{ cos}(\varnothing - S) = \text{cos}(\varnothing - S - \delta) \quad (9)$$

Y por lo tanto

$$R = \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z} = \frac{\cos(\varnothing - S - \delta)}{\cos(\varnothing - \delta)} \quad (10)$$

Para el mediodía solar.

En la Tabla 4, se da el valor de la constante multiplicativa  $R$  para todos los días del año a diferentes horas, para un colector inclinado  $45^\circ$  con respecto a la horizontal.

**Enero**

Día	Constante multiplicativa a 45 grados																
	Hora del día																
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17						
1	2.883	2.074	1.829	1.732	1.704	1.732	1.829	2.074	2.883								
2	2.868	2.068	1.825	1.728	1.701	1.728	1.825	2.068	2.868								
3	2.853	2.062	1.821	1.725	1.698	1.725	1.821	2.062	2.853								
4	2.837	2.055	1.816	1.721	1.695	1.721	1.816	2.055	2.837								
5	2.820	2.048	1.812	1.717	1.691	1.717	1.812	2.048	2.820								
6	2.801	2.040	1.807	1.713	1.687	1.713	1.807	2.040	2.801								
7	2.782	2.032	1.801	1.709	1.683	1.709	1.801	2.032	2.782								
8	2.762	2.024	1.796	1.704	1.679	1.704	1.796	2.024	2.762								
9	2.742	2.015	1.790	1.699	1.674	1.699	1.790	2.015	2.742								
10	2.720	2.006	1.784	1.694	1.669	1.694	1.784	2.006	2.720								
11	2.698	1.997	1.777	1.689	1.664	1.689	1.777	1.997	2.698								
12	2.675	1.987	1.771	1.684	1.659	1.684	1.771	1.987	2.675								
13	2.652	1.977	1.764	1.678	1.654	1.678	1.764	1.977	2.652								
14	2.628	1.967	1.757	1.672	1.648	1.672	1.757	1.967	2.628								
15	2.604	1.956	1.750	1.666	1.643	1.666	1.750	1.956	2.604								
16	2.579	1.945	1.742	1.660	1.637	1.660	1.742	1.945	2.579								
17	2.553	1.934	1.735	1.654	1.631	1.654	1.735	1.934	2.553								
18	2.528	1.922	1.727	1.647	1.625	1.647	1.727	1.922	2.528								
19	2.502	1.911	1.719	1.640	1.618	1.640	1.719	1.911	2.502								
20	2.476	1.899	1.710	1.634	1.612	1.634	1.710	1.899	2.476								
21	2.449	1.887	1.702	1.627	1.605	1.627	1.702	1.887	2.449								
22	2.422	1.874	1.694	1.619	1.599	1.619	1.694	1.874	2.422								
23	2.395	1.862	1.685	1.612	1.592	1.612	1.685	1.862	2.395								
24	2.368	1.849	1.676	1.605	1.585	1.605	1.676	1.849	2.368								
25	2.341	1.837	1.667	1.597	1.578	1.597	1.667	1.837	2.341								
26	2.314	1.824	1.658	1.590	1.570	1.590	1.658	1.824	2.314								
27	2.287	1.811	1.649	1.582	1.563	1.582	1.649	1.811	2.287								
28	2.260	1.797	1.640	1.574	1.556	1.574	1.640	1.797	2.260								
29	2.232	1.784	1.630	1.566	1.548	1.566	1.630	1.784	2.232								
30	2.205	1.771	1.621	1.558	1.541	1.558	1.621	1.771	2.205								
31	2.178	1.757	1.611	1.550	1.533	1.550	1.611	1.757	2.178								

**Tabla 4**

**Febrero**

Constante multiplicativa a 45 grados																
Día	Hora del día															
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17					
1		2.151	1.744	1.602	1.542	1.525	1.542	1.602	1.744	2.151						
2		2.124	1.730	1.592	1.534	1.518	1.534	1.592	1.730	2.124						
3		2.098	1.717	1.582	1.526	1.510	1.526	1.582	1.717	2.098						
4		2.071	1.703	1.572	1.517	1.502	1.517	1.572	1.703	2.071						
5		2.045	1.689	1.563	1.509	1.494	1.509	1.563	1.689	2.045						
6		2.018	1.676	1.553	1.501	1.486	1.501	1.553	1.676	2.018						
7		1.992	1.662	1.543	1.492	1.478	1.492	1.543	1.662	1.992						
8		1.967	1.648	1.533	1.484	1.470	1.484	1.533	1.648	1.967						
9		1.941	1.635	1.523	1.475	1.462	1.475	1.523	1.635	1.941						
10		1.916	1.621	1.513	1.467	1.454	1.467	1.513	1.621	1.916						
11		1.891	1.607	1.503	1.458	1.445	1.458	1.503	1.607	1.891						
12		1.866	1.594	1.493	1.450	1.437	1.450	1.493	1.594	1.866						
13		1.841	1.580	1.483	1.441	1.429	1.441	1.483	1.580	1.841						
14		1.817	1.567	1.473	1.432	1.421	1.432	1.473	1.567	1.817						
15		1.793	1.553	1.463	1.424	1.413	1.424	1.463	1.553	1.793						
16		1.770	1.540	1.453	1.415	1.405	1.415	1.453	1.540	1.770						
17		1.746	1.527	1.443	1.407	1.396	1.407	1.443	1.527	1.746						
18		1.723	1.513	1.433	1.398	1.388	1.398	1.433	1.513	1.723						
19		1.700	1.500	1.423	1.390	1.380	1.390	1.423	1.500	1.700						
20		1.678	1.487	1.413	1.381	1.372	1.381	1.413	1.487	1.678						
21		1.656	1.474	1.403	1.373	1.364	1.373	1.403	1.474	1.656						
22		1.634	1.461	1.394	1.364	1.356	1.364	1.394	1.461	1.634						
23		1.612	1.448	1.384	1.356	1.347	1.356	1.384	1.448	1.612						
24		1.591	1.436	1.374	1.347	1.339	1.347	1.374	1.436	1.591						
25		1.570	1.423	1.364	1.339	1.331	1.339	1.364	1.423	1.570						
26		1.550	1.410	1.355	1.330	1.323	1.330	1.355	1.410	1.550						
27		1.529	1.398	1.345	1.322	1.315	1.322	1.345	1.398	1.529						
28		1.509	1.386	1.336	1.314	1.307	1.314	1.336	1.386	1.509						

**Tabla 4**

**Marzo**

**Constante multiplicativa a 45 grados**

Día	Hora del día																
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17						
1	1.490	1.373	1.326	1.305	1.299	1.299	1.305	1.326	1.373	1.490							
2	1.470	1.361	1.317	1.297	1.291	1.291	1.297	1.317	1.361	1.470							
3	1.451	1.349	1.307	1.289	1.283	1.283	1.289	1.307	1.349	1.451							
4	1.433	1.337	1.298	1.281	1.276	1.276	1.281	1.298	1.337	1.433							
5	1.414	1.326	1.289	1.273	1.268	1.268	1.273	1.289	1.326	1.414							
6	1.396	1.314	1.280	1.265	1.260	1.260	1.265	1.280	1.314	1.396							
7	1.378	1.302	1.271	1.257	1.252	1.252	1.257	1.271	1.302	1.378							
8	1.360	1.291	1.262	1.249	1.245	1.245	1.249	1.262	1.291	1.360							
9	1.343	1.279	1.253	1.241	1.237	1.237	1.241	1.253	1.279	1.343							
10	1.326	1.268	1.244	1.233	1.230	1.230	1.233	1.244	1.268	1.326							
11	1.309	1.257	1.235	1.225	1.222	1.222	1.225	1.235	1.257	1.309							
12	1.293	1.246	1.226	1.217	1.215	1.215	1.217	1.226	1.246	1.293							
13	1.277	1.235	1.218	1.210	1.207	1.207	1.210	1.218	1.235	1.277							
14	1.261	1.225	1.209	1.202	1.200	1.200	1.202	1.209	1.225	1.261							
15	1.245	1.214	1.200	1.194	1.193	1.193	1.194	1.200	1.214	1.245							
16	1.230	1.203	1.192	1.187	1.185	1.185	1.187	1.192	1.203	1.230							
17	1.215	1.193	1.184	1.179	1.178	1.178	1.179	1.184	1.193	1.215							
18	1.200	1.183	1.175	1.172	1.171	1.171	1.172	1.175	1.183	1.200							
19	1.185	1.173	1.167	1.165	1.164	1.164	1.165	1.167	1.173	1.185							
20	1.171	1.163	1.159	1.157	1.157	1.157	1.157	1.159	1.163	1.171							
21	1.170	1.157	1.151	1.150	1.150	1.150	1.150	1.151	1.157	1.170							
22	1.143	1.143	1.143	1.143	1.143	1.143	1.143	1.143	1.143	1.143							
23	1.117	1.129	1.133	1.135	1.136	1.136	1.136	1.135	1.133	1.117							
24	1.092	1.116	1.124	1.127	1.129	1.129	1.129	1.127	1.124	1.092							
25	1.067	1.103	1.114	1.120	1.122	1.123	1.122	1.120	1.114	1.067							
26	1.043	1.090	1.105	1.112	1.115	1.116	1.115	1.112	1.105	1.043							
27	1.021	1.077	1.096	1.104	1.108	1.109	1.108	1.104	1.096	1.021							
28	0.998	1.065	1.087	1.097	1.101	1.103	1.101	1.097	1.087	0.998							
29	0.977	1.052	1.078	1.089	1.095	1.096	1.095	1.089	1.078	0.977							
30	0.956	1.040	1.069	1.082	1.088	1.090	1.088	1.082	1.069	0.956							
31	0.936	1.028	1.060	1.075	1.082	1.084	1.082	1.075	1.060	0.936							

**Tabla 4**

**Abril**  
**Constante multiplicativa a 45 grados**

Dia	Hora del día																
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17						
1	0.916	1.017	1.052	1.068	1.075	1.077	1.075	1.068	1.052	1.017	0.916						
2	0.897	1.005	1.043	1.061	1.069	1.071	1.069	1.061	1.043	1.005	0.897						
3	0.879	0.994	1.035	1.054	1.062	1.065	1.062	1.054	1.035	0.994	0.879						
4	0.861	0.983	1.027	1.047	1.056	1.059	1.056	1.047	1.027	0.983	0.861						
5	0.843	0.972	1.018	1.040	1.050	1.053	1.050	1.040	1.018	0.972	0.843						
6	0.827	0.962	1.010	1.033	1.044	1.047	1.044	1.033	1.010	0.962	0.827						
7	0.810	0.951	1.002	1.026	1.038	1.041	1.038	1.026	1.002	0.951	0.810						
8	0.794	0.941	0.995	1.020	1.032	1.035	1.032	1.020	0.995	0.941	0.794						
9	0.779	0.931	0.987	1.013	1.026	1.029	1.026	1.013	0.987	0.931	0.779						
10	0.764	0.921	0.979	1.007	1.020	1.024	1.020	1.007	0.979	0.921	0.764						
11	0.749	0.911	0.972	1.000	1.014	1.018	1.014	1.000	0.972	0.911	0.749						
12	0.735	0.902	0.964	0.994	1.008	1.012	1.008	0.994	0.964	0.902	0.735						
13	0.721	0.892	0.957	0.988	1.003	1.007	1.003	0.988	0.957	0.892	0.721						
14	0.708	0.883	0.950	0.982	0.997	1.002	0.997	0.982	0.950	0.883	0.708						
15	0.695	0.874	0.943	0.976	0.991	0.996	0.991	0.976	0.943	0.874	0.695						
16	0.682	0.865	0.936	0.970	0.986	0.991	0.986	0.970	0.936	0.865	0.682						
17	0.670	0.857	0.929	0.964	0.981	0.986	0.981	0.964	0.929	0.857	0.670						
18	0.658	0.848	0.923	0.958	0.975	0.981	0.975	0.958	0.923	0.848	0.658						
19	0.646	0.840	0.916	0.953	0.970	0.975	0.970	0.953	0.916	0.840	0.646						
20	0.635	0.832	0.909	0.947	0.965	0.970	0.965	0.947	0.909	0.832	0.635						
21	0.624	0.824	0.903	0.941	0.960	0.965	0.960	0.941	0.903	0.824	0.624						
22	0.613	0.816	0.897	0.936	0.955	0.961	0.955	0.936	0.897	0.816	0.613						
23	0.603	0.808	0.891	0.931	0.950	0.956	0.950	0.931	0.891	0.808	0.603						
24	0.593	0.801	0.885	0.925	0.945	0.951	0.945	0.925	0.885	0.801	0.593						
25	0.583	0.793	0.879	0.920	0.940	0.946	0.940	0.920	0.879	0.793	0.583						
26	0.573	0.786	0.873	0.915	0.936	0.942	0.936	0.915	0.873	0.786	0.573						
27	0.564	0.779	0.867	0.910	0.931	0.937	0.931	0.910	0.867	0.779	0.564						
28	0.555	0.772	0.861	0.905	0.926	0.933	0.926	0.905	0.861	0.772	0.555						
29	0.546	0.765	0.856	0.900	0.922	0.928	0.922	0.900	0.856	0.765	0.546						
30	0.537	0.758	0.850	0.896	0.918	0.924	0.918	0.896	0.850	0.758	0.537						

**Tabla 4**

**Mayo**

Constante multiplicativa a 45 grados																
Día	Hora del día															
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17					
1	0.529	0.752	0.845	0.891	0.913	0.920	0.913	0.891	0.845	0.752	0.529					
2	0.521	0.746	0.840	0.886	0.909	0.916	0.909	0.886	0.840	0.746	0.521					
3	0.513	0.739	0.835	0.882	0.905	0.912	0.905	0.882	0.835	0.739	0.513					
4	0.505	0.733	0.829	0.877	0.901	0.908	0.901	0.877	0.829	0.733	0.505					
5	0.498	0.727	0.825	0.873	0.897	0.904	0.897	0.873	0.825	0.727	0.498					
6	0.491	0.721	0.820	0.869	0.893	0.900	0.893	0.869	0.820	0.721	0.491					
7	0.484	0.716	0.815	0.865	0.889	0.896	0.889	0.865	0.815	0.716	0.484					
8	0.477	0.710	0.810	0.860	0.885	0.892	0.885	0.860	0.810	0.710	0.477					
9	0.470	0.705	0.806	0.857	0.881	0.889	0.881	0.857	0.806	0.705	0.470					
10	0.464	0.700	0.801	0.853	0.878	0.885	0.878	0.853	0.801	0.700	0.464					
11	0.457	0.694	0.797	0.849	0.874	0.882	0.874	0.849	0.797	0.694	0.457					
12	0.451	0.689	0.793	0.845	0.871	0.878	0.871	0.845	0.793	0.689	0.451					
13	0.446	0.685	0.789	0.841	0.867	0.875	0.867	0.841	0.789	0.685	0.446					
14	0.440	0.680	0.785	0.838	0.864	0.872	0.864	0.838	0.785	0.680	0.440					
15	0.434	0.675	0.781	0.834	0.861	0.869	0.861	0.834	0.781	0.675	0.434					
16	0.429	0.671	0.777	0.831	0.857	0.865	0.857	0.831	0.777	0.671	0.429					
17	0.424	0.666	0.773	0.828	0.854	0.862	0.854	0.828	0.773	0.666	0.424					
18	0.419	0.662	0.770	0.824	0.851	0.859	0.851	0.824	0.770	0.662	0.419					
19	0.414	0.658	0.766	0.821	0.848	0.857	0.848	0.821	0.766	0.658	0.414					
20	0.409	0.654	0.763	0.818	0.846	0.854	0.846	0.818	0.763	0.654	0.409					
21	0.405	0.650	0.760	0.815	0.843	0.851	0.843	0.815	0.760	0.650	0.405					
22	0.401	0.646	0.756	0.812	0.840	0.849	0.840	0.812	0.756	0.646	0.401					
23	0.397	0.643	0.753	0.810	0.838	0.846	0.838	0.810	0.753	0.643	0.397					
24	0.392	0.639	0.750	0.807	0.835	0.844	0.835	0.807	0.750	0.639	0.392					
25	0.389	0.636	0.747	0.804	0.833	0.841	0.833	0.804	0.747	0.636	0.389					
26	0.385	0.633	0.745	0.802	0.830	0.839	0.830	0.802	0.745	0.633	0.385					
27	0.381	0.630	0.742	0.800	0.828	0.837	0.828	0.800	0.742	0.630	0.381					
28	0.378	0.627	0.739	0.797	0.826	0.835	0.826	0.797	0.739	0.627	0.378					
29	0.375	0.624	0.737	0.795	0.824	0.832	0.824	0.795	0.737	0.624	0.375					
30	0.372	0.621	0.734	0.793	0.822	0.831	0.822	0.793	0.734	0.621	0.372					
31	0.369	0.618	0.732	0.791	0.820	0.829	0.820	0.791	0.732	0.618	0.369					

**Tabla 4**

**Junio**  
**Constante multiplicativa a 45 grados**

Día	Hora del día															
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17					
1	0.366	0.616	0.730	0.789	0.818	0.827	0.818	0.789	0.730	0.616	0.366					
2	0.363	0.614	0.728	0.787	0.816	0.825	0.816	0.787	0.728	0.614	0.363					
3	0.361	0.611	0.726	0.785	0.815	0.824	0.815	0.785	0.726	0.611	0.361					
4	0.358	0.609	0.724	0.784	0.813	0.822	0.813	0.784	0.724	0.609	0.358					
5	0.356	0.607	0.722	0.782	0.812	0.821	0.812	0.782	0.722	0.607	0.356					
6	0.354	0.605	0.721	0.781	0.810	0.819	0.810	0.781	0.721	0.605	0.354					
7	0.352	0.604	0.719	0.779	0.809	0.818	0.809	0.779	0.719	0.604	0.352					
8	0.350	0.602	0.718	0.778	0.808	0.817	0.808	0.778	0.718	0.602	0.350					
9	0.348	0.600	0.716	0.777	0.806	0.816	0.806	0.777	0.716	0.600	0.348					
10	0.347	0.599	0.715	0.776	0.805	0.815	0.805	0.776	0.715	0.599	0.347					
11	0.346	0.598	0.714	0.774	0.804	0.814	0.804	0.774	0.714	0.598	0.346					
12	0.344	0.597	0.713	0.774	0.804	0.813	0.804	0.774	0.713	0.597	0.344					
13	0.343	0.595	0.712	0.773	0.803	0.812	0.803	0.773	0.712	0.595	0.343					
14	0.342	0.595	0.711	0.772	0.802	0.811	0.802	0.772	0.711	0.595	0.342					
15	0.341	0.594	0.711	0.771	0.802	0.811	0.802	0.771	0.711	0.594	0.341					
16	0.340	0.593	0.710	0.771	0.801	0.810	0.801	0.771	0.710	0.593	0.340					
17	0.340	0.592	0.710	0.770	0.801	0.810	0.801	0.770	0.710	0.592	0.340					
18	0.339	0.592	0.709	0.770	0.800	0.809	0.800	0.770	0.709	0.592	0.339					
19	0.339	0.592	0.709	0.770	0.800	0.809	0.800	0.770	0.709	0.592	0.339					
20	0.339	0.591	0.709	0.770	0.800	0.809	0.800	0.770	0.709	0.591	0.339					
21	0.339	0.591	0.709	0.770	0.800	0.809	0.800	0.770	0.709	0.591	0.339					
22	0.339	0.591	0.709	0.770	0.800	0.809	0.800	0.770	0.709	0.591	0.339					
23	0.339	0.592	0.709	0.770	0.800	0.809	0.800	0.770	0.709	0.592	0.339					
24	0.339	0.592	0.709	0.770	0.800	0.809	0.800	0.770	0.709	0.592	0.339					
25	0.340	0.592	0.709	0.770	0.800	0.810	0.800	0.770	0.709	0.592	0.340					
26	0.340	0.593	0.710	0.771	0.801	0.810	0.801	0.771	0.710	0.593	0.340					
27	0.341	0.593	0.710	0.771	0.801	0.810	0.801	0.771	0.710	0.593	0.341					
28	0.342	0.594	0.711	0.772	0.802	0.811	0.802	0.772	0.711	0.594	0.342					
29	0.343	0.595	0.712	0.772	0.802	0.812	0.802	0.772	0.712	0.595	0.343					
30	0.344	0.596	0.713	0.773	0.803	0.812	0.803	0.773	0.713	0.596	0.344					

**Tabla 4**

**Julio**

		Constante multiplicativa a 45 grados													
		Hora del día													
Día	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17				
1	0.345	0.597	0.714	0.774	0.804	0.813	0.804	0.774	0.714	0.597	0.345				
2	0.346	0.598	0.715	0.775	0.805	0.814	0.805	0.775	0.715	0.598	0.346				
3	0.348	0.600	0.716	0.776	0.806	0.815	0.806	0.776	0.716	0.600	0.348				
4	0.349	0.601	0.717	0.777	0.807	0.816	0.807	0.777	0.717	0.601	0.349				
5	0.351	0.603	0.719	0.778	0.808	0.817	0.808	0.778	0.719	0.603	0.351				
6	0.353	0.604	0.720	0.780	0.809	0.818	0.809	0.780	0.720	0.604	0.353				
7	0.355	0.606	0.722	0.781	0.811	0.820	0.811	0.781	0.722	0.606	0.355				
8	0.357	0.608	0.723	0.783	0.812	0.821	0.812	0.783	0.723	0.608	0.357				
9	0.360	0.610	0.725	0.784	0.814	0.823	0.814	0.784	0.725	0.610	0.360				
10	0.362	0.612	0.727	0.786	0.815	0.824	0.815	0.786	0.727	0.612	0.362				
11	0.365	0.615	0.729	0.788	0.817	0.826	0.817	0.788	0.729	0.615	0.365				
12	0.367	0.617	0.731	0.790	0.819	0.828	0.819	0.790	0.731	0.617	0.367				
13	0.370	0.620	0.733	0.792	0.821	0.830	0.821	0.792	0.733	0.620	0.370				
14	0.373	0.622	0.736	0.794	0.823	0.831	0.823	0.794	0.736	0.622	0.373				
15	0.376	0.625	0.738	0.796	0.825	0.833	0.825	0.796	0.738	0.625	0.376				
16	0.380	0.628	0.741	0.798	0.827	0.836	0.827	0.798	0.741	0.628	0.380				
17	0.383	0.631	0.743	0.801	0.829	0.838	0.829	0.801	0.743	0.631	0.383				
18	0.387	0.634	0.746	0.803	0.831	0.840	0.831	0.803	0.746	0.634	0.387				
19	0.391	0.638	0.749	0.806	0.834	0.842	0.834	0.806	0.749	0.638	0.391				
20	0.394	0.641	0.752	0.808	0.836	0.845	0.836	0.808	0.752	0.641	0.394				
21	0.399	0.645	0.755	0.811	0.839	0.847	0.839	0.811	0.755	0.645	0.399				
22	0.403	0.648	0.758	0.814	0.841	0.850	0.841	0.814	0.758	0.648	0.403				
23	0.407	0.652	0.761	0.817	0.844	0.852	0.844	0.817	0.761	0.652	0.407				
24	0.412	0.656	0.765	0.820	0.847	0.855	0.847	0.820	0.765	0.656	0.412				
25	0.416	0.660	0.768	0.823	0.850	0.858	0.850	0.823	0.768	0.660	0.416				
26	0.421	0.664	0.772	0.826	0.853	0.861	0.853	0.826	0.772	0.664	0.421				
27	0.426	0.668	0.775	0.829	0.856	0.864	0.856	0.829	0.775	0.668	0.426				
28	0.432	0.673	0.779	0.833	0.859	0.867	0.859	0.833	0.779	0.673	0.432				
29	0.437	0.677	0.783	0.836	0.862	0.870	0.862	0.836	0.783	0.677	0.437				
30	0.443	0.682	0.787	0.840	0.865	0.873	0.865	0.840	0.787	0.682	0.443				
31	0.448	0.687	0.791	0.843	0.869	0.877	0.869	0.843	0.791	0.687	0.448				

**Tabla 4**



**Agosto**

Constante multiplicativa a 45 grados																
Día	Hora del día															
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17					
1	0.454	0.692	0.795	0.847	0.872	0.880	0.872	0.847	0.795	0.692	0.454					
2	0.461	0.697	0.799	0.851	0.876	0.883	0.876	0.851	0.799	0.697	0.461					
3	0.467	0.702	0.804	0.855	0.879	0.887	0.879	0.855	0.804	0.702	0.467					
4	0.473	0.708	0.808	0.858	0.883	0.891	0.883	0.858	0.808	0.708	0.473					
5	0.480	0.713	0.813	0.863	0.887	0.894	0.887	0.863	0.813	0.713	0.480					
6	0.487	0.719	0.817	0.867	0.891	0.898	0.891	0.867	0.817	0.719	0.487					
7	0.494	0.724	0.822	0.871	0.895	0.902	0.895	0.871	0.822	0.724	0.494					
8	0.502	0.730	0.827	0.875	0.899	0.906	0.899	0.875	0.827	0.730	0.502					
9	0.509	0.736	0.832	0.880	0.903	0.910	0.903	0.880	0.832	0.736	0.509					
10	0.517	0.742	0.837	0.884	0.907	0.914	0.907	0.884	0.837	0.742	0.517					
11	0.525	0.749	0.842	0.889	0.911	0.918	0.911	0.889	0.842	0.749	0.525					
12	0.533	0.755	0.848	0.893	0.915	0.922	0.915	0.893	0.848	0.755	0.533					
13	0.542	0.762	0.853	0.898	0.920	0.926	0.920	0.898	0.853	0.762	0.542					
14	0.550	0.769	0.858	0.903	0.924	0.931	0.924	0.903	0.858	0.769	0.550					
15	0.559	0.775	0.864	0.908	0.929	0.935	0.929	0.908	0.864	0.775	0.559					
16	0.568	0.782	0.870	0.913	0.933	0.940	0.933	0.913	0.870	0.782	0.568					
17	0.578	0.790	0.876	0.918	0.938	0.944	0.938	0.918	0.876	0.790	0.578					
18	0.588	0.797	0.882	0.923	0.943	0.949	0.943	0.923	0.882	0.797	0.588					
19	0.598	0.804	0.888	0.928	0.948	0.953	0.948	0.928	0.888	0.804	0.598					
20	0.608	0.812	0.894	0.933	0.952	0.958	0.952	0.933	0.894	0.812	0.608					
21	0.618	0.820	0.900	0.939	0.957	0.963	0.957	0.939	0.900	0.820	0.618					
22	0.629	0.828	0.906	0.944	0.962	0.968	0.962	0.944	0.906	0.828	0.629					
23	0.641	0.836	0.913	0.950	0.968	0.973	0.968	0.950	0.913	0.836	0.641					
24	0.652	0.844	0.919	0.955	0.973	0.978	0.973	0.955	0.919	0.844	0.652					
25	0.664	0.853	0.926	0.961	0.978	0.983	0.978	0.961	0.926	0.853	0.664					
26	0.676	0.861	0.933	0.967	0.983	0.988	0.983	0.967	0.933	0.861	0.676					
27	0.688	0.870	0.940	0.973	0.989	0.994	0.989	0.973	0.940	0.870	0.688					
28	0.701	0.879	0.947	0.979	0.994	0.999	0.994	0.979	0.947	0.879	0.701					
29	0.715	0.888	0.954	0.985	1.000	1.004	1.000	0.985	0.954	0.888	0.715					
30	0.728	0.897	0.961	0.991	1.005	1.010	1.005	0.991	0.961	0.897	0.728					
31	0.742	0.907	0.968	0.997	1.011	1.015	1.011	0.997	0.968	0.907	0.742					

**Tabla 4**

**Septiembre**

**Constante multiplicativa a 45 grados**

Día	Hora del día										
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0.756	0.916	0.976	1.004	1.017	1.021	1.017	1.004	0.976	0.916	0.756
2	0.771	0.926	0.983	1.010	1.023	1.026	1.023	1.010	0.983	0.926	0.771
3	0.787	0.936	0.991	1.016	1.029	1.032	1.029	1.016	0.991	0.936	0.787
4	0.802	0.946	0.999	1.023	1.035	1.038	1.035	1.023	0.999	0.946	0.802
5	0.818	0.956	1.006	1.030	1.041	1.044	1.041	1.030	1.006	0.956	0.818
6	0.835	0.967	1.014	1.036	1.047	1.050	1.047	1.036	1.014	0.967	0.835
7	0.852	0.978	1.022	1.043	1.053	1.056	1.053	1.043	1.022	0.978	0.852
8	0.870	0.989	1.031	1.050	1.059	1.062	1.059	1.050	1.031	0.989	0.870
9	0.888	1.000	1.039	1.057	1.065	1.068	1.065	1.057	1.039	1.000	0.888
10	0.907	1.011	1.047	1.064	1.072	1.074	1.072	1.064	1.047	1.011	0.907
11	0.926	1.023	1.056	1.071	1.078	1.080	1.078	1.071	1.056	1.023	0.926
12	0.946	1.034	1.065	1.078	1.085	1.087	1.085	1.078	1.065	1.034	0.946
13	0.966	1.046	1.073	1.086	1.091	1.093	1.091	1.086	1.073	1.046	0.966
14	0.988	1.059	1.082	1.093	1.098	1.100	1.098	1.093	1.082	1.059	0.988
15	1.009	1.071	1.091	1.101	1.105	1.106	1.105	1.101	1.091	1.071	1.009
16	1.032	1.083	1.100	1.108	1.112	1.113	1.112	1.108	1.100	1.083	1.032
17	1.055	1.096	1.110	1.116	1.118	1.119	1.118	1.116	1.110	1.096	1.055
18	1.079	1.109	1.119	1.123	1.125	1.126	1.125	1.123	1.119	1.109	1.079
19	1.104	1.123	1.129	1.131	1.132	1.133	1.132	1.131	1.129	1.123	1.104
20	1.130	1.136	1.138	1.139	1.139	1.140	1.139	1.139	1.138	1.136	1.130
21	1.156	1.150	1.148	1.147	1.147	1.146	1.147	1.147	1.148	1.150	1.156
22		1.164	1.158	1.155	1.154	1.153	1.154	1.155	1.158	1.164	
23		1.178	1.168	1.163	1.161	1.160	1.161	1.163	1.168	1.178	
24		1.193	1.178	1.171	1.168	1.167	1.168	1.171	1.178	1.193	
25		1.207	1.188	1.180	1.176	1.175	1.176	1.180	1.188	1.207	
26		1.222	1.198	1.188	1.183	1.182	1.183	1.188	1.198	1.222	
27		1.238	1.209	1.196	1.191	1.189	1.191	1.196	1.209	1.238	
28		1.253	1.219	1.205	1.198	1.196	1.198	1.205	1.219	1.253	
29		1.269	1.230	1.213	1.206	1.204	1.206	1.213	1.230	1.269	
30		1.285	1.241	1.222	1.213	1.211	1.213	1.222	1.241	1.285	

**Tabla 4**

**Octubre**

Constante multiplicativa a 45 grados																
Día	Hora del día															
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17					
1	1.301	1.252	1.231	1.221	1.218	1.218	1.221	1.231	1.252	1.301						
2	1.318	1.263	1.239	1.229	1.226	1.226	1.229	1.239	1.263	1.318						
3	1.335	1.274	1.248	1.237	1.233	1.233	1.237	1.248	1.274	1.335						
4	1.352	1.285	1.257	1.245	1.241	1.241	1.245	1.257	1.285	1.352						
5	1.369	1.297	1.266	1.253	1.249	1.249	1.253	1.266	1.297	1.369						
6	1.387	1.308	1.275	1.261	1.256	1.256	1.261	1.275	1.308	1.387						
7	1.405	1.320	1.284	1.269	1.264	1.264	1.269	1.284	1.320	1.405						
8	1.423	1.331	1.294	1.277	1.272	1.272	1.277	1.294	1.331	1.423						
9	1.442	1.343	1.303	1.285	1.280	1.280	1.285	1.303	1.343	1.442						
10	1.461	1.355	1.312	1.293	1.287	1.287	1.293	1.312	1.355	1.461						
11	1.480	1.367	1.322	1.301	1.295	1.295	1.301	1.322	1.367	1.480						
12	1.500	1.380	1.331	1.309	1.303	1.303	1.309	1.331	1.380	1.500						
13	1.519	1.392	1.340	1.318	1.311	1.311	1.318	1.340	1.392	1.519						
14	1.540	1.404	1.350	1.326	1.319	1.319	1.326	1.350	1.404	1.540						
15	1.560	1.417	1.360	1.335	1.327	1.327	1.335	1.360	1.417	1.560						
16	1.581	1.429	1.369	1.343	1.335	1.335	1.343	1.369	1.429	1.581						
17	1.602	1.442	1.379	1.351	1.343	1.343	1.351	1.379	1.442	1.602						
18	1.623	1.455	1.389	1.360	1.351	1.351	1.360	1.389	1.455	1.623						
19	1.645	1.468	1.399	1.368	1.360	1.360	1.368	1.399	1.468	1.645						
20	1.667	1.481	1.408	1.377	1.368	1.368	1.377	1.408	1.481	1.667						
21	1.689	1.494	1.418	1.385	1.376	1.376	1.385	1.418	1.494	1.689						
22	1.712	1.507	1.428	1.394	1.384	1.384	1.394	1.428	1.507	1.712						
23	1.735	1.520	1.438	1.402	1.392	1.392	1.402	1.438	1.520	1.735						
24	1.758	1.533	1.448	1.411	1.400	1.400	1.411	1.448	1.533	1.758						
25	1.781	1.547	1.458	1.420	1.409	1.409	1.420	1.458	1.547	1.781						
26	1.805	1.560	1.468	1.428	1.417	1.417	1.428	1.468	1.560	1.805						
27	1.829	1.574	1.478	1.437	1.425	1.425	1.437	1.478	1.574	1.829						
28	1.854	1.587	1.488	1.445	1.433	1.433	1.445	1.488	1.587	1.854						
29	1.878	1.601	1.498	1.454	1.441	1.441	1.454	1.498	1.601	1.878						
30	1.903	1.614	1.508	1.463	1.450	1.450	1.463	1.508	1.614	1.903						
31	1.928	1.628	1.518	1.471	1.458	1.458	1.471	1.518	1.628	1.928						

**Tabla 4**

**Noviembre**

Día	Constante multiplicativa a 45 grados															
	Hora del día															
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17					
1		1.954	1.642	1.528	1.480	1.466	1.480	1.528	1.642	1.954						
2		1.980	1.655	1.538	1.488	1.474	1.488	1.538	1.655	1.980						
3		2.005	1.669	1.548	1.497	1.482	1.497	1.548	1.669	2.005						
4		2.032	1.683	1.558	1.505	1.490	1.505	1.558	1.683	2.032						
5		2.058	1.696	1.567	1.513	1.498	1.513	1.567	1.696	2.058						
6		2.084	1.710	1.577	1.522	1.506	1.522	1.577	1.710	2.084						
7		2.111	1.723	1.587	1.530	1.514	1.530	1.587	1.723	2.111						
8		2.138	1.737	1.597	1.538	1.521	1.538	1.597	1.737	2.138						
9		2.165	1.751	1.606	1.546	1.529	1.546	1.606	1.751	2.165						
10		2.192	1.764	1.616	1.554	1.537	1.554	1.616	1.764	2.192						
11		2.219	1.777	1.626	1.562	1.544	1.562	1.626	1.777	2.219						
12		2.246	1.791	1.635	1.570	1.552	1.570	1.635	1.791	2.246						
13		2.273	1.804	1.644	1.578	1.559	1.578	1.644	1.804	2.273						
14		2.301	1.817	1.654	1.586	1.567	1.586	1.654	1.817	2.301						
15		2.328	1.830	1.663	1.594	1.574	1.594	1.663	1.830	2.328						
16		2.355	1.843	1.672	1.601	1.581	1.601	1.672	1.843	2.355						
17		2.382	1.856	1.681	1.609	1.588	1.609	1.681	1.856	2.382						
18		2.409	1.868	1.689	1.616	1.595	1.616	1.689	1.868	2.409						
19		2.436	1.881	1.698	1.623	1.602	1.623	1.698	1.881	2.436						
20		2.462	1.893	1.706	1.630	1.609	1.630	1.706	1.893	2.462						
21		2.489	1.905	1.715	1.637	1.615	1.637	1.715	1.905	2.489						
22		2.515	1.917	1.723	1.644	1.622	1.644	1.723	1.917	2.515						
23		2.541	1.928	1.731	1.650	1.628	1.650	1.731	1.928	2.541						
24		2.566	1.940	1.738	1.657	1.634	1.657	1.738	1.940	2.566						
25		2.591	1.951	1.746	1.663	1.640	1.663	1.746	1.951	2.591						
26		2.616	1.961	1.753	1.669	1.646	1.669	1.753	1.961	2.616						
27		2.640	1.972	1.760	1.675	1.651	1.675	1.760	1.972	2.640						
28		2.664	1.982	1.767	1.681	1.657	1.681	1.767	1.982	2.664						
29		2.687	1.992	1.774	1.686	1.662	1.686	1.774	1.992	2.687						
30		2.709	2.002	1.781	1.692	1.667	1.692	1.781	2.002	2.709						

**Tabla 4**

**Diciembre**

**Constante multiplicativa a 45 grados**

Día	Hora del día															
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17					
1	2.731	2.011	1.787	1.697	1.672	1.697	1.787	2.011	2.731							
2	2.752	2.020	1.793	1.702	1.676	1.702	1.793	2.020	2.752							
3	2.772	2.028	1.799	1.707	1.681	1.707	1.799	2.028	2.772							
4	2.792	2.036	1.804	1.711	1.685	1.711	1.804	2.036	2.792							
5	2.811	2.044	1.809	1.715	1.689	1.715	1.809	2.044	2.811							
6	2.828	2.051	1.814	1.719	1.693	1.719	1.814	2.051	2.828							
7	2.845	2.058	1.819	1.723	1.696	1.723	1.819	2.058	2.845							
8	2.861	2.065	1.823	1.727	1.700	1.727	1.823	2.065	2.861							
9	2.876	2.071	1.827	1.730	1.703	1.730	1.827	2.071	2.876							
10	2.890	2.076	1.831	1.733	1.706	1.733	1.831	2.076	2.890							
11	2.902	2.081	1.834	1.736	1.708	1.736	1.834	2.081	2.902							
12	2.914	2.086	1.837	1.738	1.711	1.738	1.837	2.086	2.914							
13	2.924	2.090	1.840	1.741	1.713	1.741	1.840	2.090	2.924							
14	2.933	2.094	1.842	1.743	1.715	1.743	1.842	2.094	2.933							
15	2.941	2.097	1.844	1.744	1.716	1.744	1.844	2.097	2.941							
16	2.948	2.100	1.846	1.746	1.718	1.746	1.846	2.100	2.948							
17	2.953	2.102	1.848	1.747	1.719	1.747	1.848	2.102	2.953							
18	2.958	2.104	1.849	1.748	1.720	1.748	1.849	2.104	2.958							
19	2.961	2.105	1.849	1.748	1.720	1.748	1.849	2.105	2.961							
20	2.962	2.105	1.850	1.749	1.721	1.749	1.850	2.105	2.962							
21	2.963	2.106	1.850	1.749	1.721	1.749	1.850	2.106	2.963							
22	2.962	2.105	1.850	1.749	1.721	1.749	1.850	2.105	2.962							
23	2.959	2.104	1.849	1.748	1.720	1.748	1.849	2.104	2.959							
24	2.956	2.103	1.848	1.747	1.719	1.747	1.848	2.103	2.956							
25	2.951	2.101	1.847	1.746	1.718	1.746	1.847	2.101	2.951							
26	2.945	2.098	1.845	1.745	1.717	1.745	1.845	2.098	2.945							
27	2.937	2.096	1.843	1.743	1.716	1.743	1.843	2.096	2.937							
28	2.929	2.092	1.841	1.742	1.714	1.742	1.841	2.092	2.929							
29	2.919	2.088	1.839	1.740	1.712	1.740	1.839	2.088	2.919							
30	2.908	2.084	1.836	1.737	1.710	1.737	1.836	2.084	2.908							
31	2.896	2.079	1.832	1.734	1.707	1.734	1.832	2.079	2.896							

**Tabla 4**



# Tratamiento mecánico-estadístico de la radiación de cuerpo negro

Todos los procesos de radiación, como la propagación de la luz, la emisión de rayos gamma o X, calor radiante, o la transmisión de radioseñales, son diferentes facetas del mismo proceso físico fundamental. Aunque todas estas ondas se propagan con la velocidad de la luz

$$C = (299,792.5 \pm 0.1)\text{Km/seg} \quad (11)$$

En el espacio vacío, la impresión de variedad en las diferentes formas de radiación es creada por el inmenso rango de longitudes de onda,  $\lambda$ , y frecuencias,  $\nu$ , encontradas en la naturaleza. Como en todos los movimientos ondulatorios, las dos cantidades son inversamente proporcionales ya que satisfacen la relación de dispersión

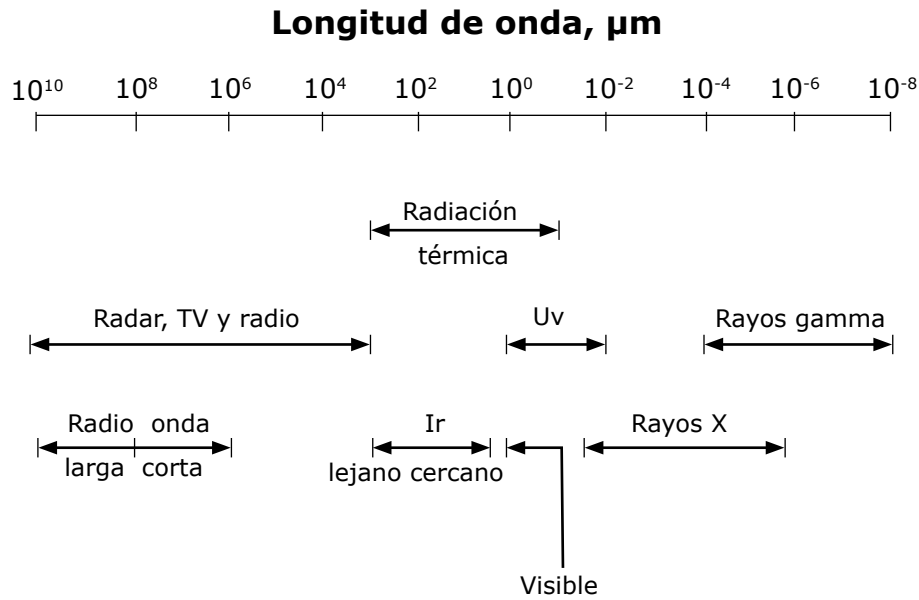
$$\lambda\nu = C \quad (12)$$

El rango de longitudes de onda encontradas en la naturaleza se ilustra en la Figura 9.

Los rayos cósmicos tienen las frecuencias más altas (más pequeñas longitudes de onda); le siguen los rayos gamma y X. El rango de radiación que puede ser detectado por nuestros sentidos se llama radiación térmica y se extiende de

$$\lambda = 0.1\mu \text{ a } 100\mu \quad (\nu = 3 \times 10^{15} \text{ ciclos/seg a } 3 \times 10^{12} \text{ ciclos/seg})$$

la parte entre  $\lambda = 0.36\mu$  a  $0.76\mu$  está en el rango visible. Esto último va del violeta al rojo en orden creciente de longitudes de onda.



**Figura 9**  
 Espectro de radiación electromagnética

La radiación de muy alta frecuencia o muy alta energía, tal como los rayos gamma está asociada con transmisiones cuánticas en el núcleo de un átomo. Los rayos X pueden ser producidos en transiciones atómicas por la rápida desaceleración de partículas cargadas. La mayoría de las transiciones electrónicas en los átomos y moléculas toma lugar en la región visible y ultravioleta del espectro. Las transiciones vibracionales y rotacionales en las moléculas producen radiación en el infrarrojo. La radiación de microondas con longitudes de onda de pocos centímetros puede ser creada por transiciones moleculares, pero las más grandes son producidas usualmente por la aceleración de partículas en antenas.

La característica más común de todos los tipos de radiación, es su habilidad de propagarse en ausencia de materia transportando energía a través del espacio vacío del universo así como la de su origen electromagnético. Todas estas ondas se propagan de acuerdo a las ecuaciones de Maxwell

$$\nabla \cdot \vec{E} = \rho / \epsilon_0 \tag{13}$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = 0 \tag{14}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \tag{15}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu_0 \frac{d\vec{H}}{dt} \tag{16}$$



La naturaleza ondulatoria ha asociado con ella un carácter corpuscular y lo último se describe diciendo que la radiación es el resultado del movimiento de fotones.

La energía y momento de un fotón son

$$\varepsilon = h\nu \quad (17)$$

$$p = hf \quad (18)$$

respectivamente. Aquí

$$|\vec{f}| = \frac{1}{\lambda} \quad (19)$$

es el número de onda, la dirección del vector de onda  $\vec{f}$  es colineal con la dirección en que la onda se propaga en sí, esto es, con la dirección del movimiento del fotón. La ecuación (18) muestra que

$$|\vec{p}| = \frac{h}{\lambda} \quad |\vec{p}| = \frac{h\nu}{c} = \frac{\varepsilon}{c}$$

esto último se sigue de la relación de dispersión (12) y de la ecuación mecánico-cuántica (17). Aunque la masa en reposo de un fotón  $m_0 = 0$ , la masa efectiva de éste parece ser

$$m = \frac{|\vec{p}|}{c} = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} \quad (20)$$

En el espacio vacío donde  $\rho = 0$  y  $\vec{j} = 0$  tenemos que las ecuaciones de Maxwell toman la forma

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \quad (21)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (22)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt} \quad (23)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{d\vec{E}}{dt} \quad (24)$$

aquí se usó el hecho de que  $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$   $\mu_0 \epsilon_0 = \frac{1}{c^2}$

En la teoría clásica del electromagnetismo, la radiación electromagnética a través del espacio vacío se puede considerar compuesta de ondas monocromáticas polarizadas en un plano. Cada una de estas ondas es transversal y tiene una frecuencia fija  $\nu$ , y una longitud de onda  $\lambda$ , ambas satisfaciendo la ecuación (12).

En otras palabras, la dirección de las oscilaciones de la onda es perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Las últimas son oscilaciones de los vectores de campo eléctrico y magnético  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  los cuales en cualquier punto a lo largo de la onda son mutuamente perpendiculares. Para ondas polarizadas en un plano, los campos eléctrico y magnético permanecen en planos fijos en el espacio a lo largo de toda la onda. Por ejemplo una onda polarizada en un plano con frecuencia  $\nu$  propagándose en la dirección  $z$  se puede representar en la forma

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_0 \hat{i} \cos 2\pi\nu \left( \frac{z}{c} - t \right) \quad (25)$$

$$\vec{B}(\vec{r}, t) = B_0 \hat{j} \cos 2\pi\nu \left( \frac{z}{c} - t \right) \quad (26)$$

donde  $E_0, B_0$  son constantes,  $\hat{i}$  es un vector unitario en la dirección  $x$ , y  $\hat{j}$  es un vector unitario en la dirección  $y$ . Cualquier otra onda polarizada en un plano de frecuencia  $\nu$  que se propaga en la dirección  $z$  y cuyo vector eléctrico  $\vec{E}$  está en un plano formando un ángulo con el plano XZ se puede representar por una superposición de dos ondas, una en el plano XZ y la otra en el plano YZ respectivamente. Esto último está descrito por las ecuaciones (25) y (26) y los vectores  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  perpendiculares.

$$\vec{E}_1(\vec{r}, t) = E_1 \hat{j} \cos 2\pi\nu \left( \frac{z}{c} - t \right) \quad (27)$$

$$\vec{B}_1(\vec{r}, t) = -B_1 \hat{i} \cos 2\pi\nu \left( \frac{z}{c} - t \right) \quad (28)$$

Con valores propiamente escogidos de  $E_0$  y  $E_1$ , el vector eléctrico de la onda combinada es

$$\vec{E} = (E_0 \hat{i} + E_1 \hat{j}) \cos 2\pi\nu \left( \frac{z}{c} - t \right) \quad (29)$$

y el vector magnético

$$\vec{B} = \frac{1}{c} (E_0 \hat{j} - E_1 \hat{i}) \cos 2\pi\nu \left( \frac{z}{c} - t \right) \quad (30)$$

Otros tipos de polarización se pueden obtener por superposición de las ondas polarizadas en un plano y representadas por (25) y (26). Por ejemplo, la luz elípticamente polarizada se puede representar como

$$\vec{E} = E_0 \hat{i} \cos 2\pi\nu \left( \frac{z}{c} - t \right) + E_1 \hat{j} \cos \left[ 2\pi\nu \left( \frac{z}{c} - t \right) + \phi \right] \quad (31)$$

$$\vec{B} = \frac{E_0}{c} \hat{j} \cos 2\pi\nu \left( \frac{z}{c} - t \right) - \frac{E_1}{c} \hat{i} \cos \left[ 2\pi\nu \left( \frac{z}{c} - t \right) + \phi \right] \quad (32)$$

donde  $\phi$  es un ángulo de fase constante. Para este tipo de radiación, los campos vectoriales eléctrico y magnético en valores fijos de  $z$  o a instantes fijos de  $t$ , trazan elipses. La radiación polarizada circularmente resulta cuando  $E_1$  y  $E_0$  son iguales. La radiación no polarizada se puede considerar como una superposición de muchas ondas con diferente polarización, cada una de ellas fuera de fase con las demás. Esto es, cada onda tiene una fase  $\phi$ , cuyo valor varía al azar de onda a onda. Cualquier campo de radiación arbitrario está compuesto de ondas planas con frecuencias variables, con varias direcciones de propagación y de polarización. El campo magnético,  $\vec{B}$ , y el campo eléctrico,  $\vec{E}$ , de tal radiación satisfacen las ecuaciones generales de onda

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \vec{E}(\vec{r}, t) \quad (33)$$

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \vec{B}(\vec{r}, t) \quad (34)$$

Puede verificarse inmediatamente que las ondas representadas por (25) y (26) son soluciones especiales de las ecuaciones (33) y (34).

La teoría mecánico-cuántica de la radiación electromagnética se basa en la hipótesis de Planck y asegura que la radiación electromagnética se puede ver como una colección de fotones cuya energía y momento están dadas por las ecuaciones (17) y (18). Correspondiendo a los dos grados de libertad para la polarización de una onda electromagnética, debemos asociar con cada onda plana exactamente dos fotones. Como las ondas planas no se pueden distinguir, debemos suponer que los fotones son también indistinguibles. También sabemos que no hay restricción en el número de ondas —y por lo tanto fotones— con la misma energía y momento; esto hace claro por qué los fotones obedecen la estadística de Bose-Einstein. El gas de fotones es un gas perfecto de bosones ya que los fotones nunca interactúan. Esta es una consecuencia de la linealidad de la ecuación de onda (33) y (34).

La radiación electromagnética en equilibrio dentro de una cavidad cerrada es equivalente a un ensamble de bosones no interactuantes, cada uno de los cuales tiene una energía  $h\nu$  y un momento  $h\nu/c$ , estos bosones existen en dos estados de polarización mutuamente perpendiculares.

Hay que hacer notar que el equilibrio se establece y mantiene por las interacciones entre los fotones y los átomos de un cuerpo. Esto quiere decir que el número  $N$  de fotones presentes en la cavidad no puede ser fijado por características como el volumen  $V$  y la temperatura  $T$  de las paredes. Así, es posible ver las paredes de la cavidad como un *reservoir* que emite o absorbe fotones de acuerdo a los requerimientos de equilibrio termodinámico. Para valores fijos de  $V$  y  $T$  la única variación que puede cambiar la función de Helmholtz  $F$  del sistema es una con respecto al número de fotones  $N$  como la función de Helmholtz debe ser un mínimo, escribimos

$$\left( \frac{dF}{dN} \right)_{T,V} = 0 \quad (35)$$

Recordando que  $\left(\frac{dF}{dN}\right)_{T,V}$  es igual que el potencial químico,  $\mu$ , del sistema. Tenemos que

$$\mu = 0 \quad (36)$$

y que la teoría de fotones es un caso especial de la teoría de bosones, de hecho bosones cuyo potencial químico es idénticamente nulo. Todo lo que se necesita hacer es transcribir las ecuaciones

$$\ln z = -\sum_s \ln[1 - \exp(-\alpha - \beta \epsilon_s)] + N\alpha \quad (37)$$

$$N = \sum_i \{\exp[\beta(\epsilon_i - \mu)] - 1\}^{-1} \quad (38)$$

$$\bar{n}_s = [\exp(\alpha + \beta \epsilon_s) - 1]^{-1} \quad (39)$$

que corresponden a la descripción de un sistema de bosones, con las sustituciones

$$\beta = 1/KT, \quad \alpha = -\mu/KT = 0 \quad \text{y} \quad \epsilon_s = h\nu_s \quad (40)$$

tenemos que la función de partición (37) quedará como

$$\ln z = -\sum_i \ln \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h\nu_i}{KT}\right) \right] \quad (41)$$

y el número total de fotones (38) se convierte en

$$N = \sum_i \left[ \exp\left(\frac{h\nu_i}{KT}\right) - 1 \right]^{-1} \quad (42)$$

mientras que la distribución por nivel de energía (39) está gobernada por la relación

$$\bar{n}_i = \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu_i}{KT}\right) - 1} \quad (43)$$

que es conocida con el nombre de *distribución de Planck*.

Suponemos ahora, por simplicidad, que nos encontramos con una cavidad cúbica de lado  $L$  e imponemos condiciones periódicas en la frontera sobre las ondas electromagnéticas estacionarias.

Esto significa que

$$\vec{E} = (x + L, y, z) = \vec{E}(x, y + L, z) = \vec{E}(x, y, z + L) = \vec{E}(x, y, z) \quad (44)$$

Como una onda estacionaria puede verse como la superposición de dos ondas viajeras propagándose en direcciones opuestas, aplicando las condiciones (44) a la ecuación

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \cos(\vec{K} \cdot \vec{r} - \omega t) \quad (45)$$

(aquí,  $K = \omega/c$  y  $\omega = 2\pi\nu$ ,  $\vec{K}$  describe la dirección de propagación de la onda).  
Se tiene por lo tanto

$$K = \omega/c, \quad \omega = 2\pi\nu, \quad K_z L = n_z 2\pi \quad (46)$$

donde  $n_x, n_y, n_z$  deben ser enteros ( $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ). Teniendo en cuenta que

$$|\vec{K}| = 2\pi/\lambda$$

concluimos que

$$\frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{L^2} (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2) \quad (47)$$

o que

$$\nu/c = \frac{1}{L} (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)^{1/2} \quad (48)$$

Para encontrar el número de frecuencias contenidas entre  $\nu$  y  $\nu d\nu$  es necesario pensar que  $\nu L/c$  representa la distancia a un punto  $(n_1, n_2, n_3)$  en un espacio donde  $n_1, n_2$  y  $n_3$  son las coordenadas. En este espacio hay una frecuencia por celda de volumen unitario. Si

$$n = (n_1^2 + n_2^2 + n_3^2)^{1/2} \quad (49)$$

es grande, una lámina esférica de volumen  $4\pi n^2 dn$  contendrá  $4\pi n^2 dn$  frecuencias. Así, para grandes frecuencias, su número en el rango  $\nu$  a  $\nu + d\nu$  es

$$4\pi n^2 dn = 4\pi \frac{L^3}{c^3} \nu^2 d\nu = \frac{4\pi \nu^2 V}{c^3} d\nu \quad (50)$$

donde  $V = L^3$  es el volumen de la cavidad. De esta manera podemos definir una función de distribución

$$g(\nu) d\nu = \frac{4\pi \nu^2}{c^3} V d\nu \quad (51)$$

que integrada a todas las frecuencias nos dé el número de grados de libertad ( $3N$ ) del sistema electromagnético.

Si tenemos en cuenta que además existen dos grados de libertad de polarización, nos será necesario introducir un factor de dos a la función de distribución. Así

$$D(\nu) = 2V \frac{4\pi}{c^3} \nu^2 \quad (52)$$

Ahora sí es posible evaluar la función de partición (41) explícitamente. Para esto reemplazamos cada término en la ecuación por la función generadora correspondiente multiplicada por la densidad de estados (52) e integrando sobre el intervalo  $\nu=0$  a  $\nu=\infty$ .

Así

$$\begin{aligned} \ln z &= - \int_0^{\infty} D(\nu) \ln[1 - \exp(-h\nu/KT)] d\nu \\ &= \frac{-8\pi V}{c^3} \int_0^{\infty} \nu^2 \ln[1 - \exp(-h\nu/KT)] d\nu \\ &= \frac{\pi^4}{45} \left(\frac{KT}{h}\right)^3 \left(\frac{8\pi V}{c^3}\right) \\ \ln z &= \frac{8\pi^5 V}{45c^3} \left(\frac{KT}{h}\right)^3 \quad (53) \end{aligned}$$

con esto la función de Helmholtz quedará como

$$F = -KT \ln z = \frac{-8\pi^5 V (KT)^4}{45(hc)^3} = -\frac{4\sigma}{3c} VT^4 \quad (54)$$

donde la constante de Boltzman

$$\sigma = \frac{2\pi^5 K^4}{15c^2 h^3} = 5.66961 \times 10^{-5} \text{ erg} / \text{seg.cm}^2 . K^4 \quad (55)$$

se ha utilizado.

Empleando ahora fórmulas de termodinámica, podemos derivar las siguientes expresiones de la radiación de cuerpo negro en equilibrio.

$$\text{De} \quad \left(\frac{dF}{dT}\right)_V = -S \quad S = \frac{16\sigma}{3c} VT^3 \quad (56)$$

$$\text{De} \quad U = F + TS \quad U = \frac{4\sigma}{c} VT^4 \quad (57)$$

$$\text{De} \quad \left( \frac{dU}{dV} \right)_S = -P \quad P = \frac{4\sigma}{3c} T^4 \quad (58)$$

$$\text{De} \quad H = U + PV \quad H = \frac{16\sigma}{3c} VT^4 \quad (59)$$

$$\text{De} \quad c_p = \frac{1}{V} \left( \frac{dH}{dT} \right)_V \quad c_p = \frac{64\sigma T^3}{3c} \quad (60)$$

$$\text{De} \quad c_v = \frac{1}{V} \left( \frac{dU}{dT} \right)_V \quad c_v = \frac{16\sigma T^3}{c} \quad (61)$$

$$\text{De} \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v} \quad \gamma = \frac{4}{3} \quad (62)$$

$$\text{De} \quad G = F + PV \quad G = 0 \quad (63)$$

Es importante ahora calcular el número de fotones en el sistema en equilibrio, para esto utilizamos (43) para la distribución de Planck y escribimos

$$dN(\nu, T) = D(\nu) \bar{n} d\nu = \frac{8\pi V}{c^3} \frac{\nu^2 d\nu}{\exp(h\nu/KT) - 1} \quad (64)$$

para el número de fotones cuyas frecuencias quedan comprendidas entre  $\nu$  y  $\nu + d\nu$ .

El resultado más importante de la teoría mecánica-cuántica de la radiación de cuerpo negro está relacionado con la distribución espectral de energía en la cavidad. Y está contenida en la expresión

$$dE(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3 V d\nu}{c^3 [\exp(h\nu/KT) - 1]} \quad (65)$$

la cual se obtiene al multiplicar por  $h\nu$  la ecuación (64). La función que multiplica  $Vd\nu$  representa la densidad espectral de energía específica que tienen los fotones de frecuencia  $\nu$ .

$$\text{Escribiendo} \quad dE(\nu, T) = V u(\nu, T) d\nu \quad (66)$$

tendremos que

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3 [\exp(h\nu/KT) - 1]} \quad (67)$$

$$u(\nu, T) = \frac{c_1 \nu^3}{c^4 \left[ \exp\left(\frac{c_2 \nu}{cT}\right) - 1 \right]} \quad (68)$$

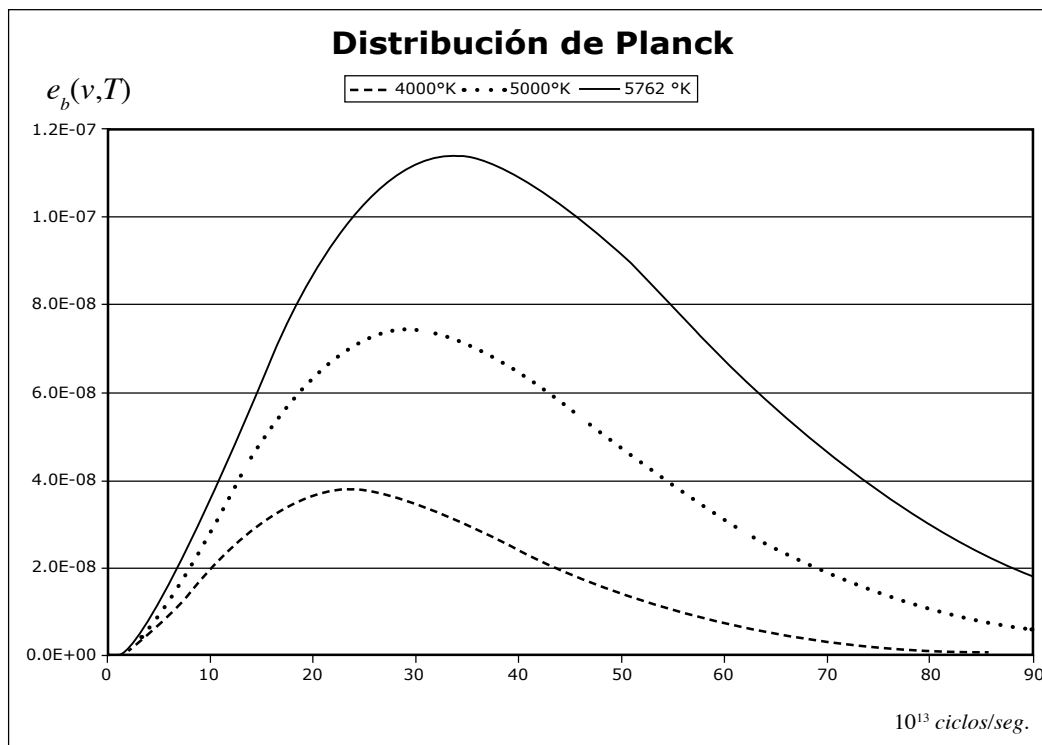
donde  $c_1 = 8\pi h c = 4.992579 \times 10^{-24} \text{ Jm}$  es la primera constante de radiación

y  $c_2 = \frac{hc}{k} = 1.438833 \times 10^{-2} \text{ mK}$  la segunda constante de radiación

En lugar de discutir la función  $u(\nu, T)$ , es preferible concentrarnos en una que es proporcional a ella definida por

$$e_b(\nu, T) = \frac{cu(\nu, T)}{4} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2 [\exp(h\nu/KT) - 1]} = \frac{c_1 \nu^3}{4c^3 [\exp(c_2 \nu / cT) - 1]} \quad (69)$$

que se conoce como la ley de distribución de Planck y cuya gráfica se muestra en la Figura 10 para diferentes temperaturas.



**Figura 10**



La ecuación (69) se usa frecuentemente en forma alterna en donde  $v$  se elimina en favor de  $\lambda$  con la ayuda de la relación de dispersión

$$\lambda v = c \quad \text{con} \quad dv = -\left(\frac{c}{\lambda^2}\right)d\lambda$$

llevándonos a

$$e_b(\lambda, T) = \frac{c_1 c}{4\lambda^5 [\exp(c_2/\lambda T) - 1]} \quad (70)$$

Algunos autores prefieren emplear una forma alterna para la primera constante de radiación poniendo

$$C_1 = \frac{c_1 c}{4} = 3.74184 \times 10^{-16} \text{ Jm}^2/\text{seg} \quad (71)$$

así, la ecuación (70) se puede escribir como

$$e_b(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(c_2/\lambda T) - 1]} \quad (72)$$

También es de interés conocer la longitud de onda que corresponde a la máxima intensidad de la radiación de cuerpo negro. Diferenciando la distribución de Planck (72) con respecto de  $\lambda$  e igualando a cero se obtiene

$$\exp(c_2/\lambda T) = \frac{5\lambda T}{5\lambda T - c_2} = \frac{5}{5 - c_2/\lambda T} \quad (73)$$

que es una ecuación trascendente que hay que resolver numéricamente, al hacerlo se obtiene que

$$\lambda_0 T = 2897.88 \times 10^{-6} \text{ mK} \quad (74)$$

donde  $\lambda_0$  es el valor de  $\lambda$  para el cual  $e_b(\lambda, T)$  es máximo.

Despejando  $\lambda_0$  en (74) y sustituyendo en (72) tenemos que

$$e_{b_{\max}}(\lambda, T) = c_3 T^5 \quad (75)$$

donde

$$c_3 = 0.1218647 \times 10^{-4} \frac{\text{J}}{\text{m}^3 \text{K}^5} \quad (76)$$

Procediendo de la misma manera también podemos encontrar la frecuencia que corresponde a la máxima intensidad de la radiación de cuerpo negro  $e_b(\nu, T)$ . Diferenciando la distribución (69) con respecto de  $\nu$  e igualando luego a cero se obtiene

$$\exp\left(\frac{c_2\nu}{cT}\right) = \frac{3}{3 - \frac{c_2\nu}{cT}} \quad (77)$$

que de nuevo, es una ecuación trascendente que da como resultado

$$\frac{c_2\nu_0}{cT} = 2.821439 \quad (78)$$

donde  $\nu_0$  es el valor de  $\nu$  para el cual  $e_b(\nu, T)$  es máximo.

Despejando  $\nu_0$  de (78) y sustituyendo en (69) encontramos que

$$e_{b\max}(\nu, T) = c_4 T^3 \quad (79)$$

con

$$c_4 = 0.0595609 \times 10^{-17} \frac{J}{m^2 K^3} \quad (80)$$

La potencia total emisiva de cuerpo negro,  $e_b$ , se encuentra por integración sobre todas las frecuencias y es igual a

$$e_b(T) = \frac{2\pi h}{c^2} \int_0^\infty \frac{\nu^3}{\exp(h\nu/KT) - 1} d\nu \quad (81)$$

haciendo el cambio de variable

$$x = h\nu/KT$$

tenemos

$$e_b(T) = \frac{2\pi K^4 T^4}{c^2 h^3} \int_0^\infty \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{2\pi K^4 T^4}{c^2 h^3} \left( \frac{\pi^4}{15} \right) \quad (82)$$

$$e_b(T) = \frac{2\pi^5 K^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4$$

donde (55) se ha usado.

La ecuación (72) se puede integrar para darnos la radiación entre cualesquiera dos límites, el total emitido entre cero y cualquier longitud de onda  $\lambda$  está dado por

$$e_{b,0-\lambda} = \int_0^\lambda e_{b\lambda} d\lambda \quad (83)$$

sustituyendo la ecuación (72) en la (83) y notando que al dividir por  $\sigma T^4$ , la integral toma la forma

$$\frac{e_{b,0-\lambda}}{\sigma T^4} = 15 \left( \frac{ch}{\pi K} \right)^4 \int_0^\lambda \frac{dx}{x^5 \left( e^{c_2/x} - 1 \right)} \quad (84)$$

con  $x = \lambda T$

Por lo tanto

$$\frac{e_{b,0-\lambda T}}{\sigma T^4} = \frac{15}{\pi^4} \int_{c_2/\lambda T}^\infty \frac{y^3 dy}{e^y - 1} \quad (85)$$

con  $y = \frac{c_2}{x} = \frac{c_2}{\lambda T}$

Así, finalmente

$$\frac{e_{b,0-\lambda T}}{\sigma T^4} = 1 - \frac{15}{\pi^4} \int_0^{c_2/\lambda T} \frac{y^3 dy}{e^y - 1} \quad (86)$$

La integral (86) puede resolverse numéricamente haciendo uso de una computadora o una calculadora programable.

Como ejemplo de la información que nos puede dar la expresión (86), calculemos a continuación la cantidad de energía que el sol a 5762°K emite en la región visible del espectro (0.38μm a 0.78μm).

Para  $\lambda=0.38 \times 10^{-6} \text{m}$  tenemos  $\lambda T=2189.56 \mu\text{m}^\circ\text{K}$

$$y \quad \frac{c_2}{\lambda T} = \frac{1.438833 \times 10^4 \mu\text{m}^\circ\text{K}}{2189.56 \mu\text{m}^\circ\text{K}} = 6.571334$$

por lo tanto  $\int_0^{6.571334} \frac{y^3 dy}{e^y - 1} = 5.851844$  y  $\frac{e_{b,0-2189.56}}{\sigma T^4} = 0.098876$

Ahora para  $\lambda=0.78 \times 10^{-6} \text{m}$  tenemos  $\lambda T=4494.36 \mu\text{m}^\circ\text{K}$

$$y \quad \frac{c_2}{\lambda T} = 3.201419$$

por lo tanto  $\int_0^{3.201419} \frac{y^3 dy}{e^y - 1} = 2.834799$  y  $\frac{e_{b,0-4494.36}}{\sigma T^4} = 0.563470$

Así, la fracción de la energía radiada por el sol en el rango visible es 56.34% menos 9.88% o 46.46%.

Calculemos en seguida la potencia por unidad de área emitida por el sol ( $T=5762^{\circ}\text{K}$ )

$$e_b(5762^{\circ}\text{K}) = \left( 5.66961 \times 10^{-12} \frac{\text{J}}{\text{seg cm}^2 \text{ } ^{\circ}\text{K}^4} \right) (5762^{\circ}\text{K})^4$$

$$e_b(5762^{\circ}\text{K}) = 6249.51 \frac{\text{watts}}{\text{cm}^2}$$

considerando como radio medio del sol

$$R_s = 6953 \times 10^5 \text{ mts}$$

la potencia emitida por el sol es

$$P_b(5762^{\circ}\text{K}) = 3.7966 \times 10^{26} \text{ watts}$$

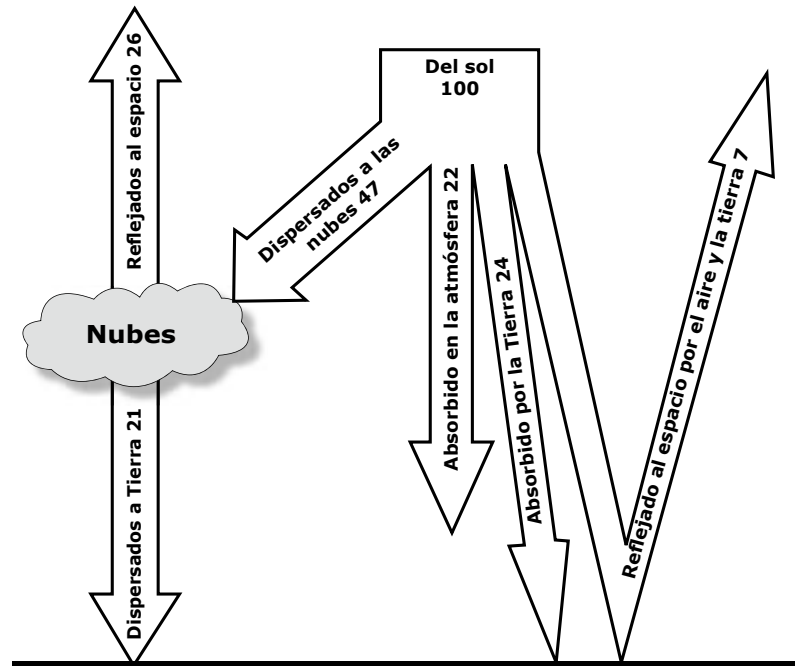
la cual se distribuye en una esfera de radio igual a la distancia media Tierra-Sol

$$R_{T-s} = 1.49 \times 10^{11} \text{ mts}$$

Por lo tanto la potencia por unidad de área que llega a la Tierra será

$$e_b(5762^{\circ}\text{K}) \frac{A_s}{A_{s-T}} = 0.1365 \frac{\text{watts}}{\text{cm}^2} = 1365 \frac{\text{watts}}{\text{m}^2} = 1.95 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{ min}} = 117 \frac{\text{Langley}}{\text{hora}}$$

El dato anterior es la potencia de la radiación normal directa extraterrestre, la cual al entrar a la atmósfera se ve modificada debido a diversas causas, entre otras: dispersión por átomos y moléculas, por el polvo en la atmósfera, inclinación del eje de la Tierra y diferente hora solar (ver Tabla 7).



**Figura 11**

Se muestra la forma en que se distribuyen las 1.95 cal/cm<sup>2</sup>min de insolación.

En el capítulo “Datos de insolación” se listan como ejemplo, los datos de insolación terrestre y extraterrestre para los diferentes días del año y a diferentes horas en la región de Ciudad Juárez, Chihuahua-El Paso, Texas.

Un cuerpo negro es aquel que tiene la mayor absorbitancia ( $\infty$ ) y también la mayor emitancia ( $\epsilon$ ), ambas tendrán un valor igual a uno, mientras que un cuerpo gris es aquel que tanto su absorbitancia como su emitancia tienen un valor menor que la unidad. En el capítulo siguiente estudiaremos el intercambio de calor de radiación entre sistemas cerrados grises.



# Intercambio de calor de radiación entre sistemas cerrados grises

Consideremos un sistema de  $N$  superficies grises (áreas  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ; emisividades  $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$ ) mantenidas a temperaturas fijas conocidas, de tal manera que sus potencias emisivas equivalentes a las del cuerpo negro son conocidas ( $W_{b1}, W_{b2}, \dots, W_{bn}$ ). Se presume que estas superficies activas forman un sistema cerrado.

El flujo de calor neto para cualquier superficie está dado por la ecuación

$$Q_s = A_s (J_s - G_s) \tag{87}$$

con

$$J_s = W_s + (1 - \epsilon_s) G_s \quad W_s = \epsilon_s W_{bs} \tag{88}$$

$$J_s = \epsilon_s W_{bs} + (1 - \epsilon_s) G_s \tag{89}$$

$J_s$  es la radiosidad de la superficie  $A_s$  y  $G_s$  la radiación que recibe.

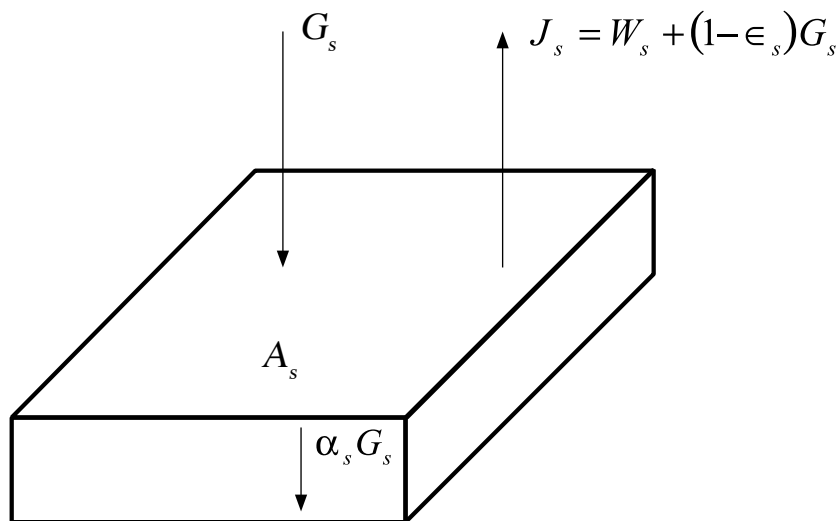


Figura 12

despejando  $G_s$  de (89) la ecuación (87) se puede reescribir como

$$Q_s = A_s E_s (W_{bs} - J_s) \quad (90)$$

donde se ha puesto

$$E_s = \frac{\epsilon_s}{1 - \epsilon_s} \quad (91)$$

El índice  $s$  se usa para denotar todas las superficies del sistema cerrado.

La irradiación,  $G_s$ , sobre cualquier superficie se puede encontrar por medio de las radiosidades de las demás superficies

$$A_s G_s = \sum_t A_t F_{t-s} J_t = \sum_t A_s F_{s-t} J_t \quad (92)$$

donde  $F_{i-j}$  es un factor de intercambio entre la superficie  $i$  y la  $j$  definido por

$$F_{i-j} = \frac{1}{A_i A_j} \int \int \frac{\cos\theta_i \cos\theta_j}{\pi r^2} dA_j dA_i \quad (93)$$

Usando (92), la ecuación (87) queda como

$$Q_s = A_s J_s - A_s \sum_t F_{s-t} J_t \quad (94)$$

Como las  $N$  superficies forman un sistema cerrado

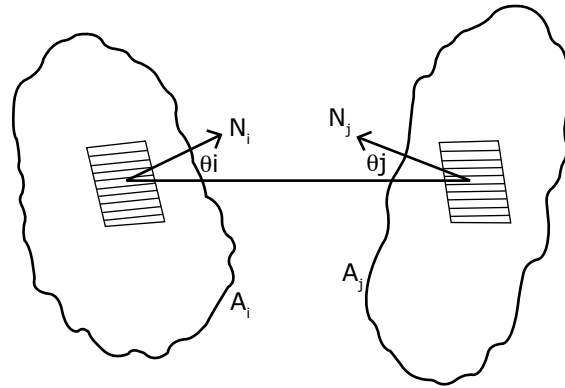
$$\sum_t F_{s-t} = 1 \quad (95)$$

así

$$Q_s = A_s J_s \sum_t F_{s-t} - A_s \sum_t F_{s-t} J_t = \sum_t A_s F_{s-t} (J_s - J_t) \quad (96)$$

$$s, t = 1, 2, 3, \dots, N$$





**Figura 13**

Las dos superficies en cuestión se denotan por  $A_i$  y  $A_j$ . Estas superficies se localizan en el espacio, son de forma arbitraria y no son necesariamente planas. Los elementos de cada superficie se denotan por  $dA_i$  y  $dA_j$  con normales correspondientes  $N_i$  y  $N_j$ . La línea que une  $dA_i$  y  $dA_j$  tiene una longitud  $r$  formando los ángulos  $\theta_i$  y  $\theta_j$  respectivamente con las normales  $N_i$  y  $N_j$ .

Por lo tanto juntando las ecuaciones (90) y (96) se tiene

$$\sum_{t, i = 1, 2, 3, \dots, N} A_i F_{i-t} (J_i - J_t) + A_i E_i (J_i - W_{bi}) = 0 \quad (97)$$

Las ecuaciones (97) son suficientes para resolver las  $N$  incógnitas en un problema de un sistema cerrado.

El intercambio neto entre dos superficies activas, digamos  $A_i$  y  $A_j$ , puede encontrarse buscando la cantidad  $-Q_j^{(i)}$  que representa el intercambio de calor entre las superficies  $A_i$  y  $A_j$  cuando  $W_{bi} = 1$  y todas las demás potencias emisivas de las superficies activas se igualan a cero. Esta cantidad nos lleva a la definición de un coeficiente de intercambio

$$F_{i-j} = \frac{-Q_j^{(i)}}{A_i}$$

El procedimiento que se debe seguir para determinar  $F_{i-j}$  es resolver las ecuaciones (97) para la radiosidad  $J_j^{(i)}$  cuando  $W_{bi} = 1$  y todos los demás  $W_b$  son cero. Entonces

$$F_{i-j} = \frac{-Q_j^{(i)}}{A_i} = \frac{A_j}{A_i} E_j J_j^{(i)} \quad (98)$$

de acuerdo con la ecuación (90).

Con  $F_{i-j}$  así definida el flujo de energía de  $A_i$  a  $A_j$  es

$$Q_{i-j} = A_i F_{i-j} W_{bi} \quad (99)$$

y el intercambio neto

$$Q_{ij} = Q_{i-j} - Q_{j-i} = A_i F_{i-j} W_{bi} - A_j F_{j-i} W_{bj} \quad (100)$$

y como

$$A_i F_{i-j} = A_j F_{j-i}$$

$$Q_{ij} = A_i F_{i-j} (W_{bi} - W_{bj})$$

que puede reescribirse como

$$Q_{ij} = A_i F_{i-j} (\sigma T_i^4 - \sigma T_j^4) \quad (101)$$

siendo el intercambio neto de energía entre la superficie  $A_i$  y la  $A_j$

De las ecuaciones (97) tenemos que

$$\begin{aligned} A_1 F_{1-2} (J_1 - J_2) + A_1 E_1 (J_1 - W_{b1}) &= 0 \\ A_2 F_{2-1} (J_2 - J_1) + A_2 E_2 (J_2 - W_{b2}) &= 0 \end{aligned} \quad (102)$$

haciendo  $W_{b1} = 1$  y  $W_{b2} = 0$  tenemos un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas

$$\begin{aligned} A_1 F_{1-2} (J_1 - J_2^{(1)}) + A_1 E_1 (J_1 - 1) &= 0 \\ A_2 F_{2-1} (J_2^{(1)} - J_1) + A_2 E_2 (J_2^{(1)}) &= 0 \end{aligned} \quad (103)$$

que al resolverse da

$$J_2^{(1)} = \frac{1}{1 + \frac{A_2 E_2}{A_1 E_1} + \frac{A_2 E_2}{A_1 F_{1-2}}} \quad (104)$$

por lo tanto de (85) tenemos

$$F_{1-2} = \frac{A_2}{A_1} E_2 J_2^{(1)} = \frac{1/A_1}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2} + \frac{1}{A_1 F_{1-2}}} \quad (105)$$

y

$$Q_{12} = A_1 F_{1-2} (\sigma T_1^4 - \sigma T_2^4) = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2} + \frac{1}{A_1 F_{1-2}}} \quad (106)$$

Dos casos especiales de la ecuación (106) son de particular interés. Para la radiación entre dos placas paralelas e infinitas el área  $A_1$  y el  $A_2$  son iguales y el factor  $F_{1-2}=1$ . Bajo estas condiciones (106) toma la forma

$$\frac{Q_{12}}{A} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = -\frac{Q_{21}}{A} \quad (107)$$

El segundo caso especial es un pequeño objeto convexo (superficie 1) rodeado por una cubierta cerrada muy grande (superficie 2). Bajo estas condiciones  $A_1/A_2 = 0$ ,  $F_{1-2}=1$  y (106) se convierte en

$$Q_{1-2} = \varepsilon_1 A_1 \sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (108)$$

Para predecir la eficiencia de colectores solares es necesario evaluar el intercambio de radiación entre una superficie y el cielo. Este último puede considerarse como un cuerpo negro a cierta temperatura  $T_{\text{cielo}}$  de tal forma que la radiación neta entre una placa plana afrontando al cielo está dada por la ecuación (108). La radiación neta a una superficie con emitancia  $\varepsilon$  y temperatura  $T$  se encuentra por

$$Q = \varepsilon A \sigma(T_{\text{cielo}}^4 - T^4) \quad (109)$$

Para trabajar con ecuaciones lineales es conveniente definir un coeficiente de transferencia de calor radiado. El calor transferido por radiación entre dos superficies arbitrarias se encuentra en la ecuación (106). Si definimos un coeficiente de transferencia de calor de tal manera que la radiación entre las dos superficies esté dado por

$$Q = A_1 h_r (T_2 - T_1)$$

entonces está claro que este coeficiente de transferencia de calor es:

$$h_r = \frac{\sigma(T_2^2 + T_1^2)(T_2 + T_1)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{1-2}} + \frac{(1 - \varepsilon_2)A_1}{\varepsilon_2 A_2}} \quad (110)$$



# Transferencia de calor por convección

La velocidad de transferencia de calor entre dos placas inclinadas a cierto ángulo con respecto a la horizontal es de importancia obvia en el cálculo de la eficiencia de colectores planos. Una revisión de todos los trabajos realizados hasta la fecha indican que el coeficiente de transferencia de calor  $h$  en función de la separación de las dos placas,  $l$ , de la diferencia de temperaturas entre ellas,  $\Delta T$ , y de la temperatura media ( $F_1$  y  $F_2$ ) que tienen está dado por

$$h = 1.613 \frac{\Delta T^{0.281} F_1^{0.281}}{l^{0.157} F_2} \quad (111)$$

para placas horizontales, flujo de calor hacia arriba y

$$58.3 < \Delta T l^3 F_1 < 58.3 \times 10^3$$

Por

$$h = 1.14 \frac{\Delta T^{0.310} F_1^{0.310}}{l^{0.070} F_2} \quad (112)$$

para placas formando  $45^\circ$  con la horizontal, flujo de calor arriba y

$$58.3 < \Delta T l^3 F_1 < 58.3 \times 10^3$$

Por

$$h = 0.82 \frac{\Delta T^{0.327} F_1^{0.327}}{l^{0.019} F_2} \quad (113)$$

para placas verticales y

$$874.48 < \Delta T l^3 F_1 < 58.3 \times 10^3$$

Y por

$$h = 0.57 \frac{\Delta T^{0.381} F_1^{0.381}}{l^{-0.143} F_2} \quad (114)$$

para placas verticales con

$$87.45 < \Delta T l^3 F_1 < 874.48$$

En las ecuaciones anteriores  $h$  está en  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ,  $\Delta T$  en grados centígrados,  $l$  en centímetros,

$F_1$  y  $F_2$  se encuentran en la Tabla 5 para diferentes temperaturas medias.

T	$F_1$	$F_2$	$F_1^{0.28} / F_2$	$F_1^{0.310} / F_2$	$F_1^{0.327} / F_2$	$F_1^{0.381} / F_2$
10	1.00	1.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
20	0.83	0.96	0.9885	0.9832	0.9801	0.9703
30	0.74	0.93	0.9880	0.9794	0.9744	0.9587
40	0.65	0.91	0.9736	0.9615	0.9545	0.9326
50	0.57	0.88	0.9703	0.9546	0.9456	0.9173
60	0.50	0.86	0.9570	0.9380	0.9270	0.8929
70	0.45	0.84	0.9512	0.9294	0.9169	0.8782
80	0.38	0.82	0.9292	0.9035	0.8887	0.8435
90	0.34	0.80	0.9231	0.8947	0.8784	0.8287
100	0.28	0.78	0.8965	0.8640	0.8455	0.7894
110	0.26	0.76	0.9011	0.8666	0.8470	0.7876
120	0.23	0.74	0.8942	0.8568	0.8357	0.7719

**Tabla 5**

Llevando a cabo una interpolación exponencial encontramos que

$$\frac{F_1^{0.281}}{F_2} = 1.01569499e^{-0.00105837T}$$

con un coeficiente de determinación  $r^2=0.9832$

$$\frac{F_1^{0.310}}{F_2} = 1.018653338e^{-0.00143305T}$$

con un coeficiente de determinación  $r^2=0.9905$

$$\frac{F_1^{0.327}}{F_2} = 1.0203886609e^{-0.001656329T}$$

con un coeficiente de determinación  $r^2=0.9926$

y

$$\frac{F_1^{0.381}}{F_2} = 1.0259071104e^{-0.002365728T}$$

con un coeficiente de determinación  $r^2=0.9959$

Por lo tanto tenemos que de (111)

$$h = 1.638 \frac{\Delta T^{0.281}}{l^{0.157}} e^{-0.00105183T} \quad \text{(115)}$$

de (112)

$$h = 1.161 \frac{\Delta T^{0.310}}{l^{0.070}} e^{-0.00143305T} \quad \text{(116)}$$

de (113)

$$h = 0.8367 \frac{\Delta T^{0.327}}{l^{0.019}} e^{-0.001656329T} \quad \text{(117)}$$

y de (114)

$$h = 0.5847 \frac{\Delta T^{0.381}}{l^{-0.143}} e^{-0.002365728T} \quad \text{(118)}$$

La pérdida de calor en colectores expuestos a vientos externos se encuentra de una expresión dimensional dada por Mc Adams la cual relaciona el coeficiente de transferencia de calor en  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  a la velocidad del viento en  $\frac{m}{s}$ .

$$h_{viento} = 5.7 + 3.8V \quad \text{(119)}$$





# Absorción, reflexión y transmisión de la radiación

Para superficies opacas, la suma de la absorbitancia y de la reflectancia debe ser igual a uno. Si la superficie es transparente a la radiación incidente, la suma de la absorbitancia, reflectancia y transmitancia debe ser igual a uno.

Fresnel derivó una relación para la reflexión de radiación no polarizada al pasar de un medio con índice refractivo  $n_1$  a otro con índice  $n_2$ .

$$\frac{I_p}{I_o} = \rho = \frac{1}{2} \left[ \frac{\text{sen}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{sen}^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \right] \quad (120)$$

donde  $\theta_1$  y  $\theta_2$  son los ángulos de incidencia y refracción. En esta expresión los dos términos dentro del paréntesis cuadrado representa la reflexión para cada uno de los dos componentes de polarización. Los ángulos  $\theta_1$  y  $\theta_2$  están relacionados con los índices de refracción por la Ley de Snell.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{sen}\theta_2}{\text{sen}\theta_1} \quad (121)$$

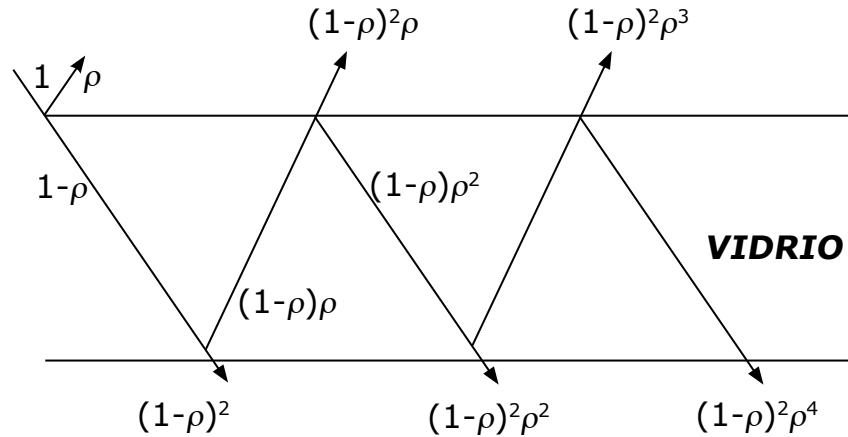
De esta forma, conociendo el ángulo de incidencia y los índices de refracción, las ecuaciones (120) y (121) nos dan la reflectancia de la interfaz. Un caso especial es cuando la radiación incide en un ángulo de cero grados, entonces (120) puede escribirse como

$$\rho = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$$

Los materiales usados para cubrir colectores solares (vidrio) requieren la transmisión de la radiación a través de ellos, habiendo por lo tanto dos interfases por cubierta que causan pérdidas de reflexión.

Despreciando absorción de la radiación en la cubierta como se muestra en la Figura 14,  $(1-\rho)$  de la radiación incidente llega a la segunda interfase. De esta,  $(1-\rho)^2$  pasa a través de la interfase y  $\rho(1-\rho)$  se refleja a la primera y así sucesivamente. Sumando todos los términos, tenemos que la transmitancia para una sola cubierta despreciando la absorción es

$$\tau_{r,1} = (1-\rho)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \rho^{2n} = \frac{(1-\rho)^2}{(1-\rho^2)} = \frac{1-\rho}{1+\rho} \quad (122)$$



**Figura 14**

Para un sistema de  $n$  cubiertas, todas del mismo material, un análisis similar da

$$\tau_{r,n} = \frac{1-\rho}{1+(2n-1)\rho} \quad (123)$$

Esta relación es válida para cada uno de los componentes de polarización. La transmitancia para luz no polarizada se encuentra tomando el promedio de las transmitancias de las dos componentes.

La absorción de la radiación en un medio parcialmente transparente está descrita por la Ley de Bouger, que se basa en la suposición de que la radiación absorbida es proporcional a la intensidad local en el medio y a la distancia que la radiación viaja en el medio,  $x$ :

$$dI = -IKdx \quad (124)$$

donde  $K$  es el coeficiente de extinción, suponiéndose que es constante en el espectro solar. Integrando esto entre  $0$  y  $L$ ,

$$\tau_a = \frac{I_L}{I_0} = e^{-KL} \quad (125)$$

Para el vidrio, el valor de  $K$  varía desde  $0.04$  cm para uno muy transparente hasta  $0.32$  cm para uno de mala calidad. Si se tienen  $N$  cubiertas de grosor  $L$  entonces la expresión (125) quedará como

$$\tau_a(\theta_1) = e^{-NKL / \cos\theta_2} \quad (126)$$

Para obtener la transmitancia permitiendo tanto reflexión como absorción, es necesario multiplicar las dos transmitancias.

$$\tau = \tau_r \tau_a \quad (127)$$

De la radiación que pasa a través de la cubierta y que llega al absorbente, alguna se refleja hacia la cubierta, sin embargo no toda esta radiación se pierde, ya que una parte se refleja de nuevo hacia el absorbente.

En la Figura 15 se ilustra la anterior situación,  $\tau$  viene siendo la transmitancia de la cubierta a un cierto ángulo deseado según se calcula de (127) y  $\alpha$  es la absorbitancia angular de la placa absorbente. De la energía incidente,  $\tau\alpha$  se absorbe por la placa absorbente y  $(1-\alpha)\tau$  se refleja nuevamente al sistema de cubierta. La reflexión de la placa absorbente es difusa, por lo tanto la fracción  $(1-\alpha)\tau$  que llega a la cubierta es radiación difusa y  $(1-\alpha)\tau\rho_d$  se refleja de nuevo a la placa absorbente. La cantidad  $\rho_d$  se refiere a la reflexión por la cubierta de la radiación incidente difusa.

La reflexión múltiple de la radiación difusa continúa y la energía total absorbida por la placa absorbente es

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d} \quad (128)$$

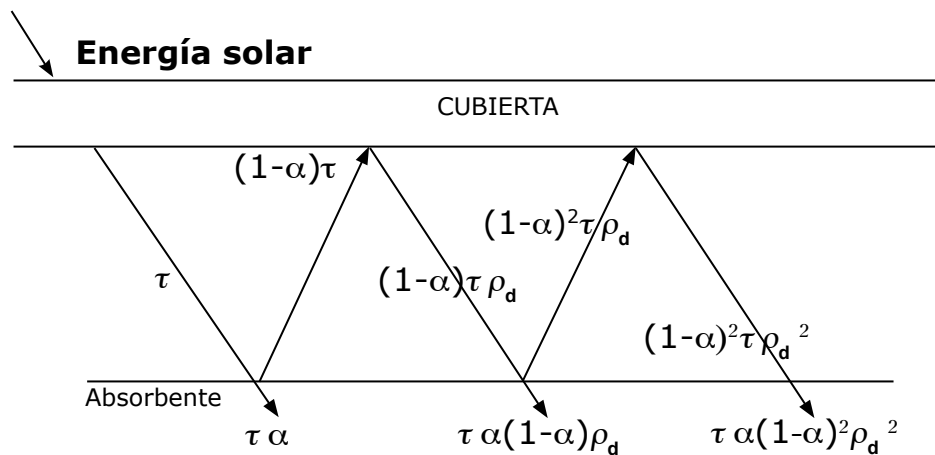


Figura 15

La reflectancia difusa  $\rho_d$ , se puede estimar usando la reflexión del sistema de cubierta a un ángulo de incidencia de  $60^\circ$ .



## Eficiencia del colector

La eficiencia de un colector solar está descrita por un balance de energía que indica la distribución de energía solar incidente en una ganancia energética útil y varias pérdidas. El balance de energía en todo el colector se puede escribir como

$$A_c \{ [HR(\tau\alpha)]_{directa} + [HR(\tau\alpha)]_{difusa} \} = Q_\mu + Q_L + Q_s \quad (129)$$

donde

**H** = Energía solar incidente en un área unitaria sobre la superficie de la Tierra.

**R** = Factor para convertir la radiación directa o difusa a la que incide en el plano del colector.

**( $\tau\alpha$ )** = Producto de la transmitancia por la abosbitancia de la cubierta para la radiación directa o difusa.

**A<sub>c</sub>** = Área del colector.

**Q<sub>μ</sub>** = Razón de energía transferida al fluido dentro del colector.

**Q<sub>L</sub>** = Razón de pérdidas de energía del colector a los alrededores por radiación, convección y conducción.

**Q<sub>s</sub>** = Razón de energía almacenada en el colector.

Una medida de la eficiencia del colector es la eficiencia de colección, definida como la razón de la ganancia útil durante cualquier periodo de tiempo igual a la energía solar incidente en el mismo periodo de tiempo.

$$\eta = \frac{\int \frac{Q_\mu}{A_c} d\tau}{\int HR d\tau} \quad (130)$$

La eficiencia del colector para cada hora de operación se puede encontrar de

$$\eta_{hora} = \frac{Q_\mu}{HRA_c} \quad (131)$$

donde  $HR$  es la radiación sobre la superficie del colector,  $Q_{\mu}$  es la ganancia útil de energía para esa hora y  $A_c$  es el área del colector. La eficiencia diaria no es el promedio de la eficiencia horaria, sino se debe calcular de

$$\eta_{dia} = \frac{\sum Q_{\mu}}{A_c \sum HR} \quad (132)$$

donde la suma se lleva a cabo para las horas del día donde  $Q_{\mu}$  es mayor que cero. Así, vemos también que la eficiencia para cierto mes del año se debe calcular de

$$\eta_{mes} = \frac{\sum Q_{\mu}}{A_c \sum HR} \quad (133)$$

donde la suma se llevará a cabo para todas las horas del mes donde  $Q_{\mu} \neq 0$ .

En los siguientes capítulos veremos cómo calcular  $Q_{\mu}$  y finalmente en el capítulo 9 daremos una expresión para el cálculo de la eficiencia del colector según la fórmula (133).

# Coeficiente de pérdida de calor $U_L$

Consideremos la red térmica para un sistema de una cubierta que se muestra en la Figura 16 del lado izquierdo.

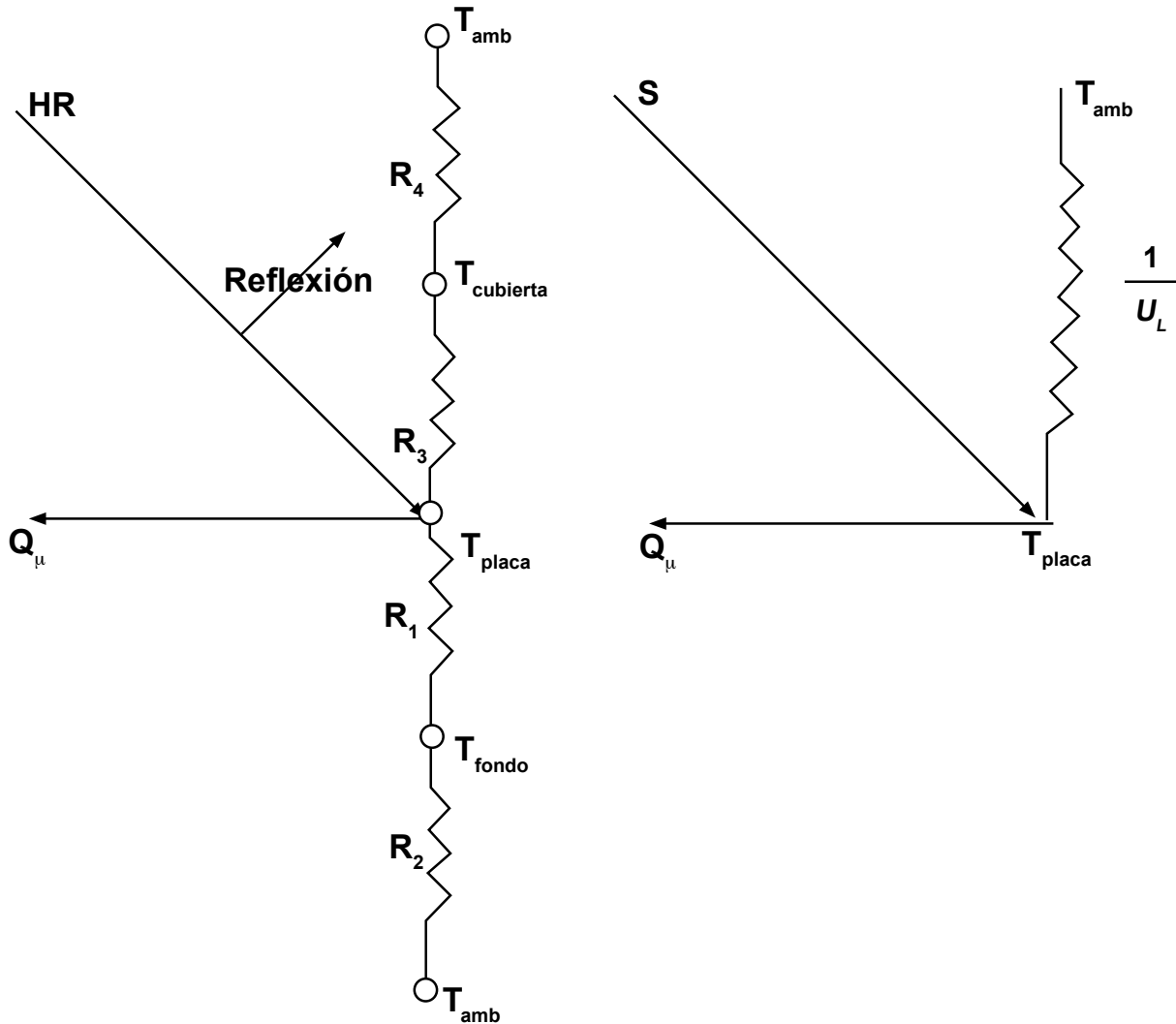


Figura 16

En un cierto lugar de la placa donde la temperatura es  $T_p$ , una cantidad  $S$  de energía solar se absorbe,  $S$  es igual a  $[HR(\tau\alpha)]_{dir} + [HR(\tau\alpha)]_{dif}$ . Esta energía se distribuye en pérdidas por arriba, abajo, los lados ( $U_L = U_a + U_t + U_{lados}$ ) y en una ganancia energética útil. Nuestro propósito aquí es convertir la red de la figura del lado izquierdo en la figura del lado derecho.

La pérdida de energía por abajo está representada por dos resistencias  $R_1$  y  $R_2$  en serie.  $R_1$  representa la resistencia al flujo de calor a través del aislante y  $R_2$  representa la resistencia de radiación y convección hacia el ambiente. De hecho se puede suponer que  $R \approx 0$  y que toda la resistencia se debe al aislante. Por lo tanto el coeficiente de pérdidas por abajo,  $U_a$ , es aproximadamente

$$U_a = \frac{1}{R_1} = \frac{K}{L} \quad (134)$$

donde  $K$  y  $L$  son la conductividad térmica y el grosor del aislante, respectivamente.

Las pérdidas por los lados siempre son muy pequeñas, por lo tanto no es necesario predecirlas con mucha certeza. El coeficiente de pérdidas de la superficie superior es el resultado de la convección y radiación entre placas paralelas. La transferencia de energía entre la placa a  $T_p$  y la cubierta de vidrio a  $T_c$  es exactamente la misma que entre la cubierta y el ambiente.

$$q_{pérdida, arriba} = h_{p-c} (T_{placa} - T_{cubierta}) + \frac{\sigma (T_{placa}^4 - T_{cubierta}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{placa}} + \frac{1}{\epsilon_{vidrio}} - 1} \quad (135)$$

donde  $h_{p-c}$  es el coeficiente de transferencia de calor entre dos placas paralelas inclinadas. Si el término de radiación se linealiza, el coeficiente de transferencia de calor por radiación se puede usar y la pérdida de calor es

$$q_{pérdida, arriba} = (h_{p-c} + h_r)(T_{placa} - T_{cubierta}) \quad (136)$$

$$h_r = \frac{\sigma (T_{placa} + T_{cubierta})(T_{placa}^2 + T_{cubierta}^2)}{\frac{1}{\epsilon_{placa}} + \frac{1}{\epsilon_{vidrio}} - 1} \quad (137)$$

La resistencia,  $R_3$ , se puede expresar como

$$R_3 = \frac{1}{h_{p-c} + h_r} \quad (138)$$



La resistencia de la cubierta al ambiente tiene la misma forma que (138), pero el coeficiente de transferencia de calor por convección es para el viento que sopla sobre el colector. Valores aproximados están dados por (119). La resistencia de radiación de la cubierta tiene que ver con la temperatura  $T_{ambiente}$ .

$$h_{ra} = \varepsilon_{vidrio} \sigma (T_{cubierta} + T_{ambiente}) (T_{cubierta}^2 + T_{ambiente}^2) \quad (139)$$

La resistencia de la atmósfera está dada por

$$R_4 = \frac{1}{h_w + h_{ra}} \quad (140)$$

$h_w$  es el coeficiente de transferencia de calor por el viento.

Para este sistema el coeficiente de pérdidas por arriba de la placa del colector al ambiente es

$$U_t = \frac{1}{R_3 + R_4} \quad (141)$$

o sea

$$U_t = \left( \frac{1}{h_{p-c} + h_r} + \frac{1}{h_w + h_{ra}} \right)^{-1} \quad (142)$$

La temperatura de la cubierta de vidrio se encuentra teniendo en cuenta que la pérdida de calor de la placa a la cubierta es la misma que de la placa al ambiente. Entonces

$$T_{cubierta} = T_{placa} - \frac{U_t (T_{placa} - T_{ambiente})}{h_{p-c} + h_r} \quad (143)$$

El procedimiento es suponer una temperatura mediante la cual  $h_{p-c}$ ,  $h_r$  y  $h_{ra}$  se calculan. Con estos coeficientes de transferencia de calor y  $h_w$ , se calcula el coeficiente de pérdida de calor por arriba. Estos resultados se usan para calcular  $T_{cubierta}$  mediante la ecuación de arriba. Si  $T_{cubierta}$  es aproximada a la que se propone, no hay que hacer más cálculos. De otra manera, la nueva  $T_{cubierta}$  se usa y se requiere otro cálculo.



# Factor de eficiencia del colector plano y factor de calor removido

La distribución de la temperatura entre dos tubos se puede derivar si temporalmente suponemos que el gradiente de temperatura en la dirección del fluido es despreciable. Consideremos la configuración placa-tubo que se muestra en la Figura 17.

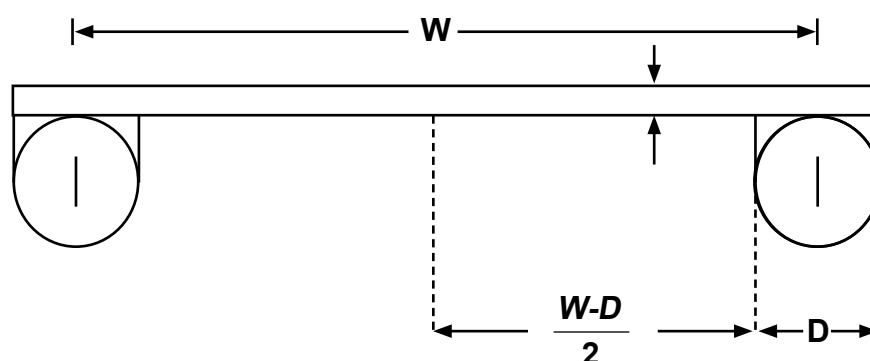


Figura 17

Supondremos que la placa justamente arriba de la unión con el tubo se encuentra a una temperatura  $T_b$ . En la Figura 18 consideramos un elemento de volumen  $\Delta x \Delta y \delta$  de la placa a lo largo de la línea que une a los dos tubos

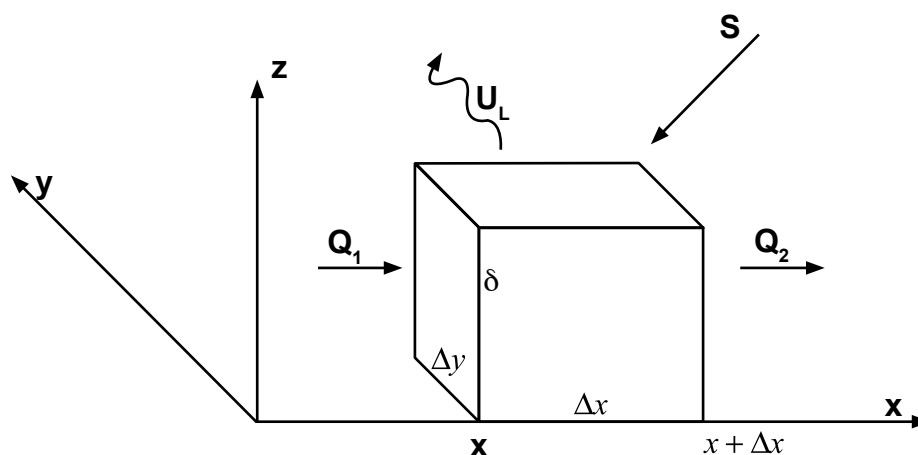


Figura 18

un balance de energía sobre este elemento da

$$S\Delta x\Delta y - U_L\Delta x\Delta y(T - T_a) + Q_1 - Q_2 = 0 \quad (144)$$

donde  $S$  es la cantidad de calor por unidad de área que recibe la placa en su exposición al sol,  $U_L$  es el coeficiente de pérdida

$$\begin{aligned} Q_1 &= -K\Delta y\delta \left. \frac{dT}{dx} \right|_x \\ Q_2 &= -K\Delta y\delta \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x+\Delta x} \\ &= -K\Delta y\delta \left( \left. \frac{dT}{dx} \right|_x + \Delta x \left. \frac{d^2T}{dx^2} \right|_x + (\Delta x)^2 \left. \frac{d^3T}{dx^3} \right|_x + \dots \right) \end{aligned} \quad (145)$$

dividiendo entre  $\Delta x\Delta y$  y encontrando el límite cuando  $\Delta x$  tiende a cero tenemos

$$\begin{aligned} S - U_L(T - T_a) + K\delta \frac{d^2T}{dx^2} &= 0 \\ \frac{d^2T}{dx^2} &= \frac{U_L}{K\delta} \left( T - T_a - \frac{S}{U_L} \right) \end{aligned} \quad (146)$$

Las condiciones iniciales necesarias para resolver esta ecuación diferencial son

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad T \Big|_{x=\frac{w-D}{2}} = T_b \quad (147)$$

$$\text{si definimos } y \quad m^2 = \frac{U_L}{K\delta} \quad y \quad \psi = T - T_a - \frac{S}{U_L} \quad (148)$$

$$\text{tendremos } \frac{d^2\psi}{dx^2} = m^2\psi \quad (149)$$

$$\text{con } \left. \frac{d\psi}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad \psi \Big|_{x=\frac{w-D}{2}} = T_b - T_a - \frac{S}{U_L} \quad (150)$$

Así, la solución general es

$$\psi = C_1 \sinh(mx) + C_2 \cosh(mx)$$

$$\frac{d\psi}{dx} = C_1 m \cosh(mx) + C_2 m \sinh(mx)$$

**(151)**

$$\left. \frac{d\psi}{dx} \right|_{x=0} = C_1 m = 0 \Rightarrow C_1 = 0$$

$$\psi = C_2 \cosh(mx)$$

$$\psi_{\frac{W-D}{2}} = C_2 \cosh m \left( \frac{W-D}{2} \right) = T_b - T_a - \frac{S}{U_L}$$

**(152)**

$$\Rightarrow C_2 = \frac{T_b - T_a - \frac{S}{U_L}}{\cosh m \left( \frac{W-D}{2} \right)}$$

y la solución particular es entonces

$$\psi(x) = \frac{T_b - T_a - \frac{S}{U_L}}{\cosh m \left( \frac{W-D}{2} \right)} \cosh mx$$

**(153)**

por lo tanto

$$T - T_a - \frac{S}{U_L} = \frac{T_b - T_a - \frac{S}{U_L}}{\cosh m \left( \frac{W-D}{2} \right)} \cosh(mx)$$

**(154)**

$$T = T_a + \frac{S}{U_L} + \frac{T_b - T_a - \frac{S}{U_L}}{\cosh m \left( \frac{W-D}{2} \right)} \cosh(mx)$$

La energía por unidad de tiempo que llega a la base del tubo por unidad de longitud en la dirección de flujo es

$$q_{placa} = \frac{Q_2}{\Delta y} = -K\delta \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=\frac{W-D}{2}} \quad (155)$$

como

$$\frac{dT}{dx} = m \frac{T_b - T_a - S/U_L}{\cosh m \left( \frac{W-D}{2} \right)} \sinh(mx) \quad (156)$$

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=\frac{W-D}{2}} = m \left( T_b - T_a - S/U_L \right) \tanh m \left( \frac{W-D}{2} \right) \quad (157)$$

$$q_{placa} = \frac{-K\delta m}{U_L} [U_L(T_b - T_a) - S] \tanh m \left( \frac{W-D}{2} \right) \quad (158)$$

$$q_{placa} = -\frac{1}{m} [U_L(T_b - T_a) - S] \tanh m \left( \frac{W-D}{2} \right)$$

$$q_{placa} = \frac{1}{2}(W-D)[S - U_L(T_b - T_a)] \frac{\tanh \frac{m}{2}(W-D)}{\frac{m}{2}(W-D)} \quad (159)$$

y tomando en cuenta la contribución del otro lado del tubo

$$q_{placa} = (W-D)F[S - U_L(T_b - T_a)] \quad (160)$$

con

$$F = \frac{\tanh \frac{m}{2}(W-D)}{\frac{m}{2}(W-D)} \quad (161)$$

La función  $F$  es la eficiencia estándar de la placa con perfil rectangular.

La ganancia útil del colector también incluye la energía recolectada sobre la región del tubo. Esto es

$$q_{tubo} = D[S - U_L(T_b = T_a)] \quad (162)$$

que sumada a (160) nos da la ganancia útil de energía por unidad de longitud en la dirección del tubo

$$q_u = [(W - D)F + D][S - U_L(T_b - T_a)] \quad (163)$$

Por último, la ganancia neta de energía, ecuación (163) debe transferirse al fluido. La resistencia al flujo de calor hacia el fluido resulta de la resistencia que manifiestan las paredes del tubo y el pegamento. La ganancia neta se puede expresar con base en estas dos resistencias como

$$q_u = \frac{T_b - T_f}{\frac{1}{h_{fi}\pi D_i} + \frac{1}{C_b}} \quad (164)$$

donde  $D_i$  es el diámetro interior del tubo y  $h_{fi}$  es el coeficiente de transferencia de calor entre el fluido y la pared del tubo. La conductancia del pegamento,  $C_b$ , se puede estimar partiendo de la conductividad térmica,  $K$ , el grosor,  $\gamma$ , y la longitud,  $b$ .

$$C_b = \frac{Kb}{\gamma} \quad (165)$$

Resolviendo la ecuación (164) para  $T_b$  y sustituyéndola en (163) obtenemos la ganancia neta

$$q_u = WF'[S - U_L(T_f - T_a)] \quad (166)$$

donde  $F'$ , el factor de eficiencia del colector, es

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[ \frac{1}{U_L [D + (W - D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]} \quad (167)$$

Refiriéndonos a la Figura 19, podemos expresar el balance de energía sobre el fluido en la sección del tubo de longitud  $\Delta y$  como

$$\dot{m}C_p T_f|_y - \dot{m}C_p T_f|_{y+\Delta y} + \Delta y q_u = 0 \quad (168)$$

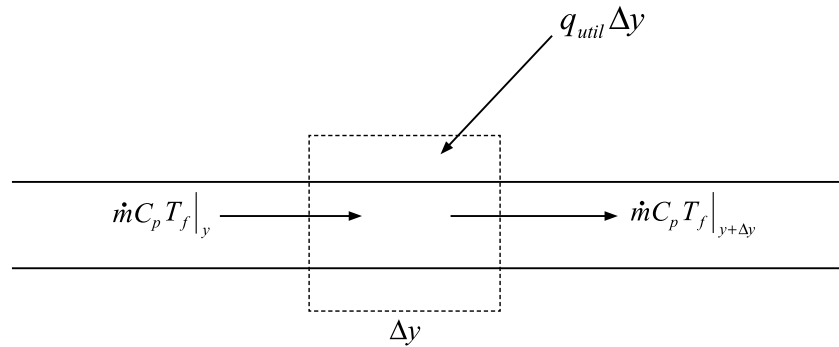


Figura 19

haciendo un desarrollo en serie de Taylor alrededor de  $Y$  tenemos

$$\dot{m}C_p T_f|_y - \dot{m}C_p \left[ T_f|_y + \Delta y \frac{\partial T_f}{\partial y} \Big|_y + \dots \right] + \Delta y q_u = 0 \quad (169)$$

dividiendo entre  $\Delta y$ , tomando el límite cuando  $\Delta y \rightarrow 0$  y sustituyendo el valor de  $q_u$  obtenido en (166) tenemos

$$\dot{m}C_p \frac{dT_f}{dy} - WF' [S - U_L (T_f - T_a)] = 0 \quad (170)$$

Considerando que  $F'$  y  $U_L$  no son funciones de  $Y$ , entonces la solución de la ecuación diferencial (170) es

$$\frac{T_f - T_a - S/U_L}{T_{fi} - T_a - S/U_L} = e^{-(U_L WF' y / \dot{m}C_p)} \quad (171)$$



A continuación se define el factor de calor removido,  $F_R$ , como la razón entre el calor removido por el fluido en los tubos y la energía útil si todo el colector estuviera a la temperatura de entrada del fluido

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi})}{S - U_L (T_{fi} - T_a)} \quad (172)$$

con  $G = \frac{\dot{m}}{WL}$  como la razón de flujo por unidad de área tenemos

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L} \left[ \frac{T_{fo} - T_{fi}}{S/U_L - (T_{fi} - T_a)} \right] \quad (173)$$

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L} \left[ \frac{T_{fo} - T_a - S/U_L - (T_{fi} - T_a - S/U_L)}{S/U_L - (T_{fi} - T_a)} \right] \quad (174)$$

o

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L} \left[ 1 - \frac{S/U_L - (T_{fo} - T_a)}{S/U_L - (T_{fi} - T_a)} \right] \quad (175)$$

que se puede escribir mediante la ecuación (138) con  $y=L$  y  $T_f|_L = T_{fo}$  como

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L} (1 - e^{-(U_L F' GC_p)}) \quad (176)$$

mediante este nuevo factor la ecuación (172) puede reescribirse como

$$Q_u = A_C F_R [S - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (177)$$

donde  $Q_u$  es la energía total útil ganada por el colector que se mencionó dentro de las fórmulas (130) y (133).



# Datos de insolación

Las tablas que se presentan a continuación corresponden a diferentes periodos de medición de distintas oficinas o institutos de investigación de los Estados Unidos, esto no quiere decir que en México no se hayan realizado mediciones, se efectuaron pero no en un periodo de varios años que se requiere para hacer un estudio estadístico y observar su comportamiento. Así, en la Tabla 6 se considera un periodo de 23 años (1950 a 1972) y en las tablas posteriores un periodo de 31 años (1960 a 1990) del Laboratorio Nacional de Energía Renovable del Departamento de Energía de los Estados Unidos.

## Ciudad Juárez–El Paso

## Mayo de 1950–Agosto de 1972

	(1)		(2)		(1)/(2) como un %
	Qa media para todos los días		Qa media para días con 100Sr y 0.0Cd		
Enero	337	3917	393	4568	86
Febrero	436	5067	500	5811	87
Marzo	549	6381	628	7299	87
Abril	659	7659	724	8414	91
Mayo	718	8345	786	9135	91
Junio	727	8449	791	9193	92
Julio	671	7798	768	8926	87
Agosto	631	7334	703	8170	90
Septiembre	562	6532	624	7252	90
Octubre	463	5381	513	5962	90
Noviembre	360	4184	409	4753	88
Diciembre	306	3556	356	4137	86
Promedio	537	6241	600	6973	90
	<b>Langleys</b>	<b>Wh/m2</b>	<b>Langleys</b>	<b>Wh/m2</b>	

**Qa** es la insolación diaria, **SR** es el porcentaje diario de sol posible y **Cd** es la nubosidad desde la salida hasta la puesta del sol.

**Tabla 6**

Promedio diario de la radiación para todos los días, para días con 100% de sol y cielo completamente despejado y porcentaje de la radiación diaria posible. **Distribución mensual**

**Ciudad Juárez–El Paso**

**Enero de 1960–Diciembre de 1990**

<b>Mes</b>	<b>AVGLO</b>	<b>AVDIR</b>	<b>AVDIF</b>	<b>AVETR</b>	<b>AETRN</b>
Enero	3469	5358	1057	5728	14383
Febrero	4538	6292	1245	7051	15282
Marzo	5856	7059	1566	8752	16353
Abril	7092	7862	1785	10269	17384
Mayo	7834	8356	1889	11187	18206
Junio	8027	8328	1971	11531	18591
Julio	7365	6867	2298	11346	18330
Agosto	6759	6513	2121	10596	17552
Septiembre	5866	6368	1748	9294	16564
Octubre	4932	6387	1340	7659	15520
Noviembre	3798	5707	1079	6112	14569
Diciembre	3203	5240	964	5309	14077
Promedio	5733	6694	1591	8744	16406
<b>Wh/m2</b>					

**AVGLO** = Promedio diario de radiación solar terrestre sobre la horizontal  
**AVDIR** = Promedio diario de radiación solar terrestre normal directa  
**AVDIF** = Promedio diario de radiación solar difusa terrestre sobre la horizontal  
**AVETR** = Promedio diario de radiación solar extraterrestre sobre la horizontal  
**AETRN** = Promedio diario de radiación solar extraterrestre normal directa

**Tabla 7**

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960–1990. **Distribución mensual**

Enero de 1960–Diciembre de 1990

Ciudad Juárez–El Paso

AÑO	AVGLO	SDGLO	AVDIR	SDDIR	AVDIF	SDDIF	AVETR	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AVWS
1960	5732	124	6694	328	1591	104	8743	16405	3.8	2.8	1.37	0.09	25.25	9.42	17.35	20.19	41	1475	1180	3.4
1961	5857	1956	6982	2727	1512	713	8745	16407	3.9	2.9	1.23	0.08	24.67	9.39	17.06	19.97	39	1524	99999	4
1962	5859	2029	7081	2910	1468	711	8745	16407	3.5	2.5	1.27	0.09	25.22	9.83	17.56	20.3	40	1418	99999	3.4
1963	5931	1864	7345	2776	1413	773	8745	16407	3.6	2.4	1.37	0.07	25.5	9.94	17.72	20.5	38	1416	99999	3.4
1964	5878	1813	6698	2251	1674	712	8736	16400	3.1	2.1	1.16	0.14	24.56	9.39	17	19.61	35	1694	99999	3.9
1965	5844	2021	6684	2760	1605	645	8745	16407	3.8	2.5	1.21	0.11	25.06	10.33	17.72	20.13	39	1348	99999	3.6
1966	5810	1834	6774	2418	1611	741	8745	16407	3.7	2.4	1.4	0.1	24.5	9.61	17.11	19.62	41	1577	99999	3.5
1967	5775	1915	6783	2764	1572	768	8745	16407	4.2	2.8	1.4	0.09	25	9.56	17.28	20	36	1457	99999	3.8
1968	5654	1992	6297	2633	1699	655	8736	16400	4	2.8	1.34	0.11	24.17	9.33	16.78	19.28	44	1563	99999	3.2
1969	5797	1924	6732	2568	1593	681	8745	16407	3.7	2.8	1.36	0.1	26.06	10.78	18.44	20.97	38	1359	1458	3.4
1970	5847	1908	6931	2686	1553	771	8745	16407	3.8	2.7	1.29	0.09	25.72	9.78	17.78	20.54	34	1357	1214	3.6
1971	5928	1903	7126	2565	1501	702	8745	16407	3.6	2.6	1.31	0.08	25	9.67	17.33	19.97	37	1444	1151	4
1972	5793	1871	6861	2796	1550	807	8736	16400	4	2.8	1.41	0.08	25.56	9.78	17.67	20.43	41	1272	1090	3.7
1973	5883	2000	7084	2777	1483	676	8745	16407	3.3	2.5	1.14	0.09	25.44	7.72	16.61	19.87	41	1575	1006	3.9
1974	5753	2013	6863	3026	1508	747	8745	16407	4	3	1.27	0.08	25.11	8.94	17.06	19.9	42	1542	1142	3.8
1975	5868	1885	7156	2686	1490	780	8745	16407	3.3	2.4	1.1	0.09	25.83	8.06	16.94	20.11	39	1529	1084	3.7
1976	5673	1816	6728	2724	1598	804	8736	16400	4	3	1.25	0.07	24.56	8.06	16.33	19.09	45	1652	962	3.5
1977	5672	1843	6350	2389	1697	707	8745	16407	4.1	2.9	1.34	0.11	25.78	9.44	17.67	20.54	38	1434	1245	3.6
1978	5530	2144	6541	3037	1471	714	8745	16407	3.9	3.1	1.45	0.1	25.5	10.78	18.17	20.59	45	1305	1308	3.6
1979	5775	2025	7070	2920	1449	768	8745	16407	3.6	2.5	1.36	0.08	25.39	8.33	16.89	19.96	42	1661	1199	3.6
1980	5732	2059	6673	3023	1651	801	8736	16400	3.9	2.9	1.43	0.07	26.17	9.72	17.94	20.9	41	1470	1394	3.2
1981	5579	1964	6526	3026	1593	782	8745	16407	4.3	3.1	1.51	0.07	26.22	10.5	18.33	21.15	46	1241	1313	3.2
1982	5527	2007	6001	2913	1763	757	8745	16407	4.5	3.2	1.42	0.11	25.67	10	17.83	20.76	41	1434	1319	3.1
1983	5670	1967	6206	2630	1759	733	8745	16407	3.7	2.8	1.49	0.13	25	9.61	17.33	20.03	45	1524	1211	3.2
1984	5629	1927	6406	2824	1659	789	8736	16400	3.9	2.9	1.49	0.1	24.89	9.56	17.28	20.01	44	1513	1169	3.2
1985	5618	1851	6482	2704	1643	797	8745	16407	4.2	3.1	1.47	0.08	24.78	8.72	16.78	19.83	47	1581	1078	2.4
1986	5592	1871	6414	2795	1648	813	8745	16407	4.4	3.2	1.57	0.08	25	9.61	17.33	20.15	47	1441	1125	2.4
1987	5654	1772	6694	2654	1608	822	8745	16407	3.9	2.9	1.46	0.07	24.61	8.17	16.39	19.58	47	1673	1008	3.1
1988	5593	1892	6664	2831	1472	782	8736	16400	3.4	2.6	1.5	0.11	25	8.78	16.89	20.11	44	1498	1019	3.3
1989	5699	1904	6571	2727	1619	814	8745	16407	3.6	2.5	1.46	0.1	26.33	9.5	17.94	21.21	39	1371	1243	3.3
1990	5548	1886	6092	2660	1856	1066	8745	16407	3.8	2.9	1.53	0.09	25.22	9.67	17.44	20.59	45	1381	1235	3.6

**Tabla 8**  
Promedios diarios de radiación en el periodo 1960–1990. Distribución anual

1960-1961

Ciudad Juárez-El Paso

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIR	FL	SDDIF	AVETRI	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AWWS
1960	1	3469	F4	285	5358	F4	1047	1057	F5	204	5728	14383	4.4	3.1	0.73	0.06	13.37	-1.43	5.98	9.36	51	369	0	3.2
1960	2	4539	F4	301	6294	F4	943	1244	F5	203	7051	15282	4.1	2.9	0.72	0.06	16.79	1.06	8.94	11.99	42	254	0	3.6
1960	3	5856	F4	324	7059	F4	924	1566	F5	250	8752	16353	4	2.8	0.72	0.07	21.07	4.53	12.82	15.98	32	168	4	4.4
1960	4	7092	F4	316	7862	F4	818	1785	F5	255	10269	17384	3.5	2.3	0.86	0.09	25.94	8.86	17.42	20.46	27	55	34	4.4
1960	5	7834	F4	260	8356	F4	648	1889	F5	221	11187	18206	3.2	2.2	1.14	0.1	30.62	13.59	22.12	25.36	27	7	122	4.1
1960	6	8027	F4	327	8328	F4	892	1971	F5	341	11531	18591	2.8	2.1	1.71	0.12	35.81	17.94	26.89	29.97	30	0	263	3.6
1960	7	7365	F4	303	6867	F4	714	2298	F5	234	11346	18330	4.5	3.5	2.59	0.13	35.62	20.21	27.93	29.9	44	0	296	3.2
1960	8	6759	F4	330	6513	F4	631	2121	F5	192	10596	17552	4.4	3.4	2.63	0.12	34.17	19.21	26.71	28.56	48	0	262	3
1960	9	5866	F4	344	6367	F4	740	1748	F5	186	9294	16564	3.7	3	2.18	0.11	30.6	16.44	23.53	25.56	51	4	159	2.9
1960	10	4932	F4	297	6387	F4	855	1340	F5	217	7660	15520	3.1	2.3	1.37	0.1	25.76	9.79	17.79	20.91	47	52	35	2.9
1960	11	3798	F4	260	5707	F4	836	1079	F5	175	6113	14569	3.7	2.6	0.92	0.08	19.09	3.56	11.34	14.04	47	213	1	3.1
1960	12	3203	F4	236	5240	F4	868	964	F5	151	5308	14077	4.2	3	0.79	0.06	14.19	-0.73	6.74	9.77	52	349	0	3
1960	Prom	5732	F4	124	6694	F4	328	1591	F5	104	8743	16405	3.8	2.8	1.37	0.09	25.25	9.42	17.35	20.19	41	1475	1180	3.4
1961	1	3255	C4	928	4798	E4	3082	1110	E5	522	5728	14383	5.3	4.2	0.69	0.05	11.06	-1.67	4.72	7.87	58	408	9999	3.7
1961	2	4776	C4	756	6841	E4	2008	1142	E5	390	7044	15278	3.2	2.3	0.55	0.07	15.33	1.56	8.44	11.6	38	263	9999	5.3
1961	3	6082	C4	744	7691	E4	2246	1415	E5	635	8739	16345	4.1	2.8	0.62	0.06	21.06	5.56	13.33	16.11	29	148	9999	6.7
1961	4	7433	C4	864	8927	E4	2265	1470	E5	642	10259	17377	2.5	1.7	0.65	0.08	25.56	7.61	16.61	20.84	19	54	9999	6.7
1961	5	7939	C4	724	8520	E4	2335	1890	E5	814	11183	18201	3.5	2.3	0.94	0.09	31.83	13.5	22.67	26.52	21	1	9999	4.7
1961	6	8030	C4	889	7921	E4	2321	2126	E5	723	11530	18590	3.8	2.6	1.63	0.14	36.44	18.17	27.33	29.9	29	0	9999	3.4
1961	7	7769	C4	693	7900	E4	1775	2005	E5	548	11349	18334	4.3	3.1	2.21	0.1	36.28	19.39	27.93	30.05	40	0	9999	3.1
1961	8	6885	C4	1077	6743	E4	2346	2030	E5	596	10604	17559	4.8	3.5	2.41	0.1	34.06	19.5	26.78	28.7	44	0	9999	2.9
1961	9	6126	C4	864	6890	E4	2412	1644	E5	639	9306	16572	3.8	3	2.16	0.09	28.94	16.11	22.56	25.32	46	0	9999	3.2
1961	10	5235	C4	830	7291	E4	2168	1166	E5	521	7672	15528	2.1	1.6	1.11	0.08	26.06	8.89	17.5	21.37	34	46	9999	2.8
1961	11	3470	C4	906	4671	E4	2901	1266	E5	520	6122	14575	5.4	4.2	0.94	0.06	15.61	3.67	9.67	10.49	61	285	9999	2.8
1961	12	3235	C4	817	5597	E4	2901	861	E5	450	5310	14078	4.1	3	0.78	0.04	13.67	0.44	7.06	10.23	53	319	9999	3.2
1961	Prom	5857	C4	1956	6982	E4	2727	1512	E5	713	8745	16407	3.9	2.9	1.23	0.08	24.67	9.39	17.06	19.97	39	1524	99999	4

**Tabla 9**

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. Distribución mensual

1962-1963

Ciudad Juárez-EI Paso

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIF	FL	SDIF	AVETR	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AVWS
1962	1	3658	C4	942	6380	E4	2896	813	E5	408	5728	14383	4.1	2.8	0.69	0.03	10.72	-2.06	4.33	7.46	54	419	9999	3.1
1962	2	4787	C4	878	7245	E4	2625	1031	E5	576	7044	15278	3.7	2.3	0.69	0.04	19.39	3.78	11.61	14.29	39	177	9999	3.8
1962	3	5742	C4	1490	6916	E4	3528	1541	E5	743	8739	16345	4.7	3.4	0.59	0.05	18.17	2.78	10.5	13.05	33	241	9999	4.4
1962	4	7219	C4	984	8262	E4	2377	1674	E5	669	10259	17377	3.7	2.1	0.76	0.08	27.11	8.94	18.06	22.16	23	20	9999	4.2
1962	5	8479	C4	522	10094	E4	1851	1407	E5	622	11183	18201	1.8	0.9	0.78	0.08	30.89	13.78	22.33	26.37	15	2	9999	4.3
1962	6	8398	C4	483	8983	E4	1672	1836	E5	561	11530	18590	1.5	1.2	1.41	0.14	35.44	17.28	26.39	29.63	23	0	9999	3.4
1962	7	7102	C4	993	6114	E4	2147	2392	E5	546	11349	18334	5.1	4.2	2.82	0.15	34.06	20.33	27.22	28.34	48	0	9999	3.3
1962	8	7476	C4	514	8028	E4	1316	1782	E5	404	10604	17559	1.8	1.3	1.95	0.15	37.17	18.56	27.89	31.19	28	0	9999	2.9
1962	9	5404	C4	1522	5498	E4	3343	1850	E5	703	9306	16572	4.9	4.2	2.38	0.1	30.39	18.22	24.33	24.75	58	0	9999	2.9
1962	10	5154	C4	923	7022	E4	2363	1170	E5	498	7672	15528	2.4	1.8	1.38	0.08	25.83	11.17	18.5	21.37	50	36	9999	2.7
1962	11	3653	C4	1011	5224	E4	2778	1130	E5	459	6122	14575	4.2	3.2	0.95	0.07	19.89	4.72	12.33	14.92	47	185	9999	2.7
1962	12	3175	C4	764	5207	E4	2737	964	E5	435	5310	14078	3.8	3.1	0.82	0.06	13.83	0.72	7.28	9.79	59	338	9999	2.6
1962	Prom	5859	C4	2029	7081	E4	2910	1468	E5	711	8745	16407	3.5	2.5	1.27	0.09	25.22	9.83	17.56	20.3	40	1418	99999	3.4
1963	1	3745	C4	801	6300	E4	2771	913	E5	493	5728	14383	4.1	2.7	0.55	0.04	11.33	-2.28	4.56	7.73	43	418	9999	3.7
1963	2	4903	C4	895	7468	E4	2791	998	E5	634	7044	15278	3	2.1	0.7	0.04	16.61	2.33	9.5	12.28	41	243	9999	3.8
1963	3	6119	C4	972	7884	E4	2849	1371	E5	803	8739	16345	3.8	2.2	0.62	0.05	21.28	4.89	13.11	16.58	24	155	9999	4.7
1963	4	7203	C4	1287	8333	E4	3097	1567	E5	823	10259	17377	4.1	2.6	0.78	0.06	26.89	10.72	18.83	21.73	20	23	9999	4.9
1963	5	7749	C4	1035	8203	E4	2751	1957	E5	902	11183	18201	3.6	2.5	1.24	0.09	32.33	15.06	23.72	27.02	27	0	9999	3.4
1963	6	8393	C4	821	9571	E4	2277	1544	E5	707	11530	18590	1.7	1.4	1.56	0.08	35.72	17.56	26.67	29.91	24	0	9999	3.6
1963	7	7448	C4	1060	7243	E4	2404	2067	E5	603	11349	18334	4.1	3.1	2.74	0.11	37.06	22.11	29.61	30.95	40	0	9999	2.9
1963	8	6707	C4	1066	6384	E4	2315	2056	E5	611	10604	17559	5.1	4	2.9	0.1	33.78	19.44	26.61	27.88	51	0	9999	3.2
1963	9	6417	C4	547	7662	E4	1683	1421	E5	519	9306	16572	3.1	2.1	2.31	0.09	31.17	17.89	24.56	26.32	49	0	9999	2.5
1963	10	5161	C4	1030	6979	E4	2760	1213	E5	597	7672	15528	3.3	2	1.41	0.08	26.94	11.17	19.06	22.34	42	9	9999	2.4
1963	11	3840	C4	921	5879	E4	2829	1025	E5	501	6122	14575	4.1	2.8	0.94	0.06	19.78	3.83	11.83	14.08	48	189	9999	3.2
1963	12	3452	C4	677	6316	E4	2654	784	E5	463	5310	14078	2.8	1.9	0.59	0.05	13.06	-3.39	4.83	8.71	43	379	9999	2.7
1963	Prom	5931	C4	1864	7345	E4	2776	1413	E5	773	8745	16407	3.6	2.4	1.37	0.07	25.5	9.94	17.72	20.5	38	1416	99999	3.4

Tabla 9

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. Distribución mensual

**1964-1965**

**Ciudad Juárez-EI Paso**

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIR	FL	SDIF	AVETR	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AWWS
1964	1	3954	C4	603	7115	E4	2194	758	E5	409	5728	14383	2.5	1.5	0.46	0.05	11.94	-5	3.5	7.2	31	438	9999	3.9
1964	2	5089	C4	899	8050	E4	2403	890	E5	443	7072	15296	2.6	1.7	0.4	0.05	12.06	-3.33	4.39	7.87	29	386	9999	4.1
1964	3	6070	C4	975	7467	E4	2562	1471	E5	680	8795	16381	3.5	2.3	0.55	0.07	19.33	2.94	11.17	14.31	28	197	9999	5.4
1964	4	7301	C4	916	7848	E4	2060	1889	E5	583	10301	17407	2.8	1.5	0.62	0.14	24.94	9.72	17.33	19.71	20	55	9999	5.4
1964	5	7893	C4	641	7888	E4	1690	2114	E5	546	11202	18223	2.8	1.7	1.16	0.16	31.39	15.17	23.28	26.06	24	2	9999	4.4
1964	6	8271	C4	372	8292	E4	1160	2168	E5	463	11533	18593	2	1	1.39	0.18	35.94	19.06	27.5	30.16	24	0	9999	4.3
1964	7	7170	C4	1175	6142	E4	1996	2515	E5	447	11334	18315	4.6	3.4	2.51	0.18	36.61	21.72	29.17	30.78	38	0	9999	3.7
1964	8	7017	C4	619	6541	E4	1352	2294	E5	389	10571	17529	3.8	2.5	2.24	0.18	35.5	20.78	28.17	29.67	41	0	9999	3.5
1964	9	5836	C4	985	5615	E4	1933	2048	E5	428	9255	16538	3.4	3	2.1	0.19	30.22	18.22	24.22	25.46	52	0	9999	3.2
1964	10	5038	C4	699	6049	E4	1385	1508	E5	276	7618	15494	1.9	1.2	1.05	0.18	25.72	9.67	17.72	20.77	43	42	9999	2.2
1964	11	3988	C4	300	5766	E4	936	1152	E5	257	6080	14549	1.8	1.1	0.7	0.15	18.94	3.5	11.22	13.92	39	217	9999	3.2
1964	12	2918	C4	693	3716	E4	2125	1254	E5	327	5304	14074	5.6	3.9	0.71	0.11	12.22	0.44	6.33	8.99	52	357	9999	3.4
1964	Prom	5878	C4	1813	6698	E4	2251	1674	E5	712	8736	16400	3.1	2.1	1.16	0.14	24.56	9.39	17	19.61	35	1694	99999	3.9

1965	1	3410	C4	784	4666	F4	2157	1230	F5	299	5728	14383	5.5	3	0.75	0.1	14.56	2.56	8.56	11.03	51	289	9999	3.5
1965	2	4384	C4	1023	5488	F4	2601	1443	F5	487	7044	15278	4.6	3.2	0.6	0.1	14.33	1.39	7.89	10.17	44	280	9999	3.7
1965	3	5853	C4	1193	6905	F4	2549	1594	F5	546	8739	16345	4	2.6	0.63	0.1	18.61	3.72	11.17	13.5	35	221	9999	4.5
1965	4	7168	C4	1183	7964	F4	3127	1727	F5	866	10259	17377	4	2.5	0.74	0.08	26.67	10.28	18.5	21.14	23	30	9999	4.3
1965	5	8059	C4	1012	9008	F4	2532	1698	F5	780	11183	18201	2.8	1.8	1.03	0.09	30.11	14.11	22.11	24.75	26	4	9999	4.6
1965	6	8193	C4	946	8739	F4	2388	1865	F5	728	11530	18590	2.3	1.7	1.51	0.13	34.17	17.17	25.67	28.09	29	1	9999	3.8
1965	7	7808	C4	822	7751	F4	2054	2110	F5	614	11349	18334	3.1	2.4	2.25	0.14	36.78	21.22	29	30.86	36	0	9999	3.6
1965	8	7198	C4	623	7164	F4	1705	2053	F5	554	10604	17559	3.6	2.6	2.18	0.14	34.89	19.67	27.28	29.01	42	0	9999	3.3
1965	9	6156	C4	906	7003	F4	2351	1642	F5	669	9906	16572	2.8	2.1	1.94	0.11	29.5	17.67	23.61	25.03	48	2	9999	3.7
1965	10	5206	C4	511	6753	F4	1362	1362	F5	388	7672	15528	1.8	1.1	0.91	0.13	26.06	8.89	17.5	20.89	31	59	9999	2.5
1965	11	3707	C4	552	4692	F4	1687	1369	F5	356	6122	14575	5.6	3.3	1.03	0.1	21.72	6.28	14	16.79	37	133	9999	2.8
1965	12	2908	C4	771	4007	F4	2611	1159	F5	401	5310	14078	5.4	4.1	0.91	0.07	13.28	1.33	7.33	9.67	61	329	9999	2.7
1965	Prom	5844	C4	2021	6684	F4	2760	1605	F5	645	8745	16407	3.8	2.5	1.21	0.11	25.06	10.33	17.72	20.13	39	1348	99999	3.6

**Tabla 9**

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. Distribución mensual



1966-1967

Ciudad Juárez - El Paso

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIF	FL	SDIF	AVETR	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AVWS
1966	1	3571	C4	652	5578	F4	2228	1030	F5	404	5728	14383	3.3	2.5	0.59	0.08	10.78	-2.44	4.17	7.03	47	427	9999	3.3
1966	2	4680	C4	840	6662	F4	2417	1186	F5	527	7044	15278	3.5	2.4	0.58	0.07	12.33	-0.89	5.72	8.34	40	340	9999	3.9
1966	3	6028	C4	718	7947	F4	2104	1523	F5	622	8739	16345	4.3	2.4	0.78	0.08	21.56	5.5	13.56	16.35	26	147	9999	4.3
1966	4	7131	C4	1125	8027	F4	2395	1677	F5	569	10259	17377	3.4	2.2	1.01	0.1	25.61	11.11	18.39	20.39	31	33	9999	5
1966	5	7737	C4	1008	8178	F4	2459	1910	F5	760	11183	18201	3.3	2.6	1.39	0.1	30.83	16.33	23.61	25.83	32	2	9999	4.4
1966	6	7663	C4	1450	7513	F4	3172	2132	F5	836	11530	18590	3.9	2.9	2.01	0.13	34.33	18.44	26.39	28.48	40	0	9999	3.8
1966	7	7875	C4	468	7569	F4	1380	2236	F5	512	11349	18334	3.5	2.1	2.38	0.16	36.11	21.28	28.72	30.65	46	0	9999	2.8
1966	8	6602	C4	1157	5762	F4	2225	2396	F5	555	10604	17559	5.4	3.8	2.72	0.15	32.94	19	26	27.17	57	0	9999	2.8
1966	9	6024	C4	848	6192	F4	1880	1947	F5	470	9906	16572	3.9	2.8	2.24	0.14	29.67	16.78	23.22	25.17	57	1	9999	3
1966	10	5135	C4	942	7082	F4	2438	1197	F5	527	7672	15528	2.2	1.5	1.25	0.09	25.5	8.44	17	20.52	38	70	9999	3.1
1966	11	3749	C4	863	5384	F4	2455	1182	F5	452	6122	14575	3.9	2.4	1.08	0.09	20.94	4.56	12.78	15.62	42	171	9999	2.9
1966	12	3452	C4	334	5989	F4	1492	894	F5	301	5310	14078	3.6	1.9	0.68	0.06	13.61	-2.72	5.44	9.19	36	386	9999	3.3
1966	Prom	5810	C4	1834	6774	F4	2418	1611	F5	741	8745	16407	3.7	2.4	1.4	0.1	24.5	9.61	17.11	19.62	41	1577	99999	3.5

1967	1	3959	C4	336	7140	E4	1286	765	E5	298	5728	14383	2.6	1	0.58	0.06	14.33	-4.28	5.06	9.7	30	399	9999	3.3
1967	2	4715	C4	692	6763	E4	2355	1174	E5	565	7044	15278	4.4	2.7	0.72	0.06	16.56	0.61	8.61	12.01	31	261	9999	3.9
1967	3	6132	C4	593	7556	E4	2018	1469	E5	635	8739	16345	5.1	2.7	0.9	0.06	24.44	6.17	15.33	18.83	26	96	9999	4.1
1967	4	6897	C4	1478	7467	E4	3349	1844	E5	900	10259	17377	4.6	3.1	0.98	0.07	26.83	9.89	18.39	21.3	21	31	9999	5.1
1967	5	7924	C4	1049	8566	E4	2772	1835	E5	833	11183	18201	4.1	2.4	1.11	0.08	30	13.17	21.61	24.61	19	14	9999	4.4
1967	6	7677	C4	1772	8011	E4	3701	1926	E5	929	11530	18590	3.7	2.9	2.03	0.09	34.33	18.06	26.22	28.45	34	0	9999	4.4
1967	7	7531	C4	1031	6898	E4	2126	2366	E5	571	11349	18334	5.7	3.5	2.61	0.13	35.44	21.22	28.33	29.94	41	0	9999	4
1967	8	6624	C4	1091	6060	E4	2202	2241	E5	551	10604	17559	4.9	3.6	2.52	0.14	33.06	18.72	25.89	27.25	46	0	9999	3.7
1967	9	6117	C4	1017	6998	E4	2076	1584	E5	459	9306	16572	3	2.4	2.18	0.1	29.28	17.06	23.17	24.64	48	1	9999	3.1
1967	10	5139	C4	773	6716	E4	1834	1307	E5	398	7672	15528	2.8	1.7	1.18	0.11	26.11	9.56	17.83	21.33	34	59	9999	2.9
1967	11	3493	C4	1041	4665	E4	2855	1250	E5	422	6122	14575	5.1	3.6	1.06	0.08	18.94	4.94	11.94	14.35	41	196	9999	3.2
1967	12	3020	C4	824	4558	E4	3036	1075	E5	515	5310	14078	4.6	3.8	0.83	0.07	10.67	-0.72	5	7.07	60	400	9999	3.7
1967	Prom	5775	C4	1915	6783	E4	2764	1572	E5	768	8745	16407	4.2	2.8	1.4	0.09	25	9.56	17.28	20	36	1457	99999	3.8

Tabla 9  
Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. Distribución mensual

**1968-1969**

**Ciudad Juárez-El Paso**

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIR	FL	SDIF	AVETR	AETR	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AVWS
1968	1	3061	C4	848	3871	F4	2553	1319	F5	407	5728	14383	5.7	4.5	0.84	0.08	11.61	-0.67	5.5	7.98	68	384	9999	2.7
1968	2	4162	C4	1150	5046	F4	3086	1468	F5	563	7072	15296	5.5	3.9	0.92	0.08	16.28	3.56	9.94	12.08	52	231	9999	3.2
1968	3	4868	C4	1408	4460	F4	2999	2094	F5	614	8795	16381	6.9	5.6	0.95	0.08	18	5.28	11.67	13.71	49	209	9999	3.5
1968	4	6962	C4	1120	7333	F4	2401	1916	F5	585	10301	17407	3.3	2.4	0.93	0.12	23.89	8.72	16.33	18.48	33	71	9999	4.5
1968	5	8136	C4	563	8887	F4	1622	1784	F5	521	11202	18223	2.4	1.5	1.05	0.12	30.67	14.83	22.78	25.63	23	0	9999	4
1968	6	8054	C4	578	8140	F4	1387	2139	F5	452	11533	18593	2.7	1.5	1.61	0.15	36.22	18.28	27.28	30.08	26	0	9999	3.4
1968	7	7313	C4	1260	6620	F4	2344	2364	F5	541	11334	18315	4.3	3.2	2.69	0.16	33	19.39	26.22	27.77	51	0	9999	2.9
1968	8	6847	C4	892	6389	F4	1864	2241	F5	510	10571	17529	5.1	3.4	2.62	0.13	31.44	18.06	24.78	26.34	52	0	9999	2.5
1968	9	6399	C4	483	7585	F4	1370	1536	F5	444	9255	16538	1.6	1.2	1.6	0.13	30.72	14.61	22.67	25.5	36	0	9999	2.4
1968	10	5054	C4	617	6495	F4	1453	1393	F5	374	7618	15494	2.3	1.2	1.29	0.13	27.83	9.33	18.61	22.52	39	34	9999	2.9
1968	11	3502	C4	966	4654	F4	2710	1272	F5	458	6080	14549	4.7	3.5	0.93	0.09	17.61	4	10.83	12.98	51	230	9999	3.4
1968	12	3467	C4	458	6081	F4	1684	846	F5	275	5304	14074	3.7	1.8	0.62	0.07	12.89	-3.17	4.89	8.14	47	404	9999	3.3
1968	Prom	5654	C4	1992	6297	F4	2633	1699	F5	655	8736	16400	4	2.8	1.34	0.11	24.17	9.33	16.78	19.28	44	1563	99999	3.2

1969	1	3392	C4	656	4747	F4	2293	1194	F5	438	5728	14383	5.9	3.9	0.92	0.06	16.17	1.67	8.94	12.09	48	279	0	3.3
1969	2	4559	C4	798	6223	F4	2397	1281	F5	521	7044	15278	4.7	3.2	0.67	0.06	16.33	1.22	8.78	11.83	37	258	0	3.7
1969	3	5983	C4	1095	7554	F4	2605	1400	F5	579	8739	16345	3.2	2.5	0.61	0.08	18.06	1.22	9.67	12.67	35	265	1	3.9
1969	4	7364	C4	875	8534	F4	2243	1607	F5	614	10259	17377	2.7	1.7	0.82	0.09	27.33	10.17	18.78	22.07	22	24	39	4
1969	5	7811	C4	787	7983	F4	2051	2048	F5	613	11183	18201	2.9	2.2	1.2	0.14	31.56	13	22.28	25.54	28	13	139	3.4
1969	6	8309	C4	588	8850	F4	1723	1836	F5	510	11530	18590	1.3	1.1	1.54	0.15	36.33	18.67	27.5	30.14	26	0	278	4.2
1969	7	7168	C4	1038	6403	F4	2201	2414	F5	635	11349	18334	5.5	4.1	2.73	0.12	36.89	21.94	29.44	30.95	43	0	348	3.6
1969	8	6928	C4	1060	6725	F4	2251	2111	F5	587	10604	17559	4.3	3.4	2.49	0.12	37.44	22.22	29.83	31.52	37	0	359	3.1
1969	9	6148	C4	777	6882	F4	2003	1699	F5	532	9306	16572	2.9	2.3	2.07	0.11	32	18.61	25.33	26.9	47	0	207	3.2
1969	10	4948	C4	1011	6291	F4	2407	1375	F5	507	7672	15528	2.9	2.4	1.38	0.1	26.39	13.72	20.06	21.93	42	34	86	3.8
1969	11	3773	C4	938	5498	F4	2695	1150	F5	450	6122	14575	4.2	3.3	1	0.06	18.39	4.89	11.67	13.82	42	206	1	2.3
1969	12	3143	C4	670	5140	F4	2579	970	F5	442	5310	14078	4	3.3	0.81	0.05	15.56	2.22	8.89	11.59	49	280	0	2.4
1969	Prom	5797	C4	1924	6732	F4	2588	1593	F5	681	8745	16407	3.7	2.8	1.36	0.1	26.06	10.78	18.44	20.97	38	1359	1458	3.4

**Tabla 9**

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. **Distribución mensual**

1970-1971

Ciudad Juárez-EI Paso

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIF	FL	SDDIF	AVETR	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AVWS
1970	1	3863	C4	624	6725	F4	2303	829	F5	439	5728	14383	3.8	2.1	0.62	0.04	15.61	0.28	7.94	11.63	37	309	0	2.5
1970	2	4410	C4	1030	5923	F4	3196	1296	F5	708	7044	15278	4.9	3.8	0.82	0.05	17.89	4.06	11	13.68	39	193	0	2.6
1970	3	5798	C4	1366	7094	F4	3156	1489	F5	741	8739	16345	4.3	3.2	0.67	0.05	20.39	5.78	13.11	15.41	34	159	1	4.3
1970	4	7451	C4	919	8717	F4	2584	1549	F5	813	10259	17377	3.7	2.4	0.67	0.05	25.61	9.39	17.5	20.21	19	52	32	4.6
1970	5	8088	C4	1232	9090	F4	2972	1645	F5	870	11183	18201	3.6	2.2	1.02	0.06	31.11	13.5	22.33	25.83	22	18	146	3.4
1970	6	7903	C4	1187	7863	F4	2584	2079	F5	675	11530	18590	3.7	2.8	1.7	0.12	35.17	17.89	26.56	29.05	29	0	249	3.7
1970	7	7505	C4	983	6933	F4	2073	2344	F5	548	11349	18334	4.4	3.4	2.45	0.13	36.39	20.06	28.22	30.39	41	0	311	3.3
1970	8	7033	C4	910	6975	F4	1912	2085	F5	504	10604	17559	3.1	2.1	2.45	0.15	35.56	19.33	27.44	29.9	38	0	286	3.6
1970	9	5717	C4	1128	5609	F4	2328	1971	F5	513	9906	16572	4.7	3.7	2.24	0.12	30.17	17.17	23.67	25.42	45	22	178	3.8
1970	10	4880	C4	861	6009	F4	2472	1485	F5	573	7672	15528	3	2.5	1.1	0.11	23.06	8	15.56	18.15	40	100	11	4
1970	11	4147	C4	464	6674	F4	1385	939	F5	294	6122	14575	2.5	1.2	0.84	0.08	20.39	2.17	11.28	14.38	32	216	0	3.8
1970	12	3288	C4	609	5494	F4	2336	917	F5	391	5310	14078	4.3	2.8	0.91	0.05	17.39	-0.22	8.61	12	37	288	0	3.1
1970	Prom	5847	C4	1908	6931	F4	2686	1553	F5	771	8745	16407	3.8	2.7	1.29	0.09	25.72	9.78	17.78	20.54	34	1357	1214	3.6

1971	1	3670	C4	764	5944	F4	2536	979	F5	445	5728	14383	3.9	2.6	0.79	0.05	15.56	-2.17	6.72	10.66	40	347	0	3.5
1971	2	4848	C4	656	7380	F4	2245	1050	F5	560	7044	15278	3.3	2.1	0.63	0.04	17	0.61	8.83	12.07	28	254	0	4.6
1971	3	6440	C4	582	8935	F4	1653	1068	F5	530	8739	16345	2.1	1.3	0.69	0.05	23.11	5.89	14.5	17.74	17	141	25	5.2
1971	4	7245	C4	790	8189	F4	2033	1683	F5	596	10259	17377	2.7	1.8	0.82	0.1	25.06	8.89	17	19.41	24	61	25	5
1971	5	8028	C4	885	8734	F4	2491	1819	F5	766	11183	18201	3.2	2.1	0.93	0.09	30.06	14.5	22.28	25.16	18	3	131	5.1
1971	6	8234	C4	581	8593	F4	1935	1942	F5	672	11530	18590	2.6	2	1.61	0.12	35.94	18.61	27.28	29.99	22	0	273	3.8
1971	7	7803	C4	961	7831	F4	2240	1986	F5	613	11349	18334	3.6	2.7	2.42	0.12	35.44	20.44	27.94	29.83	41	0	302	3.5
1971	8	6943	C4	610	6745	F4	1399	2149	F5	489	10604	17559	4.3	3.3	2.51	0.12	32.17	17.83	25	26.69	52	0	208	3.3
1971	9	6036	C4	1114	6496	F4	2383	1778	F5	545	9306	16572	3.1	2.7	1.93	0.12	30.44	16.17	23.33	25.53	44	17	163	3.5
1971	10	4802	C4	897	5943	F4	2551	1435	F5	589	7672	15528	4	3.5	1.49	0.08	23.78	10.56	17.17	19.27	51	62	24	3.6
1971	11	3941	C4	767	6011	F4	2489	1050	F5	503	6122	14575	4.2	2.9	0.94	0.06	18.56	4.22	11.39	14.03	47	212	0	3.1
1971	12	3099	C4	752	4755	F4	2639	1045	F5	419	5310	14078	5.8	4.2	0.88	0.04	12.94	0.5	6.72	8.74	60	347	0	3.4
1971	Prom	5928	C4	1903	7126	F4	2565	1501	F5	702	8745	16407	3.6	2.6	1.31	0.08	25	9.67	17.33	19.97	37	1444	1151	4

Tabla 9

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. Distribución mensual

**1972-1973**

**Ciudad Juárez-EI Paso**

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIR	FL	SDDIF	AVETR	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AWWS
1972	1	3692	C4	728	6262	F4	2767	893	F5	536	5728	14383	4	2.8	0.68	0.04	14.83	-0.78	7.06	10.41	44	337	0	3.6
1972	2	4877	C4	1042	7058	F4	2979	1085	F5	595	7072	15296	4.4	2.7	0.65	0.04	20.17	1.78	11	15.12	29	202	2	3.5
1972	3	6541	C4	781	9110	F4	2174	1022	F5	597	8795	16381	2.3	1.2	0.78	0.05	25.22	7.17	16.22	19.98	24	70	8	4.2
1972	4	7489	C4	899	8807	F4	2374	1566	F5	708	10301	17407	3.4	1.7	0.72	0.07	28.22	8.61	18.44	22.11	17	31	39	4.4
1972	5	7225	C4	1782	7118	F4	3929	2120	F5	1037	11202	18223	4.9	3.8	1.18	0.08	29.5	12.5	21	24.19	26	2	88	4
1972	6	7731	C4	1537	7814	F4	3108	2003	F5	762	11533	18593	3.8	3.1	1.96	0.1	33.72	17.72	25.72	28.19	39	0	224	3.8
1972	7	7625	C4	655	7146	F4	1724	2224	F5	567	11334	18315	5.2	3.5	2.6	0.11	35.5	20.33	27.94	29.68	41	0	302	4
1972	8	6678	C4	963	6197	F4	2053	2234	F5	564	10571	17529	4.9	3.9	2.8	0.11	32.17	18.61	25.39	26.47	58	0	223	3.5
1972	9	5699	C4	1023	5693	F4	2552	1946	F5	675	9255	16538	5	3.8	2.39	0.11	28.67	17.22	22.94	24.71	63	2	137	3
1972	10	4647	C4	1119	5317	F4	2451	1565	F5	494	7618	15494	4.1	3.4	1.7	0.11	25.94	12	19	21.37	56	48	67	3.1
1972	11	3973	C4	660	6242	F4	1915	994	F5	350	6080	14549	2.6	1.6	0.67	0.08	17.17	1.94	9.56	12.16	54	267	0	3.3
1972	12	3342	C4	552	5618	F4	2100	923	F5	353	5304	14074	3.9	2.4	0.71	0.06	15.28	0.33	7.83	10.65	46	313	0	3.9
1972	Prom	5793	C4	1871	6861	F4	2796	1550	F5	807	8736	16400	4	2.8	1.41	0.08	25.56	9.78	17.67	20.43	41	1272	1090	3.7

1973	1	3266	C4	1044	4735	E4	3069	1119	E5	460	5728	14383	5.3	4.3	0.64	0.06	12.28	-0.83	5.72	8.31	59	377	0	3.9
1973	2	3819	C4	1297	4357	E4	3250	1553	E5	615	7044	15278	5.8	5	0.89	0.06	15.17	0.83	8	10.37	60	277	0	3.6
1973	3	5799	C4	1034	7002	E4	2577	1546	E5	642	8739	16345	4.2	3.3	0.69	0.06	18.67	3.94	11.33	13.78	43	213	0	5.1
1973	4	7469	C4	903	9096	E4	2471	1416	E5	728	10259	17377	1.9	1.5	0.64	0.08	23.39	5.11	14.28	17.59	28	121	4	5
1973	5	7952	C4	1106	8668	E4	2691	1774	E5	754	11183	18201	3.1	2.4	1.1	0.09	28.94	11.83	20.39	23.68	32	17	84	4.6
1973	6	8560	C4	636	10080	E4	1948	1354	E5	517	11530	18590	1.8	1.4	1.37	0.07	34.89	14.72	24.83	28.71	29	0	197	3.8
1973	7	7210	C4	1488	6576	E4	2968	2333	E5	714	11349	18334	4.8	4	2.53	0.12	35.28	17.72	26.5	28.72	51	0	255	3.4
1973	8	7121	C4	1072	7368	E4	2188	1951	E5	526	10604	17559	3.1	2.6	2.04	0.12	36.11	16.33	26.22	29.26	44	0	249	2.9
1973	9	6396	C4	577	7284	E4	1604	1628	E5	496	9906	16572	2.3	1.9	1.67	0.13	33.94	15.33	24.67	27.9	41	4	189	3.3
1973	10	5307	C4	508	7183	E4	1139	1235	E5	324	7672	15528	1.4	0.9	0.95	0.12	28.17	7.06	17.61	22.01	37	50	24	2.9
1973	11	4037	C4	535	6274	E4	1664	1025	E5	366	6122	14575	3.1	1.8	0.71	0.08	22.28	2.44	12.39	15.85	34	187	4	3.9
1973	12	3558	C4	290	6268	E4	1073	853	E5	217	5310	14078	3.1	1.2	0.47	0.07	16.33	-1.72	7.33	11.69	30	329	0	4.3
1973	Prom	5883	C4	2000	7084	E4	2777	1483	E5	676	8745	16407	3.3	2.5	1.14	0.09	25.44	7.72	16.61	19.87	41	1575	1006	3.9

**Tabla 9**

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. **Distribución mensual**

1974-1975

Ciudad Juárez-EI Paso

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDR	AVDIR	FL	SDDR	AVDIR	FL	SDDIF	AVETR	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AWWS
1974	1	3477	C4	955	5554	E4	2881	986	E5	423	5728	14383	4.1	3.2	0.76	0.05	14.56	-1.5	6.56	10.16	49	353	0	3.9			
1974	2	5011	C4	670	8094	E4	2141	877	E5	503	7044	15278	2.4	1.4	0.49	0.04	16.61	-3.06	6.78	11.19	27	310	0	3.7			
1974	3	6009	C4	982	7584	E4	2471	1466	E5	645	8739	16345	4.2	2.4	0.7	0.06	24.56	6.11	15.33	19.14	26	99	11	4			
1974	4	7262	C4	1179	8685	E4	2911	1513	E5	758	10259	17377	3.5	2.3	0.71	0.06	27	9.61	18.33	21.25	24	44	47	5.2			
1974	5	8066	C4	1117	9124	E4	2871	1611	E5	898	11183	18201	3.1	2.1	0.98	0.07	32.72	15.72	24.22	27.52	27	3	188	4.7			
1974	6	8685	C4	482	10163	E4	1580	1341	E5	458	11530	18590	1.6	1.2	1.31	0.08	37.83	18.61	28.22	31.74	20	0	300	4			
1974	7	7017	C4	1157	6045	E4	2532	2396	E5	628	11349	18334	6	5.1	2.5	0.11	34.39	18.56	26.5	28.03	47	0	255	3.7			
1974	8	6305	C4	1388	5505	E4	2739	2337	E5	639	10604	17559	5.3	4.5	2.4	0.13	32.44	17.56	25	26.61	50	0	210	3.3			
1974	9	5473	C4	1604	5437	E4	2791	1904	E5	485	9306	16572	4.3	3.8	2.03	0.12	27.5	14.56	21.06	22.6	56	23	101	3.4			
1974	10	4732	C4	934	5565	E4	2310	1522	E5	473	7672	15528	4.3	3.5	1.74	0.09	24.28	10.67	17.5	19.51	62	59	30	3.3			
1974	11	3820	C4	927	5857	E4	2434	1018	E5	349	6122	14575	3.6	2.3	0.9	0.08	17.5	2.89	10.22	12.61	58	247	0	2.8			
1974	12	3174	C4	736	4945	E4	2604	1056	E5	440	5310	14078	4.8	3.6	0.64	0.06	12	-2.33	4.83	7.83	55	404	0	3.3			
1974	Prom	5753	C4	2013	6863	E4	3026	1508	E5	747	8745	16407	4	3	1.27	0.08	25.11	8.94	17.06	19.9	42	1542	1142	3.8			

1975	1	3401	C4	1007	5535	E4	3076	944	E5	447	5728	14383	3.6	3.1	0.72	0.06	13.22	-1.56	5.83	8.84	58	373	0	4
1975	2	4656	C4	1097	6677	E4	2821	1148	E5	484	7044	15278	4	2.5	0.6	0.07	16.56	1.56	9.06	11.83	44	247	0	3.8
1975	3	5831	C4	1061	6891	E4	2684	1609	E5	646	8739	16345	4.2	2.9	0.61	0.08	21.22	4.39	12.83	15.98	34	172	5	5.2
1975	4	6980	C4	1322	7659	E4	3055	1821	E5	796	10259	17377	4.2	2.8	0.65	0.08	24.83	5.94	15.39	18.69	26	104	19	4.6
1975	5	7959	C4	983	8762	E4	2542	1787	E5	751	11183	18201	2.2	1.8	0.85	0.11	30.89	11.11	21	24.56	26	7	94	3.8
1975	6	8405	C4	648	9223	E4	1603	1756	E5	481	11530	18590	1.5	1.1	1.22	0.13	37.67	16.72	27.22	30.99	24	0	288	4
1975	7	7033	C4	1115	6013	E4	2225	2587	E5	606	11349	18334	5.4	4.2	2.42	0.13	35.06	18.06	26.56	28.61	52	0	261	3.3
1975	8	7035	C4	922	7038	E4	2149	1974	E5	572	10604	17559	4.4	2.9	2.09	0.11	36.61	17.78	27.22	29.51	43	0	279	3
1975	9	5931	C4	1219	6722	E4	3227	1650	E5	836	9306	16572	3.9	3.3	1.91	0.08	30.56	14.61	22.61	24.73	52	11	134	3.2
1975	10	5521	C4	678	8168	E4	1514	951	E5	326	7672	15528	1.2	0.8	0.95	0.08	27.67	8.39	18.06	22.05	38	37	23	3.1
1975	11	4215	C4	697	7151	E4	1960	830	E5	323	6122	14575	1.7	1.2	0.5	0.07	20.61	1.5	11.06	14.84	32	222	1	3.2
1975	12	3402	C4	751	6056	E4	2463	793	E5	351	5310	14078	3.4	2.2	0.67	0.06	14.94	-2.06	6.44	10.16	43	356	0	2.7
1975	Prom	5868	C4	1885	7156	E4	2686	1490	E5	780	8745	16407	3.3	2.4	1.1	0.09	25.83	8.06	16.94	20.11	39	1529	1084	3.7

Tabla 9

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. Distribución mensual

1976-1977

Ciudad Juárez - El Paso

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIR	FL	SDIF	AVETR	AETR	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AVWS
1976	1	3826	E4	631	6767	E4	2387	833	E5	448	5728	14383	2.6	1.9	0.53	0.05	13.28	-2.5	5.39	9.25	47	387	0	3
1976	2	4637	E4	1120	6627	E4	2991	1169	E5	543	7072	15296	4.1	2.5	0.73	0.06	19.72	2.56	11.17	14.56	36	195	0	3.7
1976	3	5926	E4	986	7331	E4	2702	1493	E5	699	8795	16381	4.1	2.6	0.53	0.07	22.06	4.44	13.28	16.41	25	154	2	5
1976	4	6721	E4	1204	7091	E4	2816	1958	E5	798	10301	17407	4.6	3.3	0.83	0.08	26.72	8.94	17.83	20.63	31	51	39	4.2
1976	5	7596	E4	1264	8029	E4	3097	1978	E5	923	11202	18223	3.6	2.8	1.18	0.08	28.94	12.67	20.83	23.49	38	14	94	4.5
1976	6	8048	E4	568	8590	E4	1775	1889	E5	604	11533	18593	2.8	2.2	1.51	0.1	36.11	16.61	26.39	29.62	31	0	245	4.3
1976	7	6931	E4	913	6050	E4	2073	2536	E5	614	11334	18315	5.6	4.5	2.6	0.1	33.39	17.94	25.67	27.03	58	0	232	3.2
1976	8	6958	E4	875	7152	E4	1990	1998	E5	538	10571	17529	4.4	3.2	2.22	0.09	35.39	16.56	26	28.93	43	0	241	3.1
1976	9	5558	E4	1109	5679	E4	2880	1933	E5	741	9255	16538	5.4	4.4	2.24	0.08	29	14.22	21.61	23.21	64	4	99	3
1976	10	4837	E4	1121	6316	E4	2765	1354	E5	550	7618	15494	3.5	2.8	1.12	0.07	22.17	7.78	15	17.62	50	119	10	3.1
1976	11	3805	E4	872	5743	E4	2744	1101	E5	516	6080	14549	3.4	2.8	0.81	0.06	14.83	-0.17	7.33	9.85	61	334	0	2.7
1976	12	3209	E4	695	5358	E4	2613	918	E5	443	5304	14074	4.2	3.1	0.65	0.05	12.83	-2.5	5.17	8.42	56	394	0	2.2
1976	Prom	5673	E4	1816	6728	E4	2724	1598	E5	804	8736	16400	4	3	1.25	0.07	24.56	8.06	16.33	19.09	45	1652	962	3.5

1977	1	3328	E4	761	4653	E4	2388	1194	E5	405	5728	14383	5.9	4.1	0.77	0.05	12.89	0.61	6.78	9.46	53	346	0	3.2
1977	2	4737	A3	862	6974	E4	2175	1110	E5	374	7044	15278	2.9	1.7	0.58	0.08	17.17	-0.83	8.17	11.97	37	273	0	3.9
1977	3	5767	A3	1193	6973	E4	2882	1535	E5	619	8739	16345	3.6	2.8	0.5	0.08	18.44	1.17	9.83	13.26	25	261	0	4.8
1977	4	6808	A3	1175	7062	E4	2528	1992	E5	649	10259	17377	4.1	3.1	0.91	0.1	25.06	7.72	16.39	19.25	32	77	22	4.1
1977	5	7636	A3	1254	7888	E4	2857	2010	E5	777	11183	18201	3.1	2.5	0.98	0.12	30.06	12.94	21.5	24.55	27	2	103	4.4
1977	6	7729	A3	830	7233	E4	2006	2316	E5	596	11530	18590	3.8	2.9	1.79	0.15	37.78	17.28	27.56	31.11	33	0	278	3.5
1977	7	7264	A3	837	6337	E4	1725	2452	E5	476	11349	18334	5.1	3.9	2.51	0.14	36.89	18.89	27.89	29.93	44	0	300	3.5
1977	8	6912	A3	874	6368	E4	1569	2220	E5	384	10604	17559	5.3	3.3	2.64	0.14	35.72	20.44	28.11	29.92	42	0	307	3.6
1977	9	6173	A3	637	6573	E4	1638	1832	E5	488	9306	16572	3.2	2.2	2.03	0.14	33.11	17.83	25.5	27.93	38	0	211	3.3
1977	10	4512	A3	1113	5147	E4	2509	1602	E5	478	7672	15528	4.4	3.2	1.66	0.11	25.28	11.11	18.22	20.6	55	31	24	2.5
1977	11	3986	A3	500	6078	E4	1519	1070	E5	328	6122	14575	3.2	1.7	0.79	0.08	20.61	4	12.33	15.4	38	182	0	3
1977	12	3189	A3	738	5024	E4	2299	984	E5	320	5310	14078	4.4	2.8	0.88	0.08	16.61	2.33	9.5	12.65	37	262	0	3.2
1977	Prom	5672	A3	1843	6350	E4	2389	1697	E5	707	8745	16407	4.1	2.9	1.34	0.11	25.78	9.44	17.67	20.54	38	1434	1245	3.6

**Tabla 9**

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. Distribución mensual

1978-1979

Ciudad Juárez - El Paso

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIR	FL	AVDIR	FL	SDIF	AVETR	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AVWS
1978	1	3203	A3	885	4586	E4	2720	1132	E5	422	5728	14383	5.1	3.9	0.86	0.06	13.17	1.06	7.11	9.74	57	335	0	2.6		
1978	2	4247	A3	1024	5493	E4	2542	1367	E5	475	7044	15278	4.9	3.9	0.78	0.06	15.33	2.72	9.06	11.07	50	249	0	3.3		
1978	3	5516	A3	1364	6361	E4	3143	1665	E5	695	8739	16345	4.3	3.4	0.9	0.08	22.67	6.83	14.78	17.45	35	111	4	4.4		
1978	4	7175	A3	1073	8186	E4	2748	1695	E5	802	10259	17377	3.1	1.8	0.77	0.09	27.17	10.72	18.94	21.73	25	32	54	4.7		
1978	5	7736	A3	1112	8364	A2	2608	1790	D4	747	11183	18201	3.4	2.5	1.1	0.1	31.22	14.94	23.11	26	26	12	164	4.6		
1978	6	7867	A3	791	8132	A2	2181	1955	D4	700	11530	18590	2.9	2.2	1.62	0.15	38.22	18.89	28.56	32.01	28	0	311	3.9		
1978	7	7641	A3	816	8215	A2	2164	1762	D4	695	11349	18334	3	2.5	2.35	0.14	37.11	21.28	29.22	31.45	35	0	340	3.6		
1978	8	6831	A3	996	7204	A2	2089	1807	D4	651	10604	17559	3.7	3.1	2.59	0.13	34	19.39	26.72	28.05	45	0	263	3.5		
1978	9	5201	A3	1945	5598	A2	3193	1596	D4	636	9306	16572	4.6	4	2.47	0.12	28.33	16.39	22.39	23.85	58	9	132	2.9		
1978	10	4728	A3	1260	6394	A2	2569	1129	D4	467	7672	15528	2.7	2.2	1.6	0.13	25.56	9.56	17.56	20.46	61	59	39	2.7		
1978	11	3204	A3	1186	4883	A2	3302	937	D4	537	6122	14575	4.4	3.9	1.36	0.09	19.5	6.94	13.22	15.09	67	151	1	3.1		
1978	12	2929	A3	1058	4998	A2	3310	811	D4	488	5310	14078	4.4	3.5	0.99	0.06	13.5	0.44	7	9.6	59	347	0	3.7		
1978	Prom	5530	A3	2144	6541	A2	3037	1471	D4	714	8745	16407	3.9	3.1	1.45	0.1	25.5	10.78	18.17	20.59	45	1305	1199	3.6		

1979	1	2918	A3	939	3920	A2	2701	1122	D4	436	5728	14383	6.5	4.7	0.84	0.05	10.94	-0.94	5	7.26	61	408	0	3.7
1979	2	4421	A3	1166	6422	A2	2938	1082	D4	603	7044	15278	4.3	2.8	0.79	0.06	16.11	0.61	8.39	10.87	51	274	0	3.7
1979	3	6024	A3	1033	7383	A2	2836	1649	D4	899	8739	16345	3.4	2.4	0.79	0.05	20.67	2.72	11.72	15.36	35	201	0	4.2
1979	4	7545	A3	678	8961	A2	1782	1559	D4	598	10259	17377	2	1.2	0.94	0.06	27.17	7.94	17.56	20.91	26	66	47	4.5
1979	5	7839	A3	1127	8222	A2	2711	1941	D4	785	11183	18201	3.7	2.6	1.33	0.07	29.83	12.44	21.17	24	36	14	106	4.3
1979	6	7922	A3	1449	8562	A2	3074	1845	D4	808	11530	18590	3.1	2.2	1.76	0.09	35.17	16.39	25.78	29.32	34	1	230	3.9
1979	7	7208	A3	1577	7254	A2	3304	2026	D4	872	11349	18334	4.3	3.3	2.57	0.12	37.83	21.11	29.5	32.17	39	0	350	3.4
1979	8	6728	A3	1381	7275	A2	3009	1673	D4	829	10604	17559	3.4	3	2.52	0.12	33.56	18.39	26	28.11	54	0	240	3
1979	9	5952	A3	1598	7134	A2	2716	1422	D4	553	9306	16572	2.6	2.2	1.93	0.1	32.11	14.78	23.44	26.58	43	13	171	3
1979	10	5338	A3	414	7589	A2	1496	1111	D4	553	7672	15528	3	1	1.09	0.09	29.56	8.39	19	23.41	30	31	55	3.1
1979	11	4021	A3	592	6246	A2	2305	1104	D4	567	6122	14575	3.4	2.3	0.87	0.05	17.11	0.56	8.83	11.78	41	281	0	3.4
1979	12	3331	A3	755	5895	A2	2432	826	D4	373	5310	14078	3.6	2.4	0.85	0.05	14.83	-2.5	6.17	9.2	53	372	0	2.8
1979	Prom	5775	A3	2025	7070	A2	2920	1449	D4	768	8745	16407	3.6	2.5	1.36	0.08	25.39	8.33	16.89	19.96	42	1661	1199	3.6

Tabla 9

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. Distribución mensual

**1980-1981**

**Ciudad Juárez-EI Paso**

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIR	FL	SDDIF	AVETRA	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AVWS
1980	1	3329	A3	1050	4926	A2	2947	1148	D4	478	5728	14383	5.5	3.8	0.97	0.04	15.5	0.94	8.22	11.14	54	308	0	3.3			
1980	2	4474	A3	1141	6069	A2	2881	1301	D4	589	7072	15296	4.6	3.2	0.89	0.05	17.78	2.89	10.33	12.62	52	228	0	3.5			
1980	3	5789	A3	1233	6618	A2	3096	1750	D4	792	8795	16381	4	2.9	0.7	0.06	20.61	3.94	12.28	15.3	32	184	0	4.6			
1980	4	7073	A3	1283	7806	A2	2870	1805	D4	758	10301	17407	3.2	2.3	0.93	0.08	25.44	6.33	15.89	19.28	25	87	19	3.8			
1980	5	7800	A3	1240	8460	A2	2519	1860	D4	659	11202	18223	3.3	2.2	1.3	0.1	30.5	12.28	21.39	25.35	24	11	110	4			
1980	6	8124	A3	801	8518	A2	2128	1964	D4	654	11533	18593	3.1	1.9	1.78	0.12	39.94	20.33	30.17	34.25	17	0	359	3.1			
1980	7	7861	A3	525	7778	A2	1721	2202	D4	691	11334	18315	3.6	2.8	2.46	0.11	38.78	22.5	30.67	33.62	26	0	385	2.9			
1980	8	6622	A3	1629	5977	A2	3147	2476	D4	890	10571	17529	4.8	4.1	2.7	0.1	34.94	21	28	29.7	39	0	303	2.9			
1980	9	5229	A3	1909	5071	A2	3759	1969	D4	743	9255	16538	5.3	4.6	2.5	0.08	30.72	17.67	24.22	25.78	49	1	183	2.3			
1980	10	5090	A3	1265	6751	A2	2828	1350	D4	613	7618	15494	2.5	2.1	1.25	0.06	23.56	7.83	15.72	18.72	51	113	35	2.6			
1980	11	3830	A3	1113	6078	A2	3115	973	D4	458	6080	14549	3.5	2.7	0.84	0.05	17.78	1.28	9.56	12.07	58	259	0	2.4			
1980	12	3519	A3	680	6006	A2	2434	988	D4	412	5304	14074	3.6	2.2	0.8	0.04	18.5	-0.22	9.17	12.65	59	279	0	2.2			
1980	Prom	5732	A3	2059	6673	A2	3023	1651	D4	801	8736	16400	3.9	2.9	1.43	0.07	26.17	9.72	17.94	20.9	41	1470	1394	3.2			

1981	1	2938	E4	1077	3699	E4	3438	1290	E5	570	5728	14383	6.4	5.5	0.96	0.04	13.67	1	7.33	9.41	64	337	0	3
1981	2	4426	E4	1023	6203	E4	3032	1219	E5	633	7044	15278	4.4	3	0.74	0.05	19.28	1.06	10.17	13.42	40	225	1	3.1
1981	3	5499	E4	1350	6285	E4	3110	1724	E5	681	8739	16345	4.5	3.4	0.75	0.07	21.56	6.44	14	16.46	41	129	1	4.3
1981	4	6398	E4	1447	6523	E4	3392	2052	E5	907	10259	17377	4.8	3.6	1.22	0.08	25.83	10.56	18.22	20.75	40	46	47	4
1981	5	7910	E4	703	8740	E4	2030	1791	E5	716	11183	18201	3.3	1.9	1.2	0.08	30.56	15.61	23.11	25.56	32	1	153	4.7
1981	6	8040	E4	871	8559	E4	2590	1901	E5	852	11530	18590	3.2	2.2	1.89	0.1	36.83	19.33	28.11	31.05	34	0	297	3.3
1981	7	7436	E4	971	7469	E4	2181	2014	E5	606	11349	18334	4.4	3.2	2.8	0.09	36.06	21.28	28.67	30.63	49	0	326	2.7
1981	8	6713	E4	1076	6877	E4	2596	1958	E5	738	10604	17559	4.2	3.2	2.82	0.09	32.89	19.83	26.39	28.24	58	0	253	2.6
1981	9	5580	E4	1305	5940	E4	3210	1821	E5	799	9306	16572	4.8	3.7	2.42	0.08	31.39	17.33	24.39	26.9	54	0	185	2.3
1981	10	4524	E4	816	5306	E4	2485	1605	E5	620	7672	15528	4.9	3.8	1.61	0.07	25.78	10.44	18.11	21.49	53	52	49	3.1
1981	11	4015	E4	876	6668	E4	2422	854	E5	336	6122	14575	2.8	1.8	0.88	0.06	22.44	2.28	12.39	16.35	39	174	0	2.8
1981	12	3415	E4	572	6061	E4	2342	861	E5	423	5310	14078	3.9	2	0.73	0.05	18.06	0.5	9.28	13.16	44	277	1	3
1981	Prom	5579	E4	1964	6526	E4	3026	1593	E5	782	8745	16407	4.3	3.1	1.51	0.07	26.22	10.5	18.33	21.15	46	1241	1313	3.2

**Tabla 9**

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. **Distribución mensual**



1982 – 1983

Ciudad Juárez – El Paso

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIR	FL	SDDIF	AVETR	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AVWS
1982	1	3508	E4	751	5521	E4	2571	1027	E5	497	5728	14383	4.7	3	0.78	0.05	13.89	-2.44	5.72	9.16	52	387	0	3.4
1982	2	4240	E4	879	5438	E4	2649	1428	E5	592	7044	15278	5.6	3.8	0.88	0.05	17.44	1.11	9.28	12.14	46	249	0	2.8
1982	3	5709	E4	1065	6655	E4	3005	1680	E5	812	8739	16345	5.3	3.2	0.74	0.06	22.83	5.67	14.28	17.73	31	132	8	3.7
1982	4	6284	E4	1426	5979	E4	3263	2301	E5	900	10259	17377	6.2	4.1	1	0.08	25.72	10.22	18	20.69	27	46	39	4.2
1982	5	7643	E4	1491	8240	E4	3103	1862	E5	749	11183	18201	2.3	1.9	1.15	0.11	29.72	12.06	20.89	24.45	30	9	93	3.2
1982	6	7967	E4	783	8028	E4	2332	2101	E5	765	11530	18590	3.2	2.1	1.47	0.13	36.67	17.67	27.17	30.89	28	0	269	2.7
1982	7	7414	E4	780	6794	E4	2026	2405	E5	660	11349	18334	4.2	3.3	2.61	0.15	36.94	21	29	31.73	38	0	334	2.6
1982	8	6921	E4	707	6686	E4	1895	2188	E5	685	10604	17559	3.9	2.9	2.93	0.15	36.06	21.11	28.61	31.03	43	0	324	2.8
1982	9	5611	E4	1176	5532	E4	2378	2005	E5	545	9906	16572	4.3	3.5	2.39	0.14	32.44	17.61	25.06	27.12	47	0	206	3
1982	10	5101	E4	758	6373	E4	1870	1418	E5	398	7672	15528	2.5	1.4	1.15	0.15	26.72	9.44	18.11	21.77	38	49	46	2.6
1982	11	3121	E4	1028	3224	E4	2271	1516	E5	267	6122	14575	6.2	4.7	1.06	0.15	18	5.56	11.78	13.97	48	191	0	2.8
1982	12	2713	E4	919	3449	E4	2825	1227	E5	437	5310	14078	5.5	4.6	0.84	0.12	11.72	0.78	6.28	7.96	65	371	0	3.5
1982	Prom	5527	E4	2007	6001	E4	2913	1763	E5	757	8745	16407	4.5	3.2	1.42	0.11	25.67	10	17.83	20.76	41	1434	1319	3.1

1983	1	3134	E4	851	3979	E4	2559	1320	E5	442	5728	14383	5.1	4	0.86	0.13	12.06	-1.39	5.33	8.25	66	400	0	2.3
1983	2	4360	E4	981	5409	E4	2505	1445	E5	469	7044	15278	4.1	2.8	0.81	0.13	16.89	2.5	9.72	12.27	49	239	0	3.1
1983	3	5523	E4	1020	5805	E4	2232	1919	E5	546	8739	16345	4.9	3.2	0.87	0.13	19.78	5.33	12.56	15	42	176	0	4.7
1983	4	6897	E4	1233	6982	E4	3252	2157	E5	1023	10259	17377	3	2.5	0.78	0.15	21.11	5.89	13.5	15.81	41	158	18	4.1
1983	5	8107	E4	431	8766	E4	1568	1793	E5	572	11183	18201	1.6	1.1	1.09	0.15	29.5	11.44	20.5	23.89	28	13	84	3.8
1983	6	8303	E4	562	8862	E4	1759	1858	E5	591	11530	18590	1.3	1	1.35	0.16	34.89	15.44	25.17	28.86	27	0	208	3.3
1983	7	7520	E4	604	6961	E4	1599	2431	E5	553	11349	18334	4.2	3.1	2.56	0.15	36.33	20.22	28.28	30.9	37	0	313	3.1
1983	8	6885	E4	424	6365	E4	1624	2341	E5	688	10604	17559	3.7	3	2.88	0.16	35.5	19.83	27.67	30.28	43	0	293	2.5
1983	9	5722	E4	961	5724	E4	2312	1976	E5	660	9306	16572	4.3	3.6	2.76	0.13	33.22	18.67	25.94	28.1	46	0	232	2.5
1983	10	4548	E4	1009	5103	E4	2584	1652	E5	575	7672	15528	4.4	3.6	1.92	0.12	25.94	12.5	19.22	21.4	61	29	60	2.3
1983	11	3826	E4	624	5663	E4	2145	1134	E5	460	6122	14575	3.4	2.3	1.09	0.1	19.5	5.28	12.39	14.96	50	176	3	3.3
1983	12	3153	E4	620	4850	E4	2230	1055	E5	387	5310	14078	4.7	2.8	0.83	0.09	15.44	-0.5	7.5	10.09	46	333	0	3.4
1983	Prom	5670	E4	1967	6206	E4	2630	1759	E5	733	8745	16407	3.7	2.8	1.49	0.13	25	9.61	17.33	20.03	45	1524	1211	3.2

Tabla 9

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960–1990. Distribución mensual

**1984-1985**

**Ciudad Juárez - El Paso**

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIR	FL	AVDIF	FL	SDDIF	AVETR	AETR	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AVWS
1984	1	3547	E4	845	5679	E4	2550	959	E5	403	5728	14383	3	2.3	0.8	0.08	14.78	-1.06	6.89	10.29	52	352	0	2.4		
1984	2	4939	E4	557	7393	E4	1715	1087	E5	461	7072	15296	2.6	1.1	0.51	0.08	17.99	-1.22	8.33	12.17	30	286	0	3.2		
1984	3	6064	E4	904	7670	E4	2495	1420	E5	719	8795	16381	2.7	1.9	0.63	0.09	22.17	4.11	13.17	17.01	29	158	1	3.6		
1984	4	7434	E4	765	8712	E4	1935	1545	E5	556	10301	17407	1.8	1.3	0.66	0.11	25.61	7.67	16.67	19.71	22	70	24	4.7		
1984	5	7919	E4	757	8346	E4	2194	1921	E5	713	11202	18223	2.4	1.5	1.28	0.13	32.5	15.28	23.89	27.1	29	4	180	3.8		
1984	6	7288	E4	1097	6441	E4	2508	2575	E5	778	11533	18593	4.9	3.7	2.36	0.13	33.33	19.39	26.39	28.34	44	0	245	3.3		
1984	7	7401	E4	888	6968	E4	2214	2358	E5	742	11334	18315	4.3	3.3	2.66	0.12	34.56	19.94	27.28	29.51	43	0	282	3.1		
1984	8	6229	E4	1132	5270	E4	2011	2414	E5	432	10571	17529	5.9	4.6	3.26	0.12	32.94	20.78	26.89	28.04	58	0	268	2.6		
1984	9	6005	E4	1212	6803	E4	2683	1660	E5	620	9255	16538	3	2.5	2	0.1	30.78	14.61	22.72	25.51	45	10	144	2.8		
1984	10	4243	E4	1274	4792	E4	3194	1598	E5	657	7618	15494	4.9	4.4	1.62	0.08	22.56	10.06	16.33	18.48	61	80	21	3.2		
1984	11	3799	E4	844	5610	E4	2619	1109	E5	456	6080	14549	4	2.9	0.9	0.07	18.22	3.5	10.89	13.69	51	224	4	3.3		
1984	12	2698	E4	833	3317	E4	2640	1234	E5	410	5304	14074	6.7	5.3	1.18	0.06	13.61	1.61	7.61	9.97	67	329	0	2.9		
1984	Prom	5629	E4	1927	6406	E4	2824	1659	E5	789	8736	16400	3.9	2.9	1.49	0.1	24.89	9.56	17.28	20.01	44	1513	1169	3.2		

1985	1	3174	E4	812	4377	E4	2981	1229	E5	555	5728	14383	5.1	4.3	0.88	0.06	11.22	-2.39	4.44	7.22	64	427	0	2.9
1985	2	4445	E4	876	6038	E4	2577	1301	E5	525	7044	15278	4	3.1	0.7	0.06	15.83	-0.78	7.56	10.71	52	298	0	3
1985	3	5321	E4	1220	5751	E4	2945	1877	E5	675	8739	16345	6	3.8	0.98	0.08	20.89	4.89	12.89	15.85	42	168	5	4
1985	4	7055	E4	831	8014	E4	2286	1701	E5	743	10259	17377	3.2	2.2	1.05	0.08	26.61	9.17	17.89	21.05	35	39	31	3.2
1985	5	7447	E4	1122	7508	E4	3034	2151	E5	959	11183	18201	4.3	3	1.34	0.1	30.83	13.72	22.28	25.98	29	3	129	2.7
1985	6	7998	E4	858	8523	E4	2286	1832	E5	731	11530	18590	3	2.3	1.71	0.1	35.11	17.11	26.11	29.37	33	0	238	2.2
1985	7	7369	E4	818	6870	E4	2112	2351	E5	699	11349	18334	4.1	3.5	2.51	0.12	34.5	18.17	26.33	28.88	44	0	254	1.6
1985	8	6807	E4	638	6511	E4	1827	2161	E5	651	10604	17559	4.7	3.6	2.84	0.1	34.56	19.39	27	29.1	49	0	271	1.2
1985	9	5787	E4	960	6064	E4	2566	1832	E5	689	9306	16572	4.7	3.8	2.32	0.09	29.61	15.72	22.67	24.6	56	6	140	1.5
1985	10	4639	E4	1083	5790	E4	2810	1410	E5	564	7672	15528	4.2	3.2	1.71	0.08	23.22	9.44	16.33	19.18	66	69	10	1.6
1985	11	3811	E4	829	5776	E4	2637	1090	E5	510	6122	14575	4.4	2.8	0.93	0.06	19.39	3.78	11.61	14.89	47	199	0	2.5
1985	12	3521	E4	329	6596	E4	1675	749	E5	337	5310	14078	2.7	1.4	0.62	0.05	15.72	-3.39	6.17	10.59	46	372	0	1.9
1985	Prom	5618	E4	1851	6482	E4	2704	1643	E5	797	8745	16407	4.2	3.1	1.47	0.08	24.78	8.72	16.78	19.83	47	1581	1078	2.4

**Tabla 9**

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. **Distribución mensual**

1986-1987

Ciudad Juárez - El Paso

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIF	FL	SDDF	AVETR	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AVWS
1986	1	3814	E4	682	6763	E4	2447	795	E5	419	5728	14383	2.8	1.5	0.71	0.05	16.83	-2.78	7.06	11.76	42	345	0	2
1986	2	4473	E4	1057	6197	E4	2806	1221	E5	482	7044	15278	4.4	3.1	0.92	0.05	18.67	3.67	11.17	13.91	43	198	2	2.9
1986	3	5840	E4	1076	7259	E4	2644	1447	E5	645	8739	16345	3.5	2.6	0.8	0.07	21.61	4.72	13.17	16.76	36	157	0	2.9
1986	4	6910	E4	805	7129	E4	2323	2041	E5	763	10259	17377	5	3	1.03	0.09	27.89	11.28	19.61	22.71	24	26	68	3.3
1986	5	7633	E4	1103	7948	E4	2901	1987	E5	870	11183	18201	3.9	2.6	1.26	0.09	30.28	13.61	21.94	25.07	27	12	127	2.9
1986	6	7475	E4	1230	7089	E4	2681	2285	E5	729	11530	18590	4.7	3.7	2.45	0.1	32.61	18.17	25.39	27.51	47	0	217	2.4
1986	7	7227	E4	901	6682	E4	2141	2315	E5	685	11349	18334	4.8	3.7	2.84	0.11	33.89	19.44	26.67	28.49	53	0	263	2.3
1986	8	6561	E4	1130	5960	E4	2406	2292	E5	690	10604	17559	5.7	4.1	2.8	0.1	33.83	19.89	26.89	28.6	52	0	269	2.2
1986	9	6148	E4	719	7110	E4	2099	1612	E5	633	9306	16572	3.6	2.6	2.23	0.08	31.11	15.67	23.39	25.94	51	1	156	2.2
1986	10	4653	E4	949	5768	E4	2810	1466	E5	683	7672	15528	4.1	3.4	1.55	0.07	24.83	8.94	16.89	20.17	55	64	23	2.1
1986	11	3492	E4	928	4920	E4	2967	1208	E5	534	6122	14575	4.5	3.8	1.24	0.06	16.44	2.89	9.67	12.24	62	256	0	2.1
1986	12	2826	E4	926	4144	E4	3168	1084	E5	480	5310	14078	5.5	4.8	1	0.05	12.17	-0.39	5.89	8.33	72	382	0	1.5
1986	Prom	5592	E4	1871	6414	E4	2795	1648	E5	813	8745	16407	4.4	3.2	1.57	0.08	25	9.61	17.33	20.15	47	1441	1125	2.4

1987	1	3686	E4	666	6241	E4	2569	928	E5	529	5728	14383	3.2	2.3	0.59	0.05	14	-3.72	5.17	9.55	53	403	0	2.4
1987	2	4389	E4	667	5747	E4	2391	1436	E5	600	7044	15278	5.2	3.6	0.72	0.05	16.39	-0.67	7.89	11.31	52	289	0	2.9
1987	3	5782	E4	1145	7236	E4	2817	1464	E5	698	8739	16345	3.5	2.6	0.7	0.06	19.22	2.06	10.67	13.93	42	233	0	3.7
1987	4	6615	E4	1204	7049	E4	3097	1974	E5	893	10259	17377	4.1	3.3	1.15	0.07	24.17	6.61	15.39	18.63	39	96	12	3.4
1987	5	7244	E4	1065	7135	E4	2661	2197	E5	817	11183	18201	4.7	3.4	1.44	0.08	28.83	11.78	20.33	23.82	38	3	67	3.7
1987	6	7759	E4	982	7926	E4	2402	2056	E5	780	11530	18590	3.5	2.6	2.03	0.1	34.11	17.06	25.61	28.91	39	0	222	3.3
1987	7	7568	E4	911	7590	E4	2327	2110	E5	757	11349	18334	3.2	2.8	2.5	0.11	35.28	19.83	27.56	30.31	40	0	289	3.7
1987	8	6691	E4	1072	6439	E4	2393	2131	E5	646	10604	17559	4.2	3.8	2.91	0.1	33.33	18.94	26.17	28.15	53	0	248	3.1
1987	9	5897	E4	1144	6685	E4	2972	1681	E5	800	9306	16572	3.8	3	2.07	0.08	29.78	14.78	22.28	24.9	54	0	123	2.9
1987	10	4740	E4	1114	5872	E4	2721	1423	E5	547	7672	15528	4.8	3.3	1.63	0.07	27.78	11.06	19.44	22.81	48	7	46	2.6
1987	11	4047	E4	528	6700	E4	2054	916	E5	444	6122	14575	2.4	1.8	0.87	0.06	18.72	2.83	10.78	14.17	46	225	1	3.2
1987	12	3358	E4	632	5669	E4	2604	971	E5	523	5310	14078	3.8	2.7	0.83	0.05	13.39	-2.56	5.44	7.96	59	417	0	3
1987	Prom	5654	E4	1772	6694	E4	2654	1608	E5	822	8745	16407	3.9	2.9	1.46	0.07	24.61	8.17	16.39	19.58	47	1673	1008	3.1

Tabla 9

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. Distribución mensual

1988-1989

Ciudad Juárez-EI Paso

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIF	FL	SDDIF	AVETR	AETRN	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AWWS
1988	1	3265	A3	731	3864	A2	2570	1506	D4	565	5728	14383	5.2	3.4	0.74	0.06	12.33	-3.22	4.56	9.53	50	381	0	3.1
1988	2	4272	A3	1154	5533	A2	2984	1339	D4	641	7072	15296	3.9	3	0.77	0.08	17.61	0.61	9.11	12.46	50	263	0	2.9
1988	3	6208	A3	907	7701	A2	2152	1422	D4	527	8795	16381	2	1.4	0.57	0.09	21.44	2.33	11.89	16.19	24	200	5	4
1988	4	7096	A3	923	7719	A2	2658	1814	D4	889	10301	17407	3.3	2.4	0.92	0.09	25.06	7.5	16.28	19.89	30	67	8	3.7
1988	5	7959	A3	775	8870	A2	2061	1600	D4	636	11202	18223	2.1	1.4	1.1	0.14	30.17	12.44	21.33	25.19	28	9	103	3.7
1988	6	7654	A3	1005	7828	A2	2286	1892	D4	667	11533	18593	3.2	2.5	2.07	0.15	34.11	18.39	26.28	29.54	34	0	238	3.4
1988	7	7081	A3	1000	6848	A2	2384	2064	D4	835	11334	18315	4.5	3.7	3	0.14	33.89	19.83	26.89	28.59	54	0	266	3
1988	8	5751	A3	1674	5324	A2	2989	1998	D4	775	10571	17529	5.5	4.8	3.53	0.13	32.44	19.5	26	26.71	69	1	222	2.7
1988	9	5934	A3	936	7202	A2	2575	1387	D4	775	9255	16538	2.3	2	1.98	0.15	31	14.94	23	25.25	53	1	126	2.7
1988	10	4774	A3	1048	6796	A2	2683	1015	D4	637	7618	15494	2.6	2	1.7	0.12	27.61	10.72	19.17	22.86	51	9	42	2.6
1988	11	3932	A3	716	6995	A2	2103	652	D4	355	6080	14549	2.2	1.5	0.75	0.08	20.83	3.5	12.17	15.75	36	187	9	4
1988	12	3177	A3	669	5318	A2	2681	963	D4	559	5304	14074	3.9	3	0.77	0.07	13.61	-1.28	6.17	9.19	53	380	0	3.2
1988	Prom	5593	A3	1892	6664	A2	2831	1472	D4	782	8736	16400	3.4	2.6	1.5	0.11	25	8.78	16.89	20.11	44	1498	1019	3.3

1989	1	3512	A3	849	5747	A2	2478	894	D4	367	5728	14383	3.7	2.6	0.73	0.07	13.89	-2.22	5.83	10.21	43	367	0	3.6
1989	2	3983	A3	1412	4797	A2	3256	1437	D4	575	7044	15277	5.3	4.1	0.98	0.05	17.67	2.06	9.89	13.22	44	209	1	3.7
1989	3	5743	A3	1135	6774	A2	2743	1601	D4	761	8739	16345	3.5	2.5	0.82	0.09	23.5	4.89	14.22	18.82	31	116	11	3.7
1989	4	7316	A3	501	8372	A2	1647	1557	D4	606	10259	17377	2.9	1.2	0.96	0.11	29.39	10.33	19.89	23.84	23	29	72	3.6
1989	5	7720	A3	1118	8212	A2	2353	1796	D4	681	11183	18201	2.8	1.7	1.3	0.14	32.72	15	23.89	27.07	25	5	167	3.9
1989	6	8311	A3	515	9336	A2	1676	1514	D4	610	11530	18590	2.3	1.1	1.52	0.14	36.44	18	27.22	31.18	23	0	274	3.4
1989	7	6861	A3	1312	5508	A2	2609	2809	D4	992	11349	18334	5.2	4.1	2.76	0.12	35.61	21.11	28.39	30.03	43	0	294	3.2
1989	8	6362	A3	1410	5980	A2	2789	2070	D4	747	10604	17559	5.4	4.5	3.11	0.13	33.17	19.56	26.39	27.73	58	0	246	2.8
1989	9	6086	A3	937	6786	A2	2242	1823	D4	821	9906	16572	2.5	2.1	2.21	0.11	31.28	14.83	23.06	26	50	1	145	2.7
1989	10	5107	A3	732	6594	A2	2174	1481	D4	742	7672	15528	2.8	1.8	1.35	0.09	27.44	9.78	18.61	21.71	41	60	33	2.8
1989	11	4063	A3	491	5865	A2	1728	1224	D4	425	6122	14575	3.2	1.8	0.96	0.08	20.94	3.78	12.39	15.64	35	191	0	3.4
1989	12	3255	A3	736	4843	A2	2563	1190	D4	469	5310	14078	3.2	2.4	0.77	0.06	14	-2.89	5.56	8.74	48	393	0	2.9
1989	Prom	5699	A3	1904	6571	A2	2727	1619	D4	814	8745	16407	3.6	2.5	1.46	0.1	26.33	9.5	17.94	21.21	39	1371	1243	3.3

**Tabla 9**

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960-1990. **Distribución mensual**

Ciudad Juárez – El Paso 1990

AÑO	MES	AVGLO	FL	SDGLO	AVDIR	FL	SDDIR	AVDIF	FL	SDDIF	AVETR	AETR	TOT	OPQ	H2O	TAU	MAX_T	MIN_T	AVG_T	AVGDT	RH	HTDD	CLDD	AVWS
1990	1	3512	A3	793	4663	A2	2203	1453	D4	365	5728	14383	3.4	2.7	0.7	0.06	14.11	-3.17	5.5	10.35	46	356	0	3
1990	2	4423	A3	1093	5154	A2	2584	1785	D4	565	7044	15277	3.7	2.8	0.77	0.06	17.28	-0.39	8.44	12.05	36	244	1	3.6
1990	3	5676	A3	1111	5562	A2	2535	2259	D4	718	8739	16345	4.8	3.3	0.93	0.06	20.89	5	12.94	16.63	36	151	0	3.5
1990	4	6866	A3	952	6414	A2	2351	2489	D4	830	10259	17377	3.9	2.7	1.07	0.08	26.33	10.28	18.33	21.93	32	25	53	4.6
1990	5	7794	A3	822	7116	A2	1959	2601	D4	874	11183	18201	3.4	2.2	1.15	0.08	30.11	13.33	21.72	25.96	25	11	154	4.8
1990	6	7811	A3	968	6456	A2	2068	3113	D4	991	11530	18590	2.8	2.2	2.1	0.12	38.94	21.06	30	33.65	24	0	371	3.9
1990	7	6777	A3	1079	5490	A2	2072	2764	D4	807	11349	18334	5.5	4.6	2.99	0.11	33.33	20.06	26.72	28.23	56	0	267	3.6
1990	8	6412	A3	1583	6391	A2	3229	1958	D4	902	10604	17559	4.5	3.9	2.69	0.13	31.56	18.22	24.89	26.96	59	1	208	3.2
1990	9	5216	A3	1542	5559	A2	3078	1654	D4	754	9306	16572	4.8	4.2	2.69	0.12	30.83	17.89	24.39	25.1	65	4	157	3
1990	10	5167	A3	819	8152	A2	2234	704	D4	538	7672	15528	1.6	1.2	1.3	0.11	25.33	9.28	17.33	21.3	48	49	24	3.2
1990	11	3690	A3	907	6128	A2	2866	839	D4	593	6122	14575	3.6	2.7	1.1	0.07	20.11	5.22	12.67	14.38	60	197	0	3.3
1990	12	3168	A3	942	5932	A2	2956	673	D4	421	5310	14078	3.4	2.7	0.86	0.06	14.06	-1.11	6.5	10.15	49	343	0	3.7
1990	Prom	5548	A3	1886	6092	A2	2660	1856	D4	1066	8745	16407	3.8	2.9	1.53	0.09	25.22	9.67	17.44	20.59	45	1381	1235	3.6

Tabla 9

Promedios diarios de radiación en el periodo 1960–1990. Distribución mensual

- AVGLO** = Promedio diario de radiación solar terrestre sobre la horizontal  
**FL** = Bandera  
**SDGLO** = Desviación estándar de la radiación sobre la horizontal  
**AVDIR** = Promedio diario de radiación solar terrestre normal directa  
**SDDIR** = Desviación estándar de la radiación normal directa  
**AVDIF** = Promedio diario de radiación solar terrestre difusa sobre la horizontal  
**SDDIF** = Desviación estándar de la radiación terrestre difusa horizontal  
**AVETR** = Promedio diario de radiación solar extraterrestre sobre la horizontal  
**AETR** = Promedio diario de radiación solar extraterrestre normal directa  
**TOT** = Promedio total de cielo cubierto  
**OPQ** = Promedio de cielo opaco cubierto
- H2O** = Agua precipitable (cm)  
**TAU** = Profundidad óptica de aerosol  
**MAX\_T** = Promedio de temperaturas máximas (°C)  
**MIN\_T** = Promedio de temperaturas mínimas (°C)  
**AVG\_T** = Promedio de temperaturas 24 horas (°C)  
**AVGDT** = Promedio de temperaturas con sol (°C)  
**RH** = Promedio de humedad relativa (%)  
**HTDD** = Calentamiento relativo promedio (°C)  
**CLDD** = Enfriamiento relativo promedio (°C)  
**AVWS** = Velocidad del viento (m/seg)

**Ciudad Juárez—El Paso** **Enero de 1990**

Mes	Hora	Día del mes																																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	8	67	54	55	17	42	37	53	52	55	52	52	52	51	54	84	23	52	56	23	56	23	56	42	34	10	56	63	62	55	61	69	70	15
1	9	236	215	236	77	140	186	232	228	225	224	228	226	224	233	285	49	228	232	109	180	120	183	41	238	251	254	233	264	266	262	124	124	
1	10	399	392	413	274	319	453	414	403	409	400	406	392	403	412	411	128	407	389	187	375	230	413	249	421	447	446	322	453	466	453	263	263	
1	11	537	519	546	452	510	316	546	527	542	526	539	514	542	549	563	170	539	376	184	534	442	555	302	569	595	587	416	607	601	593	420	420	
1	12	606	424	507	508	581	290	622	622	614	602	610	613	609	625	637	191	594	446	479	573	696	497	214	661	659	679	585	691	689	699	430	430	
1	13	612	584	508	513	619	307	628	630	614	598	610	579	617	654	635	319	608	296	291	529	670	573	235	683	659	694	605	724	713	726	145	145	
1	14	545	471	460	534	553	561	568	571	554	558	543	344	593	603	415	442	577	79	485	576	598	447	173	629	648	643	487	676	626	671	81	81	
1	15	405	425	455	415	430	434	443	450	439	451	431	289	478	487	283	396	365	80	298	481	501	217	248	515	526	539	446	557	551	550	137	137	
1	16	232	250	188	225	268	268	280	287	276	287	297	152	311	317	140	301	215	50	265	293	327	127	194	346	353	366	236	378	363	340	61	61	
1	17	73	78	56	67	87	93	98	91	93	102	104	76	106	117	129	123	70	54	145	86	129	42	86	150	155	165	157	170	183	173	38	38	
1	18	1	2	3	3	2	3	3	5	3	4	4	5	5	6	8	7	5	4	6	6	10	5	13	14	15	16	20	19	18	14	7	7	
1	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Total	3713	3414	3427	3085	3551	2948	3887	3866	3824	3804	3824	3242	3939	4057	3590	2149	3660	2062	2452	3689	3765	3093	1765	4282	4371	4451	3542	4600	4545	4551	1721	3512	

**Tabla 10**

Radiación diaria distribuida por hora (Wh/m<sup>2</sup>)

**Ciudad Juárez—El Paso** **Febrero de 1990**

Mes	Día del mes																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	7	0	0	0	0	0	2	3	3	3	2	4	2	1	3	7	4	5	6	6	8	13	8	8	8	7	6	4		
2	8	65	52	75	80	83	83	86	87	102	98	86	49	23	68	116	118	114	123	131	82	132	140	150	156	66	152	24		
2	9	204	61	268	281	276	283	255	197	259	295	277	299	64	154	325	330	324	336	341	341	347	359	365	358	213	263	46		
2	10	294	89	458	469	479	476	478	436	274	499	494	531	463	106	421	530	524	534	582	535	536	559	571	547	412	523	71		
2	11	508	169	586	613	637	620	622	304	393	640	631	620	676	187	596	679	678	684	406	676	702	707	724	724	627	670	153		
2	12	683	333	677	700	731	704	712	481	736	740	736	509	593	221	654	765	775	761	777	445	774	799	793	821	803	595	781	215	
2	13	515	386	694	733	754	723	735	460	747	747	757	671	502	512	778	798	795	782	801	763	747	818	822	844	846	561	630	248	
2	14	228	403	649	692	706	679	701	630	640	709	704	486	396	267	742	745	717	744	724	707	712	760	772	795	767	621	606	301	
2	15	239	307	520	576	584	571	586	154	552	588	563	454	316	118	622	622	616	623	560	623	264	636	662	679	584	540	482	269	
2	16	245	338	367	400	405	381	415	248	404	417	389	174	345	110	444	448	439	450	370	461	327	462	479	501	353	398	331	162	
2	17	147	170	177	193	191	165	208	136	203	207	195	79	136	168	228	233	232	217	183	214	209	240	249	283	154	97	68	113	
2	18	13	31	23	27	29	26	27	28	35	35	29	20	17	51	46	46	48	57	41	60	69	50	54	53	63	26	21	24	
2	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Total	3141	2339	4494	4764	4875	4704	4855	3203	4271	4946	4893	3911	3794	1828	4756	5314	5282	5271	5139	4739	4744	5495	5604	5794	5363	4163	4533	1630	4423

**Tabla 10**

Radiación diaria distribuida por hora (Wh/m2)

**Ciudad Juárez—El Paso**

**Marzo de 1990**

Mes	Hora	Día del mes																																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	7	7	20	12	19	5	21	23	21	12	3	26	37	11	35	26	38	44	51	45	50	33	23	53	56	50	48	44	80	39	89	50	0		
3	8	54	156	105	131	48	194	197	197	155	33	184	194	109	229	226	232	239	199	244	252	191	191	251	248	212	211	181	300	229	296	256	0		
3	9	175	331	202	199	98	426	428	426	411	68	429	434	366	471	372	470	478	395	474	482	466	386	483	454	496	408	473	493	492	507	441	0		
3	10	366	548	276	535	432	628	634	630	544	93	647	638	593	677	672	679	675	663	680	684	655	493	681	683	701	544	452	618	691	715	677	0		
3	11	439	682	349	608	771	780	790	786	507	101	786	802	811	836	817	833	839	835	832	819	735	607	831	753	848	612	601	629	791	828	864	0		
3	12	762	709	340	432	860	869	876	860	809	239	878	894	890	911	904	923	918	920	919	898	920	636	899	839	928	669	509	780	647	910	955	0		
3	13	768	745	306	796	794	887	895	890	709	425	917	909	850	947	926	921	878	927	934	935	936	799	878	923	905	693	743	856	558	994	927	0		
3	14	753	657	278	735	812	826	845	807	449	388	864	856	801	892	873	871	725	879	877	824	791	799	800	742	721	494	748	491	746	939	887	0		
3	15	652	511	243	515	531	700	719	560	367	743	734	735	701	763	397	741	522	747	751	697	686	697	680	682	438	247	713	609	478	813	751	0		
3	16	461	384	153	310	324	516	547	413	304	517	549	554	510	576	205	559	447	565	573	460	542	562	511	488	393	266	455	479	390	476	457	0		
3	17	243	161	64	145	153	291	293	314	145	269	319	321	294	351	124	331	305	327	332	250	297	301	172	254	163	120	215	138	288	277	253	0		
3	18	53	32	17	45	47	78	80	65	47	28	96	89	74	108	67	104	93	109	109	115	107	113	61	112	99	42	75	40	119	120	106	0		
3	19	0	0	0	0	2	1	1	0	1	3	2	7	2	3	3	1	2	3	3	3	3	4	2	6	5	2	16	3	6	5	12	0	0	
3	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Total	4733	4936	2345	4470	4877	6217	6328	5969	4460	2910	6431	6470	6012	6799	5612	6703	6165	6620	6773	6469	6362	5611	6302	6240	5959	4356	5225	5516	5474	6969	6636	5676	0	

**Tabla 10**

Radiación diaria distribuida por hora (Wh/m2)



Ciudad Juárez—El Paso

Abril de 1990

Mes	Hora	Día del mes																								Prom									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		25	26	27	28	29	30			
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	6	1	2	2	5	9	3	3	5	4	5	6	6	6	8	12	8	12	7	16	15	19	14	18	21	31	32	25	30	27	24	24	24	24	
4	7	65	20	65	100	102	106	92	99	119	126	128	123	135	137	135	133	66	36	93	161	148	81	128	161	176	181	190	178	225	205	205	205		
4	8	280	77	270	316	322	326	259	326	343	358	357	345	362	366	359	380	178	224	342	378	373	209	373	376	402	403	418	319	406	438	438	438		
4	9	522	487	392	549	559	547	519	551	577	587	589	574	593	587	586	521	247	303	592	598	596	611	595	608	626	617	576	518	542	587	587	587	587	
4	10	726	395	722	714	719	751	752	751	727	781	779	767	789	787	743	598	305	507	795	731	785	719	758	760	826	816	791	778	593	779	779	779	779	
4	11	825	495	847	864	784	892	880	895	910	920	933	909	922	924	825	634	393	648	940	901	905	860	563	877	920	885	791	886	501	877	877	877	877	
4	12	866	359	941	950	1003	977	940	978	1001	1001	999	991	998	1007	994	856	627	824	1014	944	940	951	735	943	977	956	823	880	949	1022	1022	1022	1022	
4	13	682	698	916	980	969	985	878	986	908	1005	917	999	1007	1014	998	873	579	863	1020	895	791	798	745	925	864	907	933	1026	890	1016	1016	1016	1016	
4	14	816	849	652	929	804	903	582	932	955	945	658	881	943	947	935	806	573	589	951	900	387	598	696	741	598	864	907	904	887	857	857	857	857	
4	15	770	604	567	799	760	775	395	805	813	818	580	789	823	818	808	701	446	736	825	839	365	641	443	756	781	785	781	795	686	704	704	704	704	
4	16	515	503	386	619	588	559	357	601	602	639	478	597	630	633	587	444	397	562	592	610	207	387	283	491	547	599	633	634	353	641	641	641	641	
4	17	309	313	356	373	378	350	151	367	395	414	247	382	409	371	401	263	170	347	406	374	92	215	307	225	352	368	411	426	241	352	352	352	352	
4	18	112	35	140	144	141	107	71	149	158	153	85	148	161	135	165	128	51	137	172	157	81	127	115	136	214	190	183	191	109	167	167	167	167	
4	19	16	5	7	7	9	10	10	24	11	10	7	12	13	12	24	19	9	21	29	25	29	30	36	26	41	38	29	30	28	28	28	28	28	
4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Total	6505	4842	6263	7349	7147	7291	5889	7469	7523	7762	6763	7523	7791	7746	7572	6364	4053	5804	7787	7528	5718	6241	5795	7046	7355	7641	7491	7595	6437	7697	6866	6866	6866	

Tabla 10

Radiación diaria distribuida por hora (Wh/m2)

**Mayo de 1990**

**Ciudad Juárez—El Paso**

Mes	Hora	Día del mes																																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	6	35	12	35	31	21	30	34	33	36	35	21	41	46	43	36	47	46	61	50	51	51	48	48	48	23	54	63	56	54	57	58	56	56		
5	7	217	108	203	202	144	183	206	210	223	164	162	230	223	211	194	233	225	214	251	250	242	162	234	231	242	208	251	243	254	249	249	243	243		
5	8	425	156	433	432	431	443	435	439	446	330	456	461	434	442	401	470	458	378	450	467	469	351	453	452	464	360	477	418	476	470	457	457	457		
5	9	649	278	575	630	601	643	632	637	671	464	660	680	656	653	524	674	599	619	634	670	662	493	661	652	630	472	687	559	675	689	661	661	661		
5	10	814	297	783	823	818	779	844	830	857	631	830	859	835	831	796	853	789	826	794	866	864	782	847	789	849	682	871	788	858	865	840	840	840		
5	11	926	679	971	948	935	901	975	971	1014	841	762	992	958	959	629	987	479	939	881	987	990	940	970	864	973	857	996	913	980	994	958	958	958		
5	12	1019	666	948	1036	881	979	991	1037	1010	761	1018	1061	1025	833	1012	1056	563	974	998	1051	1018	639	1037	1022	1034	820	1061	1028	1061	990	1041	1041	1041		
5	13	927	895	985	1037	954	918	1036	1041	866	854	960	1079	1025	983	883	1061	662	979	945	1052	1064	976	967	956	1041	979	1008	984	1060	978	1050	1050	1050		
5	14	966	1031	930	971	849	781	887	982	915	602	981	956	963	894	706	989	799	914	890	990	999	891	929	871	930	980	998	949	998	915	981	981	981		
5	15	844	783	752	841	549	731	768	852	607	527	853	829	833	778	812	869	637	742	307	868	865	712	764	575	774	855	878	831	876	833	856	856	856		
5	16	510	533	570	634	417	442	620	675	474	340	675	641	479	621	623	686	294	585	271	694	691	505	466	357	575	683	703	671	701	672	682	682	682		
5	17	410	428	408	426	317	249	423	442	266	228	428	418	327	421	328	464	219	359	167	479	457	429	372	354	428	467	481	444	490	397	472	472	472		
5	18	175	139	195	201	185	107	204	209	168	127	213	191	146	223	171	245	111	105	90	248	230	155	219	171	219	192	251	191	262	268	251	251	251		
5	19	38	25	27	27	33	30	30	35	34	26	40	46	28	49	46	56	34	31	35	52	31	28	36	46	52	64	56	42	64	80	59	59	59		
5	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Total	7955	6030	7815	8239	7135	7216	8085	8393	7587	5930	8059	8484	7978	7941	7161	8690	5895	7726	6763	8725	8633	7111	8003	7363	8265	7682	8774	8115	8812	8458	8607	7795	7795		

**Tabla 10**

Radiación diaria distribuida por hora (Wh/m<sup>2</sup>)

Junio de 1990

Ciudad Juárez–El Paso

Mes	Hora	Día del mes																																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30											
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
6	6	49	61	60	56	55	43	44	62	33	0	22	15	59	61	22	51	62	55	50	22	57	51	52	56	48	24	39	52	41	52	41	52	41	52							
6	7	236	258	252	231	238	142	146	188	97	161	172	215	245	218	123	230	252	233	244	229	215	228	231	234	204	204	104	195	225	225	225	225	229	229							
6	8	463	486	465	448	440	308	260	452	310	299	363	314	461	456	381	463	468	440	448	360	441	439	441	447	412	433	407	401	395	443	443	443	443	443	443						
6	9	680	699	678	677	627	335	504	594	596	557	317	570	666	635	334	625	672	652	603	133	608	655	642	632	586	650	566	419	636	627	627	627	627	627	627	627					
6	10	860	875	855	851	795	382	423	733	783	781	436	809	836	809	535	847	845	823	825	774	794	819	821	826	819	801	781	692	814	808	808	808	808	808	808	808					
6	11	989	1003	983	977	683	693	494	844	916	919	548	892	964	937	815	965	972	936	816	897	928	929	946	949	871	956	940	808	937	943	943	943	943	943	943	943	943				
6	12	1059	1067	1051	1045	875	931	727	885	772	950	942	947	942	1016	422	1018	999	1015	938	939	1072	1008	1020	1027	997	1007	996	967	1012	1017	1017	1017	1017	1017	1017	1017	1017				
6	13	1069	1071	1055	1047	1048	926	912	991	922	963	866	922	908	1014	522	1038	962	975	1028	961	921	1037	1027	1039	946	1020	1022	992	1019	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025			
6	14	1000	1011	991	991	584	782	627	908	907	856	808	888	788	960	438	986	915	930	962	927	834	982	953	981	890	919	973	951	973	971	971	971	971	971	971	971	971	971			
6	15	873	889	871	814	625	681	366	826	512	421	795	656	832	839	542	868	677	824	844	811	753	829	847	812	799	844	854	833	842	853	853	853	853	853	853	853	853	853	853		
6	16	698	718	698	644	584	551	263	645	522	306	557	615	656	644	488	703	570	664	634	630	666	667	698	699	644	591	693	663	676	687	687	687	687	687	687	687	687	687	687		
6	17	485	508	482	253	410	376	217	479	240	257	425	433	436	486	412	492	409	483	473	477	487	473	372	505	447	480	487	460	474	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488		
6	18	257	261	254	263	231	242	129	216	235	114	194	272	247	257	231	276	211	267	256	224	264	262	119	283	258	274	269	256	263	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257		
6	19	59	65	63	86	36	39	39	44	57	40	60	53	28	75	69	80	82	76	49	48	73	74	39	87	99	72	75	114	75	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72		
6	20	2	6	2	3	3	2	2	0	0	1	2	2	3	1	1	4	6	3	1	2	4	5	3	2	6	5	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
6	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Total	8779	8978	8760	8386	7234	6433	5153	7867	6902	6625	7603	6051	8408	5335	8646	8102	8376	8171	7434	8117	8458	8211	8579	8026	8180	8301	7834	8386	8476	8476	8476	8476	8476	8476	8476	8476	8476	8476	8476	8476	

Tabla 10

Radiación diaria distribuida por hora (Wh/m<sup>2</sup>)

Ciudad Juárez—El Paso		Julio de 1990																															
		Día del mes																															
Mes	Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	6	29	43	28	23	30	42	40	22	10	36	41	16	39	12	22	38	34	34	32	29	26	31	22	31	21	21	29	30	18	12	14	
7	7	186	164	125	104	129	210	203	48	79	181	201	90	192	91	240	203	190	192	190	172	144	134	172	193	74	153	166	159	180	83	100	
7	8	442	329	403	170	334	409	412	130	390	403	420	92	429	405	359	392	400	407	406	342	359	321	402	319	237	362	382	364	397	267	111	
7	9	610	571	609	399	611	626	627	164	616	579	627	154	653	598	304	558	607	606	603	623	600	481	587	570	257	491	600	594	611	337	231	
7	10	757	389	807	691	511	810	805	287	779	719	802	169	832	762	487	785	789	787	785	762	738	765	639	787	572	738	785	758	791	461	372	
7	11	881	385	979	906	846	940	846	777	893	830	930	257	945	880	809	832	919	918	872	901	693	943	929	888	928	839	913	908	714	951	354	
7	12	960	389	990	955	1094	1028	1028	885	968	966	1018	243	952	947	858	838	991	1005	917	841	963	691	974	685	970	977	936	973	583	368	701	
7	13	931	614	942	963	761	1040	961	946	1002	965	1057	515	767	669	580	716	990	793	798	1034	958	608	881	446	878	956	970	986	568	372	614	
7	14	905	631	972	870	444	785	995	872	980	948	687	530	901	760	557	877	917	771	907	791	918	753	938	777	903	895	858	937	765	215	478	
7	15	570	515	607	761	691	717	855	796	793	785	547	757	800	711	537	713	760	387	808	593	751	668	866	383	875	744	803	838	572	857	600	
7	16	644	453	624	589	736	569	779	638	575	526	163	513	689	375	340	571	598	450	589	623	689	554	692	291	639	189	562	707	300	429	226	
7	17	503	219	464	479	398	366	436	364	392	448	182	472	464	376	252	422	178	77	358	91	215	454	491	194	532	190	340	342	219	490	364	
7	18	185	128	253	103	146	70	87	172	90	190	101	144	262	155	133	188	20	58	171	41	134	259	271	94	272	182	103	37	176	187	230	
7	19	39	24	59	26	51	43	25	27	34	67	13	101	68	26	39	52	4	32	44	24	43	60	71	34	40	30	18	46	65	60	38	
7	20	4	0	9	3	3	1	1	1	1	1	1	3	7	2	1	1	1	1	1	1	1	0	2	3	0	2	1	0	1	2	2	0
7	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Total	7646	4854	7871	7042	6785	7656	8100	6129	7602	7644	6790	4056	8000	6769	5518	7186	7398	6518	7481	6868	7231	6724	7938	5692	7200	6768	7465	7680	5961	5091	4433	6777

**Tabla 10**

Radiación diaria distribuida por hora (Wh/m<sup>2</sup>)

**Ciudad Juárez–El Paso** **Agosto de 1990**

Mes	Hora	Día del mes																																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	6	18	25	22	14	12	12	8	13	25	19	17	14	5	16	12	7	17	8	13	16	4	5	10	10	8	9	8	7	8	7	8	7	
8	7	98	159	177	122	103	85	45	104	156	155	128	103	73	160	107	74	116	61	145	144	40	52	133	123	127	120	131	121	127	114	110		
8	8	215	368	396	318	269	188	112	289	377	369	254	244	128	382	385	205	358	304	365	277	154	118	347	339	338	333	345	335	337	322	314		
8	9	506	593	593	533	386	152	143	519	595	577	478	504	233	499	545	327	597	575	582	478	254	227	564	551	541	540	561	551	549	535	536		
8	10	549	781	766	701	716	220	212	711	781	725	646	439	329	542	733	591	600	743	754	604	179	619	749	721	717	720	577	736	739	718	717		
8	11	647	853	942	864	703	245	282	871	916	853	576	379	390	803	918	818	827	890	897	926	110	613	884	846	841	865	838	868	874	852	855		
8	12	846	962	995	955	523	447	240	1006	1000	912	745	444	288	972	853	779	905	945	963	963	111	678	947	926	928	938	920	943	968	919	907		
8	13	1029	927	980	941	650	447	247	503	1016	972	795	601	701	719	829	968	1003	979	831	997	260	963	964	945	950	949	965	939	966	784	838		
8	14	904	916	981	952	827	255	276	910	962	909	651	478	627	927	884	794	901	860	825	925	350	896	895	840	882	914	919	896	895	502	908		
8	15	843	850	811	788	755	237	261	820	845	607	548	462	486	845	799	762	781	809	761	771	499	777	760	706	768	807	691	750	785	683	799		
8	16	669	647	666	642	593	197	338	634	674	639	433	71	245	604	614	519	627	627	485	439	290	601	569	451	602	337	521	552	604	576	565		
8	17	458	460	457	417	315	152	216	402	464	395	290	75	146	299	341	377	415	414	219	269	238	400	372	279	389	213	440	175	385	318	289		
8	18	196	227	106	211	191	73	130	215	178	199	132	34	30	248	43	194	190	189	90	64	109	181	159	190	167	173	152	178	150	110	146		
8	19	12	53	11	36	40	33	23	27	53	36	25	6	13	47	23	31	48	26	15	9	6	23	21	21	20	17	14	18	14	9	11		
8	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Total	6990	7821	7903	7494	6083	2743	2533	7024	8042	7367	5718	3854	3674	7063	7086	6446	7385	7430	6945	6882	2604	6153	7374	6948	7278	6935	7082	7069	7401	6449	7002	6412	

**Tabla 10**

Radiación diaria distribuida por hora (Wh/m2)

Ciudad Juárez—El Paso												Septiembre de 1990																						
Mes	Hora	Dia del mes																								Prom								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		25	26	27	28	29	30		
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	6	5	6	6	5	4	6	5	5	0	3	6	4	4	2	3	4	3	3	0	3	3	0	3	0	3	3	2	0	0	0	0	0	0
9	7	46	68	108	107	29	94	98	82	0	81	88	96	33	78	67	89	84	66	63	76	0	27	21	92	85	76	67	36	6	6	6	6	
9	8	306	336	317	200	138	240	288	304	277	296	341	308	307	160	344	290	271	274	289	199	50	26	57	283	262	274	273	148	51	133	133	133	
9	9	569	532	531	278	277	539	510	516	508	414	521	509	525	172	490	469	502	507	476	499	453	77	134	124	484	489	493	292	283	283	283	283	
9	10	718	724	672	716	704	718	699	670	703	700	709	699	689	311	531	681	684	675	684	682	420	150	80	110	644	689	670	373	323	174	174	174	
9	11	673	856	673	791	613	841	834	852	843	849	838	834	839	364	831	821	810	842	827	800	785	260	92	220	766	789	806	358	459	607	607	607	
9	12	839	943	982	701	468	935	922	846	914	923	907	903	912	563	772	900	882	922	837	880	876	219	225	572	846	861	865	263	463	540	540	540	
9	13	652	491	801	826	281	637	832	726	926	914	914	902	926	370	474	914	900	854	881	791	871	212	143	649	832	861	867	550	598	607	607	607	
9	14	224	805	519	312	652	797	403	664	857	709	846	816	684	295	366	818	846	755	754	417	859	77	89	620	765	746	767	786	393	531	531	531	
9	15	272	165	616	267	790	436	640	568	725	494	724	688	700	567	601	687	674	724	570	692	614	85	95	432	633	647	641	542	275	183	183	183	
9	16	301	515	437	146	506	501	201	410	534	246	528	399	395	536	537	493	524	333	341	490	504	110	61	152	414	447	457	353	354	58	58	58	
9	17	64	300	371	246	337	270	48	217	327	335	294	286	328	188	312	194	295	232	219	246	112	61	38	74	251	235	241	210	237	16	16	16	
9	18	72	56	145	134	79	100	70	131	107	61	102	94	95	63	81	25	80	66	60	67	17	15	16	21	55	50	46	26	51	5	5	5	
9	19	15	10	11	7	6	6	9	8	4	6	6	3	3	3	3	4	2	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Total	4756	5807	5589	4736	4884	6120	5559	5999	6725	6031	6817	6513	6503	3627	5423	6411	6581	6270	5990	5921	5790	1316	1023	3055	6068	6143	6203	4093	3620	2911	5216	5216	

**Tabla 10**

Radiación diaria distribuida por hora (Wh/m<sup>2</sup>)

**Ciudad Juárez-El Paso**

**Octubre de 1990**

Mes	Hora	Día del mes																																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10	7	87	20	69	69	24	59	62	61	66	61	58	51	54	54	52	25	48	46	42	44	52	41	40	38	37	34	31	31	30	30	41	31	31	31			
10	8	83	149	263	268	80	250	257	251	273	263	253	172	247	252	240	151	234	230	217	225	194	223	222	213	211	200	213	213	193	196	196	214	214	214			
10	9	99	202	477	490	361	454	468	469	496	479	470	449	465	467	446	388	438	439	425	434	426	427	431	418	340	390	446	446	391	406	267	267	267	267			
10	10	289	294	657	670	644	631	645	634	666	661	638	636	648	638	635	605	619	616	583	565	612	612	596	593	554	554	598	598	564	583	543	543	543	543	543		
10	11	286	489	793	794	764	753	763	775	771	783	779	757	775	772	726	729	726	741	714	673	732	722	688	710	704	678	698	698	682	706	662	662	662	662	662		
10	12	281	547	859	850	757	820	789	837	841	832	849	815	845	827	768	789	796	797	768	721	786	770	665	765	756	752	754	754	729	764	693	693	693	693	693		
10	13	127	707	851	841	702	809	812	824	834	828	842	801	836	797	771	779	790	777	752	608	771	761	736	750	738	737	751	751	707	751	695	695	695	695	695		
10	14	98	547	775	752	535	743	725	751	744	744	763	720	747	731	667	685	691	676	642	569	692	666	675	666	649	651	666	666	621	669	601	601	601	601	601		
10	15	129	509	632	526	614	595	654	598	616	582	605	579	593	584	372	549	550	551	534	508	545	516	438	510	507	497	515	515	471	526	480	480	480	480	480		
10	16	46	347	434	421	198	373	386	415	415	391	400	384	394	384	342	357	360	352	336	201	344	323	313	322	314	311	319	319	281	333	288	288	288	288	288		
10	17	58	119	215	195	114	107	158	173	192	175	186	167	176	166	155	152	147	155	138	65	134	116	121	116	112	111	115	115	96	122	97	97	97	97	97		
10	18	11	32	35	32	22	26	17	24	23	20	39	16	18	15	17	7	12	11	11	9	9	7	6	5	5	4	5	5	4	16	3	3	3	3	3		
10	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Total	1594	3962	6060	5908	4815	5620	5736	5812	5937	5819	5882	5547	5798	5687	5191	5216	5411	5391	5162	4622	5297	5184	4911	5106	4927	4919	5111	5111	4769	5113	4574	5167	5167	5167	5167		

**Tabla 10**

Radiación diaria distribuida por hora (Wh/m2)

Ciudad Juárez–El Paso												Noviembre de 1990																				
		Día del mes																														
Mes	Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	7	18	29	0	32	25	17	15	10	20	18	19	18	17	14	14	15	13	11	18	2	5	6	15	8	12	11	5	7	5	7	
11	8	120	204	133	173	169	148	78	41	169	161	166	163	163	150	145	145	135	134	104	11	85	72	140	116	80	117	49	115	114	109	
11	9	172	401	96	381	375	207	134	94	327	351	336	359	348	296	324	336	323	323	276	21	273	133	269	297	208	295	230	299	274	294	
11	10	357	497	142	553	552	466	235	243	522	511	529	526	522	507	497	503	486	479	497	143	347	361	460	456	338	463	461	480	474	455	
11	11	584	329	162	679	671	556	277	446	642	615	631	652	643	621	600	615	609	606	546	76	602	610	612	575	549	497	596	590	592	577	
11	12	318	284	158	726	732	538	307	720	702	663	694	712	682	660	651	671	640	653	665	87	584	600	628	634	552	620	647	662	634	606	
11	13	255	232	393	636	721	542	328	706	688	666	684	659	649	652	642	659	610	634	636	84	677	590	614	573	518	525	652	654	627	597	
11	14	147	305	590	622	627	407	271	609	604	602	596	582	590	558	576	577	543	554	519	119	561	550	541	515	266	432	577	567	557	519	
11	15	113	201	349	484	476	236	226	472	456	457	449	401	387	420	423	437	415	414	422	42	402	416	422	394	345	387	432	424	415	379	
11	16	42	115	266	308	277	146	158	279	263	271	258	234	229	234	248	256	235	225	134	40	189	234	233	177	141	225	242	240	233	217	
11	17	13	3	104	103	86	69	66	84	77	77	72	71	79	61	65	72	61	57	56	7	46	59	48	40	51	51	57	58	55	50	
11	18	1	4	5	10	3	3	5	3	2	2	2	3	2	2	2	4	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Total	2140	2604	2398	4707	4714	3335	2100	3707	4472	4394	4436	4380	4311	4175	4187	4290	4072	4092	3877	635	3771	3631	3982	3785	3060	3623	3948	4096	3980	3810	3690

**Tabla 10**

Radiación diaria distribuida por hora (Wh/m<sup>2</sup>)



**Ciudad Juárez–El Paso** **Diciembre de 1990**

Mes	Día del mes																															Prom				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	8	53	110	101	101	99	97	95	94	91	73	74	68	28	49	14	16	63	68	70	63	54	41	60	51	52	22	68	38	30	48	41	41	41		
12	9	156	284	290	291	285	286	278	279	274	248	241	238	82	224	56	38	243	241	156	240	228	174	238	204	217	79	230	89	141	154	213	213	213		
12	10	427	437	440	462	451	453	444	441	442	406	411	401	105	351	111	89	423	408	344	417	402	228	417	399	285	121	399	111	430	418	378	378	378		
12	11	444	544	565	584	569	575	562	567	562	518	536	529	130	483	110	132	553	542	546	540	532	316	548	511	390	207	526	253	512	523	507	507	507		
12	12	407	582	632	645	622	632	613	624	614	579	599	601	131	470	103	73	636	610	594	611	605	541	625	554	428	180	549	427	553	595	595	595	595		
12	13	494	618	622	631	599	617	594	610	601	589	601	586	173	547	122	94	610	611	573	601	510	585	629	587	494	176	525	433	453	453	601	607	607		
12	14	335	551	548	550	509	538	527	531	522	527	537	517	244	416	84	101	345	551	512	544	369	521	566	485	454	167	418	276	422	550	544	544	544		
12	15	209	417	410	410	340	403	395	383	387	404	406	390	237	363	73	126	393	417	409	419	217	398	445	352	417	155	175	286	254	428	424	424	424		
12	16	190	235	230	230	228	224	217	193	217	236	240	223	152	157	41	51	255	250	248	243	108	234	269	200	236	91	83	183	281	261	260	260	260		
12	17	32	55	56	53	41	55	50	46	51	64	66	61	33	42	14	18	77	73	73	69	33	66	78	63	66	33	19	50	85	81	83	83	83		
12	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	5	3	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
12	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Total	2747	3833	3894	3957	3743	3880	3775	3768	3761	3644	3711	3614	1315	3102	728	738	3598	3771	3525	3750	3061	3109	3880	3409	3044	1235	2996	2150	3165	3663	3656	3168	3168		

**Tabla 10**

Radiación diaria distribuida por hora (Wh/m2)



# Cálculo de la eficiencia del colector

A continuación veremos cómo utilizar las fórmulas desarrolladas en las secciones anteriores para calcular la eficiencia de un colector solar en un día específico, por ejemplo el 15 de octubre. Consideraremos los datos de radiación de la Tabla 10, que aunque corresponden a 1990 nos servirán para hacer un cálculo bastante certero de lo que esperaríamos un día de octubre de cualquier año.

Nuestro colector solar estará construido con tubo de cobre y lámina de hierro, las especificaciones del material usado son las siguientes:

1. Longitud del colector	$l=0.86$ m
2. Ancho del colector	$a=2.18$ m
3. Altura del colector	$h=0.09$ m
4. Inclinação del colector	$\theta=45^\circ$
5. Espesor de la lámina	$\delta=0.05$ cm
6. Distancia entre los tubos	$W=9.37$ cm
7. Diámetro de los tubos interior exterior	$D_i=1.43$ cm $D=1.59$ cm
8. Distancia entre el absorbente y el vidrio	0.025 m
9. Grosor del vidrio	0.24 cm
10. Índice de refracción del vidrio	$n_2=1.526$
11. Índice de refracción del aire	$n_1=1$
12. Coeficiente de extinción del vidrio	$K_{ex}=0.16/cm$
13. Emitancia del vidrio	$\epsilon_c=0.88$
14. Emitancia del absorbente	$\epsilon_p=0.95$
15. Absorbitancia angular de la placa absorbente	$\alpha=0.95$
16. Flujo del agua a través del tubo	$G=0.02$ Kg/seg
17. Conductividad térmica del absorbente	$K_p=50W/m^\circ K$
18. Coeficiente de transferencia de calor entre el fluido y el tubo	$h_f=1500W/m^2 \ ^\circ K$
19. Calor específico a presión constante del agua	$C_p=4.186Joules/g \ ^\circ K$

**Tabla 11**

20. Conductividad térmica del tubo	250W/m °K
21. Conductividad térmica del aislante	K=0.045 W/m °K
22. Conductividad térmica de la soldadura	C <sub>b</sub> =102 W/m °K
23. Grosor del aislante	L=0.05m
24. Temperatura del absorbente	T <sub>p</sub> =85°C=358°K
25. Temperatura ambiente máxima	T <sub>a</sub> =22°C=295°K
26. Velocidad del viento	v=5m/seg
27. Valor de la constante Stefan-Boltzman	σ=5.6697x10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> °K <sup>4</sup>

Tabla 11

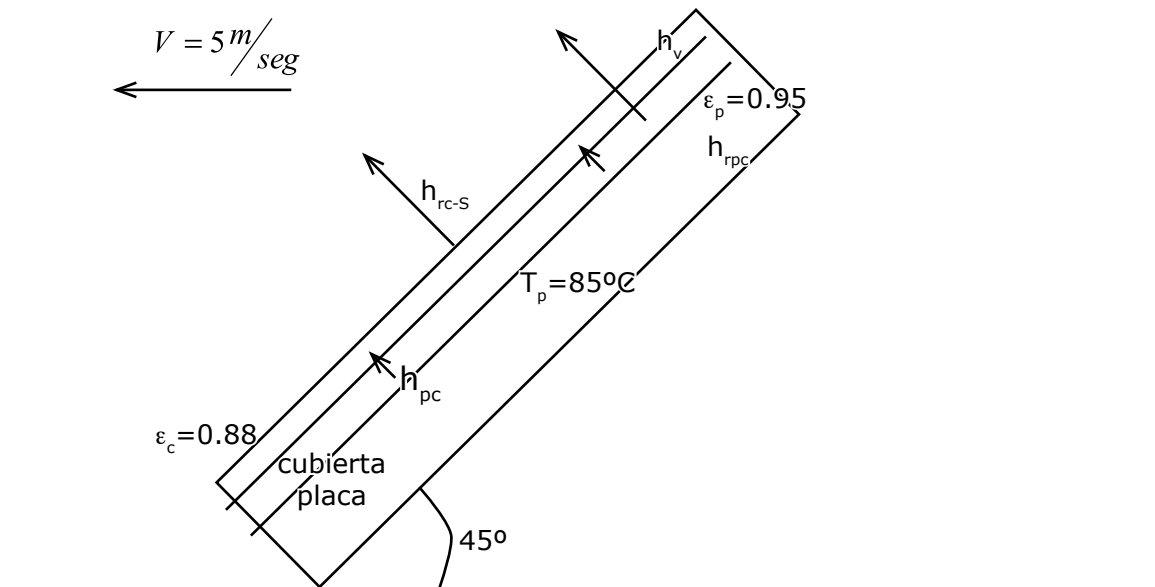


Figura 20

Coefficientes de pérdida de calor por radiación y convección

Primero. Se supone

$$T_c = \frac{T_p + T_a}{2} = 326^\circ K$$

Segundo. de (137) tenemos

$$h_{rp-c} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} = 7.30 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

**Tercero.** y de (139)

$$h_{rc-s} = \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a) = 5.99 \frac{W}{m^2 \circ K} \quad (139)$$

**Cuarto.**

$$h_{p-c} = 1.161 \frac{\Delta T^{0.31}}{l^{0.070}} e^{-0.00143305 \bar{T}}$$

$$\Delta T = T_p - T_c = 32^\circ C$$

con

$$\bar{T} = \frac{T_p + T_c}{2} = 69^\circ C \quad (116)$$

$$h_{p-c} = 2.89 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

**Quinto.**

$$h_{viento} = 5.7 + 3.8V$$

$$h_{viento} = 24.7 \frac{W}{m^2 \circ K} \quad (119)$$

**Sexto.**

$$U_t = \left( \frac{1}{h_{p-c} + h_{rp-c}} + \frac{1}{h_{viento} + h_{rc-s}} \right)^{-1} = 7.64 \frac{W}{m^2 \circ K} \quad (142)$$

**Séptimo.**

$$T_c = T_p - \frac{U_t (T_p - T_a)}{h_{p-c} + h_{rp-c}} = 343^\circ K \quad (143)$$

Con este nuevo valor para  $T_c$  se procede a calcular de nuevo desde el segundo hasta el séptimo paso, obteniéndose en una segunda iteración

$$h_{p-c} = 8.22 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$h_{r-c-s} = 6.51 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$h_{p-c} = 2.26 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$U_t = 7.85 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

y

$$T_c = 311^\circ \text{ K}$$

Con este nuevo valor para  $T_c$  se procede a calcular de nuevo desde el segundo hasta el séptimo paso, obteniéndose en una tercera iteración

$$h_{p-c} = 7.17 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$h_{r-c-s} = 5.56 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$h_{p-c} = 3.28 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$U_t = 7.76 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

y

$$T_c = 311^\circ \text{ K}$$

Como este valor de  $T_c$  coincide con el anteriormente calculado, ya no es necesario continuar con la iteración, por lo tanto el coeficiente de pérdidas por la parte superior es:

$$U_t = 7.76 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

**Octavo.** de (134) el coeficiente de pérdidas por la base es

$$U_b = \frac{K}{L} = 0.9 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

**Noveno.** de manera proporcional, el coeficiente de pérdidas por los lados es:

$$U_e = \frac{K}{L} \frac{A_{LADOS}}{A_{BASE}}$$

$$A_{LADOS} = 0.547m^2$$

$$A_{BASE} = 1.87m^2$$

$$U_e = 0.26 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

**Décimo.**

$$U_L = U_t + U_b + U_e = 8.92 \frac{W}{m^2 \circ K} = 0.767 \frac{ly}{hora \circ K}$$

**Undécimo.** de (161) tenemos

$$F = \frac{\text{Tanh} \frac{m}{2} (W - D)}{\frac{m}{2} (W - D)}$$

$$m = \left( \frac{U_L}{K\delta} \right)^{1/2} = \left( \frac{8.92}{(50)(.0005)m^2} \right)^{1/2} = 18.89 \frac{1}{m}$$

$$\frac{m}{2} (W - D) = 9.445(.0937 - .0143) = 0.75$$

para obtener:  $F = 0.846$

**Duodécimo.** de (167)

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[ \frac{1}{U_L [D + (W - D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]}$$

tenemos

$$F' = \frac{1/8.92}{.0937 \left[ \frac{1}{8.92 [0.0159 + (0.0937 - 0.0159)0.846]} + \frac{1}{102} + \frac{1}{3.1416(0.0143)(1500)} \right]}$$

$$F' = 0.857$$

**Décimo tercero.** de (176)

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L} \left( 1 - e^{-\left( \frac{U_L F'}{GC_p} \right)} \right)$$

tenemos

$$F_R = \frac{0.02(4186)}{8.92} \left( 1 - e^{-\left( \frac{8.92(0.857)}{0.02(4186)} \right)} \right)$$

$$y \quad F_R = 0.819$$

Para vidrio con índice de refracción 1.526 las ecuaciones (120) y (121) dan un valor para la reflexión de radiación de

$$\rho = 0.0434$$

para ángulos comprendidos entre  $0^\circ$  y  $40^\circ$ , por lo tanto la transmitancia de este material para estos ángulos será de (122)

$$\tau_r = \frac{1 - 0.0434}{1 + 0.0434} = 0.917$$

Para un vidrio con 0.24 cm de grosor con coeficiente de extinción  $K = 0.16/\text{cm}$  la ecuación (126) da

$$\tau_a(40^\circ) = 0.951$$

$$\tau_a(0^\circ) = 0.962$$

por lo tanto podemos considerar  $\tau_a = 0.96$  para el material y el valor de la transmitancia (permitiendo reflexión y absorción) será de (127)

$$\tau = (0.917)(0.96) = 0.88$$

Ahora bien habíamos mencionado que la reflectancia difusa  $\rho_d$ , se puede estimar usando la reflexión del sistema de cubierta a un ángulo de incidencia de  $60^\circ$ , por lo tanto:

$$\rho_d = 1 - \tau_r(60^\circ)$$

$$\text{de (121)} \quad \theta_2 = \arcsen \frac{\text{sen}60^\circ}{1.526} = 34.57^\circ$$



de (120) 
$$\rho(60^\circ) = \frac{1}{2} \left[ \frac{\text{sen}^2(-25.42^\circ)}{\text{sen}^2(94.57^\circ)} + \frac{\text{tan}^2(-25.42^\circ)}{\text{tan}^2(94.57^\circ)} \right] = 0.093$$

$$\tau_r(60^\circ) = \frac{1 - \rho(60^\circ)}{1 + \rho(60^\circ)} = 0.83$$

y 
$$\tau_r(60^\circ) = \frac{1 - \rho(60^\circ)}{1 + \rho(60^\circ)} = 0.83$$

**Décimo cuarto.** de (128)

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d}$$

$$(\tau\alpha) = \frac{0.88(0.95)}{1 - (1 - 0.95)0.17}$$

tenemos:  $(\tau\alpha) = 0.84$

como la cantidad de energía absorbida por la placa absorbente del colector.

En la tabla que se da a continuación, se utilizan los valores de las constantes calculadas, los valores de la constante multiplicativa  $R$  y los datos de insolación del día 15 de octubre de 1990, se considera que la entrada de agua al colector se efectúa a temperatura constante de  $60^{\circ}\text{C}$ .

HORA	H (Wh/m <sup>2</sup> )	R	HR (Wh/m <sup>2</sup> )	HR( $t_{\alpha}$ ) (Wh/m <sup>2</sup> )	T <sub>amb</sub> (°C)	T <sub>in</sub> (°C)	U <sub>L</sub> (T <sub>in</sub> -T <sub>amb</sub> ) (Wh/m <sup>2</sup> )	q <sub>m</sub> (Wh/m <sup>2</sup> )
7	52	0	0	0	9	60	-	-
8	240	1.56	374.4	314.5	12	60	428.2	0.0
9	446	1.417	632	530.9	15	60	401.4	106.1
10	635	1.36	863.6	725.4	18	60	374.6	287.3
11	726	1.335	969.2	814.1	20	60	356.8	374.5
12	768	1.327	1019.1	856	22	60	339.0	423.5
13	771	1.335	1029.3	864.6	25	60	312.2	452.4
14	667	1.36	907.1	761.9	21	60	347.9	339.1
15	372	1.417	527.1	442.7	17	60	383.6	48.4
16	342	1.56	533.5	448.1	13	60	419.2	23.6
17	155	0	0	0	11	60	-	-
Totales			6855.3					2054.9

$$\eta_{\text{día}} = \frac{2054.9}{6855.3} = 29.9\%$$

Lo anterior representa la eficiencia del colector para este día del año.

# Bibliografía

- Bloom, Arthur L.. *Foundations of earth science series – The surface of the Earth*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey , 1973.
- Brooks , F. A. y W. Miller. *Introduction to the utilization of Solar Energy*. McGraw Hill, New York, 1963.
- Chapman, Alan J. *Heat Transfer*. MacMillan Publishing Company, New York, 1974.
- Cooper, P.I. "The absorption of solar radiation in solar stills", en *Solar Energy Journal*. Vol 12, Research Org: Dept. Mech. Eng., Univ. Western Australia, Nedlands, W. Aust. Country of Publication: United States, 1969.
- Duffie, J.A. y W.A. Beckman. *Solar Energy thermal processes*. John Wiley & Sons Inc., New York , 1980.
- Eccli, Eugene. *Low cost, energy efficient shelter for the Owner and Builder* . Publisher: Emmaus, Pa., Rodale Press, 1976.
- Jennings, Burgess Hill and Samuel Richard Lewis. *Air conditioning and refrigeration*. Scranton Pa., International Textbook Co., 1958.
- Jordan, Richard C. y Gayle B Priester. *Refrigeration and air conditioning*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey , 1962.
- Kestin, Joseph. *A Course in Thermodynamics*. Vol. 1, Blaisdell Publishing Co., Waltham, MA, 1966.
- Manrique, J.A. y R.S. Crdenas. *Termodinmica*. Editorial Harla, Mexico, 1987.
- Plank, Max. *The theory of heat radiation*. Dover Publications, New York, 1991.
- Somerfeld, Arnold. *Thermodynamics and Statistical Mechanics , Lectures on Theoretical Physics*. Vol. 5, Academic Press Inc, New York, 1964.
- Tipler, Paul Allen. *Foundations of modern Physics*. Worth Publishers, New York, 1969.
- Datos de insolacin para Ciudad Jurez y El Paso, Texas*. National Climatic Data Center Federal Building.
- Datos de insolacin para Ciudad Jurez y El Paso Texas*. Renewable Resource Data Center <http://rredc.nrel.gov/solar> (ltima consulta: 28 de abril de 2006).

