

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE FISICA**



**TRABAJO DE GRADUACION**

**DETERMINACION DEL POTENCIAL SOLAR EN  
LA ZONA OCCIDENTAL, PARTIENDO DE LAS  
CORRECCIONES DE LAS MEDIDAS  
PIRANOMETRICAS**

**PRESENTADO POR:**

**FRANCISCO ANTONIO BARAHONA ESCOTO**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:**

**LICENCIADO EN FISICA**

**DICIEMBRE DE 1991**

**SAN SALVADOR**

**EL SALVADOR**

**CENTROAMERICA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE FISICA

E 2  
333.492:  
B224  
1991  
E 1



**TRABAJO DE GRADUACION**

**DETERMINACION DEL POTENCIAL SOLAR EN  
LA ZONA OCCIDENTAL, PARTIENDO DE LAS  
CORRECCIONES DE LAS MEDIDAS  
PIRANOMETRICAS**

**PRESENTADO POR:**

**FRANCISCO ANTONIO BARAHONA ESCOTO**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:**

**LICENCIADO EN FISICA**

**DICIEMBRE DE 1991**

**SAN SALVADOR**

**EL SALVADOR**

**CENTROAMERICA**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

TRABAJO DE GRADUACION

DETERMINACION DEL POTENCIAL SOLAR  
EN LA ZONA OCCIDENTAL, PARTIENDO DE LAS  
CORRECCIONES DE LAS MEDIDAS PIRANOMETRICAS



*Helvina Morillo de Escobar*

M.S. ET HELVINA MORILLO DE ESCOBAR  
COORDINADOR ASESOR

---

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR : DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA  
SECRETARIO GENERAL : LIC. MIGUEL ANGEL AZUCENA

FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

DECANO : LIC. VICTOR ANTONIO GONZALEZ  
SECRETARIO : LIC. MARINA DE JESUS LOPEZ

DEPARTAMENTO DE FISICA

JEFE DEL DEPARTAMENTO : LIC. GUILLERMO NAPOLEON MORAN

---

## DEDICATORIA

*Dedico esta obra:*

*A MIS PADRES:*

*Juan Francisco Barahona*

*Rosa Orbelia Escoto de Barahona*

*A MI ESPOSA:*

*Lucía Blanco*

*A MIS HERMANOS:*

*Nelson, Reina, Arnoldo y Alexander*

*A mis tíos, primos y a todos mis amigos,*

*que de una u otra forma han contribuido*

*en la consecución de esta obra.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial a la M.S. Ethelvina Morillo de Escobar por sus oportunas sugerencias en el curso del desarrollo del presente trabajo.

A los técnicos Redro Peñate Bonilla y Rogelio Aguirre por la colaboración que amablemente prestaron en la consecución de este trabajo.

Al Lic. Juan Haroldo Linarez, por su colaboración en la estructuración del programa de computación utilizado.

A mi compañero de estudios, Prof. Manuel Oliverio Barahona, por haberme prestado su máquina, para el cálculo de los factores de corrección de las lecturas actinográficas.

Al servicio de Meteorología e Hidrología del Ministerio de Agricultura y Ganadería, por proporcionar la información necesaria para el presente trabajo.



UES BIBLIOTECA FAC  
C.C. N.N. Y MM  
INVENTARIO: 19200661

## I N D I C E

RESUMEN	ix
INTRODUCCION	x
CAPITULO 1	
ENERGIA SOLAR EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA	1
1.1. INTRODUCCION	2
1.2. LA CONSTANTE SOLAR	2
1.3. LA RADIACION SOLAR Y SU DISTRIBUCION ESPECTRAL	4
1.4. ATENUACION DE LA RADIACION SOLAR POR LA ATMOSFERA	5
1.4.1. Atenuación de la radiación solar por la masa de aire	6
1.4.2. Atenuación de la radiación solar por procesos diversos	10
1.4.3. Atenuación debido a la distancia media tierra-sol	13
1.5. RADIACION EXTRATERRESTRE SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL	13
1.6. CLASIFICACION DE LA RADIACION SOLAR QUE INCIDE EN LA SUPERFICIE TERRESTRE	17
CAPITULO 2	
EVALUACION DE LA ENERGIA SOLAR	18
2.1. INTRODUCCION	19
2.2. PARAMETROS SOLARES EN LA EVALUACION DE LA ENERGIA SOLAR	19



2.3. INSTRUMENTOS PARA MEDIR LA RADIACION SOLAR GLOBAL	21
2.3.1. Piranómetro de Eppley blanco y negro	21
2.3.2. El Actinógrafo tipo Robitzch	22
2.4. INSTRUMENTOS PARA MEDIR BRILLO SOLAR	25
2.5. MODELO DE ANGSTRÖM MODIFICADO, PARA LA EVALUACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL	28
2.6. ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL EN SUPERFICIE HORIZONTAL PARA DIAS CLAROS	29
CAPITULO 3	
CORRECCION DE LECTURAS ACTINOGRAFICAS	34
3.1. INTRODUCCION	35
3.2. DESCRIPCION DEL METODO DE CORRECCION	35
CAPITULO 4	
EVALUACION DEL POTENCIAL SOLAR DE LA CIUDAD DE SANTA ANA	46
4.1. INTRODUCCION	
4.2. PROCESO DE EVALUACION DE LA ENERGIA SOLAR DISPONIBLE PARA LUGARES QUE POSEEN SOLO BRILLO SOLAR	47
4.2.1. Zona de vida	48
4.3. METODOLOGIA EMPLEADA PARA LA EVALUACION DEL POTENCIAL SOLAR DE LA CIUDAD DE SANTA ANA	50
CAPITULO 5	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1. CONCLUSIONES	61
5.2. RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	65
ANEXOS	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estándar espectral NASA/ASTM	3
Figura 2	Trayectoria de un haz de radiación solar en la atmósfera terrestre	8
Figura 3	Piranómetro de Eppley blanco y negro	21
Figura 4	Esquema del actinógrafo tipo Robitzch	24
Figura 5	Heliógrafo tipo Campbell Stokes	27
Figura 6	Esquema que muestra la meteorología para la evaluación del potencial solar de la ciudad de Santa Ana, durante 1981	50
Figura 7	Gráfico de los promedios multianuales del factor de corrección mensual $F_{em}$ versus meses del año, para la estación matriz	62
Figura 8	Mapa que muestra la ubicación geográfica de las estaciones: El Palmar, Matriz e ITIC	

## LISTA DE TABLAS

Tabla I	Regiones del espectro eléctrico magnético	5
Tabla II	Días de cada mes indicados como los más apropiados para el cálculo de la radiación extraterrestre mensual	16
Tabla III	Valores de $\tau_0$ , $\tau_1$ y $\tau_k$ para cuatro tipos de clima	30
Tabla IV	Proceso de sumatoria para el cálculo de la radiación solar global del día 8 de Febrero según Hottel y Liu Jordan	40
Tabla V	Factor de corrección mensual $F_{em}$ del mes de Febrero de 1991, correspondiente a la estación ITIC	41
Tabla VI	Lecturas actinográficas corregidas, correspondientes al mes de Febrero de 1991, de la estación ITIC	42
Tabla VII	Comparación de lecturas actinográficas corregidas $H''$ y sin corregir $H'$ con lecturas piranométricas del mes de Febrero de 1991 de la estación ITIC	43
Tabla VIII	Factores de corrección mensual de las lecturas actinográficas de radiación solar global para la estación matriz	44
Tabla IX	Lecturas actinográficas de radiación solar global corregidas de la estación matriz	45

Tabla X	Estación matriz. Brillo solar	52
Tabla XI	Promedios mensuales de la duración astronómica del día y de la radiación solar extraterrestre en superficie horizontal para la estación matriz	53
Tabla XII	Proceso de cálculo de las constantes $a'$ y $b'$ de Angström	55
Tabla XIII	Evaluación de la radiación solar global de la ciudad de Santa Ana, durante 1981	59

## RESUMEN

En el presente trabajo, se evalúa la Energía Solar disponible en la ciudad de Santa Ana, partiendo de medidas locales de brillo solar y de las constantes  $a'$  y  $b'$  del Modelo de Angström Modificado para la estación matriz, obtenidas después de corregir las lecturas actinográficas. Las constantes  $a'$  y  $b'$  así obtenidas fueron:

$$a' = 0.3732 \quad , \quad b' = 0.3834$$

El disfrute de radiación solar global anual de la ciudad de Santa Ana representa el 90.5 % de la radiación solar global anual máxima terrestre, lo cual es favorable para la implementación de proyectos tecnológicos a base de Energía Solar.

## INTRODUCCION

La ciudad de Santa Ana es uno de los lugares en El Salvador en donde no se mide la Radiación Solar Global. Por tal motivo, este trabajo resuelve el problema de evaluar dicha magnitud.

En el desarrollo del trabajo se analizan lecturas de radiación solar global y de brillo solar correspondientes a la estación "Matriz", lecturas de radiación solar global de la estación "ITIC" y lecturas de brillo solar de la estación "El Palmar". La ubicación geográfica de dichas estaciones se muestra en el Anexo 1.

Previo a la evaluación de la energía solar de la ciudad de Santa Ana se corrigen las lecturas actinográficas (y no piranométricas como se dice en el título) de la estación matriz por medio del método propuesto por Steves, A. y De Rosa, C. 1/, y se obtienen las constantes  $a'$  y  $b'$  correspondientes a la estación antes mencionada.

La corrección de las lecturas actinográficas se hace necesaria, dado que los actinográficos son instrumentos de tercera clase y su respuesta es influenciada grandemente por las variaciones climáticas.

El trabajo está estructurado en cinco capítulos. Así:

En el Capítulo 1, se trata la teoría básica acerca del fenómeno de atenuación de la radiación solar por la atmósfera.

En el Capítulo 2, se describen los métodos de evaluación de la energía solar y los instrumentos necesarios para medir radiación solar global y brillo solar.

En el Capítulo 3, se presenta la corrección de las lecturas actinográficas.

En el capítulo 4, se evalúa el potencial solar de la ciudad de Santa Ana.

Finalmente, en el Capítulo 5, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

**CAPITULO 1**  
**ENERGIA SOLAR EN LA**  
**SUPERFICIE DE LA TIERRA**

## CAPITULO 1

### ENERGIA SOLAR EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

#### 1.1. INTRODUCCION

La potencia de radiación solar por unidad de área en la superficie del sol, es de  $6.35 \times 10^7 \text{ Watt/m}^2$  2/; sin embargo, en la superficie de la tierra no se recibe dicha densidad de potencia, esto es, debido al fenómeno de atenuación de la radiación solar por la atmósfera, la masa de aire y la distancia promedio Tierra-Sol. Así, los niveles de radiación extraterrestres difieren de los niveles de radiación recibidos en la superficie de la tierra. Con el propósito de analizar el fenómeno de atenuación antes mencionado, en el presente capítulo se hace una descripción analítica de dicho fenómeno y además, se caracterizan los distintos tipos de radiación que inciden en la superficie de la tierra.

#### 1.2. LA CONSTANTE SOLAR

La Constante Solar 3/ ( $I_{sc}$ ) se define como la cantidad de energía proveniente del sol que por unidad de tiempo incide perpendicularmente sobre una superficie de área unitaria colocada al tope de la atmósfera, a la distancia media Tierra-Sol.

Numerosas mediciones han sido realizadas de  $I_{sc}$ , pero el valor estándar aceptado es:

$$\begin{aligned} I_{sc} &= 1353 \text{ W/m}^2 \\ &= 1.94 \text{ Cal/cm}^2 \cdot \text{min} \\ &= 428 \text{ Btu/pe}^2 \cdot \text{h} \\ &= 4.871 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{h} \end{aligned}$$

Con un error estimado del 1.5 %

La distribución espectral de la radiación extraterrestre, en ausencia de la atmósfera se presenta en la figura 1.

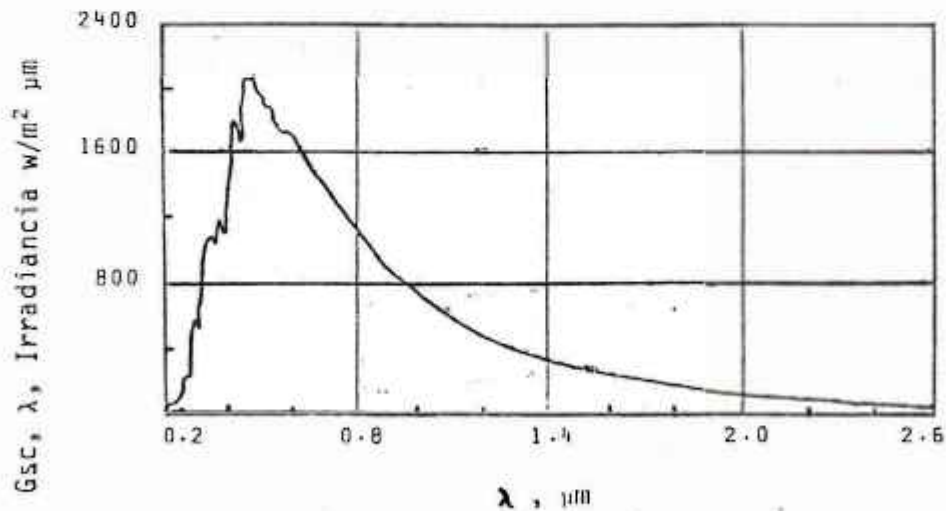


Fig. 1 Estándar espectral NASA/ASTM  
Tomado de: Solar Engineering of Thermal Processes  
Duffie J.A., Beckman W.A.

Las variaciones de la constante solar que se consideran se deben a: Las variaciones de la radiación emitida por el sol, debido a las tormentas solares y a las variaciones de distancia media Tierra-Sol. Analíticamente, la variación de la constante solar con respecto al número del día del año (n) está dada por la siguiente ecuación:

$$I'_{en} = I_{so} [ 1 + 0.033 \text{ Cos } (360n/365) ] \quad (1.1)$$

Donde  $I'_{en}$  es la radiación extraterrestre, medida en un plano normal a la misma en el enésimo día del año.

### 1.3. LA RADIACION SOLAR Y SU DISTRIBUCION ESPECTRAL

La radiación solar consiste en ondas electromagnéticas en un amplio rango de longitudes de onda desde  $10^{-4}$  cm, hasta longitudes de onda del orden de  $10^6$  cm. Esta radiación ha sido dividida en ocho diferentes regiones 4/, las que se pueden agrupar con fines prácticos en intervalos según se muestra en la Tabla I.

TABLA I : REGIONES DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

TIPO DE RADIACION ELECTROMAGNETICA	RANGO DE LONGITUD DE ONDA ( )	PORCENTAJE DEL ESPECTRO DE LA CONSTANTE SOLAR
ONDAS DE RADIO	$\lambda \geq 1 \text{ mm}$	4 %
INFRARROJO LEJANO	$1 \text{ mm} > \lambda \geq 10 \mu\text{m}$	16 %
INFRARROJO	$10 \mu\text{m} > \lambda \geq 0.75 \mu\text{m}$	22 %
VISIBLE	$0.75 \mu\text{m} > \lambda \geq 0.30 \mu\text{m}$	49 %
ULTRAVIOLETA	$300 \text{ nm} > \lambda \geq 1200 \text{ \AA}$	9 %
ULTRAVIOLETA EXTREMO	$1200 \text{ \AA} > \lambda \geq 100 \text{ \AA}$	
Rx SUAVES	$100 \text{ \AA} > \lambda \geq 1 \text{ \AA}$	
Rx DUROS Y RADIACION $\gamma$	$\lambda < 1 \text{ \AA}$	

Tomado de: Notas de clase. M. de Escobar E. Curso de Energía Solar I, 1988, Universidad de El Salvador.

#### 1.4. ATENUACION DE LA RADIACION SOLAR POR LA ATMOSFERA

En la sección 1.3. se han presentado ocho regiones del espectro electromagnético de la radiación solar extraterrestre con sus respectivos porcentajes en relación a la constante solar. Sin embargo, cuando la radiación solar penetra en la atmósfera y llega a la superficie de la tierra, los porcentajes o niveles de radiación disminuyen,

a causa del fenómeno de atenuación que experimenta la radiación al atravesar la atmósfera y que se debe fundamentalmente a:

- a) La masa de aire.
- b) Procesos diversos de atenuación por la atmósfera.
- c) La distancia media Tierra-Sol.

#### 1.4.1. ATENUACION DE LA RADIACION SOLAR POR LA MASA DE AIRE.

Para un haz de radiación monocromática de intensidad ( $I_\lambda$ ), que penetra un espesor  $dl$  de un medio homogéneo, parte de la radiación es absorbida. La fracción absorbida  $dI_\lambda$  según la ley de Bouguer es 5/:

$$dI_\lambda = -K_\lambda I_\lambda \rho dl \quad (1.2)$$

Donde:  $\rho$  : Densidad del medio que depende de la presión y de la temperatura.

$K_\lambda$ : Coeficiente de absorción.

Integrando la ecuación 1.2 se obtiene:

$$\int_{I_{\lambda_0}}^{I_{\lambda}} \left( \frac{dI_{\lambda}}{I_{\lambda}} \right) = -k_{\lambda} \int_0^l (\rho dl)$$

Así:

$$I_{\lambda} = I_{\lambda_0} \text{EXP} \left[ -K_{\lambda} \int_0^l (\rho dl) \right] \quad (1.3)$$

Haciendo

$$m_r = \int_0^l \rho dl$$

la ecuación 1.3 se transforma en:

$$I_{\lambda} = I_{\lambda_0} \text{EXP} \left[ -K_{\lambda} m_r \right] \quad (1.4)$$

Donde  $m_r$  es la masa del medio que tiene por longitud la trayectoria  $l$  de área unitaria.

Si el haz atraviesa un medio como la atmósfera que puede considerarse estratificada, el camino  $dl$  puede expresarse en función de  $dz$  y el ángulo de incidencia  $\theta$  mostrados en la figura 2.

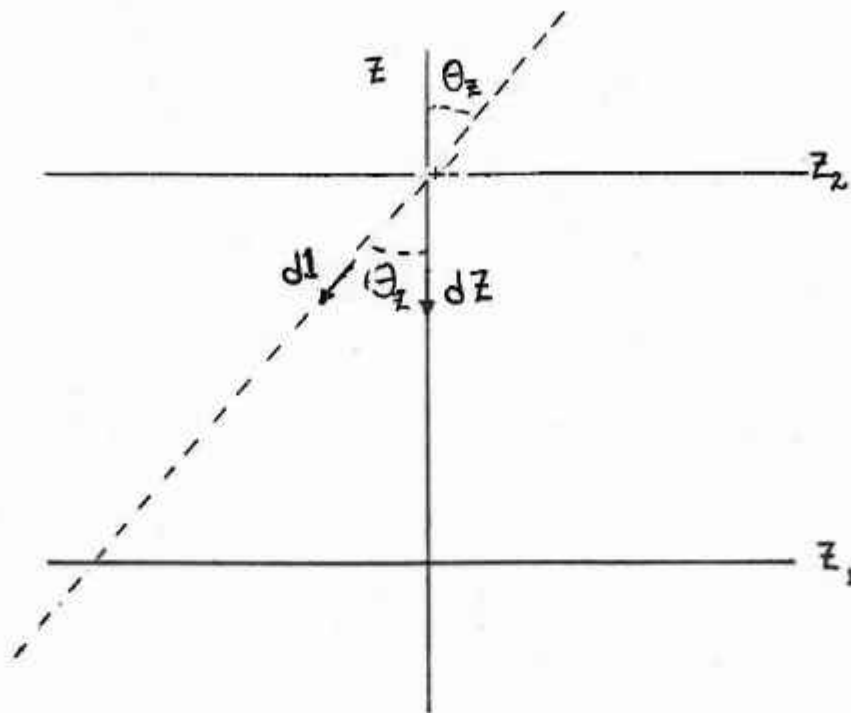


Fig. 2 Trayectoria de un haz de Radiación Solar en la Atmósfera Terrestre

De la figura 2 se obtiene que:

$$\cos \theta_z = \frac{dz}{dl}$$

$$\text{ó} \quad dl = \sec \theta_z dz \quad (1.5)$$

Sustituyendo la ecuación 1.5 en 1.3 se obtiene:

$$I_\lambda = I_{\lambda_0} \text{EXP} \left[ -K_\lambda \int_{z_1}^{z_2} \rho \sec \theta_z dz \right]$$

$$I_{\lambda} = I_{\lambda_0} \text{EXP}[-K_{\lambda} m \text{Sec} \theta_z] \quad (1.6)$$

Donde:

$$m = \int_{z_1}^{z_2} \rho dz$$

es la masa del aire en el espesor  $(z_2 - z_1)$  por unidad de área en una columna vertical.

Comparando la ecuación 1.6 con la ecuación 1.4 resulta que:

$$m_r = m \text{Sec} \theta_z \quad (1.7)$$

En este caso,  $m_r$  recibe el nombre de masa de aire y  $m$  se establece por definición igual a uno entre un punto al nivel del mar y otro en el tope de la atmósfera cuando el sol está en el cenit. Así:

$$m_r = \text{Sec} \theta_z \quad (1.8)$$

Sustituyendo la ecuación 1.8 en la ecuación 1.5 se establece que:

$$I_{\lambda} = I_{\lambda_0} \text{EXP}[-K_{\lambda} \text{Sec}\Theta_z] \quad (1.9)$$

La ecuación anterior (1.9) indica que la intensidad de la radiación solar decrece en forma exponencial en la medida que la masa de aire se incrementa.

#### 1.4.2. ATENUACION DE LA RADIACION SOLAR POR PROCESOS DIVERSOS

Además de la atenuación por la masa de aire, descrita anteriormente, la radiación solar al atravesar la atmósfera es atenuada en su intensidad mediante los procesos de:

- a) Absorción selectiva por los gases de la atmósfera y por el vapor de agua.
- b) Difusión molecular o de Rayleigh debida a los gases y al vapor de agua.
- c) Difusión y absorción por aerosoles o turbidez.

Para los tres procesos antes mencionados se cumple:

$$I_{\lambda} = I_{\lambda_0} \text{EXP}[-(\alpha_{\lambda} + S_{\lambda} + t_{\lambda}) m_r] \quad (1.10)$$

Donde:

- $\alpha_\lambda$  : Coeficiente debido a la absorción.  
 $S_\lambda$  : Coeficiente debido a la difusión molecular.  
 $t_\lambda$  : Coeficiente debido a la turbidez.

Así, la atenuación para todo el espectro es:

$$I = \int_0^{\infty} I_{\lambda_0} [EXP(-\alpha_\lambda m_r) \cdot EXP(-S_\lambda m_r) \cdot EXP(-t_\lambda m_r)] d\lambda \quad (1.11)$$

#### a. Absorción Selectiva de la Radiación Solar

En los niveles más bajos se encuentra que el vapor de agua absorbe la porción de infrarrojo del espectro, luego a 50 Km. del nivel del mar se encuentran cantidades apreciables de Ozono que absorbe la radiación ultravioleta.

#### b. Atenuación de la Radiación Solar por Difusión

La difusión se define como la emisión de oscilaciones forzadas de los electrones de las partículas difusoras cuando reciben radiación solar. Las ondas electromagnéticas experimentan difusión cuando el medio a través del cual atraviesan, no es homogéneo ópticamente; en particular, cuando se hallan presentes partículas extrañas con propiedades diferentes del medio y también en presencia de fluctuaciones de la densidad del medio.

La teoría de difusión molecular establece que hay difusión de la radiación solar cuando:

- Las dimensiones de las partículas difusoras son pequeñas comparadas con las longitudes de onda ( $\lambda$ ) de la radiación incidente.
- Las partículas difusoras y el medio no son conductores y no poseen cargas eléctricas libres.
- Las partículas difusoras son esféricamente simétricas con respecto a sus propiedades ópticas.
- La constante dieléctrica,  $\epsilon$ , de la partícula difusora difiere muy poco de la del medio.
- Las partículas difunden la luz, una independientemente de la otra y están separadas entre sí, por distancias mayores que la longitud de onda de la radiación incidente.

### c. Difusión y Absorción por Aerosoles o Turbidez

Para dar idea del contenido de bruma o de vapor de agua o de ambos simultáneamente, Linke estableció un Factor de Turbidez que corrige la masa de aire ( $m_r$ ) con el fin de obtener el camino óptico real para la radiación en una atmósfera húmeda y con aerosoles. Según Linke, el término exponencial de la ecuación 1.11 referido a la turbidez, se puede escribir como:

$$EXP[-t_\lambda m_r] = EXP[-S_{\lambda g} T m_r] \quad (1.12)$$

De la ecuación anterior es evidente que:

$$t_{\lambda} = S_{\lambda g} T \quad \Rightarrow \quad T = \frac{t_{\lambda}}{S_{\lambda g}} \quad (1.13)$$

Donde:

T : Factor de Turbidez de Linke.

$S_{\lambda g}$  : Coeficiente para todas las longitudes de onda que corresponden a la atenuación debida a los gases de una atmósfera limpia y seca.

Para una atmósfera limpia ideal  $T = 1$ , en tanto que para ciudades contaminadas de aerosoles  $T$  llega a ser 4 ó 5.

#### 1.4.3. ATENUACION DEBIDO A LA DISTANCIA MEDIA TIERRA-SOL.

Así como la luz disminuye su intensidad para puntos más distantes de la fuente, también la radiación solar en general experimenta este fenómeno.

#### 1.5. RADIACION EXTRATERRESTRE SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL

La radiación extraterrestre que incide sobre una superficie horizontal para un día  $n$  del año está dada por:

$$(I_0)_n = I_{sc} [1 + 0.033 \cos (360n/365)] \cos \theta_s \quad (1.14)$$

Donde:

- n : Número de día del año.  
 $\theta_z$  : Angulo cenital.  
 $\phi$  : Latitud del lugar.  
 $\delta$  : Declinación de la tierra en el día n.  
h : Angulo horario.

La fórmula con menos incertidumbre para calcular  $\delta$  es  
6/ :

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \cos \Gamma + 0.070257 \operatorname{Sen} \Gamma - 0.006758 \cos 2\Gamma - 0.000907 \operatorname{Sen} 2\Gamma - 0.002697 \cos 3\Gamma + 0.00148 \operatorname{Sen} 3\Gamma) 180/\pi \quad (1.15)$$

$\Gamma$  es llamado el ángulo del día y es representado por:

$$\Gamma = 2\pi(n - 1)/365$$

Donde n es el número del día del año.

Para obtener la radiación solar extraterrestre diaria en superficie horizontal se utiliza la siguiente ecuación:

$$H_o = \int_{h_{oz}}^{h_{os}} I_{o_n} dt = 2 \int_0^{h_{os}} I_{o_n} dt \quad (1.16)$$

Donde:

$h_{\text{sal}}$  : Angulo horario correspondiente a la salida del sol.

$h_{\text{pus}}$  : Angulo horario correspondiente a la puesta del sol.

Haciendo:

$$dt = \frac{12}{\pi} dh$$

E integrando la ecuación 1.16 se obtiene:

$$H_o = \frac{24}{\pi} (3600 \text{Seg}) I_{sc} [1 + 0.033 \cos(\frac{360n}{365})] *$$

$$\left( \frac{2\pi h_{ss}}{360} \text{Sen}\Phi \text{Sen}\delta + \text{Cos}\Phi \text{Cos}\delta \text{Sen}h_{ss} \right) \quad (1.17)$$

Para determinar la radiación extraterrestre en un determinado intervalo de tiempo (por ejemplo, una hora), se utiliza la siguiente ecuación:

$$H_o = \frac{12}{\pi} (3600 \text{Seg}) I_{sc} [1 + 0.033 (\frac{360n}{365})] *$$

$$\left[ \frac{2\pi}{360} \text{Sen}\Phi \text{Sen}\delta (h_2 - h_1) + \text{Cos}\Phi \text{Cos}\delta (\text{Sen}h_2 - \text{Sen}h_1) \right] \quad (1.18)$$

Donde:  $h_2$  y  $h_1$  : Angulos horarios correspondientes a los extremos del intervalo de tiempo.

$H_0$  se puede calcular por mes usando la ecuación 1.17 en la que  $n$  toma el valor del día indicado como el más apropiado para ese mes, que según Klein (1976) son los que se muestran en la Tabla II.

TABLA II. DIAS DE CADA MES INDICADOS COMO LOS MAS APROPIADOS PARA EL CALCULO DE LA RADIACION EXTRATERRESTRE MENSUAL ( $H_0$ )

MES	DIA	MES	DIA
ENERO	17	JULIO	17
FEBRERO	16	AGOSTO	16
MARZO	16	SEPTIEMBRE	15
ABRIL	15	OCTUBRE	15
MAYO	15	NOVIEMBRE	14
JUNIO	11	DICIEMBRE	10

El valor de  $H_0$  calculado para los días indicados es muy próximo al valor de  $H_0$  promedio del mes.

Si se necesita  $H_0$  durante un año se calcula en la forma indicada anteriormente, para cada mes del año y se hace un promedio de los 12 valores de  $H_0$ .

### 1.6. CLASIFICACION DE LA RADIACION SOLAR QUE INCIDE EN LA SUPERFICIE TERRESTRE

El fenómeno de atenuación de la radiación solar por la atmósfera, descrito en la Sección 1.4, hace que la radiación solar que incide en la superficie terrestre se divida en:

- Radiación Solar Directa ( $I_D$ ).
- Radiación Solar Difusa ( $I_d$ ).

**Radiación Solar Directa:** es aquella radiación que proviene del sol y que viaja en línea recta.

**Radiación Solar Difusa:** es aquella radiación proveniente del sol y que al incidir a la superficie terrestre viaja en todas direcciones debido a los diferentes fenómenos que experimenta en la atmósfera, tales como: reflexión, refracción, dispersión, etc. A la suma de la Radiación Solar Directa  $I_D$  y la Radiación Solar Difusa  $I_d$  que incide sobre una superficie horizontal, se le llama Radiación Solar Global, la cual se mide en  $\text{Cal/cm}^2/\text{día}$ , ó en  $\text{Watt/m}^2$ , o en otras unidades equivalente.

**CAPITULO 2**  
**EVALUACION DE LA**  
**ENERGIA SOLAR**

## CAPITULO 2

### EVALUACION DE LA ENERGIA SOLAR

#### 2.1. INTRODUCCION

En la elaboración de proyectos de desarrollo tecnológicos y en los distintos usos que de la energía solar se hace, es necesario evaluar su potencial en un lugar dado.

De la correcta evaluación de este potencial energético depende el éxito en los diseños de sistemas fotovoltaicos y térmicos; así como el adecuado cálculo de cargas térmicas y la iluminación natural de edificaciones; también puede determinarse el tipo de cultivos que conviene en una zona determinada. Por tal razón, en este Capítulo se describe la forma de determinar el potencial solar a partir del Modelo de Ångström Modificado y finalmente, se deducen expresiones para calcular la Radiación Solar Global de días claros.

#### 2.2. PARAMETROS SOLARES EN LA EVALUACION DE LA ENERGIA SOLAR

Los parámetros solares involucrados en los estudios de evaluación de la energía solar se pueden clasificar en: parámetros experimentales y teóricos. Los experimentales

son: la radiación solar global y el brillo solar; en tanto que los teóricos son: la radiación solar extraterrestre en superficie horizontal y la duración astronómica del día. De los parámetros antes mencionados, la radiación solar extraterrestre y la radiación solar global se definieron en las Secciones 1.5 y 1.6, respectivamente.

**a. Brillo Solar ( $n_s$ )**

Es el número de horas que el sol está sobre el horizonte del lugar y su energía es capaz de quemar la faja heliográfica; se mide en horas/día u horas/luz.

**b. Duración Astronómica del Día ( $N_d$ )**

Se le conoce como longitud del día o máximo asoleamiento, y está definida mediante la siguiente expresión:

$$N_d = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \delta \tan \phi) = \frac{2}{15} h_{\max} \quad (2.1)$$

Donde:  $h_{\max}$ ,  $\delta$  y  $\phi$ : fueron definidos anteriormente.

### 2.3. INSTRUMENTOS PARA MEDIR LA RADIACION SOLAR GLOBAL

Existen diferentes tipos de instrumentos para medir la radiación solar global. Todos ellos la convierten a otra forma de energía, dando como resultado una lectura que es proporcional a la intensidad de la radiación solar incidente. Los más utilizados en las estaciones meteorológicas nacionales son: el Piranómetro de Eppley Blanco y Negro, y el Actinógrafo Bimetálico tipo Robitzch.

#### 2.3.1. PIRANOMETRO DE EPPLEY BLANCO Y NEGRO

Este instrumento está constituido fundamentalmente por un detector cubierto por un hemisferio de vidrio para protegerlo del viento y de otros agentes extraños. Una fotografía de este Piranómetro se muestra en la figura 3.

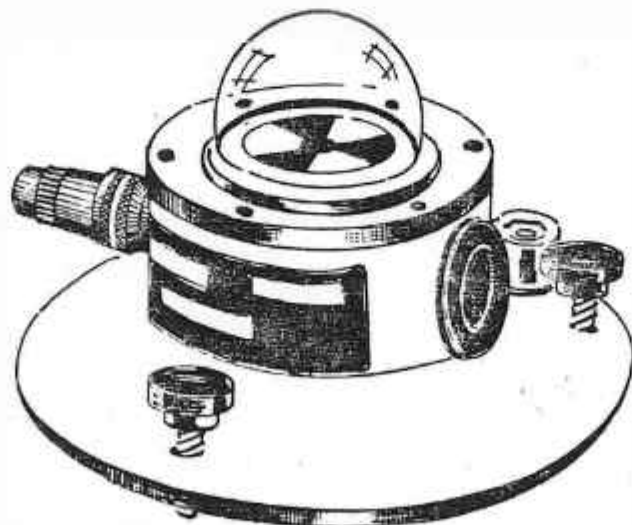


Fig. 3. Piranómetro de Eppley Blanco y Negro.  
Tomado de: Manual de Operación del Piranómetro,  
Departamento de Física, UES.

El detector de este instrumento tiene una respuesta independiente de la longitud de onda de la radiación, e independiente del ángulo de incidencia de la misma y está constituido por una superficie ennegrecida y una superficie blanca de igual área; unidas térmicamente a la superficie ennegrecida van las puntas calientes o activas de la termopila y a la superficie blanca van las puntas frías o pasivas de la mencionada termopila.

La radiación solar global que atraviesa el domo de vidrio es absorbida por la superficie ennegrecida y reflejada en la superficie blanca, de esta forma se origina una diferencia de temperaturas entre la superficie ennegrecida del detector y la superficie blanca, produciendo en la termopila una diferencia de potencial, la que es proporcional a la radiación solar incidente.

La precisión de este instrumento es de  $\pm 1.5\%$  7/ en el intervalo de  $[20 - 40]^{\circ}\text{C}$ .

### 2.3.2. EL ACTINOGRAFO TIPO ROBITZCH

El Actinógrafo tipo Robitzch o Piranógrafo Bimetálico tipo Robitzch, es el instrumento de mayor uso en las diferentes estaciones meteorológicas a nivel nacional.

Es un instrumento mecánico que suministra un registro continuo de la radiación solar global que incide sobre una superficie horizontal.

Utiliza como sensor tres láminas bimetálicas, dos de ellas pintadas con un pigmento blanco de gran reflectancia, y la otra pintada de negro de Parson que absorbe uniformemente la radiación en todas las longitudes de onda.

De un lado las tres láminas están unidas y del otro las blancas están fijadas al soporte, y el extremo de la negra está libre, moviendo una palanca que transmite mecánicamente su movimiento a un registrador de pluma. De esta forma, la deflexión del brazo de la pluma es proporcional a la diferencia de temperatura entre la cinta ennegrecida y las cintas blancas; así la deflexión de la pluma es proporcional al flujo de radiación solar global. A continuación se presenta el esquema de este instrumento.

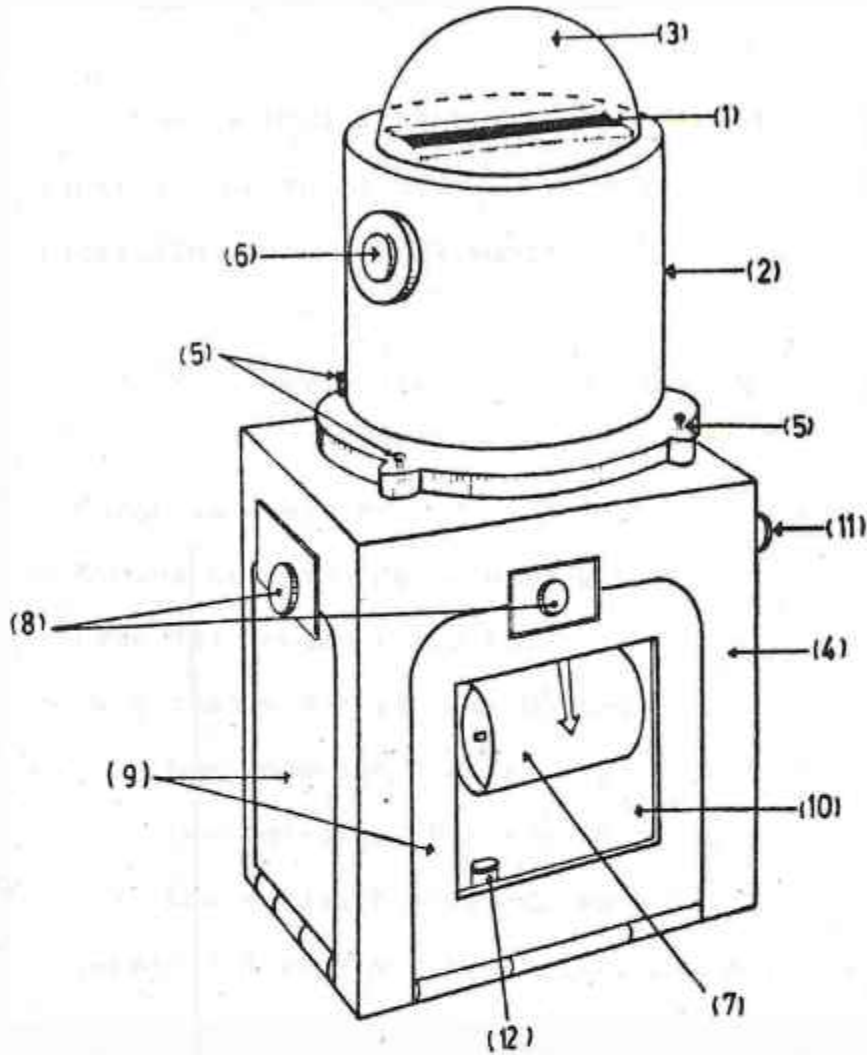


Fig. 4. Esquema del Actinógrafo tipo Robitzsch.

1. Láminas bimetálicas.
2. Caja protectora cilíndrica.
3. Domo de vidrio semiesférico.
4. Caja protectora cuadrada.
5. Tornillo de fijación.
6. Depósito para sal higroscópica.
7. Tambor.
8. Tornillo de cierre de puerta.
9. Puertas laterales.
10. Ventanilla.
11. Tornillo para levantar plumilla.
12. Nivel.

Las especificaciones del Actinógrafo que utiliza el Servicio Meteorológico para realizar las mediciones de radiación solar global son:

No.58 dc Actinógrafo Bimetálico tipo Robitzch. FUESS.

- Rango de medición : 0... 2.0 Cal/(cm<sup>2</sup> min)
- Mínima división de la escala : 0.5 Cal/(cm<sup>2</sup> min)
- Peso del equipo : 6.2 kg.
- Velocidades del sistema de registro:
  - . Una rotación completa cada 7 días.
  - . Una rotación completa en un día.
  - . Una rotación completa en 4 días.
- Sensor : 3 cintas bimetálicas de 8.5 cm por 1.5 cm.

El tiempo de respuesta de este instrumento es de 15 minutos 8/.

#### 2.4. INSTRUMENTOS PARA MEDIR BRILLO SOLAR

Generalmente, para medir el brillo solar se utiliza el Heliógrafo Campbell Stokes. Este aparato de medición está constituido por una lente esférica, sostenida por un arco de forma que los rayos de sol se enfocan a un casco metálico que va unido al arco. Este casco tiene la forma

de una sección de casquete esférico y está situado en la parte inferior de la lente esférica, y su tamaño es tal, que durante las horas del día la imagen del sol cae en alguna parte de su superficie.

Debido a la distancia focal y a la amplia abertura de la lente, se produce una imagen intensa que causa la quemadura del cartón, marcando así en su superficie, las horas de luz solar. Este sistema de medición proporciona una línea de quemadura todo el tiempo que el sol ha estado brillando, quedando interrumpido por porciones de cartón intacto, en el tiempo que el sol ha permanecido oculto. El cartón está impreso con unas líneas que representan las horas, de forma que se pueda medir no sólo la duración de la luz solar, sino también la hora exacta en que tuvo lugar la misma. Un esquema del Heliógrafo se muestra en la figura 5.

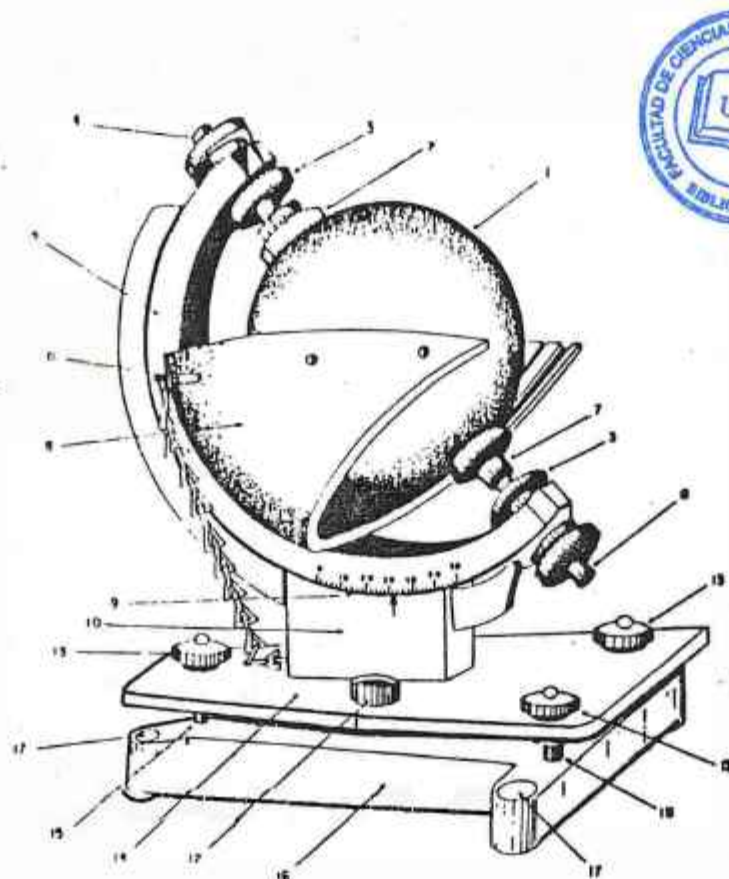


Fig. 5. Heliógrafo tipo Campbell Stokes  
(Tomado del Manual de operación del Registrador de Brillo Solar, Instituto Colombiano de Hidrología y Adecuación de Tierras).

- |   |  |
|---|--|
| 1. Esfera de vidrio.                          | 10. Soporte de guía del semianillo para la esfera y escala de latitud. |
| 2. Tornillo del empalme superior de la esfera | 11. Tornillo para ajuste de gráficas.                                  |
| 3. Tuerca de fijación                         | 12. Nivel.   |
| 4. Tornillo de soporte superior.              | 13. Tuercas de fijación del tornillo para nivel.                       |
| 5. Semianillo metálico para la esfera.        | 14. Plato de base.   |
| 6. Casquete portabandas.                      | 15. Tornillo de nivel.   |
| 7. Tornillo de empalme inferior de la esfera. | 16. Sub-base fija.   |
| 8. Tornillo de soporte inferior.              | 17. Orificios para fijación.   |
| 9. Escala de latitud.                         |  |



## 2.5. MODELO DE ÁNGSTRÖM MODIFICADO, PARA LA EVALUACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL

Este modelo está basado en el hecho de que existe una relación directa entre la energía solar por unidad de área y el número de horas de brillo solar durante el día  $9/$ . El modelo afirma que:

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b \frac{\bar{n}_t}{\bar{N}_d} \quad (2.2)$$

Donde:

- $\bar{H}$  : Promedio mensual de la radiación solar global en superficie horizontal.
- $\bar{H}_0$  : Promedio mensual de la radiación extraterrestre en superficie horizontal.
- $\bar{n}_t$  : Promedio mensual del brillo solar.
- $\bar{N}_d$  : Promedio mensual de la duración astronómica del día.
- $a, b$  : Constantes experimentales propias del modelo, las que se determinan mediante un análisis de regresión lineal.

## 2.6. ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL EN SUPERFICIE HORIZONTAL PARA DIAS CLAROS

Los efectos de la atmósfera en cuanto a dispersión y absorción de la radiación solar son variables con el tiempo, tal como cambian las condiciones atmosféricas y la masa de aire. Es frecuente definir un día claro estándar y calcular la radiación diaria y horaria que debería ser recibida en una superficie horizontal en estas condiciones estándar.

Hottel 10/ en 1976 presentó un método conveniente para estimar la radiación solar directa transmitida a través de atmósferas claras, que toma en cuenta el ángulo cenital, la altura sobre el nivel del mar del lugar y la composición típica de la atmósfera.

La transmitancia atmosférica de la radiación solar directa ( $\tau_D$ ), se define como la relación entre la radiación solar directa y la radiación extraterrestre. Hottel propone la siguiente expresión para el cálculo de  $\tau_D$ :

$$\tau_D = a_0 + a_1 \text{EXP}[-K/\text{Cos}\theta_z] \quad (2.3)$$

Donde las constantes  $a_0$ ,  $a_1$  y  $K$  se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$a_0 = \tau_0 a_0^* \quad (2.4.1)$$

$$a_1 = \tau_1 a_1^* \quad (2.4.2)$$

$$K = \tau_k K^* \quad (2.4.3)$$

Para la atmósfera estándar con 23 km de visibilidad, resulta que  $a_0^*$ ,  $a_1^*$  y  $K^*$  están dados así:

$$a_0^* = 0.4237 - 0.00821(6.0 - A)^2 \quad (2.5.1)$$

$$a_1^* = 0.5055 + 0.00595(6.5 - A)^2 \quad (2.5.2)$$

$$K^* = 0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2 \quad (2.5.3)$$

Donde A es la altura sobre el nivel del mar del lugar.

Por otra parte, las constantes  $\tau_0$ ,  $\tau_1$  y  $\tau_k$  de las ecuaciones 2.4, dependen del tipo de clima local. Hottel realizó el estudio para cuatro tipos de clima diferentes; el resultado se presenta en la Tabla III.

TABLA III VALORES DE  $\tau_0$ ,  $\tau_1$  Y  $\tau_k$  PARA CUATRO TIPOS DE CLIMA

TIPO DE CLIMA	$\tau_0$	$\tau_1$	$\tau_k$
TROPICAL	0.95	0.98	1.02
VERANO MEDIA LATITUD	0.97	0.99	1.02
VERANO SUB-ARTICO	0.99	0.99	1.01
INVIERNO MEDIA LATITUD	1.03	1.01	1.00

Luego de obtener  $\tau_D$  se puede calcular la intensidad de la radiación normal directa ( $I_{ND}$ ) para cualquier día claro, utilizando la siguiente ecuación:

$$I_{ND} = I'_{on} \tau_D \quad (2.6)$$

Donde:  $I'_{on}$  : definido en Sección 1.2.

La cantidad de energía por unidad de área de radiación solar directa ( $H_{CD}$ ) que incide sobre una superficie horizontal en un periodo de una hora, se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$H_{CD} = 3600 I'_{on} \tau_D \cos\theta_z \quad [\text{Joule/m}^2] \quad (2.7)$$

Donde:  $I'_{on}$  : Dado en unidades de Watt/m<sup>2</sup>

$\theta_z$  : Angulo cenital para el punto medio de la hora.

Para obtener  $H_{CD}$  en un periodo de un día, la ecuación 2.7 se transforma en:

$$H_{CD} = 2(3600 \text{ seg}) I'_{on} \Sigma \tau_D \cos\theta_z \quad [\text{Joule/m}^2] \quad (2.8)$$

La sumatoria de la ecuación anterior se desarrolla para los  $\cos \theta_z$  correspondientes a los ángulos horarios de los puntos medios de cada hora desde que sale el sol hasta el mediodía solar.

Si se desea realizar el proceso de sumatoria a intervalos de medias horas, entonces la ecuación 2.8 se convierte en:

$$H_{cd} = 2(1800 \text{ seg}) I'_{on} \sum \tau_D \cos \theta_z \quad \left[ \frac{\text{Joule}}{m_2} \right] \quad (2.9)$$

Para obtener la componente de la radiación solar difusa de día claro ( $H_{cd}$ ), en superficie horizontal, Liu Jordan, en 1960 desarrolló una relación empírica entre el Coeficiente de Transmitancia de la radiación directa y difusa ( $\tau_d$ ), la que afirma que:

$$\tau_d = 0.2710 - 0.2939 \tau_D \quad (2.10)$$

Por lo tanto, la energía por unidad de área de radiación solar difusa en superficie horizontal, en un periodo de un día, se estima con la siguiente ecuación:

$$H_{cd} = 2(1800 \text{ Seg}) I'_{on} \sum \tau_d \cos \theta_z \quad \left[ \frac{\text{Joule}}{m^2} \right] \quad (2.11)$$

De combinar las ecuaciones 2.5 y 2.11 se obtiene la ecuación para estimar la radiación solar global en superficie horizontal en días claros ( $H_c$ ), la cual es:

$$H_{cd} = 2(1800 \text{ seg}) I'_{on} \Sigma(\tau_b + \tau_d) \text{Cos}\theta_z \text{ [Joule/m}^2\text{]} \quad (2.12)$$

**CAPITULO 3**  
**CORRECCION DE LECTURAS**  
**ACTINOGRAFICAS**

## CAPITULO 3

### CORRECCION DE LECTURAS ACTINOGRAFICAS

#### 3.1. INTRODUCCION

El presente Capitulo trata de un método de corrección de lecturas actinográficas. En primer lugar, se describe brevemente el método de corrección a utilizarse, luego como ejemplo de cálculo, se corrigen las lecturas actinográficas correspondientes al mes de febrero de 1991 de la estación ITIC (ubicada en la Facultad de Agronomía de la Universidad de El Salvador), y finalmente se obtienen las lecturas actinográficas corregidas de la estación matriz desde 1973 hasta 1982.

#### 3.2. DESCRIPCION DEL METODO DE CORRECCION

Para disminuir los errores causados por el instrumento en las lecturas actinográficas de radiación solar global, Steves y De Rosa 11/ proponen un método de corrección, el cual consiste en comparar la radiación solar global del día claro  $H_{cl}$  calculada de acuerdo a Hottel y Liu Jordan, con el Área del registro actinográfico correspondiente. De esta forma, el factor de corrección mensual  $F_{cm}$  se establece como el promedio de las comparaciones realizadas para todos los días claros del mes. Así:

$$F_{em} = \frac{1}{n'} \sum H_{e_i} / A_i \quad (3.1)$$

Donde:

$A_i$  : Área del registro actinográfico del día  $i$ , en unidades de  $cm^2$ .

$n'$  : Número de días claros del mes considerado.

La radiación solar global diaria de cualquier día del mes  $H_J$ , se obtiene aplicando el factor de corrección antes mencionado, al valor del área de registro del día considerado. Así:

$$H_J = F_{em} A_J \quad (3.2)$$

Donde:  $A_J$  : Área del registro actinográfico del  $J$ -ésimo día del mes, en unidades de  $cm^2$ .

Como ejemplo de cálculo, se corrigen las lecturas correspondientes al mes de febrero de 1991 de la estación ITIC. En este mes se escogieron 9 días completamente soleados y limpios de acuerdo a los siguientes criterios:

- La simetría del registro actinográfico.
- La máxima desviación vertical del registro actinográfico.

Y se midió su respectiva área. Posteriormente se procede a calcular la radiación solar global usando el modelo de cielo claro según Hottel y Liu Jordan; finalmente se obtiene el factor de corrección según la ecuación 3.1.

La ecuación 2.12 establece que:

$$H_{cl} = 2 [1800] I'_{on} \sum \cos \theta_z (\tau_D + \tau_d) \quad [J/m^2]$$

$I'_{on}$  en unidades de Watt/m<sup>2</sup>.

El proceso de sumatoria descrito por la ecuación anterior, se realiza luego de definir expresiones particulares para conocer  $I'_{on}$ ,  $\tau_D$ ,  $\tau_d$  y  $\cos \theta_z$ . Así:

$I'_{on}$  es un valor constante para un día determinado, que se calcula mediante la ecuación 2.1:

$$I'_{on} = 1353 [1 + 0.033 \cos (360n/365)] \quad [Watt/m^2]$$

Para el día 8 de febrero, n toma el valor de 39 (Ver Apéndice A), de manera que:

$$I'_{on} = 1387.96 \text{ Watt/m}^2$$

$\tau_D$  se calcula mediante la ecuación 3.3 a partir de considerar que el tipo de clima de la estación ITIC es tropical.

La ecuación 3.3 afirma que:

$$\tau_D = a_0 + a_1 \text{ EXP } [-K / \text{Cos}\theta_z]$$

Donde:  $a_0 = \tau_0 a_0^*$

$$a_1 = \tau_1 a_1^*$$

$$K = \tau_k K^*$$

$\tau_0$ ,  $\tau_1$  y  $\tau_k$  toman los valores de 0.95, 0.98 y 1.02, respectivamente (Ver Tabla III).

$a_0^*$ ,  $a_1^*$  y  $K^*$  están definidos mediante las ecuaciones 3.5.1, 3.5.2 y 3.5.3, que calculados para la estación ITIC ( $A = 0.71 \text{ Km}$ ) resultan ser:

$$a_0^* = 0.1940$$

$$a_1^* = 0.7050$$

$$K^* = 0.3306$$

De esta forma:

$$a_0 = \tau_0 a_0^* = 0.1843$$

$$a_1 = \tau_1 a_1^* = 0.6909$$

$$K = \tau_k K^* = 0.3372$$

Luego:

$$\tau_D = 0.1843 + 0.6909 \text{ EXP } [-0.3372 / \text{Cos}\theta_z] \quad (3.4)$$

$\tau_a$  depende de  $\tau_D$ , según la ecuación 3.10.

El Coseno del ángulo cenital ( $\text{Cos}\theta_z$ ) está dado como:

$$\text{Cos } \theta_z = \text{Sen}\phi \text{ Sen}\delta + \text{Cos}\phi \text{ Cos}\delta \text{ Cosh}$$

Donde:  $\delta$ ,  $\phi$  y  $h$  : definidos en la Sección 2.5.

Para la estación ITIC y para el día 8 de febrero resulta que  $\phi = 13.44^\circ$  y  $\delta = -15.25^\circ$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$\text{Cos}\theta_z = -0.0611 + 0.9384 \text{ Cosh} \quad (3.5)$$

Con los resultados de las ecuaciones 2.9, 3.3 y 3.4 se forma la Tabla IV, que muestra el proceso de sumatoria para el cálculo de la radiación solar global de día claro de Hottel y Liu Jordan, descrito por la ecuación 2.12.

TABLA IV PROCESO DE SUMATORIA PARA EL CALCULO DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL DEL DIA 8 DE FEBRERO, SEGUN HOTTEL Y LIU JORDAN

ESTACION : ITIC ELEVACION : 710 m LATITUD : 13.44°

h	$\cos\theta_z$	$\tau_D$	$\tau_d$	$(\tau_D + \tau_d)$	$\cos\theta_z(\tau_D + \tau_d)$
0.0	0.8775	0.6548	0.0786	0.7334	0.6435
7.5	0.8693	0.6530	0.0791	0.7321	0.6364
15.0	0.8453	0.6479	0.0806	0.7285	0.6158
22.5	0.8059	0.6390	0.0832	0.7222	0.5820
30.0	0.7516	0.6385	0.0833	0.7218	0.5425
37.5	0.6834	0.6061	0.0929	0.6990	0.4777
45.0	0.6024	0.5791	0.1008	0.6799	0.4096
52.5	0.5102	0.5410	0.1120	0.6530	0.3332
60.0	0.4081	0.4867	0.1280	0.6147	0.2508
67.5	0.2980	0.4071	0.1513	0.5584	0.1664
75.0	0.1818	0.2924	0.1851	0.4775	0.0868
82.5	0.0614	0.1871	0.2160	0.4031	0.0248

h (grados)

$$\sum \cos\theta_z (\tau_D + \tau_d) = 4.7695$$

$$\cos\theta_z = -0.0611 + 0.9384 \cos h$$

$$H_{GL} = 2(1800) I'_{on} \sum \cos\theta_z (\tau_D + \tau_d)$$

$$\tau_D = 0.2710 - 0.2939 \tau_0$$

$$= 23.83 \text{ MJ/m}^2$$

$$I'_{on} = 1387.96 \text{ Watt/m}^2$$

Para el cálculo del factor de corrección  $F_{em}$ , se diseñó el programa *faco* (Ver Anexo 2); los resultados se presentan en la Tabla V.

TABLA V FACTOR DE CORRECCION MENSUAL  $F_{em}$  DEL MES DE FEBRERO DE 1991 CORRESPONDIENTE A LA ESTACION ITIC

DIA	$A_z$ [ $\text{cm}^2$ ]	$H_{eiz}$ [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ]	$H_{eiz}/A_z$ [ $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{cm}^2$ ]
8	4.90	23.83	4.86
9	5.00	23.89	4.78
10	5.00	23.98	4.80
11	5.00	24.08	4.82
12	5.00	24.18	4.84
13	5.00	24.28	4.86
15	5.10	24.47	4.80
17	5.20	24.66	4.74
18	5.10	24.76	4.86

$$F_{em} = \Sigma H_{eiz}/A_z = 4.82 \text{ MJ}/\text{m}^2/\text{cm}^2$$

$A_z$  : Area del registro actinográfico

$H_{eiz}$  : Radiación solar global de día claro, calculado según Hottel y Liu Jordan.

El factor  $F_{em}$  se utiliza para corregir las lecturas actinográficas restantes del mes de febrero.

TABLA VI LECTURAS ACTINOGRÁFICAS CORREGIDAS  
CORRESPONDIENTES AL MES DE FEBRERO DE 1991 DE LA  
ESTACION ITIC

DIA	$A_G$ [ $\text{cm}^2$ ]	$H_G = F_{cm} A_G$ [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ]
1	4.50	21.69
2	4.50	21.69
3	4.60	22.17
4	4.40	21.21
5	4.80	23.14
6	4.70	22.65
7	4.90	23.62
8	4.90	23.62
9	5.00	24.10
10	5.00	24.10
11	5.00	24.10
12	5.00	24.10
13	5.00	24.10
14	4.90	23.62
15	5.10	24.52
16	4.90	23.62
17	5.20	25.06
18	5.10	24.58
19	4.60	22.17
20	4.80	23.14
21	5.20	25.06
22	5.30	25.55
23	5.40	26.03
22	5.30	25.55
25	4.80	23.14
26	5.00	24.10
27	5.20	25.06
28	5.10	24.58

Para analizar en qué medida los errores fueron minimizados, se comparan las lecturas actinográficas corregidas  $H'$  y sin corregir  $H'$ , con las correspondientes lecturas piranométricas  $H$ .

TABLA VII COMPARACION DE LECTURAS ACTINOGRAFICAS CORREGIDAS H'' Y SIN CORREGIR H' CON LECTURAS PIRANOMETRICAS CORRESPONDIENTES H AL MES DE FEBRERO DE 1991 DE LA ESTACION ITIC

DIA	H'' [MJ/m2]	H' [MJ/m2]	H [MJ/m2]	% de Diferencia entre H'' y H	% de Diferencia entre H' y H
8	23.62	21.17	23.93	1.3	11.5
9	24.10	21.60	23.82	1.2	9.3
10	24.10	21.60	23.81	1.2	9.3
11	24.10	21.60	23.75	1.5	9.0
12	24.10	21.60	23.98	0.5	9.9
13	24.10	21.60	23.33	3.3	7.4
15	24.58	22.03	23.75	3.5	7.2
17	25.06	22.46	23.90	4.8	6.0
18	24.58	22.03	23.65	3.9	6.8

En la Tabla VII se observa que los errores porcentuales (porcentajes de diferencias) han sido reducidos desde un máximo del 11.5% hasta un máximo del 4.8%.

De igual forma se han calculado los factores de corrección mensual y los promedios mensuales diarios de la radiación solar global corregida correspondiente a la estación "matriz" desde 1973 hasta 1982. Dichos datos se presentan en las Tablas VIII y IX, respectivamente.

TABLA VIII FACTORES DE CORRECCION MENSUAL [ $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{cm}^2$ ] DE LAS LECTURAS ACTINOGRAFICAS DE RADIACION SOLAR GLOBAL PARA LA ESTACION MATRIZ.

LATITUD : 13.65°N

LONGITUD : 89.14°O

ELEVACION : 650 METROS

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D
1973	4.84	4.82	5.15	5.23	5.30	5.05	5.20	5.11	5.10	4.99	5.00	4.53	
1974	4.75	4.62	4.88	5.09	5.17	4.94	4.93	4.81	5.07	4.95	4.90	4.86	
1975	4.70	4.80	5.01	5.19	5.27	4.94	4.92	5.03	5.02	4.86	4.69	4.95	
1976	4.58	4.74	4.78	4.97	5.13	4.98	4.77	4.99	5.09	4.78	4.76	4.48	
1977	4.65	4.70	4.86	4.99	5.18	5.14	4.78	4.82	4.81	4.91	4.62	4.78	
1978	4.31	4.58	4.73	4.87	5.11	4.79	5.10	5.12	4.97	5.13	4.78	4.40	
1979	4.87	4.89	4.87	5.10	4.92	4.52	5.09	5.12	5.02	4.99	4.53	4.66	
1980	5.02	4.57	4.87	5.35	5.29	5.54	4.86	5.28	4.98	5.54	5.34	4.88	
1981	5.06	5.36	5.01	5.20	5.29	5.01	5.02	5.05	5.20	4.99	5.12	5.02	
1982	5.26	4.76	4.86	4.78	4.78	4.84	5.01	4.79	4.98	4.76	4.86	4.74	

TABLA IX LECTURAS ACTINOGRAFICAS DE RADIACION SOLAR GLOBAL CORREGIDAS (PROMEDIO MENSUAL) [ $MJ/m^2$ ] DE LA ESTACION MATRIZ.

LATITUD : 13.65°N

LONGITUD : 89.14°O

ELEVACION : 650 METROS

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1973	21.24	22.03	25.75	23.80	20.16	23.05	23.66	22.28	20.50	16.56	20.00	19.03
1974	19.56	21.76	22.84	25.90	21.66	20.72	25.20	24.15	20.88	21.14	21.46	19.44
1975	18.94	22.51	25.55	26.37	23.50	24.42	24.50	24.50	19.12	19.15	18.34	20.64
1976	19.78	23.50	26.38	24.50	25.39	20.79	25.18	25.75	25.04	21.89	19.16	18.59
1977	20.89	22.65	25.03	25.35	23.37	28.56	26.67	25.54	23.13	22.68	20.19	19.83
1978	19.74	23.08	25.93	25.13	23.70	25.16	24.63	24.02	20.32	20.52	19.84	18.09
1979	19.72	22.11	25.38	26.06	21.41	21.42	24.58	21.91	16.87	17.81	18.61	17.94
1980	20.73	22.08	25.17	23.38	21.36	22.78	21.38	21.65	18.77	19.38	19.92	17.88
1981	20.84	20.10	23.15	23.18	21.48	18.19	22.89	18.12	19.25	18.16	20.53	17.68
1982	19.83	20.79	24.65	22.89	19.12	22.59	24.90	26.67	19.47	19.85	20.41	18.58

**CAPITULO 4**  
**EVALUACION DEL POTENCIAL**  
**SOLAR DE LA**  
**CIUDAD DE SANTA ANA**

CAPITULO 4  
EVALUACION DEL POTENCIAL SOLAR  
DE LA CIUDAD DE SANTA ANA

4.1. INTRODUCCION

No todas las estaciones meteorológicas a nivel nacional realizan registros de radiación solar global y brillo solar. Existen unas de ellas en las que solamente miden el brillo solar. Una de estas estaciones es la estación El Palmar de la ciudad de Santa Ana.

En vista de lo anterior, en el presente Capítulo, se expone el método para evaluar la disponibilidad de R.S.G. en la ciudad de Santa Ana, a partir de lecturas locales de brillo solar.

4.2. PROCESO DE EVALUACION DE LA ENERGIA SOLAR DISPONIBLE  
PARA LUGARES QUE POSEEN SOLO BRILLO SOLAR

La evaluación del potencial solar en lugares donde sólo se mide el brillo solar se hace de la siguiente forma:

1. Se selecciona aquella estación con igual zona de vida, similar altura sobre el nivel del mar y similar posición geográfica a la del lugar de interés.
2. Se determinan las constantes  $a$  y  $b$  del modelo de Angstrom Modificado para la estación seleccionada.

3. Las constantes a y b antes mencionadas, se emplean para calcular la radiación solar global del lugar en estudio, tomando el brillo solar como medida local y calculando la radiación extraterrestre en superficie horizontal para el día o el mes considerado.

#### 4.2.1. ZONA DE VIDA

De acuerdo a Holdrige 12/, el sistema de zonas de vida es un método para la clasificación de los ambientes y vegetación a una escala mundial. El concepto corresponde aproximadamente al concepto de bioma de muchos ecólogos.

Algunos parámetros que sirven para identificar una zona de vida son:

- a. La biotemperatura entre  $0^{\circ}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ , que es el rango significativo para el crecimiento de la vegetación.
- b. La precipitación y su interacción con la humedad.

De aplicar los criterios antes mencionados, se identifican zonas de vida con características climáticas, topografía de suelos y vegetación; para lo cual un factor importante es la energía solar disponible.

Las zonas de vida para El Salvador de acuerdo a L.R. Holdrige son:

- Bosque seco tropical.
- Bosque húmedo tropical.
- Bosque húmedo sub-tropical.
- Bosque muy húmedo sub-tropical.
- Bosque muy húmedo montano bajo.
- Bosque muy húmedo montano sub-tropical.
- Bosque muy húmedo montano bajo sub-tropical.

4.3. METODOLOGIA EMPLEADA PARA LA EVALUACION DEL POTENCIAL SOLAR DE LA CIUDAD DE SANTA ANA

El esquema siguiente muestra la metodología empleada:

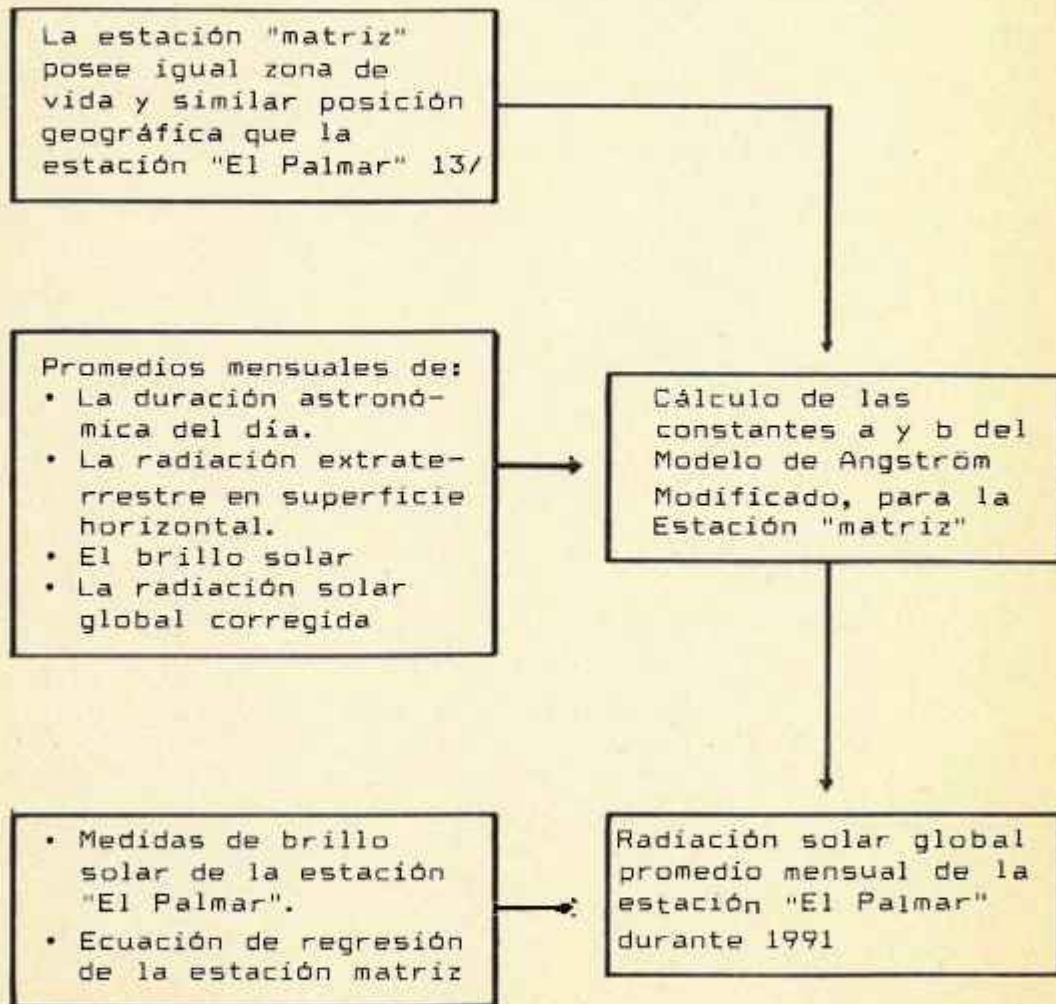


Fig. 6. Esquema que muestra la metodología para la evaluación del potencial solar de la ciudad de Santa Ana, durante 1981.

**Descripción de la Figura 6:**

- La Tabla IX contiene la información de radiación solar global corregida  $\bar{H}'$  de la estación "matriz".
- Los datos de brillo solar de la estación matriz se obtienen directamente de medidas de campo y se muestran en la Tabla X.
- Cálculo de los promedios mensuales de la duración astronómica del día  $\bar{N}_a$  y de la radiación solar extraterrestre en superficie horizontal.

Estos cálculos se hacen utilizando las ecuaciones 2.1 y 1.17 respectivamente. Los promedios mensuales de dichas variables, para la estación matriz se presentan en la Tabla XI.

TABLA X ESTACION : MATRIZ BRILLO SOLAR H/LUZ  
 LATITUD : 13.65°N LONGITUD : 89.14°O ELEVACION : 650 METROS  
 FUENTE : SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA DE EL SALVADOR.

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1973	9.6	9.9	9.7	9.0	6.6	6.9	7.5	7.5	6.7	5.6	9.3	9.0
1974	9.3	10.2	8.9	9.9	6.9	5.9	8.5	8.0	5.9	7.7	9.5	7.9
1975	8.3	7.7	9.8	9.6	7.1	7.0	8.0	8.0	5.4	6.8	7.1	8.0
1976	8.6	10.1	10.3	8.3	8.6	5.0	8.7	8.6	7.8	7.9	8.0	8.0
1977	8.9	9.5	9.9	9.1	7.1	6.9	10.1	8.6	7.9	8.3	8.2	8.8
1978	9.4	9.4	9.9	8.6	7.5	8.2	7.5	8.1	5.6	7.5	8.9	8.9
1979	9.4	9.4	9.0	9.2	6.9	6.3	8.2	6.9	4.2	6.0	8.3	7.7
1980	8.4	8.4	10.0	8.6	6.6	7.3	8.3	6.9	6.0	6.8	7.7	9.0
1981	9.6	9.6	9.3	8.7	6.4	3.6	8.0	6.5	6.5	6.5	9.0	8.3
1982	8.7	8.7	9.5	6.9	4.0	6.1	7.9	9.5	5.6	7.2	8.0	8.2

TABLA XI PROMEDIOS MENSUALES DE LA DURACION ASTRONOMICA DEL DIA  $\bar{N}_d$  Y DE LA RADIACION SOLAR EXTRATERRESTRE EN SUPERFICIE HORIZONTAL  $\bar{H}_o$  PARA LA ESTACION MATRIZ

LATITUD: 13.65°N LONGITUD: 89.14°O ELEVACION: 650 metros

MES	DIA MEDIO DEL MES n	DECLINACION $\delta$ [°]	$\bar{N}_d$ [HORAS/LUZ]	$\bar{H}_o$ [MJ/m <sup>2</sup> ]
E	17	-20.90	11.3	29.90
F	47	-12.60	11.6	33.05
M	75	- 2.04	11.9	35.96
A	105	+ 9.49	12.3	37.67
M	135	+18.67	12.6	37.92
J	162	+23.04	12.8	37.66
J	198	+21.35	12.7	37.62
A	228	+13.99	12.5	37.59
S	258	+ 3.35	12.1	36.58
O	288	- 8.21	11.7	34.10
N	318	-18.04	11.4	30.89
D	334	-22.84	11.2	28.99

Con todos los pares ordenados  $(\bar{H}'/\bar{H}_o, \bar{N}_d/\bar{N}_d)$  de la estación matriz en el periodo de 1973 a 1982 se calcula la ecuación:

$$\frac{\bar{H}'}{\bar{H}_o} = a' + b' \frac{\bar{N}_d}{\bar{N}_d}$$

Donde :

$\bar{H}'$  : Promedio mensual de la radiación solar global corregida.

$\bar{H}_0, \bar{N}_1, \bar{N}_2$  : Definidos en Sección 2.5.

$a'$  y  $b'$  : Coeficientes de la ecuación de Ångström Modificada obtenidos al considerar lecturas actinográficas corregidas  $\bar{H}'$ .

El proceso de cálculo se presenta en la Tabla XII.

TABLA XII PROCESO DE CALCULO DE LAS CONSTANTES a' Y b' DE ÅNGSTRÖM

$H' / H_0$	$N_1 / n_d$	$H' / H_0$	$N_1 / N_d$
0.7104	0.8496	0.5502	0.4609
0.6666	0.8534	0.6698	0.6693
0.7161	0.8151	0.6424	0.6400
0.6318	0.7317	0.5708	0.4876
0.5316	0.5238	0.6199	0.6581
0.6120	0.5391	0.6947	0.8333
0.6289	0.5906	0.6706	0.7054
0.5927	0.6000	0.6334	0.7345
0.5604	0.5537	0.6811	0.6638
0.4856	0.4786	0.7105	0.8235
0.6474	0.8158	0.7000	0.7805
0.6564	0.8036	0.6197	0.5635
0.6542	0.8230	0.6484	0.5469
0.6584	0.8793	0.6512	0.6299
0.6352	0.7479	0.6518	0.6400
0.6875	0.8049	0.5227	0.4463
0.5712	0.5476	0.5616	0.5812

CONTINUACION TABLA XII...

$H' / H_0$	$N_1 / N_0$	$H' / H_0$	$N_1 / N_0$
0.5937	0.6228	0.6729	0.7398
0.7120	0.7143	0.6163	0.5635
0.6615	0.7611	0.5990	0.5391
0.7110	0.8707	0.7089	0.7953
0.7336	0.8655	0.6794	0.6880
0.6504	0.6748	0.6323	0.6529
0.6696	0.6825	0.6651	0.7094
0.5520	0.3906	0.6536	0.7193
0.6693	0.6850	0.6840	0.7857
0.6850	0.6880	0.6602	0.8319
0.6845	0.6446	0.6983	0.8103
0.6419	0.6752	0.7211	0.8319
0.6203	0.7018	0.6671	0.6992
0.6412	0.7143	0.6250	0.5952
0.6987	0.7876	0.6681	0.6406
0.6853	0.8190	0.6547	0.5906
0.6960	0.8319	0.6390	0.6480

CONTINUACION TABLA XII...

$\bar{H}' / \bar{H}_0$	$\bar{N}_1 / \bar{N}_d$	$\bar{H}' / \bar{H}_0$	$\bar{N}_1 / \bar{N}_d$
0.5555	0.4628	0.6681	0.7241
0.6018	0.6410	0.6999	0.8403
0.6423	0.7807	0.6206	0.6992
0.6240	0.7946	0.5633	0.5238
0.6595	0.8319	0.6049	0.5703
0.6690	0.8103	0.5683	0.6535
0.7058	0.7563	0.5760	0.5520
0.6918	0.7480	0.5131	0.4959
0.5646	0.5476	0.5683	0.5812
0.5688	0.4922	0.6449	0.6754
0.6534	0.6457	0.6168	0.8036
0.5829	0.5520	0.6970	0.8496
0.4612	0.3471	0.6082	0.8276
0.5223	0.5128	0.6438	0.7815
0.6025	0.7281	0.6153	0.7073
0.6188	0.6875	0.5664	0.5079
0.6933	0.7434	0.4830	0.2813

CONTINUACION TABLA XII...

$\bar{H}' / \bar{H}_0$	$\bar{N}_z / \bar{N}_0$	$\bar{H}' / \bar{H}_0$	$\bar{N}_z / \bar{N}_0$
0.6084	0.6299	0.5042	0.3175
0.4820	0.5200	0.5998	0.4766
0.5262	0.5372	0.6619	0.6220
0.5326	0.5556	0.7095	0.7600
0.6646	0.7895	0.5322	0.4628
0.6099	0.7411	0.5821	0.6154
0.6632	0.7699	0.6607	0.7018
0.6290	0.7500	0.6409	0.7321
0.6855	0.7983		
0.6076	0.5610		

$$a' = 0.3732$$

$$b' = 0.3834$$

$$\tau = 0.83$$

$$S_y = 0.06$$

$$S_{..} = 0.13$$

Luego, la ecuación de Ångström para la estación matriz es:

$$\bar{H}' = [0.3732 + 0.3834 \frac{\bar{N}_z}{\bar{N}_0}] \bar{H}_0$$

Utilizando la ecuación 5.1 se calcula la radiación solar global de la ciudad de Santa Ana durante 1981.

TABLA XIII EVALUACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL (PROMEDIO MENSUAL)  $\bar{H}'$  DE LA CIUDAD DE SANTA ANA, DURANTE 1981

LATITUD : 13.98°N

ESTACION : EL PALMAR

MES	$\bar{N}_s$ [HORAS/LUZ]	$\bar{N}_a$ [HORAS/LUZ]	$\bar{H}_0$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	$\bar{H}'$ [MJ/m <sup>2</sup> ]
E	9.4	11.27	29.77	20.81
F	9.6	11.57	32.92	22.76
M	8.2	11.93	35.91	22.86
A	8.3	12.32	37.68	23.79
M	5.9	12.64	38.85	21.45
J	3.4	12.81	37.73	17.92
J	7.6	12.74	37.69	22.69
A	6.1	12.47	37.62	21.10
S	6.7	12.11	36.55	21.39
O	6.0	11.72	34.02	19.37
N	8.1	11.38	30.76	19.87
D	8.6	11.20	28.84	19.25

$\bar{N}_s$  : Promedio mensual del brillo solar.

$\bar{N}_a$  : Promedio mensual de la duración astronómica del día.

$\bar{H}_0$  : Promedio mensual de la radiación extraterrestre en superficie horizontal.

**CAPITULO 5**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

1. La Tabla VII evidencia que los porcentajes de diferencia de las lecturas actinográficas corregidas y sin corregir con las lecturas piranométricas, son menores para las lecturas corregidas (4.8%) y mayores para las lecturas sin corregir (11.5%). Lo anterior permite concluir que el método de corrección empleado, se ajusta bien a las condiciones climáticas locales.

2. Con los datos de la Tabla VIII, se calcularon los promedios multianuales de los factores de corrección mensual  $F_{em}$ , de lecturas actinográficas de la estación matriz. Los resultados se presentan en la Figura 7.

Del gráfico de la Figura 7 se observa que los valores de  $F_{em}$  son máximos para los meses de abril y mayo, y mínimos en los meses de enero, febrero y diciembre. Lo anterior está de acuerdo con los estudios realizados por Steves, A. y De Rosa, C. 14/. Según dichos estudios, los errores de las lecturas actinográficas dependen de la variación de las condiciones climáticas, siendo máximos en los meses más calurosos. En El Salvador, en los meses de abril y mayo se tiene nubosidad frecuente, lo cual da lugar al efecto invernadero, haciendo que dichos meses sean calurosos.

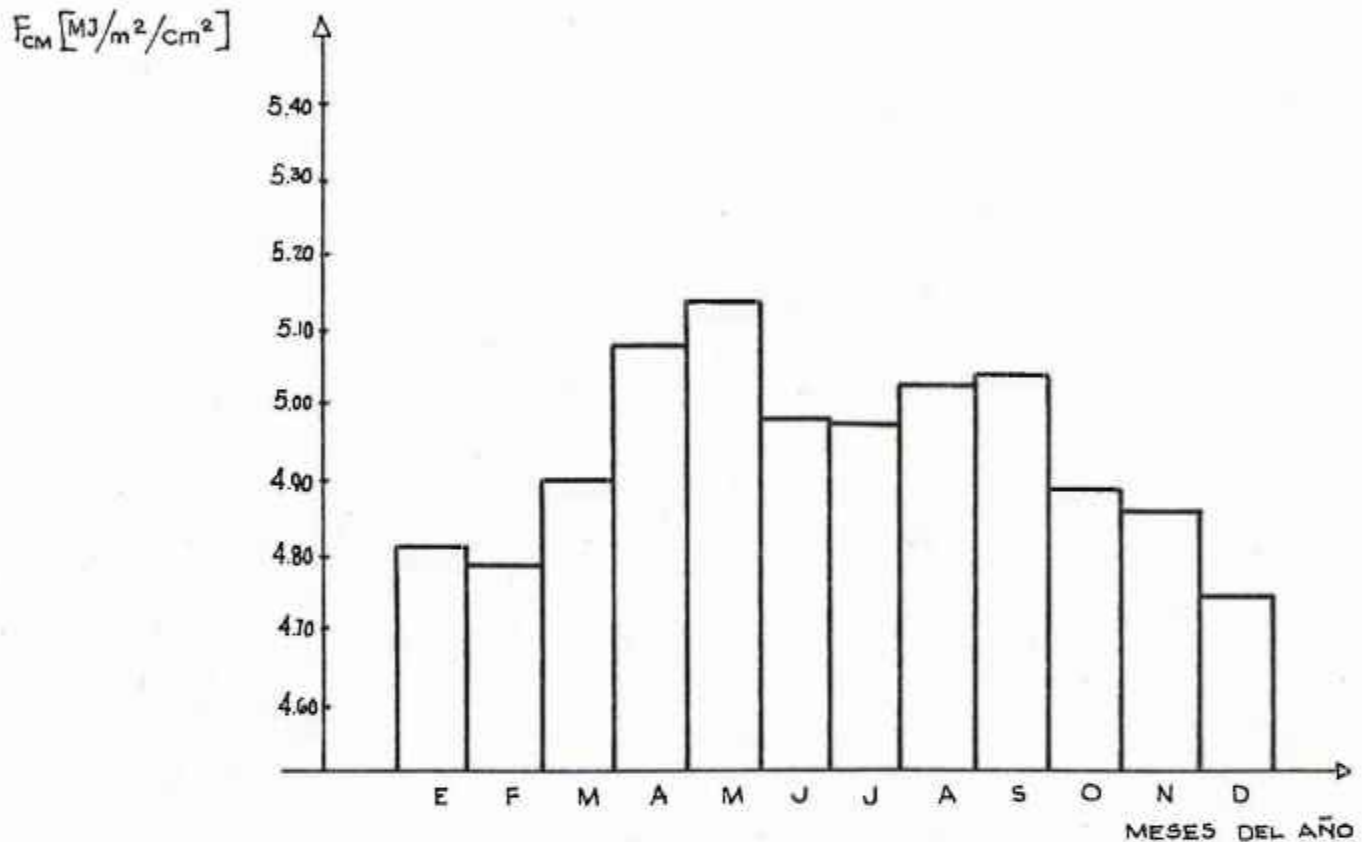


Fig. 7. Gráfico de los promedios multianuales del factor de corrección mensual  $F_{cm}$  versus meses del año para la estación matriz

3. Las constantes "a'" y "b'" del modelo de Ångström Modificado a partir de las lecturas actinográficas corregidas para la estación matriz son:

$$a' = 0.3732 \quad , \quad b' = 0.3834$$

4. La ecuación de Ångström Modificada para evaluar la radiación solar global de la ciudad de Santa Ana es:

$$\bar{H}' = [0.3732 + 0.3834 \frac{\bar{N}_s}{\bar{N}_o}] \bar{H}_o$$

Donde:

$\bar{H}'$ ,  $\bar{N}_s$ ,  $\bar{N}_o$  y  $\bar{H}_o$  : se definieron en las secciones 2.5 y 4.3.

5. El disfrute de radiación solar global que tuvo la ciudad de Santa Ana [Estación El Palmar], durante 1981 fue de 7693.61 MJ/m<sup>2</sup>, el cual representa el 90.5% de la radiación solar global anual máxima terrestre (8500 MJ/m<sup>2</sup>) 15%. Por lo tanto, se concluye que el potencial solar de la ciudad de Santa Ana es favorable para la implementación de tecnología a base de energía solar.

## 5.2. RECOMENDACIONES

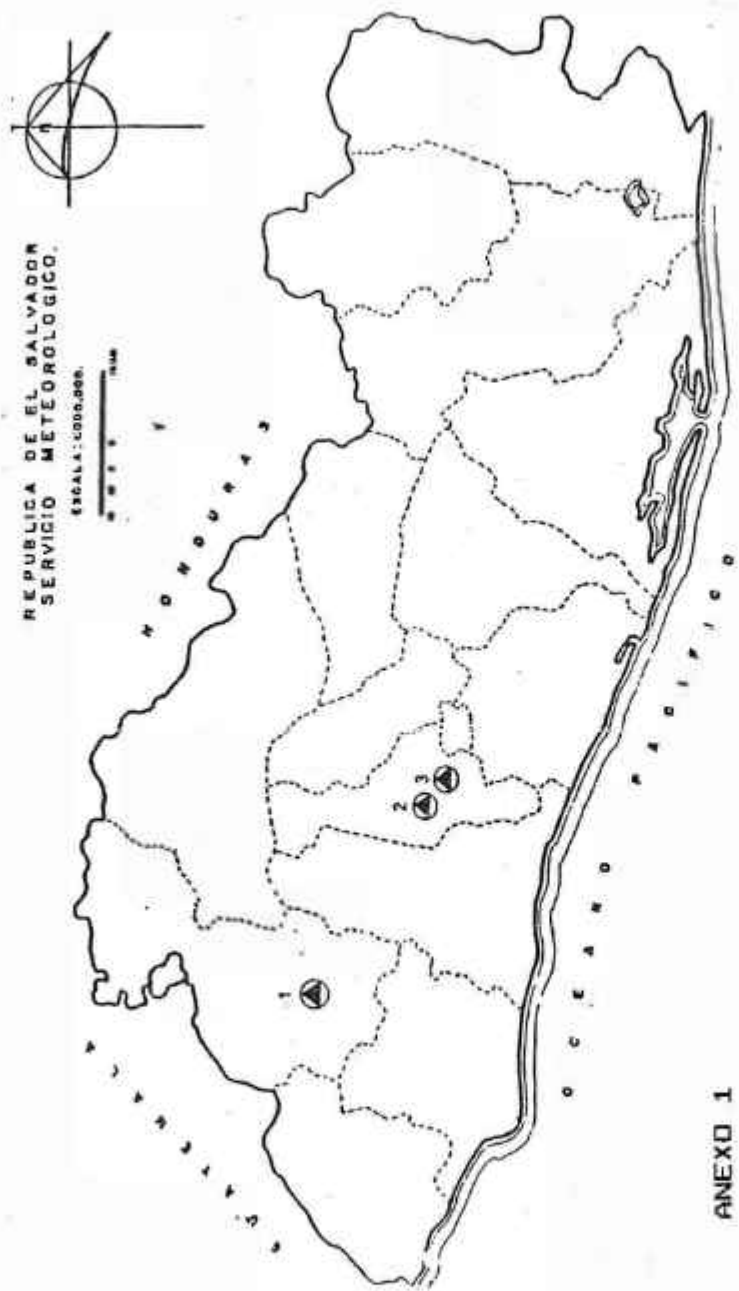
1. Continuar el proceso de corrección de las lecturas actinográficas de las otras estaciones meteorológicas del país, con el fin de mejorar la información disponible de radiación solar global a nivel nacional.

2. De ser posible, realizar estudios comparativos de lecturas de radiación solar global obtenidas con actinógrafos y piranómetros, durante todo un año.
  
3. Capacitar al personal encargado de evaluar los registros actinográficos de radiación solar en la corrección de las lecturas actinográficas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Esteves, A. De la Rosa, C. A Simple Method for Correcting the Solar Radiation Reading of a Robitzch Type Pyranometer in Solar Energy, Vol. 42, No. 1, pp. 9-13, 1989.
2. Galindo, I. Solar Radiation Information for Energy Technologist, México, Ins. Geof. UNAM, 1988, pp. 1-3.
3. Duffie, J. A., Beckman, W. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley and Sons, N. Y. 1980, pp. 6-7.
4. De Escobar, E. M., Notas de Clase. Curso de Energía Solar I, 1988, UES.
5. Ibid, 4, p. 6.
6. Iqbal, Muhamad. An Introduction to Solar Radiation. Academic Press, Toronto 1983, p. 7.
7. Eppley Laboratory Inc. Manual de Operación del Piranómetro. U.S.A., 1982.
8. De Escobar, E. M., Entrevista personal. Laboratorio de estado sólido, Depto. de Física, UES.
9. Ibid, 6, p. 390.

10. Hottel, H. C. A simple model for Estimating the Transmittance of Direct Solar Radiation Through Clear Atmospheres in Solar Energy, 18, 129 (1976).
11. Ibid, 1, p. 10.
12. Holdrige, L. R., Mapa Ecológico de El Salvador, Ministerio de Agricultura y Ganadería, República de El Salvador, Diciembre de 1975.
13. Ibid, 12.
14. Ibid, 1, p. 12.
15. Rodríguez, H. Evaluación de Potencial de la Energía Solar y Eólica y Perspectivas de su Utilización y Desarrollo. Programa CEL-BID, San Salvador, 1985.



- ANEXO 1
- 1 El Palmar
  - 2 ITIC
  - 3 Matriz

Fig. 3. Mapa que muestra la ubicación geográfica de las estaciones: El Palmar, ITIC y Matriz.

ANEXO 2

PROGRAMA PARA CALCULAR LOS FACTORES DE CORRECCION  
MENSUAL DE LAS LECTURAS ANTINOGRAFICAS

```

1110 X$ =" DIA: DECLIN: HC(J/M^2) S(CM^2) FC(J/M^2/CM^2): *
20 Z$=" ### ###.## #####.## ##.## #####.## *
30 CLS
40 AA=" ## #.### #.### #.### #.### #.###"
50 B$" CALCULO DEL FACTOR DE CORRECCION DE LECTURAS ANTINOGRAFICAS"
60 C$=" h CosOz Tb Td Tb+Td CosOz(Tb+Td)"
70 D$="-----"
80 DIM H(12)
85 SUMA=0:DIAS=0
90 INPUT "NUMERO DE DIA DEL AÑO:";N
95 RO=2*3.141592654*(N-1)/365
100 D= (0.006918-0.399912*COS(RO) + 0.072257*SIN(RO) - 0.006758*COS(2*RO) + 0.000907*SIN(2*RO) - 0.002697 * COS(3*RO) + 0.00148 * SIN(3*RO))/3.141593
110 INPUT "VALOR DEL AREA (En CM^2):";S
120 INPUT "SI QUIERE PROMEDIAR DIGITE 1 SINO SOLO RETURN";Q
130 L=13.44
140 A=0.71
150 ISC=1353
160 CLS
170 FOR I=1 TO 12 :H(I)=(I-1)*7.5 :NEXT I
180 C1=COS(0*3.141549/180)*COS(L*3.141549/180)
190 C2=SIN(0*3.141549/180)*SIN(L*3.141549/180)
200 AD=0.4025 - 0.0078*(6-A)^2
210 A1=0.4954 + 0.00583*(6.5-A)^2
220 K=0.2765 + 0.01895*(2.5-A)^2
230 SUM=0
240 PRINT B$
250 PRINT;PRINT D$;PRINT C$
260 PRINT D$;PRINT
270 FOR I=1 TO 12
280 CAZ=C1*COS(H(I)*3.141549/180)+C2
290 JB=AD+A1*EXP(-K/CAZ)
300 JD=0.271-0.2939*JB
310 SUM=SUM+CAZ*(JB+JD)
320 PRINT USING A$;H(I);CAZ;JB;JD;JB+JD;(JB+JD)*CAZ
330 NEXT I
340 PRINT;PRINT D$;PRINT
350 JON=(ISC*1800)*(1+0.033*COS(360*N/365*3.141549/180))
360 HC=SUM*JON*2
370 PRINT " SUMATORIA=";SUM
380 PRINT " HC=";HC
390 FC=HC/S:SUMA=SUMA + FC:DIAS=DIAS+1
400 IF AA=0 THEN LPRINT X$
410 LPRINT USING Z$;N;D; HC;S;FC
420 AA=AA+1
430 IF Q=0 THEN GOTO 90
440 PROM=SUMA/DIAS
450 LPRINT " PROMEDIO DEL FACTOR DE CORRECCION:";PROM
460 SUMA=0:DIAS=0
470 GOTO 90

```