



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR
PARA SEMILLA DE CAFÉ

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

JOSÉ ALFREDO PÉREZ RAMÍREZ

ASESOR: ING. JOSÉ ANTONIO SÁNCHEZ GUTIÉRREZ

CUAUTITLÁN IZCALLI EDO. DE MEX.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS:

A MIS GUÍAS ESPIRITUALES:

ROSALIO VÁZQUEZ CARRILLO Y FAMILIA

*A MIS COMPAÑEROS DEL CAMINO (OMITO
NOMBRES POR SI OLVIDARÁ ALGUNO)*

A TODA LA COMUNIDAD WIXARIKA

AGRADECIMIENTOS:

*A MI MAESTRO ESPIRITUAL ROSALIO
VÁZQUEZ CARRILLO POR TODO LO QUE ME
HA DADO.*

*A MIS PADRES Y MIS HERMANAS POR SU
APOYO.*

*A MI ASESOR JOSÉ ANTONIO SÁNCHEZ
GUTIÉRREZ, FILIBERTO LEYVA PIÑA Y A
TODOS LOS PROFESORES DEL LABORATORIO
DE TÉRMOFLUIDOS POR SU GUÍA
ACADÉMICA.*

*A LA DRA. SONYA FUENTES DE LA FUENTE
POR SU APOYO ECONÓMICO.*

*A MIS COMPAÑEROS HÉCTOR MENDOZA Y
JORGE LUIS MARTÍNEZ CASTILLO POR SU
COLABORACIÓN.*

*A ABENAMAR LÓPEZ CISNEROS POR SUS
TIPS.*

*A MIS ALUMNOS: YESICA, LORENA, ELISA,
ISRAEL Y LOS QUE VENGAN, PORQUE
FUERON MI INSPIRACIÓN PARA
ENCONTRAR MI VOCACIÓN PROFESIONAL.*

Índice

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN. | 1 |
| | |
| CAPÍTULO I | |
| GENERALIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR. | 3 |
| | |
| 1.1 Radiación solar. | 6 |
| 1.1.2 Constante solar. | 8 |
| 1.1.3 Radiación extraterrestre. | 11 |
| 1.1.4 Tipos de radiación. | 12 |
| 1.2 Irradiación e irradiancia. | 13 |
| 1.3 Procesos fototérmicos de la energía solar. | 17 |
| | |
| CAPÍTULO II | |
| ÁNGULOS SOLARES. | 18 |
| | |
| 2.1 Ángulos solares básicos. | 19 |
| 2.1.1 Declinación solar. | 19 |
| 2.1.2 Ángulo horario. | 21 |
| 2.1.3 Latitud. | 22 |
| 2.2 Ángulos solares derivados. | 24 |
| 2.2.1 Ángulo de cenit y altura solar. | 25 |
| 2.2.2 Ángulo de azimut. | 28 |
| 2.3 Ángulo de incidencia. | 32 |
| | |
| CAPÍTULO III | |
| ECUACIÓN DEL TIEMPO. | 36 |

| | |
|---|----|
| 3.1 Tiempo solar y tiempo civil. | 37 |
| 3.2 Longitud geográfica y husos horarios. | 38 |
| 3.3 Ecuación del tiempo. | 40 |

CAPÍTULO IV

PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

| | |
|--|----|
| 4.1 Transferencia de calor por conducción. | 45 |
| 4.1.1 Ley de Fourier. | 46 |
| 4.2 Transferencia de calor por convección. | 48 |
| 4.2.1 Ley de Newton del enfriamiento. | 49 |
| 4.2.2 Transferencia de calor por convección natural. | 50 |
| 4.2.2.1 Viento sobre una placa plana. | 51 |
| 4.2.3 Transferencia de calor por convección forzada. | 51 |
| 4.3 Transferencia de calor por radiación. | 51 |
| 4.3.1 Cuerpo negro. | 54 |
| 4.3.2 Propiedades de las superficies opacas. | 56 |
| 4.3.3 Superficies selectivas. | 57 |
| 4.3.4 Radiación en medios semitransparentes. | 60 |
| 4.3.5 Producto transmitancia-absortancia. | 67 |

CAPÍTULO V

COLECTORES SOLARES PLANOS.

| | |
|---|----|
| 5.1 Tipos de colectores solares planos. | 73 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| 5.1.2. Placas absorbedoras para calentamiento de gases. | 74 |
| 5.2 Balance de energía en un colector solar plano. | 75 |
| 5.3 Coeficiente total de pérdidas de calor. | 79 |

CAPÍTULO VI

DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR PLANO PARA UN SECADOR SOLAR.

86

| | |
|--|----|
| 6.1 Planteamiento del problema. | 87 |
| 6.2 Diseño del secador. | 87 |
| 6.2.1 Materiales a emplear y sus propiedades. | 88 |
| 6.2.2 Condiciones de operación. | 89 |
| 6.2.3 Cálculo de las propiedades ópticas del colector. | 90 |
| 6.2.4 Cálculo de las dimensiones del colector. | 93 |

CAPÍTULO VII

PLANOS DEL COLECTOR SOLAR PLANO.

97

CAPÍTULO VIII

CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR SOLAR.

104

| | |
|--|-----|
| 8.1 Construcción del secador solar. | 105 |
| 8.2 Construcción de la estructura del secador solar. | 110 |
| 8.3 Materiales de construcción del secador solar. | 111 |
| 8.4 Instalación del secador solar. | 112 |

CAPÍTULO IX

PRUEBAS DE ESTANCAMIENTO Y

PRUEBAS A FLUJO ABIERTO. 115

9.1 Registro de lecturas. 116

9.2 Cálculo de las propiedades ópticas. 117

9.3 Cálculos en pruebas de estancamiento. 120

9.4 Cálculos en pruebas a flujo abierto. 121

9.5 Eficiencia del colector. 122

CONCLUSIONES. 123

APÉNDICE. 125

Tabla 1 126

Tabla 2 127

Gráfica 1 134

Tabla 3 135

Tabla 4 142

Tabla 5 149

Tabla 6 156

Tabla 7 163

Tabla 8 170

Tabla 9 177

Tabla 10 184

| | |
|----------------------|-----|
| Tabla 11 | 191 |
| Tabla 12 | 198 |
| Tabla 13 | 205 |
| Tabla 14 | 212 |
| Tabla 15 | 219 |
| Tabla 16 | 226 |
| Tabla 17 | 233 |
| Tabla 18 | 234 |
| Gráfica 2 | 241 |
| Tabla 19 | 242 |
| Tabla 20 | 243 |
| BIBLIOGRAFÍA. | 244 |

INTRODUCCIÓN.

La mayor parte de la energía del mundo se ha obtenido hasta ahora a partir de las reservas fósiles de carbón y petróleo, debido en parte a nuestra dependencia creada por nosotros mismos hacia los hidrocarburos, pero al ver ya previsible su agotamiento, es preciso considerar su conservación y el empleo de otras fuentes, como la energía solar; la cual a diferencia de este tipo de energía y de otras, como lo es la nuclear, es limpia, abundante, gratis y está al alcance de cualquiera, aunque su principal desventaja es que sólo se puede captar de día.

Todos hemos hecho uso del sol como secador; cuando tendemos la ropa o simplemente cuando nos tumbamos al sol después de darnos un baño. La historia muestra que desde hace siglos el hombre ha tratado de aprovechar la energía solar. Empero, sólo hasta la década de 1970 es cuando se ha incrementado la investigación y el desarrollo de distintos sistemas para la captación y el aprovechamiento de la energía solar.

Los sistemas de captación de la energía solar son principalmente fotovoltaicos y fototérmicos. Dentro de los fotovoltaicos se encuentran las celdas solares; cuya principal función es transformar la radiación solar en

energía eléctrica, entre sus aplicaciones principales está la iluminación. En los fototérmicos se encuentran los colectores solares; que pueden ser: planos y de enfoque, cuya función principal es transformar la radiación solar en calor, algunas de sus aplicaciones se encuentran en el calentamiento de agua para uso doméstico o para generar vapor, en el calentamiento de aire para el acondicionamiento del clima, el secado de granos, alimentos deshidratados, en la fundición de metales, etc.

El sistema de captación en el que nos ocuparemos en éste trabajo de tesis será el fototérmico, particularmente en el diseño de un colector solar plano para calentar aire, con la finalidad de que pueda ser usado en el proceso de secado de granos.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR.

Para los fines del aprovechamiento de su energía, el Sol es una inmensa esfera de gases a alta temperatura, con un diámetro de 1.39×10^9 m, situado a la distancia media de 1.5×10^{11} m respecto de la tierra. Esta distancia se llama unidad astronómica.

Se estima que la temperatura en el interior del sol debe ser del orden de 10^7 °K, pero en la fotosfera, es decir, en la superficie externa del sol, la temperatura efectiva de cuerpo negro es de 5762 °K (i. e., calculada según el modelo radioactivo del cuerpo negro). Existen, sin embargo, otras formas de calcular la temperatura de la fotosfera, que dan como resultado alrededor de 6300 °K. Es claro que nadie ha colocado un termómetro en la superficie del sol. Su temperatura se mide por métodos indirectos, basados en diversos modelos, de ahí que no coincidan todas las estimaciones de su temperatura.

Algunos datos interesantes acerca del sol son los siguientes: el sol genera su energía mediante reacciones nucleares de fusión – por ejemplo, dos átomos de hidrógeno que producen helio, o uno de helio y uno de hidrógeno que producen litio, etc. – que se llevan a cabo en su núcleo. La generación de energía proviene, por tanto, de la pérdida de masa del sol, que se convierte en energía de acuerdo con la famosa ecuación de Einstein, $E = mc^2$.

= mc^2 , donde E es la cantidad de energía liberada cuando desaparece la masa m; c es la velocidad de la luz.

El núcleo solar es la región comprendida dentro del 23 % de su radio, a partir del centro, que corresponde tan sólo al 15 % del volumen, pero en cambio contiene el 40 % de la masa y ahí se genera el 90 % de la energía. En esa región, la temperatura es del orden de 10^7 °K y la densidad es del orden de 10^5 kg/m³¹. A una distancia del 70 % del radio solar, la temperatura es del orden de 10^5 °K y la densidad es de unos 70 kg/m³. La zona que va del 70 % al 100% del radio solar, se conoce como zona convectiva y su temperatura cae hasta 5000 a 6000 °K, mientras que la densidad desciende a 10^{-5} kg/m³.

La capa externa de esta región recibe el nombre de fotosfera y es considerada como la superficie del sol, por ser una región opaca², de donde se emite la gran mayoría de la radiación solar hacia el espacio.

La fotosfera es la superficie aparente del sol cuando se observa con un filtro adecuado (filtro de soldador no. 14,

¹ Recordemos que la densidad del agua es 10^3 kg/m³.

² Opaco, en óptica, significa que no deja pasar la radiación. Por ejemplo, una lámpara de neón, emite luz desde su superficie, pero no podemos ver su interior, es opaca. El significado de esta palabra es diferente del que le damos en el lenguaje común. Técnicamente, lo opuesto a opaco es transparente.

por ejemplo). Por ser opaca, la fotosfera impide observar el interior del sol. Sin embargo, es claro que, como todo el sol, desde el núcleo hasta su superficie se encuentra en forma gaseosa en forma gaseosa, no hay superficie física claramente definida, como en la Tierra. Sobre la fotosfera existen también gases, en condiciones tales que son esencialmente transparentes, que se conocen como la corona solar, observable durante los eclipses totales de sol. La corona solar es la atmósfera del sol. De forma similar a como sucede en la Tierra, la corona es cada vez más tenue a medida que se está a mayor distancia del núcleo solar, hasta confundirse con el vacío relativo que existe en el espacio interestelar.

1.1 Radiación solar.

El sol emite la radiación en toda la gama del espectro electromagnético, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. Sin embargo, para los fines de aprovechamiento de su energía, sólo es importante la llamada radiación térmica que incluye sólo el ultravioleta (UV), la radiación visible (VIS) y la infrarroja (IR).

Todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación en virtud de su temperatura. A mayor temperatura ocurren dos cambios en la radiación emitida:

1. La intensidad de la emisión es mayor, refiriéndose a un mayor número de watts por metro cuadrado que abandonan el cuerpo.
2. El color o tipo de radiación cambia hacia una menor longitud de onda, esto es, del IR al VIS y al UV, a medida que aumenta la temperatura.

La fotosfera se encuentra a unos 6000 °K y, por tanto, emite cierto flujo de energía correspondiente a esa temperatura. Su distribución espectral es como se indica en la figura 1.1. Esta figura muestra la irradiancia espectral (energía por unidad de tiempo, en la unidad de área, por unidad de longitud de onda) en función de la longitud de onda. La línea continua pero irregular corresponde a la irradiancia observada, medida desde la Tierra. La curva discontinua representa la irradiancia espectral que tendría un cuerpo negro (radiador ideal), que se encontrara a la temperatura de 5762 °K.

Solar Radiation Spectrum

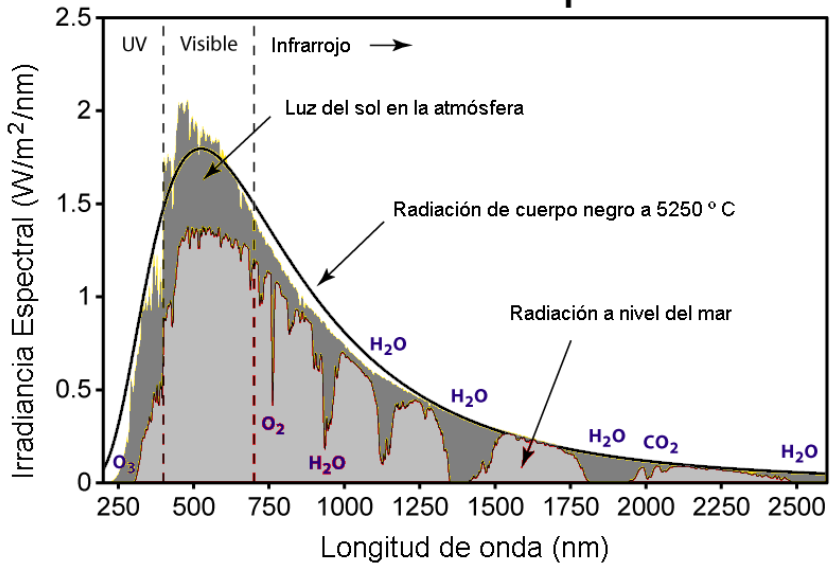


Figura 1.1 Radiación del Sol en la atmósfera y a nivel del mar; Irradiancia espectral de un cuerpo negro con una temperatura de 5250 ° C.

1.1.2 Constante solar.

La combinación de tres factores: la distancia Tierra-Sol, el diámetro solar y la temperatura del Sol, determinan un flujo luminoso, un flujo de energía que incide sobre la superficie de la Tierra.

Se llama flujo de “algo” (materia, energía) a la cantidad de ese “algo” que pasa a través de una superficie, por unidad de área y por unidad de tiempo. Por tanto, el flujo

luminoso, que es un flujo de energía, tiene unidades de energía por unidad de área y por unidad de tiempo, por ejemplo, $J/m^2 \cdot s$, equivalentes a W/m^2 .

Mucho se ha discutido acerca de si el sol emite un flujo de energía constante, o se trata de una estrella variable. Algunos estudios parecen indicar que la variación de energía que emite el sol, es menor al 1 % a lo largo de un ciclo solar, que dura 22 años. No se conoce a ciencia cierta la causa de estas variaciones, sin embargo, para fines del proyecto, la emisión de energía del sol puede considerarse constante.

El recurso energético solar está mucho más ligado, en la superficie terrestre, a las variaciones meteorológicas, que a las solares. La radiación emitida por el sol, junto con sus condiciones geométricas respecto de la Tierra, dan por resultado que, sobre la atmósfera terrestre, incide una cantidad de radiación solar casi constante. Esto ha dado lugar a la definición de la llamada constante solar.

La constante solar, G_{CS} , es el flujo de energía proveniente del sol, que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, ubicada a la distancia media del Tierra al sol, fuera de toda atmósfera.

Aclaremos algunos puntos de esta definición. Primero, es un flujo de energía, es decir, la constante solar se refiere a una cantidad de energía que incide, instantáneamente, sobre una superficie de área unitaria. Segundo, esta superficie hipotética es perpendicular o normal a la dirección de la propagación de la luz. Es obvio que una superficie en posición oblicua respecto de la dirección del sol, recibiría un menor flujo de energía. Tercero, nuestra superficie hipotética se encuentra situada a la distancia media de la Tierra al sol. Como la órbita que describe la Tierra alrededor del sol no es circular, la distancia Tierra-sol no es constante. Por último, nuestra ya famosa superficie hipotética, debe estar colocada fuera de la atmósfera, para evitar la atenuación de la radiación causada por la diversidad de fenómenos físicos y químicos que se verifican en la atmósfera.

El valor comúnmente aceptado para G_{CS} ha variado en los últimos años, según las técnicas de medición que se han empleado, lo cual no indica que haya variado en sí la magnitud de la energía que se recibe del sol. En este proyecto usaremos el valor:

$$G_{CS} = 1353 \text{ W/m}^2$$

que, en otras unidades equivale a:

$$G_{CS} = 1.94 \text{ cal/cm}^2\text{-min} = 428 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr} = 4871 \text{ MJ/m}^2\text{-hr}$$

Estos valores fueron aceptados por la NASA (1971) y por la ASTM.

1.1.3 Radiación extraterrestre.

La radiación extraterrestre que incide sobre la Tierra está sujeta a variaciones geométricas y a las condiciones físicas del propio sol. Por otro lado, la órbita que describe la Tierra alrededor del sol no es circular, sino casi elíptica. La pequeña excentricidad de la órbita hace que, alrededor del 1° de enero, cuando la Tierra se encuentra en el perihelio (mínima distancia al sol) la radiación extraterrestre sea máxima. Por otro lado, alrededor del 1° de julio – seis meses después – la Tierra se encuentra en el afelio (máxima distancia al sol) y entonces la radiación solar extraterrestre es mínima.

La ecuación que describe el flujo de energía sobre un plano normal a la radiación solar extraterrestre, a lo largo del año es:

$$G_{ON} = G_{CS} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365.242} \right) \right] \quad \text{Ec. 1.1}$$

En donde G_{ON} es el flujo de radiación extraterrestre, medida en un plano normal a la radiación, y n es el número del día del año. La tabla 1 del apéndice contiene información para calcular el valor de n .

1.1.4 Tipos de radiación.

La radiación solar sufre ciertas transformaciones al incidir sobre la atmósfera, de modo que es necesario manejar algunos conceptos específicos para los diversos tipos de radiación. Las siguientes definiciones ayudan a aclarar estos conceptos.

Se conoce como radiación directa, la que se recibe directamente del sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica. La radiación extraterrestre es, por tanto, radiación directa. La radiación difusa es la que se recibe del sol después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo que se ve azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro, aun de día, como sucede por ejemplo en la luna. Por otro lado, se conoce como radiación terrestre la que proviene de objetos terrestres, por ejemplo, la que refleja una pared blanca, un charco o un lago, etc.

Se conoce como radiación total, la suma de las radiaciones directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie. Por ejemplo, sobre una pared o una ventana, incide la radiación directa del sol, la difundida por las nubes y por el cielo y, además, puede entrar la luz reflejada por algún otro objeto frente a la pared o ventana. Un caso particular, pero de mucho interés práctico en el estudio de la energía solar, es el medir la radiación total sobre una superficie horizontal “viendo” hacia arriba. En este caso puede considerarse que no existe radiación terrestre y se conoce también como radiación global. Por tanto, la radiación global es la suma de la directa más la difusa.

1.2 Irradiación e irradiancia.

Para expresar la potencia solar, y en general, de cualquier radiación, se utiliza el término irradiancia. La irradiancia, W/m^2 , es la rapidez de incidencia de energía radiante sobre una superficie, por unidad de área. Generalmente se usa el símbolo G para la irradiancia. Nótese que la irradiancia tiene la virtud de indicar muy claramente que la radiación es un fenómeno que transcurre en el tiempo, que no es estático. Es energía que incide instantáneamente sobre una superficie.

Cuando incide la radiación sobre un plano, durante un tiempo determinado, puede hablarse entonces de que incidió una cierta cantidad de energía. La cantidad de energía por unidad de área que incide durante un período de tiempo dado, recibe el nombre de irradiación, J/m^2 , y no es otra cosa que la integral de la irradiancia durante el período en cuestión.

Generalmente se usa el símbolo I para la insolación por hora, mientras que H se usa para la insolación en el período de un día. De acuerdo con lo anterior, la relación entre la irradiación y la irradiancia está dada por la expresión:

$$I = \int_{t_1}^{t_2} G(t)dt \quad \text{Ec. 1.2}$$

en donde la irradiación se está calculando desde el tiempo t_1 hasta el tiempo t_2 y la irradiancia se considera función del tiempo.

El flujo de energía sobre una superficie determinada depende no solo de la irradiancia que exista, sino también de la orientación que tenga la superficie en cuestión respecto de la dirección de propagación de la radiación. La irradiancia será máxima sobre un plano que esté en

posición normal a la dirección de propagación de la radiación (es decir, que le “de frente” o “de cara”). En cambio, será mínima si el plano es paralelo a la radiación (es decir “de canto”). La intensidad de radiación sobre la superficie dependerá pues, del ángulo θ que forme la normal de la superficie, respecto de la dirección de propagación de la radiación. Este ángulo θ se conoce con el nombre de ángulo de incidencia³.

Entonces, la irradiancia incidente sobre la superficie será:

$$G_S = G_N \cos \theta \quad \text{Ec. 1.3}$$

En donde G_S se refiere a la irradiancia sobre un plano con cualquier inclinación y G_N se refiere a la irradiancia medida sobre un plano normal a la dirección de propagación de la radiación. Si se conoce la irradiancia normal (por ejemplo, la constante solar G_{CS} es una irradiancia normal) y se conoce el ángulo θ , mediante la ecuación anterior se puede calcular la irradiancia sobre un plano con cualquier inclinación. Como el sol describe un movimiento aparente a lo largo del día de oriente a poniente, y otro a lo largo del año de sur a norte y viceversa, el valor del ángulo θ varía con la hora y con la fecha, además de hacerlo con la

³ Se habla de éste ángulo en un apartado del Capítulo 2, p. p. 15-16.

orientación del plano, su inclinación respecto de la horizontal y la latitud geográfica⁴ del lugar donde se encuentre el plano en cuestión.

Otros factores que influyen son las pérdidas por la refracción de la irradiación en la atmósfera así como la cantidad de nubes que existe en ella. En este caso usamos la ecuación:

$$K_T = \frac{H_T}{H_0} \quad \text{Ec. 1.4}$$

En donde K_T es el índice de pérdidas, H_T es la irradiación total en un tiempo determinado y H_0 es la irradiación que existiría con una irradiancia directa.

1.3 Procesos fototérmicos de la energía solar.

Recientemente, el hombre ha aprendido a obtener electricidad a partir de la energía solar mediante procesos fototérmicos y fotovoltaicos. Los primeros operan bajo principios semejantes a los de las centrales térmicas convencionales. Los denominados fotovoltaicos, presentan una importante simplificación respecto a los procesos energéticos convencionales, debido a que transforman una

⁴ Se explica este concepto en otro apartado del Capítulo 2, p. p. 11-12.

energía primaria, la solar, en electricidad de un modo directo, es decir, sin transformaciones intermedias en otras formas de energía.

Se denomina proceso fototérmico a la recolección de la energía solar que se logra por medio de captadores solares con la finalidad de calentar algún medio, generalmente a través de un fluido compresible (gases) o incompresible (líquidos). La climatización de viviendas, el calentamiento de agua para uso doméstico, la calefacción, la refrigeración, el secado, etc., son aplicaciones que implican procesos fototérmicos.

CAPÍTULO II

ÁNGULOS SOLARES.

2.1 Ángulos solares básicos.

Los ángulos que los rayos incidentes del sol forman con la Tierra y que dependen de la posición que tenga respecto del sol son llamados ángulos solares básicos, aunque se incluye la latitud que técnicamente no es un ángulo solar sino que se trata de una coordenada geográfica.

2.1.1 Declinación solar.

La declinación solar es la posición angular del sol al mediodía solar, respecto del plano del ecuador, positivo hacia el norte. La declinación solar es cero el día que comienza la primavera y el día que comienza el otoño (equinoccios). En estos días, el sol se encuentra en el ecuador celeste, que es la extrapolación del ecuador terrestre en la bóveda celeste. La declinación es máxima en el solsticio de verano (23.45°) y mínima en el solsticio de invierno (-23.45°). A menudo se representa con δ .

El movimiento aparente del Sol es cíclico, por lo tanto es evidente que δ es una función senoidal que depende del día del año (Ver figura 2.1). Así pues, la ecuación para la declinación solar resulta dependiendo del punto de referencia. Si consideramos como referencia el equinoccio de primavera, de la tabla 1 del apéndice observamos que n

= 80, como $\delta = 0$ y va creciendo hacia la derecha (números positivos) se deduce la siguiente ecuación.

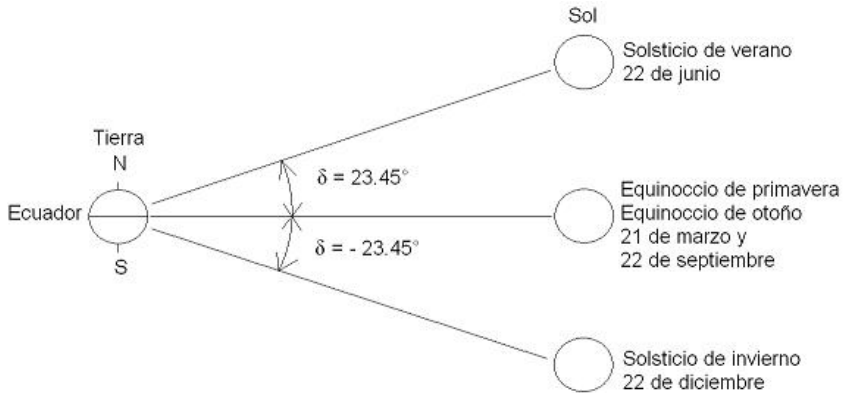


Figura 2.1 Declinación solar δ en todas las estaciones del año.

$$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365.242} (n - 80) \right] \quad \text{Ec. 2.1}$$

Haciendo un análisis análogo para el solsticio de verano, el equinoccio de otoño y el solsticio de invierno respectivamente resultan las siguientes tres ecuaciones alternativas.

$$\delta = 23.45 \cos \left[\frac{360}{365.242} (n - 173) \right] \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365.242} (265 - n) \right] \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$\delta = 23.45 \cos \left[\frac{360}{365.242} (356 - n) \right] \quad \text{Ec. 2.4}$$

En la tabla 2 y en la gráfica 1 se muestran los valores de δ en todos los días del año.

2.1.2 Ángulo horario.

El ángulo horario ω es el desplazamiento angular del sol, al este o al oeste del meridiano local, debido a la rotación de la Tierra a la velocidad angular de 15° por hora (360° en 24 horas). Negativo por la mañana y positivo por la tarde. Por ejemplo, de la figura 2.2, si el mediodía solar es a las 12 horas, a las 10 horas del tiempo solar¹, corresponde $\omega = -30^\circ$, mientras que a las 16 horas del tiempo solar, corresponde $\omega = 60^\circ$. El mediodía solar es por definición, $\omega = 0^\circ$. Obsérvese que, debido a los movimientos del sol hacia el norte (primavera) y hacia el sur (otoño), la salida y la puesta del sol no corresponden, en general a $\omega = -90^\circ$ y $\omega = 90^\circ$, respectivamente. Esto sucede únicamente en los equinoccios en cualquier latitud, o en el ecuador en cualquier fecha.

¹ El tiempo civil y el tiempo solar son distintos. Ver Capítulo 3, pag. 18.

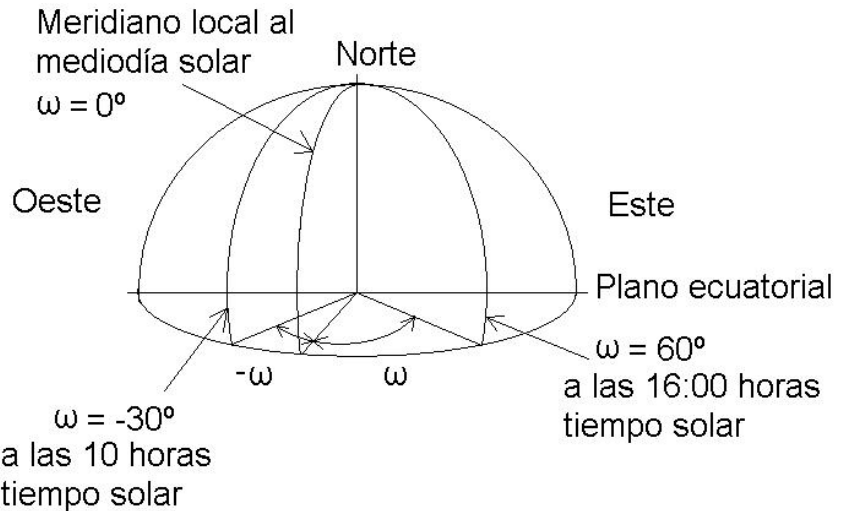


Figura 2.2 Ángulo horario antes del mediodía solar, en el mediodía solar y después del mediodía solar.

2.1.3 Latitud.

La latitud φ simboliza la latitud geográfica, esto es la posición angular del lugar en donde se encuentre el plano en cuestión, respecto del ecuador terrestre, positivo en el hemisferio norte ($-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$).

En la figura 2.3 se aprecian algunas latitudes geográficamente importantes, ya que dividen a la Tierra en zonas. Así, de la figura 2.3 se definen los siguientes conceptos.

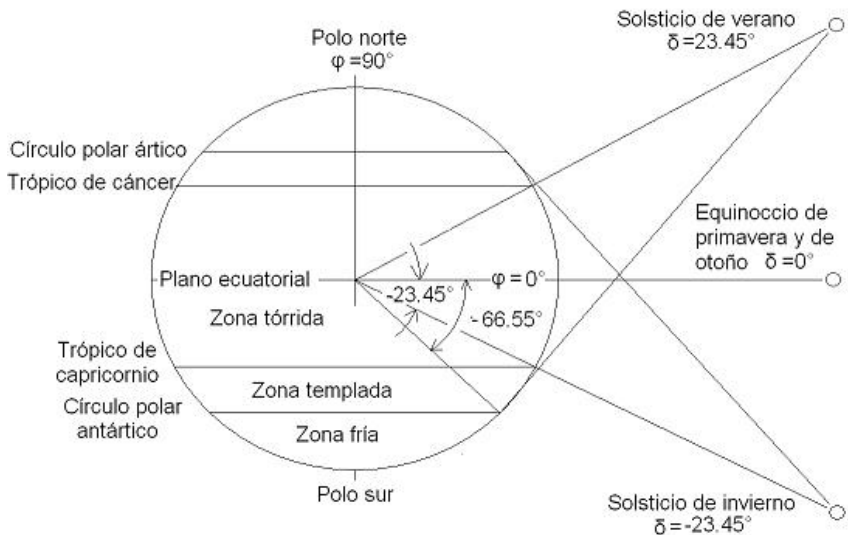


Figura 2.3 Latitudes en los trópicos, en los círculos polares y en los polos.

Trópicos – Son las latitudes donde existe solo un paso cenital², en el solsticio de verano ($\varphi = \delta = 23.45^\circ$) para el norte y en el solsticio de invierno ($\varphi = \delta = -23.45^\circ$) para el sur.

Círculos polares – Son las latitudes donde el día o la noche dura 24 horas en los solsticios según la ubicación (norte o sur). En el mediodía, el sol se encuentra en el horizonte ($\varphi = \pm 66.55^\circ$).

² Un paso cenital ocurre cuando los rayos del sol inciden perpendicularmente sobre la Tierra durante el mediodía solar. Solamente en el Ecuador ocurren todos los días y dos veces en la zona comprendida entre los dos trópicos.

Polos³ – Son las latitudes donde el día y la noche duran medio año ($\varphi = \pm 90^\circ$).

Zona tórrida – Es la zona entre los trópicos y donde los rayos del sol inciden perpendicularmente en la Tierra durante el mediodía dos veces al año.

Zona templada – Es la zona entre un trópico y un círculo polar. Las zonas templadas se caracterizan por recibir oblicuos los rayos del sol todos los días del año. Y por tener días y noches menores a 24 horas.

Zona fría – Es la zona comprendida entre un círculo polar y un polo. Son zonas donde los días y las noches duran entre 24 horas y 6 meses.

2.2 Ángulos solares derivados.

Los ángulos solares básicos, incluyendo la latitud, determinan otro tipo de ángulos llamados ángulos solares derivados. A pesar de la curvatura de la Tierra, un terreno pequeño puede representarse prácticamente como un plano; los ángulos solares derivados son ángulos formados

³ Nos referimos a los polos geográficos que son distintos a los polos magnéticos.

con respecto a un plano horizontal teórico que contiene el eje norte-sur y que es tangente a la superficie de la Tierra y a otro plano vertical que contiene al rayo incidente.

Tanto la altura solar como el ángulo de azimut son los ángulos solares derivados con los que se definen las trayectorias del sol en cualquier punto geográfica de la Tierra, por lo tanto, dependen de los ángulos solares básicos.

2.2.1 Ángulo de cenit y altura solar.

Tanto el ángulo de cenit ψ como la altura solar β son ángulos que se forman en el plano vertical que contiene el rayo incidente y están entre el rango $0^\circ \leq \psi$ o $\beta \leq 90^\circ$, ambos son complementarios, es decir, $\psi + \beta = 90^\circ$.

De la figura 2.4, sean los cosenos directores del vector del rayo incidente **I** que se encuentra en el plano xz; $\cos \alpha_1$, $\cos \beta_1$ y $\cos \gamma_1$ con respecto al sistema coordenado xyz.

Sean los cosenos directores del vector **OP** colineal con la vertical **V** $\cos \alpha_2$, $\cos \beta_2$ y $\cos \gamma_2$ con respecto al sistema coordenado xyz.

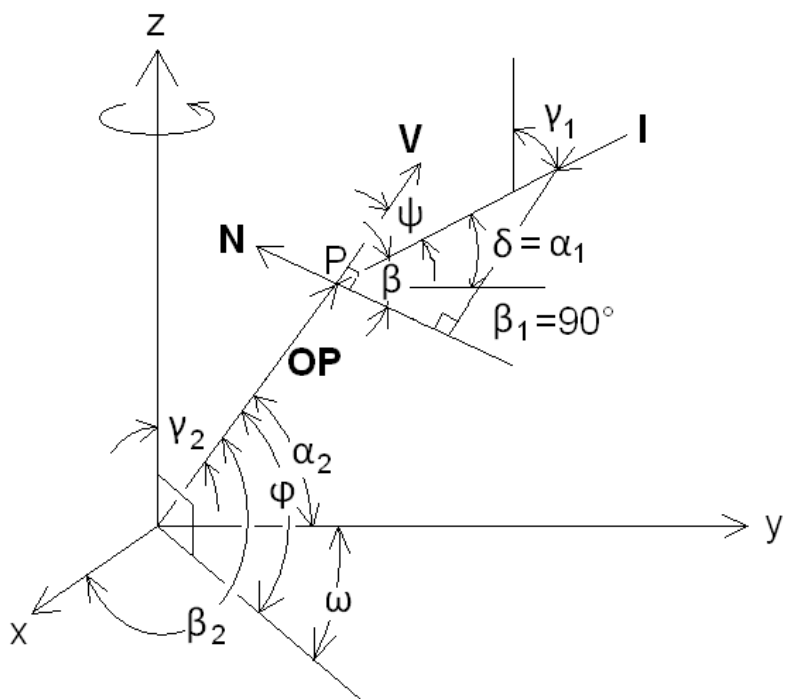


Figura 2.4 Diagrama para la deducción del ángulo cenital y la altura solar.

I – vector del rayo incidente.

N – vector norte-sur.

OP – vector del radio terrestre.

V – vector vertical.

ψ – ángulo cenital.

β – altura solar.

δ – declinación solar.

φ – latitud.

ω – ángulo horario.

α_1 – ángulo entre I y el eje x.

- β_1 – ángulo entre **I** y el eje y.
- γ_1 – ángulo entre **I** y el eje z.
- α_2 – ángulo entre **OP** y el eje x.
- β_2 – ángulo entre **OP** y el eje y.
- γ_2 – ángulo entre **OP** y el eje z.

De acuerdo con el diagrama de la figura, se sabe por la geometría analítica la siguiente relación:

$$\cos \psi = \frac{\vec{I} \cdot \vec{V}}{\|\vec{I}\| \cdot \|\vec{V}\|} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Suponiendo que **I** y **V** son vectores unitarios, entonces la ecuación 2.5 nos queda en términos de los cosenos directores.

$$\begin{aligned} \cos \psi = & \cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 + \cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \\ & + \cos \gamma_1 \cdot \cos \gamma_2 \end{aligned} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Del diagrama de la figura, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\cos \alpha_1 = \cos \delta ; \cos \beta_1 = 0 ; \cos \gamma_1 = \text{sen } \delta$$

$$\cos \alpha_2 = \cos \varphi \cdot \cos \omega ; \cos \beta_2 = \cos \varphi \cdot \text{sen } \omega ;$$

$$\cos \gamma_2 = \text{sen } \varphi$$

Sustituyendo las relaciones anteriores en la ecuación 2.6 se obtiene

$$\cos \psi = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \text{sen } \delta \cdot \text{sen } \varphi \quad \text{Ec. 2.7}$$

siendo ψ y β complementarios, entonces

$$\text{sen } \beta = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \text{sen } \delta \cdot \text{sen } \varphi \quad \text{Ec. 2.8}$$

En las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 del apéndice se muestran los valores de la altura solar para la latitud $\varphi = 19.68^\circ$ correspondiente a la FES Cuautitlán a diferentes horas del tiempo solar a lo largo del año.

2.2.2 Ángulo de azimut.

El ángulo de azimut γ está formado en la superficie horizontal tangente a la curvatura de la Tierra entre el meridiano local (vector norte-sur) y la proyección horizontal del rayo incidente. Su valor está dentro del rango $0^\circ \leq \gamma < 90^\circ$ si el sol se ubica hacia el sur y $90^\circ < \gamma \leq 90^\circ$ si se ubica

hacia el norte, aunque también puede estar indefinido cuando ocurre un paso cenital⁴.

La trayectoria del sol es simétrica respecto del vector norte sur, ello implica que cuando el sol está en el este, dos horas antes del mediodía solar, por ejemplo; el ángulo de azimut tiene el mismo valor hacia el oeste dos después del mediodía solar.

De la figura 2.5, sean los cosenos directores del vector norte-sur \mathbf{N} , $\cos \alpha_3$, $\cos \beta_3$ y $\cos \gamma_3$ con respecto al eje coordenado xyz.

Sean los cosenos directores de la proyección horizontal del vector del rayo incidente \mathbf{I}_h , que se encuentra en el plano xz; $\cos \alpha_4$, $\cos \beta_4$ y $\cos \gamma_4$ con respecto al eje coordenado xyz.

⁴ El rayo incidente cae normal a la superficie, por lo tanto no existe una proyección horizontal del rayo incidente.

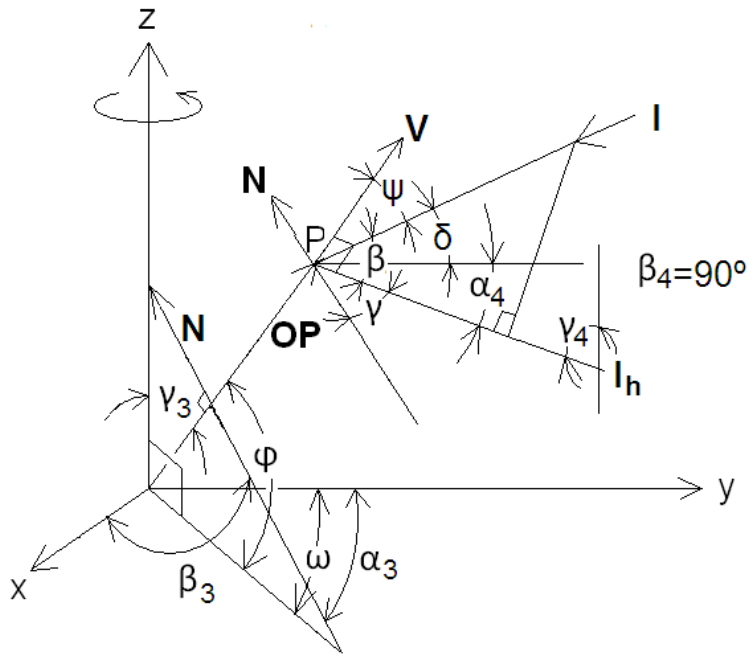


Figura 2.5 Diagrama para la deducción del ángulo de acimut.

I - vector del rayo incidente.

I_h – Proyección de **I** sobre la horizontal.

N – vector norte-sur.

OP – vector del radio terrestre

V – vector vertical.

γ – ángulo de acimut.

ψ – ángulo cenital.

β – altura solar.

δ – declinación solar.

φ – latitud.

ω – ángulo horario.

α_3 – ángulo entre **N** y el eje x.

β_3 – ángulo entre **N** y el eje y.

γ_3 – ángulo entre **N** y el eje z.

α_3 – ángulo entre **N** y el eje x.

β_3 – ángulo entre **N** y el eje y.

γ_3 – ángulo entre **N** y el eje z.

Suponiendo que **N** y **I_n** son vectores unitarios y aplicando la ecuación 2.5 resulta la ecuación

$$\begin{aligned} \cos \gamma &= \cos \alpha_3 \cdot \cos \alpha_4 + \cos \beta_3 \cdot \cos \beta_4 \\ &+ \cos \gamma_3 \cdot \cos \gamma_4 \end{aligned} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Pero de la figura obtenemos las siguientes equivalencias.

$$\begin{aligned} \cos \alpha_3 &= -\text{sen } \varphi \cdot \cos \omega ; \cos \beta_3 = -\text{sen } \varphi \cdot \text{sen } \omega ; \\ \cos \gamma_3 &= \cos \varphi \end{aligned}$$

$$\cos \alpha_4 = \frac{\cos \delta}{\cos \beta} ; \cos \beta_4 = 0 ; \cos \alpha_4 = \frac{\text{sen } \delta}{\cos \beta}$$

Sustituyendo las igualdades anteriores en la ecuación 2.9 se obtiene

$$\cos \gamma = \frac{1}{\cos \beta} (\cos \varphi \text{ sen } \delta - \text{sen } \varphi \cos \omega \cos \delta) \quad \text{Ec. 2.10}$$

En las tablas 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 se muestran los valores del ángulo de azimut para la latitud $\varphi = 19.68^\circ$ correspondiente a la FES Cuautitlán a diferentes horas del tiempo solar a lo largo del año.

2.3 Ángulo de incidencia.

El ángulo de incidencia θ_i se forma entre el rayo incidente y la normal de una superficie.

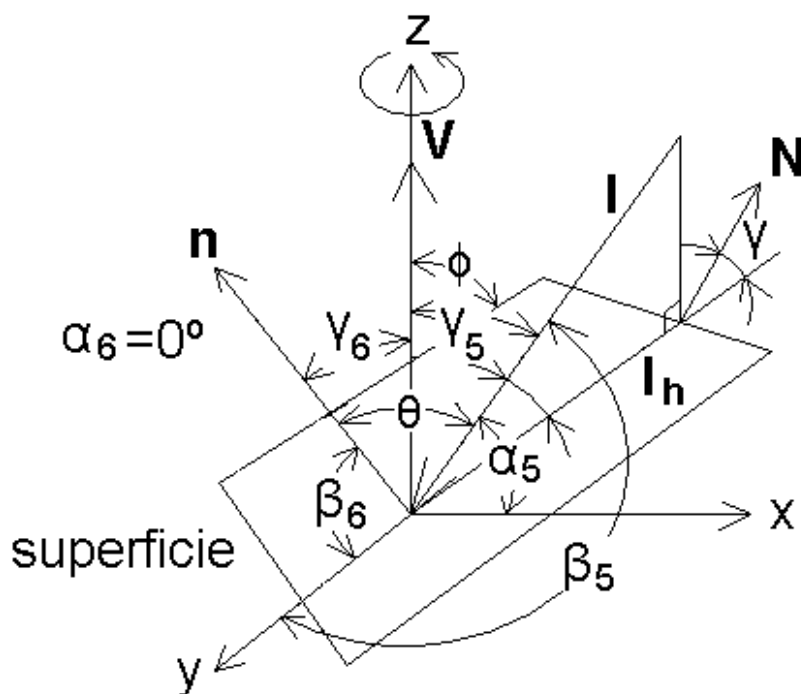


Figura 2.6 Diagrama para la deducción del ángulo de azimut.

I - vector del rayo incidente.

I_h - Proyección de I sobre la horizontal.

N – vector norte-sur.

n – vector normal a la superficie.

V – vector vertical.

θ – ángulo de incidencia.

ϕ – ángulo entre la superficie y la vertical.

γ – ángulo de acimut.

β – altura solar.

δ – declinación solar.

α_5 – ángulo entre **N** y el eje x.

β_5 – ángulo entre **N** y el eje y.

γ_5 – ángulo entre **N** y el eje z.

α_6 – ángulo entre **N** y el eje x.

β_6 – ángulo entre **N** y el eje y.

γ_6 – ángulo entre **N** y el eje z.

De la figura 2.6, sean los cosenos directores del vector del rayo incidente **I**; $\cos \alpha_5$, $\cos \beta_5$ y $\cos \gamma_5$ con respecto al eje coordenado xyz.

Sean los cosenos directores del vector **n**, que es normal a la superficie; $\cos \alpha_6$, $\cos \beta_6$ y $\cos \gamma_6$ con respecto al eje coordenado xyz.

Suponiendo nuevamente que los vectores **I** y **n** son unitarios y utilizando la ecuación 2.5 se obtiene

$$\begin{aligned} \cos \theta_i &= \cos \alpha_5 \cdot \cos \alpha_6 + \cos \beta_5 \cdot \cos \beta_6 \\ &+ \cos \gamma_5 \cdot \cos \gamma_6 \end{aligned} \quad \text{Ec. 2.11}$$

De la figura se deducen las siguientes relaciones

$$\cos \alpha_5 = \cos \beta \cdot \text{sen} (180^\circ - \gamma) ; \cos \beta_5 = \cos \beta \cdot \cos (180^\circ - \gamma)$$

;

$$\cos \gamma_5 = \text{sen} \beta$$

$$\cos \alpha_6 = 0 ; \cos \beta_6 = \cos \emptyset ; \cos \gamma_6 = \text{sen} \emptyset$$

Entonces la ecuación 2.11 se transforma en la siguiente ecuación

$$\cos \theta_i = \cos \beta \cdot \cos (180^\circ - \gamma) \cdot \cos \emptyset + \text{sen} \beta \cdot \text{sen} \emptyset \quad \text{Ec. 2.12}$$

Se hace uso de la identidad trigonométrica que relaciona el coseno de la resta de dos ángulos.

$$\cos (180^\circ - \gamma) = \cos 180^\circ \cdot \cos \gamma + \text{sen} 180^\circ \cdot \text{sen} \gamma$$

$$\cos (180^\circ - \gamma) = - \cos \gamma \quad \text{Ec. 2.13}$$

Sustituyendo la igualdad de la ecuación 2.13 en la ecuación 2.12 se obtiene

$$\cos \theta_i = \text{sen } \beta \cdot \text{sen } \varnothing - \cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \varnothing \quad \text{Ec. 2.14}$$

CAPÍTULO III

ECUACIÓN DEL TIEMPO.

La Tierra tiene períodos de rotación ligeramente irregulares que dependen principalmente de su aceleración o su desaceleración en distintas épocas del año, es decir, de su cercanía hacia el sol. En palabras más simples, lo anterior equivale a decir que un ciclo completo del movimiento aparente del sol en cualquier posición geográfica no es exactamente de 24 horas, sino que es un poco más en enero (perihelio) y un poco menos en julio (afelio).

Debido a lo anterior, es necesario, al determinar el tiempo solar a partir del tiempo civil considerar esas pequeñas variaciones que son representadas mediante la ecuación del tiempo.

3.1 Tiempo solar y tiempo civil.

El tiempo solar es el tiempo real del movimiento aparente del sol visto desde una posición geográfica que puede medirse mediante relojes de sol y es con lo que se determina el ángulo horario mediante la siguiente ecuación:

$$T.S. = 12 \pm \frac{\omega}{15} \qquad \text{Ec. 3.1}$$

El signo negativo se utiliza para antes del mediodía.

El tiempo civil es el tiempo convencional medido por los relojes mecánicos o electrónicos. Actualmente ya no usamos relojes solares, por ello, utilizaremos la ecuación del tiempo, la cual relaciona el tiempo civil con el tiempo solar; y así, poder determinar el ángulo horario.

Se debe considerar otro factor en el tiempo civil; el desfase entre la longitud geográfica y el huso horario.

3.2 Longitud geográfica y husos horarios.

La longitud es una coordenada geográfica medida en un ángulo formado entre el meridiano de Greenwich y el meridiano local de un lugar, se divide en dos partes, Este y Oeste abarcando desde 0° hasta 180° .

Se le llama huso horario a cada una de las 24 zonas horarias en forma de huso trazadas convencional y arbitrariamente sobre la superficie terrestre con los polos geográficos como extremos. Cada huso está separado de sus meridianos vecinos por una longitud de 15° . Los husos están enumerados de 0 a 23 –de Este a Oeste- a partir del meridiano de Greenwich. Este meridiano, elegido de forma

arbitraria para determinar las longitudes, debe su nombre a la localidad inglesa tomada como referencia.



Figura 3.1 Husos horarios de la República Mexicana.

La hora local se obtiene añadiendo a la hora universal – la del meridiano de Greenwich – un número de horas correspondiente al número del huso. Si se pasa del duodécimo huso, es necesario restar un día al calendario universal. La línea internacional de cambio de fecha no coincide exactamente con el meridiano 180° (el antimeridiano de Greenwich) para no separar desde un punto de vista horario algunos archipiélagos situados sobre dicho meridiano. En principio, cada país adopta la hora local del huso que contiene la mayoría de su territorio. No obstante, existen excepciones a esta regla, como por

ejemplo España, Que adopta el horario centroeuropeo correspondiente al huso vecino. Por lo tanto, la longitud de una localidad no coincide con la longitud de su huso horario.

En México se han adoptado tres husos horarios: el correspondiente al Tiempo del Pacífico (longitud 120° Oeste), al Tiempo de la Montaña (longitud 105° Oeste) y al Tiempo del Centro (longitud 90° Oeste)¹. En la figura 3.1 se muestra el mapa de la República Mexicana con la distribución por estados de los tres husos horarios.

3.3 Ecuación del tiempo.

En la mayoría de los cálculos solares se requiere la hora solar, mientras que los relojes indican la hora civil. La hora solar es la que indica un reloj de Sol, i.e., el mediodía (12:00 hrs.) corresponde exactamente al paso del sol donde $\gamma = 0^\circ$ o $\gamma = 180^\circ$ por el meridiano. Como en la práctica esto haría que lugares relativamente cercanos tuvieran horas distintas, se han establecido los husos horarios. Esto evita que Mérida, el Distrito Federal, Querétaro, Morelia y Guadalajara tengan horas distintas,

¹ Para el horario de verano utilizamos también el tiempo del Este (longitud 75° Oeste).

por estar cada una de ellas más al poniente que la anterior. Como en cada una de estas ciudades la hora solar es diferente, pero la hora civil es la misma, existe una diferencia entre ellas, dada por la ecuación:

$$T.S. = T.C. - \frac{L_{loc} - L_{st}}{15} \quad \text{Ec. 3.2}$$

donde L_{st} corresponde a la longitud geográfica del meridiano de referencia, mientras que L_{loc} es la longitud geográfica del meridiano local. La tabla 5 del apéndice contiene los meridianos de referencia para la República Mexicana.

En el caso de Guadalajara, el meridiano de referencia tiene $L_{st} = 90^\circ$, mientras que $L_{loc} = 103^\circ$ (Vease tabla 17 del apéndice). Esto hace que Guadalajara este 13° al oeste del meridiano de referencia. Supongamos que en cierto momento, el sol se encuentra en este meridiano de referencia. (Que por cierto corresponde a Mérida, Yucatán). Entonces, en hora solar, en Mérida son las 12:00 horas. Como el sol “viaja”, a 15° por hora hacia el oeste, tardara $13/15$ de hora en llegar al meridiano de Guadalajara. Esto equivale a 52 minutos para que sea el mediodía solar. Y a la inversa, cuando es el mediodía solar, el reloj marca las 12:52 ¡Casi la una de la tarde!

Otra corrección necesaria está dada por el hecho de que el sol se adelanta y se atrasa respecto de la hora solar media, debido a dos efectos astronómicamente bien conocidos y estudiados: la excentricidad de la órbita terrestre y la inclinación del eje polar de la Tierra respecto de la órbita. Esto da lugar a otra corrección que se conoce como la ecuación del tiempo., que está dada por la expresión:

$$ET = 0.1236\text{sen}x - 0.0043\text{cos}x + 0.1538\text{sen}2x + 0.0608\text{cos}2x \quad \text{Ec. 3.3}$$

donde

$$x = \frac{360(N - 1)}{365.242}$$

Y N es el número de día del año. Entonces, la ecuación para convertir de hora civil a hora solar queda:

$$T.S. = T.C. - \frac{L_{loc} - L_{st}}{15} - ET \quad \text{Ec. 3.4}$$

La gráfica 2 del apéndice muestra una curva de la ecuación del tiempo, según las ecuaciones anteriores y en la tabla 18 se muestran los valores de ET para cada día del

año. Nótese que el sol se “atrassa” o se “adelanta”, según la fecha, hasta más de 15 minutos, respecto de la hora solar media. Aunque para cálculos aproximados se puede despreciar la ecuación del tiempo, en términos generales no es despreciable esta corrección.

La ecuación del tiempo se traduce físicamente, por ejemplo, en que el mediodía solar varía de una fecha a otra, efecto que se suma a la variación debida al meridiano de referencia. Por otro lado, la combinación de la ecuación del tiempo, junto con el de la declinación solar a lo largo del año (efectos separados que no coinciden) y otros factores que no expondremos, se traducen en una variación en las horas de salida y puesta del sol, todavía mayor que lo anterior. Nótese que, aunque el día más “largo” es en el solsticio de verano y el más “corto” en el de invierno, estos no coinciden con las fechas extremas de salida y puesta del sol.

CAPÍTULO IV

PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

La transferencia de calor se define como la transmisión de energía de una región a otra, resultado de la diferencia de temperatura existente entre ellas. Puesto que las diferencias de temperaturas existen sobre todo el universo, los fenómenos de flujo de calor son universales; sin embargo el flujo de calor está regido por una combinación de varias leyes de la física independientes.

La transferencia de calor generalmente reconoce tres modelos distintos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

4.1 Transferencia de calor por conducción.

La conducción es un proceso mediante el cual fluye el calor desde una región de temperatura alta a una región de temperatura baja debido al contacto directo de las moléculas del material; puede aparecer en los sólidos, líquidos y gases. Sin embargo, en el caso de líquidos y gases que puedan estar en circulación, la conducción se encuentra normalmente en combinación con la convección.

Por consiguiente, la conducción pura tiene lugar fundamentalmente en los sólidos opacos, en donde el movimiento de masa se encuentra impedido y la transferencia de calor se lleva desde la región de mayor

temperatura hacia la de menor temperatura. No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura. Esta teoría explica porqué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores de calor. En 1822, el matemático francés Joseph Fourier dio una expresión matemática precisa que hoy se conoce como ley de Fourier de la conducción del calor.

4.1.1 Ley de Fourier.

Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado).

$$q = -K \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{Ec. 4.1}$$

q – flujo de calor por unidad de área.

K – conductividad térmica del material.

∂T – derivada de temperatura.

∂x – dirección del flujo y el área normal a éste.

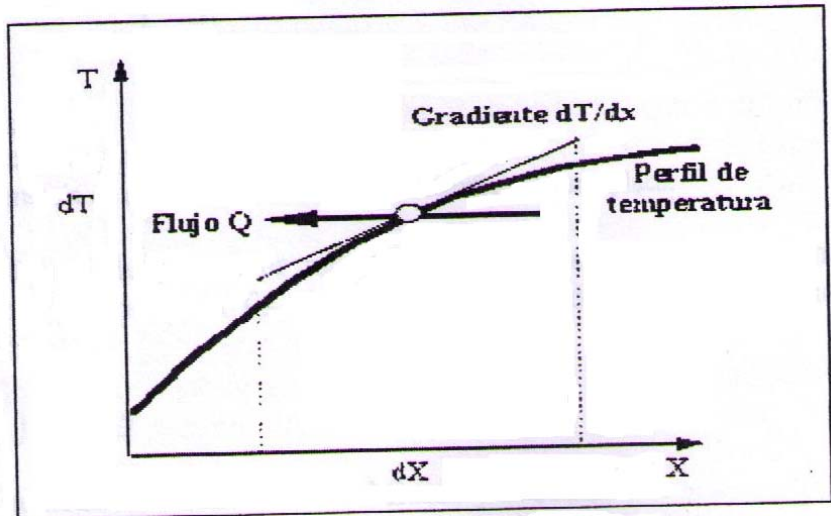


Figura 4.1 Dirección del flujo del calor por conducción y gradiente de temperatura.

La conductividad térmica es una propiedad física de cada sustancia, y puede variar ligeramente en función de la temperatura y de las características particulares del material, como puede ser el contenido de humedad de los materiales constructivos. En los casos que el material no sea homogéneo, como las fábricas de ladrillo, o que su estructura sea anisótropa, como es el caso de la madera, será preciso determinar la conductividad para la dirección del flujo considerado.

4.2 Transferencia de calor por convección.

La convección se produce a través del desplazamiento de materia entre regiones con diferentes temperaturas; por lo tanto para que exista transmisión de calor por convección se considera que el calor fluirá a través de un medio cuyas moléculas o partículas presentan movimiento relativo, es decir, un medio líquido, gaseoso, o más genéricamente un medio fluido.

Supongamos, por ejemplo, que calentamos desde abajo una cacerola llena de agua. El líquido más próximo al fondo se calienta por el calor que se ha transmitido por conducción a través de la cacerola. Al expandirse, su densidad disminuye y como resultado de ello el agua caliente asciende y parte del fluido más frío baja hacia el fondo, con lo que se inicia un movimiento de circulación. El líquido más frío vuelve a calentarse por conducción, mientras que el líquido más caliente situado arriba pierde parte de su calor por radiación y lo cede al aire situado por encima.

La transferencia de calor por convección usualmente se clasifica como convección natural o libre y convección forzada.

4.2.1 Ley de Newton del enfriamiento.

Considérese una placa cuya superficie se mantiene a una temperatura T_s (ver figura 4.2), la cual disipa el calor hacia un fluido cuya temperatura es T_∞ . La velocidad del fluido influye sobre la transferencia de calor en la superficie. El tipo de fluido; aire; agua o aceite influye también en el flujo de calor. Se deduce entonces que las propiedades y el estado del fluido tienen un efecto importante sobre la transferencia de calor.

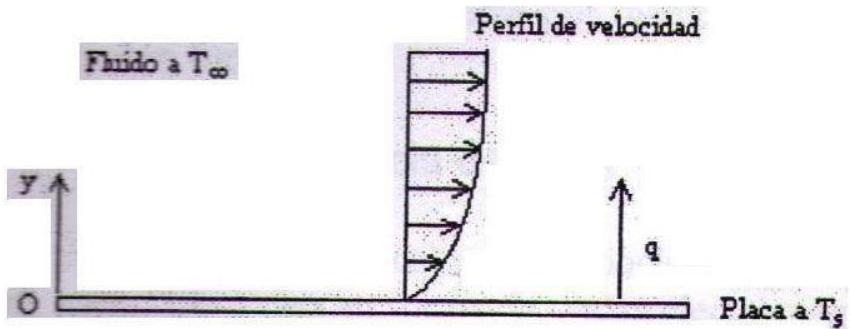


Figura 4.2 Transferencia de calor entre un fluido y la superficie de una placa.

Para calcular el flujo de calor entre la superficie de una placa con una temperatura T_s y un fluido a otra temperatura T_∞ , empleamos la ecuación conocida como ley de Newton del enfriamiento:

$$q = hA(T_s - T_\infty) = hA\Delta T \quad \text{Ec. 4.2}$$

A – área de la interfaz de contacto entre el fluido y el sólido.

H – coeficiente de transferencia de calor, Watt/m²-°K.

T_∞ - temperatura media del fluido.

T_s – temperatura de la pared sólida.

q = hAΔT = ΔT / (1/hA) – potencial/resistencia.

Debe notarse que está expresión, define al coeficiente de transferencia de calor h. Aún cuando la anterior ecuación aparenta ser sencilla, el proceso de transferencia de calor por convección es muy complejo, ya que el coeficiente h depende de muchos factores.¹

4.2.2 Transferencia de calor por convección natural.

Es debida al gradiente térmico, y se justifica: por la diferencia de densidad o de peso específico que aparece debido a las diferentes temperaturas. Esto produce que el fluido más frío circule hacia abajo y el más caliente hacia arriba, produciendo una corriente ascendente.

4.2.2.1 Viento sobre una placa plana.

¹ Ver capítulo V.

McAdams recomienda la siguiente expresión para determinar el coeficiente de transferencia de calor en una placa expuesta al viento. Es de la forma,

$$\bar{h}_v = 5.7 + 3.8\bar{V} \quad \text{Ec. 4.3}$$

En donde \bar{h}_v está en $\text{W/m}^2\text{-}^\circ\text{K}$ y la velocidad del viento \bar{V} está en m/s .

4.2.3 Transferencia de calor por convección forzada.

Se provoca el flujo de un fluido sobre una superficie sólida por medio de una fuerza externa como lo es una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico. Es decir, cuando el fluido es obligado a moverse por medios mecánicos existe la transferencia de calor por convección forzada.

4.3 Transferencia de calor por radiación.

La transmisión de calor por radiación se caracteriza porque la energía se transporta de una superficie a otra en forma de ondas electromagnéticas, que se propagan en línea recta a la velocidad de la luz y no requieren de un medio físico para transmitirse. Mientras que en la conducción y la convección era precisa la existencia de un medio material para transportar la energía, en la radiación el calor se

transmite a través del vacío, o atravesando un medio transparente como el aire.

Cuando la radiación incide sobre un cuerpo, es parcialmente absorbida, parcialmente reflejada y parcialmente transmitida.

La relación entre energía absorbida, la energía reflejada y la energía transmitida es:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \qquad \text{Ec. 4.4}$$

α - absorción, esto es, la fracción de la radiación incidente absorbida por el cuerpo.

ρ - reflectividad, esto es, la fracción de la radiación incidente reflejada por la superficie del cuerpo.

τ - transmisividad, esto es, la fracción de la radiación incidente transmitida a través del cuerpo.

La mayoría de los materiales sólidos que se encuentran, absorben prácticamente toda la radiación en una capa superficial muy delgada, menor de 1.3 mm de profundidad.

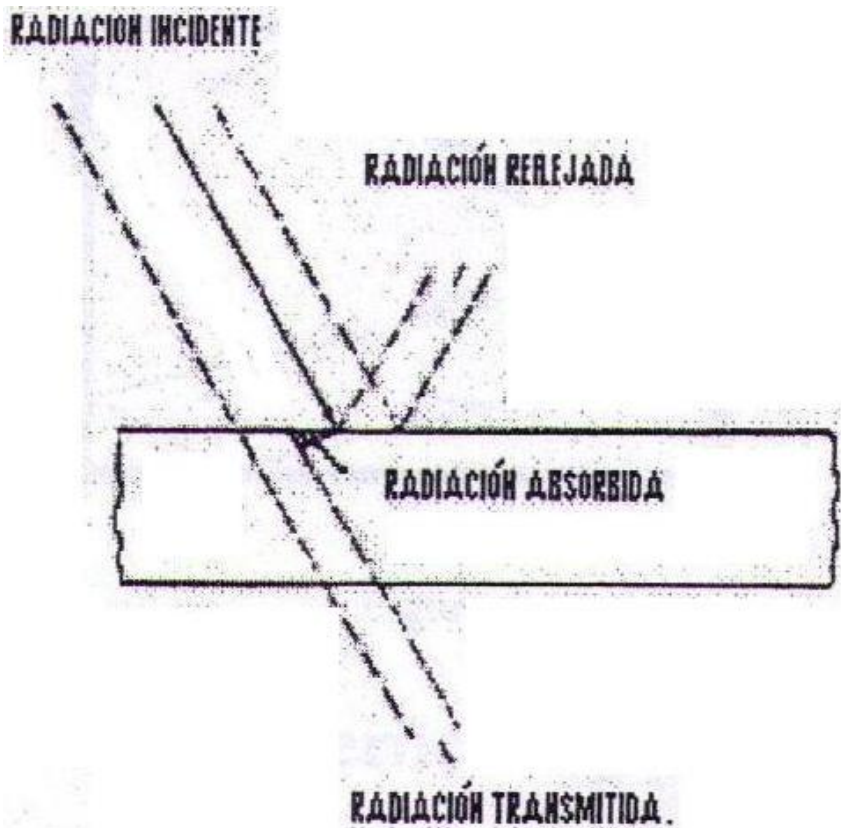


Figura 4.3 Reflexión, absorción y transmisión de la radiación.

Por lo tanto, las superficies opacas solo pueden absorber o reflejar la radiación incidente. Generalmente, las superficies mates y rugosas absorben más calor que las superficies brillantes y pulidas, y las superficies brillantes reflejan más energía radiante que las superficies mates. Además, las sustancias que absorben mucha radiación también son buenos emisores (superficie negra ideal o cuerpo negro $\Rightarrow \epsilon = 0$).

Algunas sustancias, entre ellas muchos gases y el vidrio, son capaces de transmitir grandes cantidades de radiación. Se observa experimentalmente que las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de una sustancia dependen de la longitud de onda de la radiación incidente. El vidrio, por ejemplo, transmite grandes cantidades de radiación ultravioleta, de baja longitud de onda, pero es un mal transmisor de los rayos infrarrojos, de alta longitud de onda.

4.3.1 Cuerpo negro.

No todas las superficies emiten o absorben la misma cantidad de energía radiante cuando se calientan a la misma temperatura. Un cuerpo que absorba o emita a una temperatura determinada la máxima cantidad de energía se denomina superficie negra o simplemente cuerpo negro.

Un cuerpo negro perfecto no existe en la realidad, sino que es ente ideal que se utiliza como referencia respecto a otros radiadores. No obstante, existen numerosas superficies que son cuerpos negros casi perfectos, sobre todo para radiaciones de onda larga, por lo que para casos prácticos son considerados como tales con suficiente exactitud.

Sin embargo, un cuerpo negro se puede sustituir con gran aproximación por una cavidad con una pequeña abertura (Ver figura 4.4). La energía radiante incidente a través de la abertura, es absorbida por las paredes en múltiples reflexiones y solamente una mínima proporción escapa (se refleja) a través de la abertura. Podemos por tanto decir, que toda la energía incidente es absorbida.

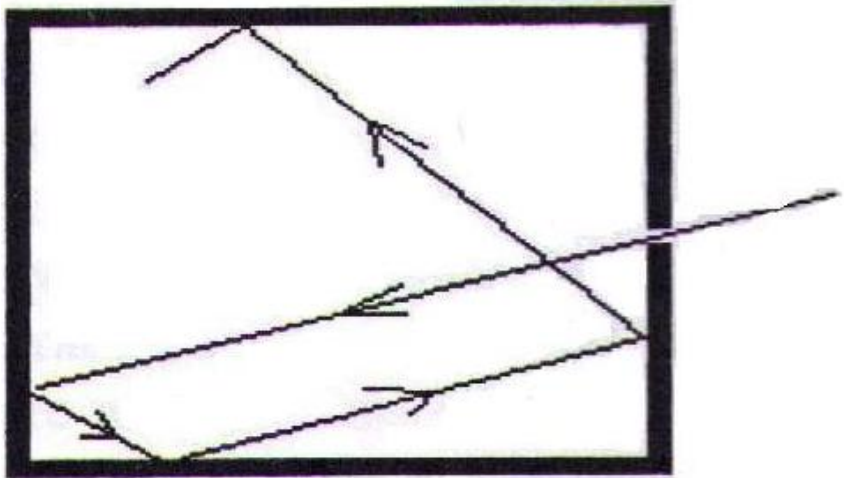


Figura 4.4 Simulación de un cuerpo negro a través de una caja con una pequeña abertura por donde entra un haz de luz.

4.3.2 Propiedades de las superficies opacas.

La emitancia y la absorptancia monocromáticas están relacionadas entre sí a través de la ley de Kirchhoff,

$$\alpha_{\lambda} = \epsilon_{\lambda}$$

donde

α_λ – es la absorptancia hemisférica monocromática.

ϵ_λ – es la emitancia hemisférica monocromática.

Esta igualdad solamente es válida cuando la radiación hemisférica incidente está uniformemente polarizada y distribuida a través de todos los ángulos.

Aun cuando α y ϵ parecen no estar relacionadas entre sí, existen algunos casos particulares en que éstas son numéricamente iguales:

$$\alpha = \epsilon \quad \text{Ec. 4.5}$$

A la luz de los conceptos enunciados anteriormente es evidente que, para un material opaco,

$$\rho + \alpha = 1 \quad \text{Ec. 4.6}$$

y para un cuerpo gris ($\alpha = \epsilon$),

$$\rho = 1 - \epsilon \quad \text{Ec. 4.7}$$

4.3.3 Superficies selectivas.

Para que un colector sea eficiente térmicamente, se requiere que absorba la máxima cantidad posible de radiación en el espectro solar y emita la mínima posible a mayores longitudes de onda. Una superficie, selectiva debe tener una alta absorptancia monocromática en el espectro solar – en el intervalo de 0.3 a 2.5 μm – y una emitancia monocromática muy baja en el infrarrojo para poderlo utilizar en colectores solares. En otras palabras, en el espectro solar debe ser no reflejante, mientras que a longitudes de onda mayores debe comportarse como un reflector perfecto. La figura 4.5 muestra las características espectrales de una superficie semigris o selectiva ideal, con una reflectancia uniforme de 0.05 por debajo de 2.5 de μm y 0.95 por encima de esta misma longitud de onda. Para aplicaciones en que la temperatura sea hasta de 300 $^{\circ}\text{K}$ el punto de transición entre absorción y la reflexión ocurre alrededor de 2.5 μm . Sin embargo, este punto se mueve hacia menores longitudes de onda a medida que la temperatura de operación del colector aumenta.

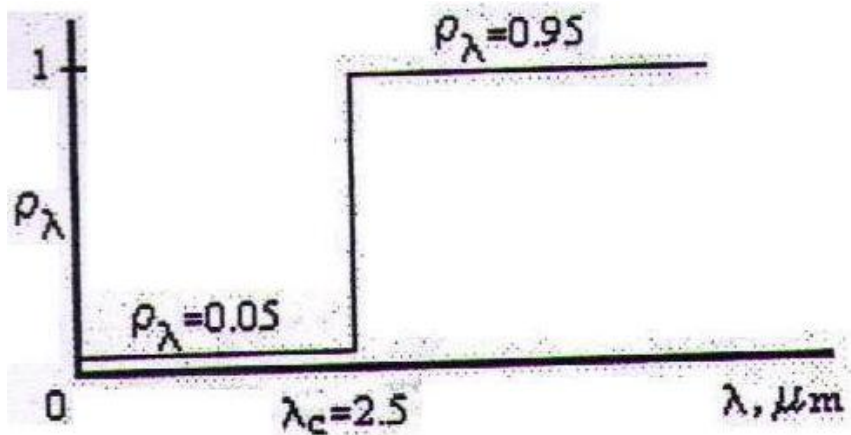


Figura 4.5 Características espectrales de una superficie selectiva ideal.

Dado que sólo las superficies con alta conductividad térmica tienen una emitancia térmica baja, la base para cualquier superficie selectiva de baja emitancia en el infrarrojo debe ser usualmente metálica. Así, un plástico o un vidrio primero se metaliza. Lo anterior conduce a tres tipos fundamentales de superficies selectivas:

- a) Cuando se aplica adicionalmente a la base una película delgada que absorbe la radiación solar y transmite la infrarroja.
- b) Cuando la superficie metálica se convierte químicamente en un compuesto que tenga las propiedades del tipo (a).

c) Cuando la topología de la superficie se ajusta para lograr las propiedades ópticas deseadas. Por ejemplo, una simple superficie lisa con corrugación en forma de V, puede diseñarse para que la radiación solar incidente experimente sólo dos reflexiones antes de salir de la V. Puede demostrarse que este fenómeno incrementa la absorptancia “media” de la superficie del material. A cualquier superficie selectiva se le pueden mejorar sustancialmente sus propiedades con esta técnica. La figura 4.6 ilustra en forma esquemática las múltiples absorciones que se obtienen con varios ángulos de incidencia de la radiación solar cuando las V's tienen un ángulo de 30° .

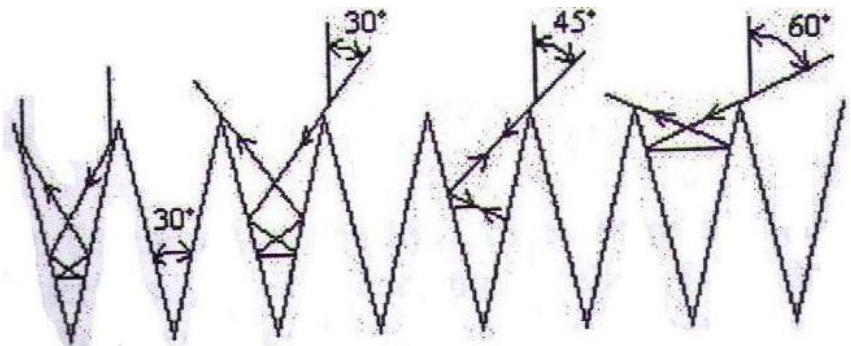


Figura 4.6 Comportamiento de la radiación incidente en una superficie con corrugaciones en V.

La tabla 19 en el apéndice muestra algunos valores de la absorptancia y la emitancia a distintas temperaturas.

4.3.4 Radiación en medios semitransparentes.

En el caso de las superficies opacas, la suma de la absorptancia y la reflectancia debe ser igual a la unidad; pero si la superficie es transparente a la radiación incidente, la suma de la absorptancia, la reflectancia y la transmitancia debe ser igual a la unidad.

La teoría electromagnética permite predecir la reflectancia monocromática en la dirección especular de superficies pulidas que se encuentran física y químicamente limpias. La energía radiante que incide o emana de una superficie puede descomponerse en una componente paralela y en otra perpendicular al plano de incidencia, como se ilustra en la figura 4.7. Así, la reflectancia especular correspondiente a cada componente se define como el cociente de la intensidad monocromática reflejada. La figura 4.8 define los ángulos que se emplearán en el análisis de la reflexión y transmisión de la radiación especular. El ángulo θ_i se conoce como el ángulo de incidencia, mientras que el ángulo θ_r corresponde al ángulo de refracción. Ambos están relacionados entre sí con los

índices de refracción de los dos medios por la ley de Snell. Esto es,

$$\frac{\text{sen}\theta_i}{\text{sen}\theta_r} = \frac{n_r}{n_i} n \quad \text{Ec. 4.8}$$

En donde n_i y n_r son los índices de refracción de cada una de las sustancias que forman la interfase y n es el cociente de ellos. La tabla 20 del apéndice muestra distintos valores del índice de refracción para varias sustancias en el intervalo visible.

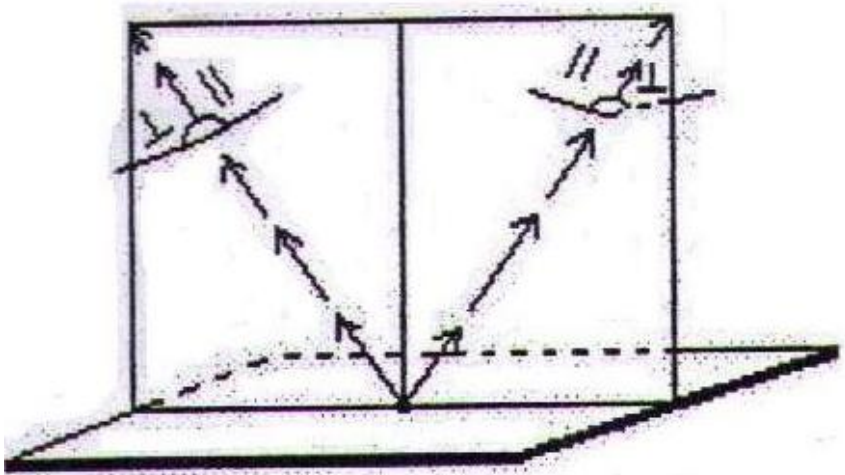


Figura 4.7 Representación de las componentes de polarización para el haz incidente y el haz reflejado.

Los componentes de polarización perpendicular y paralela de la reflectancia especular pueden calcularse, respectivamente por las expresiones

$$\rho_{\perp} = \frac{\text{sen}^2(\theta_i - \theta_r)}{\text{sen}^2(\theta_i + \theta_r)} \quad \text{Ec. 4.9}$$

$$\rho_{\parallel} = \frac{\text{tan}^2(\theta_i - \theta_r)}{\text{tan}^2(\theta_i + \theta_r)} \quad \text{Ec. 4.10}$$

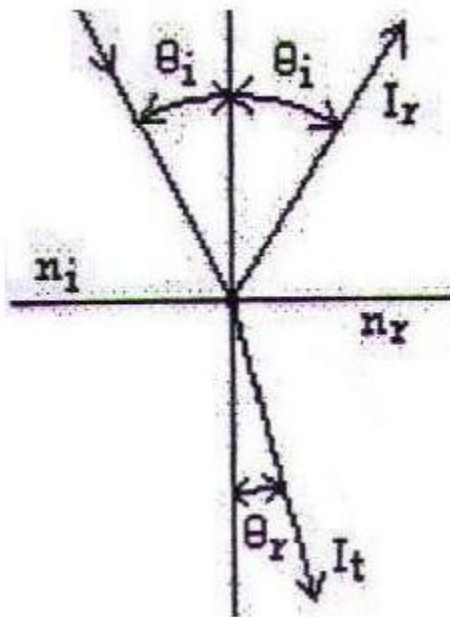


Figura 4.8 Haces de radiación incidente y reflejado en una interfase.

En términos del ángulo de incidencia θ_i solamente, las ecuaciones anteriores quedan

$$\rho_{\perp} = \left[\frac{(n^2 - \text{sen}^2 \theta_i)^{\frac{1}{2}} - \cos \theta_i}{(n^2 - \text{sen}^2 \theta_i)^{\frac{1}{2}} + \cos \theta_i} \right]^2 \quad \text{Ec. 4.11}$$

$$\rho_{\parallel} = \left[\frac{n^2 \cos \theta_i - (n^2 - \text{sen}^2 \theta_i)^{\frac{1}{2}}}{n^2 \cos \theta_i + (n^2 - \text{sen}^2 \theta_i)^{\frac{1}{2}}} \right]^2 \quad \text{Ec. 4.12}$$

Estas expresiones se conocen como las ecuaciones de Fresnel. Para incidencia normal ($\theta_i = 0$).

$$\rho_{\perp} = \rho_{\parallel} = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} \quad \text{Ec. 4.13}$$

y para incidencia de lado ($\theta_i = \pi/2$)

$$\rho_{\perp} = \rho_{\parallel} = 1 \quad \text{Ec. 4.14}$$

Si la radiación incidente está uniformemente polarizada entonces los dos componentes son de igual intensidad. En este caso, la reflectancia especular monocromática es el promedio de ambas.

$$\rho(\theta_i) = \frac{1}{2}(\rho_{\perp} + \rho_{\parallel}) \quad \text{Ec. 4.15}$$

En el caso de la cubierta de un colector se tienen dos interfases. Suponiendo que éstas son con aire por ambos lados y que la absorción es despreciable $(1 - \rho)$ del haz de radiación incidente a la cubierta llega a la segunda interfase. De esta cantidad, $(1 - \rho)^2$ pasa a través de la segunda interfase $(1 - \rho)\rho$ se refleja de regreso hacia la primera como se muestra en la figura. El proceso continúa para cada componente de polarización. Sumando los flujos de radiación que atraviesan la cubierta se obtiene las componentes de polarización de la transmitancia de la cubierta,

$$\begin{aligned} \tau_{r.1} &= (1 - \rho)^2 + (1 - \rho)^2 \rho^2 + (1 - \rho)^2 \rho^4 + \dots \\ &= (1 - \rho)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \rho^{2n} = \frac{(1 - \rho)}{(1 + \rho)} \end{aligned}$$

$$\tau_{r.1} = \frac{(1-\rho)}{(1+\rho)} \quad \text{Ec. 4.16}$$

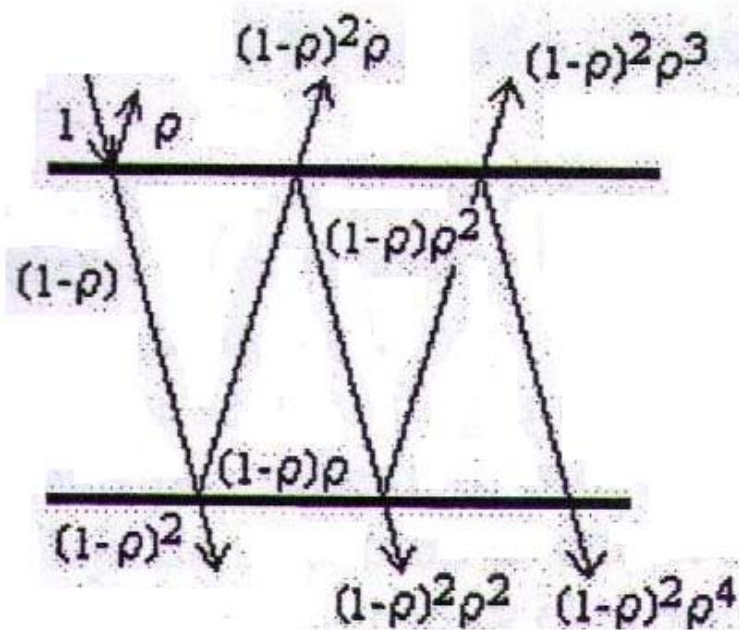


Figura 4.9 Transmisión a través de una cubierta.

Mediante un análisis similar puede demostrarse que para n cubiertas del mismo material,

$$\tau_{r.n} = \frac{1-\rho}{1+(2n-1)\rho} \quad \text{Ec. 4.17}$$

En el análisis anterior se supuso que la absorción en la cubierta es insignificante. Sin embargo, la realidad es que cuando pasa a través de un medio parcialmente transparente, una fracción de la radiación incidente es absorbida. La disminución en intensidad puede describirse suponiendo que la atenuación es proporcional a la intensidad local en el medio. Si $I(x)$ es la intensidad de la radiación después de que ha corrido una distancia x en el medio, la ley de Bouguer indica que

$$-dl(x) = I(x)Kdx$$

En donde K es el coeficiente de extinción, el cual se supone constante. Integrando la expresión anterior entre 0 y L se obtiene que

$$\tau_a = \frac{I_L}{I_0} = e^{-KL} \quad \text{Ec. 4.18}$$

En donde L es la longitud de la trayectoria que sigue la radiación en el medio y τ_a es la transmitancia considerando únicamente absorción.

También se puede emplear la ecuación siguiente,

$$\tau_a = e^{\frac{-32L}{\cos\theta r}} \quad \text{Ec. 4.19}$$

Los efectos de la reflexión y la absorción sobre la transmitancia pueden tomarse en cuenta meramente multiplicando las dos transmitancias τ_r y τ_a .

$$\tau = \tau_r \tau_a \quad \text{Ec. 4.20}$$

4.3.5 Producto transmitancia-absortancia.

Un parámetro sumamente importante en el diseño y evaluación de los colectores solares es el producto ($\tau\alpha$) del conjunto cubierta-placa de absorción. Como se muestra en el esquema de la figura 4.10, una fracción $\tau\alpha$ de la energía incidente sobre la cubierta del colector se absorbe en la placa de absorción, mientras que una fracción $\tau(1-\alpha)$ regresa de nuevo por reflexión, probablemente difusa, hacia la cubierta. Una cantidad $\tau(1-\alpha)\rho_d$ se refleja de nuevo en la cubierta hacia la placa de absorción. En esta última se absorbe una fracción $\tau\alpha(1-\alpha)\rho_d$ y el proceso continúa. Según este razonamiento,

$$\begin{aligned}
 (\tau\alpha) &= \tau\alpha + \tau\alpha(1-\alpha)\rho_d + \tau\alpha(1-\alpha)^2\rho_d^2 + \dots \\
 &= \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d}
 \end{aligned}$$

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d} \quad \text{Ec. 4.21}$$

donde ρ_d es la reflectancia difusa y es,

$$\rho_d = \tau_a - \tau \quad \text{Ec. 4.22}$$

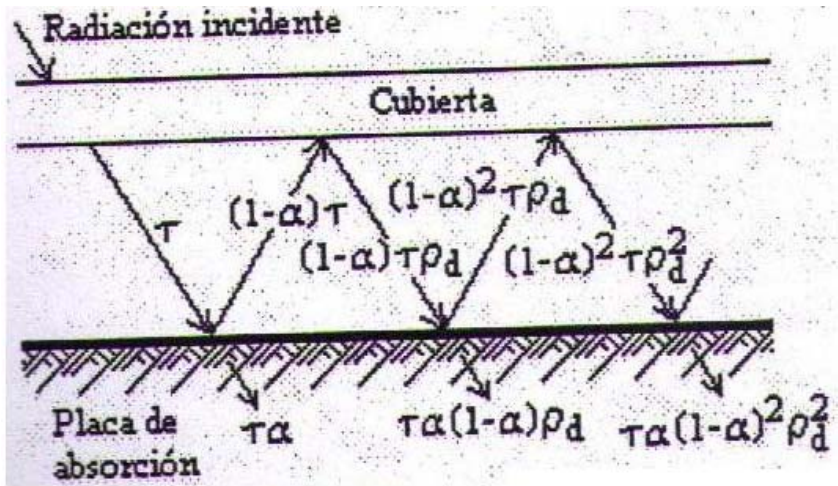


Figura 4.10 Absorción de la radiación solar en un colector.

La reflectancia difusa ρ_d puede estimarse suponiendo condiciones de reflexión especular en la cubierta para un ángulo de incidencia de 60° . Así, para 1, 2, 3 o 4 cubiertas, los valores de ρ_d son aproximadamente 0.16, 0.24, 0.29 y 0.32, respectivamente.

CAPÍTULO V

COLECTORES SOLARES PLANOS.

Un colector solar es una especie de intercambiador de calor que transforma la energía radiante en calor. La transferencia de energía se hace desde una fuente radiante (sol), hacia un fluido (agua o aire generalmente) que circula por los tubos o ductos del colector. El flujo de energía radiante que finalmente intercepta el colector, proviene básicamente del rango visible del espectro solar (longitudes de onda entre 0.35 y 0.75 μm) y es por naturaleza variable con el tiempo. En condiciones óptimas podemos esperar como máximo, flujos de 1100 W/m^2 . De esta forma, un análisis de colectores solares presenta problemas relacionados con radiación y flujos de energía pequeños y variables.

Dentro de los diversos tipos de colectores solares, los colectores solares planos son los más comunes. Estos pueden ser diseñados y utilizados en aplicaciones donde se requiere que la energía sea liberada a bajas temperaturas, debido a que la temperatura de operación de este tipo de colectores, difícilmente pasa los 100 °C.

Las ventajas que podemos obtener de este tipo de colectores con respecto a los colectores de enfoque, que concentran la radiación solar; es que éstos utilizan la energía solar directa y difusa, no requieren movimiento continuo para dar seguimiento al sol, prácticamente no

necesitan mantenimiento y son mecánicamente de construcción más simple que los colectores concentradores. Las principales aplicaciones de estos dispositivos son en el campo del calentamiento de agua a nivel doméstico e industrial, acondicionamiento calorífico de edificios y secado de fruta y granos.

Las partes más importantes de un colector solar plano se presentan en la figura 5.1.

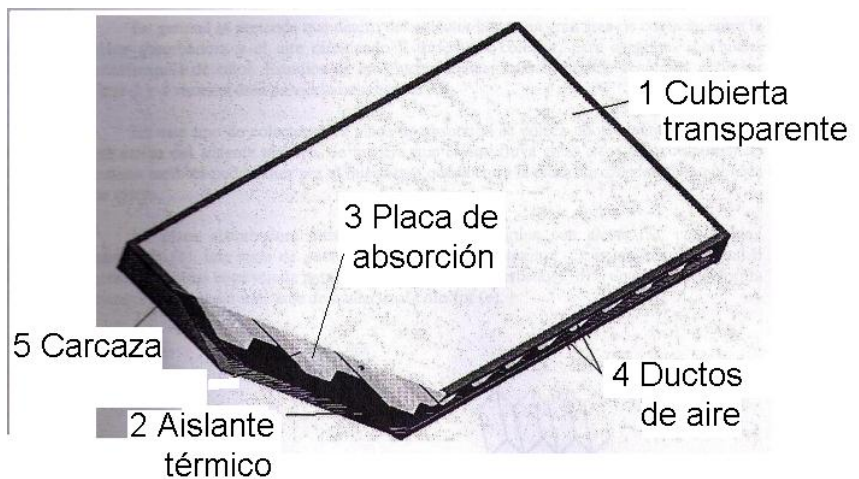


Figura 5.1 Partes de un colector solar plano.

Esta muestra un corte transversal de uno de estos dispositivos que maneja un líquido como fluido de trabajo. En el diagrama se puede observar que la energía solar incidente, tiene que atravesar una o varias capas de vidrio o algún otro material transparente adecuado, antes de

alcanzar la placa de absorción negra que es el elemento más importante del colector solar, al cual está unido el tubo o ducto. En esta placa, es donde la energía radiante es convertida en calor. Este calor, posteriormente es transferido por conducción hacia el fluido de trabajo (agua, aire), que es el que finalmente remueve la energía térmica del colector y la transfiere al tanque de almacenamiento térmico o al espacio o producto que va a ser calentado, según la aplicación que se le esté dando. El vidrio o su equivalente, además de permitir la entrada de la radiación solar hasta la placa de absorción, sirve también para minimizar las pérdidas de calor por radiación y convección hacia el medio ambiente por la parte superior del colector.

El aislante térmico (espuma de poliuretano, poliestireno, lana de fibra de vidrio o algún otro) colocado en la parte posterior y lados del colector, disminuye también las pérdidas de calor hacia el medio ambiente en esas partes. Todas las partes mencionadas se encuentran dentro de una caja que sirve como parte estructural del colector y que puede ser hecha de diversos materiales como lámina metálica, madera o plástico.

El diseño de cada colector depende fundamentalmente de la aplicación específica a la cual vaya a destinarse. Este debe ser diferente si por ejemplo se trata de calentar agua

para una alberca (22 - 30 °C), agua para uso doméstico (40 - 60 °C) o aire para el acondicionamiento calorífico de edificios (90 - 100 °C).

Algunos de los parámetros más importantes que se tienen que tomar en cuenta para su diseño y funcionamiento, son los siguientes: tipo de tubo o ducto, diámetro nominal, longitud, número de tubos y espaciamiento entre ellos; material, espesor y acabado de la placa de absorción o aleta; número y tipo de capas o cubiertas transparentes; tipo de aislante y espesor; tipo de fluido de trabajo y flujo de masa del mismo; inclinación y orientación del colector; condiciones ambientales como velocidad del viento y temperatura del aire y, por supuesto, la intensidad de la radiación solar.

5.1 Tipos de colectores solares planos.

Los colectores solares planos pueden ser divididos en dos categorías básicas: los que utilizan como fluido de trabajo un líquido (agua) y los que utilizan un gas (aire). En general los que calientan aire manejan flujos mucho más grandes que los que calientan agua. También podemos decir que cuando se trabaja con un líquido, este fluye normalmente por un tubo adherido a la placa absorbadora o aleta; mientras que cuando se utiliza un gas, este fluye

por un ducto que forma parte de la placa de absorción y que además puede tener muy diversas formas.

5.1.2. Placas absorbedoras para calentamiento de gases.

Existe un gran número de configuraciones de placas de absorción para el calentamiento de gases. En la figura 5.2, se muestra una serie de este tipo de placas absorbedoras.

En general se pretende que dentro del colector haya una gran área de contacto entre la placa absorbedora y el aire circulando a través del colector, para asegurar una buena transferencia de calor. Estudios de laboratorio indican que el área de absorción debe ser entre 2 y 4 veces el área de vidrio expuesto al sol.

En este tipo de colectores, la placa de absorción se coloca unos cuantos centímetros por arriba del aislante térmico, de manera que el aire fluya entre estos dos componentes, aunque también podría fluir por el hueco que queda entre la placa absorbedora y la cubierta de vidrio.

La placa absorbedora puede ser una simple lámina con aletas (a), una lámina

corrugada (b), una serie de ductos grandes hechos de lámina (c), un relleno de metal o mallas de forma entreverada para formar una matriz absorbedora (d) o una lámina en forma triangulada para dar más área de contacto al colector (e).

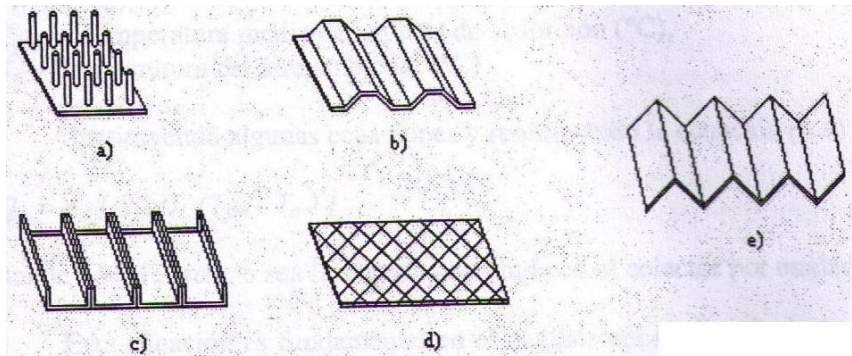


Figura 5.2 Diferentes tipos de placas de absorción para colectores solares planos que utilizan gas o aire como fluido de trabajo.

5.2 Balance de energía en un colector solar plano.

En estado estable, el funcionamiento de un colector solar plano se puede describir mediante un balance de energía. Este se puede representar de manera sencilla mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{abs} = Q_u + Q_{(pérdidas)} + \frac{du}{dt} \quad \text{Ec. 5.1}$$

donde Q_{abs} es el calor total incidente absorbido por unidad de tiempo en el colector (W), Q_u el calor útil que finalmente se transfiere al fluido de trabajo (W), $Q_{\text{(pérdidas)}}$ las pérdidas de calor hacia los alrededores por radiación, convección y conducción (W) y du/dt la rapidez de el cambio de energía interna almacenada en el colector (W). El valor del último término es muy pequeño y generalmente despreciable.

Haciendo un desglose más detallado de los términos de la ecuación anterior, encontramos que cada uno de ellos puede ser representado por otra ecuación. Así,

$$Q_{\text{abs}} = H_T A_C (\tau\alpha) \quad \text{Ec. 5.2}$$

H_T - Energía solar incidente (W/m^2)

A_C - Área efectiva del colector (m^2)

$\tau\alpha$ - El producto de la transmitancia del vidrio y la absorptancia de la placa colectora que representa la fracción de la radiación solar que es absorbida por el colector

$$Q_u = mC_p \frac{dT}{dt} \quad \text{Ec. 5.3}$$

mC_p - la capacidad calorífica del fluido de trabajo ($\text{J}/^\circ\text{C}$)

dT/dt - la rapidez de cambio de temperatura con respecto al tiempo ($^{\circ}\text{C/s}$)

$$Q_{(\text{Pérdidas})} = U_L A_C (T_{pm} - T_a) \quad \text{Ec. 5.4}$$

U_L - Coeficiente global de pérdidas de calor por radiación, convección y conducción

($\text{W/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$),

T_{pm} - Temperatura media de la placa de absorción ($^{\circ}\text{C}$),

T_a - Temperatura del aire ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

Sustituyendo algunas ecuaciones y reordenando la ecuación (4.1) tenemos que:

$$Q_u = A_C [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad \text{Ec.5.5}$$

donde $S = H_T(T_a)$, o sea la energía absorbida en el colector por unidad de área.

Esta ecuación es fundamental en el análisis del funcionamiento de un colector solar. El único problema es que el calor útil queda como función de la T_{pm} que es difícil de calcular o medir, debido a que ésta es función del diseño del colector y de variables que cambian continuamente con el tiempo como la radiación solar incidente y la temperatura del fluido de trabajo al entrar al colector. Debido a esto, parte de este capítulo se destina a

modificar la ecuación para que quede en términos de variables que si puedan ser calculadas o medidas más fácilmente.

Por otro lado, tenemos que la forma de medir el funcionamiento del colector es mediante la eficiencia de colección (η_c). Esta se define como la relación entre el calor útil y la energía solar incidente sobre el colector en un mismo período de tiempo. Analíticamente se representa,

$$\eta_c = \frac{Q_u}{H_T A_C} \quad \text{Ec. 5.6}$$

De la ecuación anterior, vemos que se hace necesario conocer el calor útil para poder calcular la eficiencia del colector. Si se quiere conocer Q_u por medio de la ecuación 5.5, primero se tienen que conocer las pérdidas de calor, que son función del coeficiente total de pérdidas de calor, U_L . Conociendo alguno de estos dos términos, Q_u o $Q_{\text{pérdidas}}$, podemos resolver la ecuación del balance de energía, dado que el calor absorbido lo podremos obtener por medición experimental y conociendo las características ópticas ($\tau\alpha$) de los materiales utilizados en la construcción del colector. A continuación se analiza cómo podemos evaluar alguna de las variables mencionadas para poder conocer el funcionamiento del colector.

5.3 Coeficiente total de pérdidas de calor.

Aunque aparentemente la ecuación 4.4, que representa las pérdidas de calor, es sencilla; la evaluación numérica del coeficiente total de pérdidas de calor (U_L) requiere de un análisis detallado. Debido a que es indispensable conocer el valor de U_L para poder evaluar el calor útil o las pérdidas de calor, a continuación se presenta un modelo matemático de cómo obtenerlo. El modelo toma en cuenta cómo contribuyen las distintas pérdidas de calor al coeficiente total, dando la oportunidad de analizar cada una por separado, y además hace los siguientes supuestos:

1. El colector opera en estado estable.
2. Los cabezales proveen un flujo uniforme por los tubos.
3. La absorción de la energía solar en las cubiertas es despreciable.
4. El flujo de calor a través de las cubiertas y el fondo del colector es unidimensional.
5. Las cubiertas son opacas a la radiación infrarroja.
6. La irradiación sobre la superficie del colector es uniforme.

7. El firmamento se comporta como un cuerpo negro que emite radiación infrarroja a una temperatura equivalente.

El proceso para calcular U_L se basa en un circuito térmico de un colector solar como el que se presenta en la figura 5.3.a y 5.3.b, que en este caso utiliza dos cubiertas de vidrio, c_1 y c_2 . Este nos muestra que, de la energía absorbida en el colector (S) a través de la placa absorbidora (p), que se encuentra a la temperatura T_p ; parte se convierte en calor útil (Q_u) y parte tiende a disiparse hacia los alrededores que se encuentran a la temperatura ambiente T_a , a través de las cubiertas de vidrio que se encuentran respectivamente a las temperaturas T_{c1} y T_{c2} . Esto también ocurre a través del fondo y lados del colector que se encuentran a una temperatura T_b . La cantidad de energía disipada depende de las diversas resistencias que vienen esquematizadas en el diagrama y que en este caso son 5.

De la figura 5.3.a, se puede observar que las resistencias $R1$, $R2$, $R3$ y $R5$, son a la vez resistencias equivalentes que representan la oposición a las pérdidas de calor por convección ($1/h$) y radiación ($1/h_r$) a través del aislante térmico por la parte posterior y lados del colector. La $R5$ es usualmente muy pequeña y por lo tanto despreciable. La

idea es tratar de obtener una resistencia equivalente (R_{eq}) como la que representa la figura 5.3.b. Esta resistencia es igual al inverso del coeficiente total de pérdidas de calor, $R_{eq} = 1/U_L$.

Podemos decir entonces que, que U_L es la suma de varios coeficientes de pérdidas de calor que se pueden expresar también como el inverso de sus resistencias, así:

$$U_{lados} + U_{fondo} + U_t = U_L \quad \text{Ec. 5.7}$$

donde U_t es el coeficiente total de transferencia de calor para la parte superior del colector, y es igual al inverso de la suma de las primeras tres resistencias,

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad \text{Ec. 5.8}$$

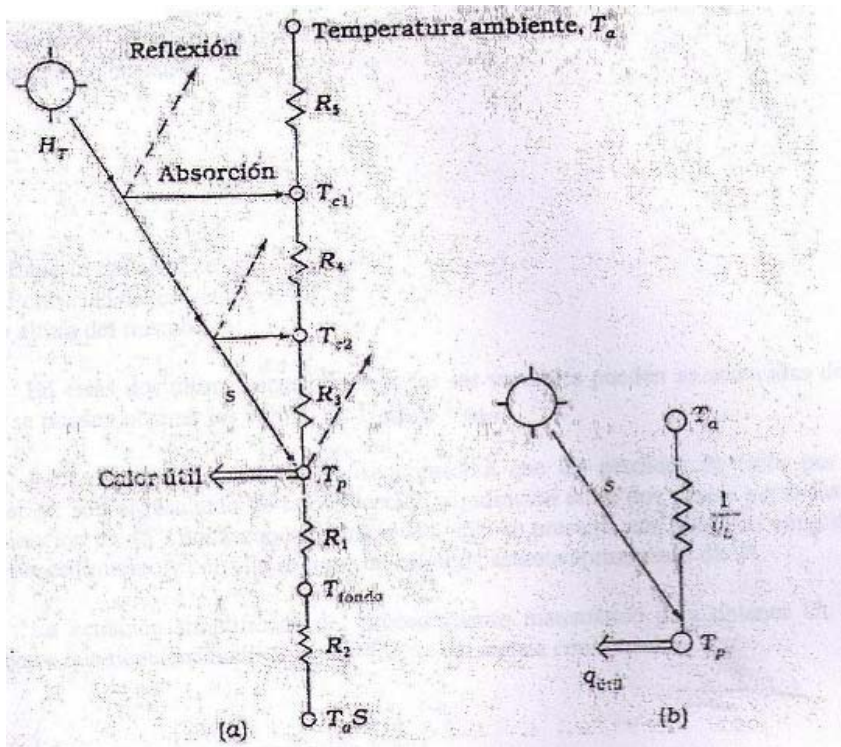


Figura 5.3 Circuito térmico para un colector plano con dos cubiertas. a) En términos de resistencias por conducción, convección y radiación. b) En términos de resistencias por placas.

y U_{fondo} y U_{lados} , son los coeficientes de pérdida de calor por conducción por el fondo y lados respectivamente que tienen que ver con R_4 . Además, estos coeficientes también tienen relación con las dimensiones del colector y el tipo y grosor del aislante utilizado de manera que podemos escribir las siguientes relaciones:

$$(U_{fondo} + U_{lados}) = \frac{1}{R_4} \quad \text{Ec. 5.9}$$

donde,

$$R_4 = \frac{1}{k_a}$$

$$U_{fondo} = \frac{1}{\frac{l}{k_a} + \frac{1}{h_{\infty}}} \quad \text{Ec. 5.10}$$

k_a = conductividad térmica del aislante

l = espesor del aislante

$$U_{lados} = \frac{1}{\frac{l}{k_a} + \frac{1}{h_{\infty}}} \quad \text{Ec. 5.11}$$

En estas dos últimas ecuaciones, todas las variables pueden ser conocidas de manera que se pueden obtener los valores de U_{fondo} y U_{lados} .

Para calcular el valor de U_t , se considera que las pérdidas de calor por la parte superior, son el resultado de la convección y radiación entre dos placas paralelas con una inclinación de 45° . Por razones de brevedad, solo se presenta una ecuación simplificada de ese procedimiento y con ella se tiene un cálculo bastante aproximado de U_t .

La ecuación simplificada del procedimiento matemático para obtener U_t para un colector que tiene una inclinación de 45° , se presenta a continuación:

$$U_t = \left(\frac{N}{\frac{\left(\frac{344}{T_p}\right)(T_p - T_a)}{(N+f)^{0.31}} + \frac{1}{h_w}} \right)^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\varepsilon_\rho + 0.0425N(1 - \varepsilon_\rho)} + \frac{2N + f - 1}{\varepsilon_c} - N} \quad \text{Ec. 5.12}$$

donde:

$$f = (1 - 0.04h_w + 0.0005h_w^2)(1 + 0.058N)$$

y h_w que es el coeficiente de transferencia de calor por convección debido al aire soplando sobre la cubierta de vidrio.

Los demás parámetros en estas ecuaciones son los siguientes: N que es igual al número de cubiertas de vidrio, ε_ρ la emitancia infrarroja de la placa, ε_c la emitancia infrarroja de la cubierta interior y σ la constante de radiación de Stefan-Boltzmann ($5.6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{-K}^4$).

Para calcular el valor de U_t a cualquier ángulo s , se utiliza la ecuación:

$$\frac{U_t}{U_{t,45^\circ}} = 1 - (s - 45)(0.00259 - 0.00144\epsilon_\rho) \quad \text{Ec. 5.14}$$

CAPÍTULO VI

DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR PLANO PARA UN SECADOR SOLAR.

6.1 Planteamiento del problema.

Se requiere aumentar la eficiencia de un secador solar tipo invernadero para poder secar eficientemente todo tipo de granos en la zona del Totonakapan, sierra nororiental de Puebla, donde la humedad del medio ambiente es muy elevada.

El secador es muy eficiente cuando hay irradiación solar, pero ineficiente si hay alta nubosidad o de noche, por lo que se requiere de un captador de mayor irradiación y un sistema acumulador de la energía solar captada para utilizarla cuando no haya irradiación.

La solución que aquí se propone es solamente la de anexarle un colector solar plano de 2 m de ancho para aumentar la irradiación.

6.2 Diseño del secador.

Las condiciones promedio en el Tenexate, municipio de Hueytamalco, Puebla durante agosto son:

Temperatura mínima: $T_{\min} = 17^{\circ}\text{C}$

Temperatura máxima: $T_{\max} = 37^{\circ}\text{C}$

Temperatura promedio: $T_m = 37^{\circ}\text{C}$

Irradiación promedio: $H_{Tm} = 17820.66 \text{ kJ-día/m}^2$

Latitud: $\varphi = 20.15^\circ$

Ángulo horario al amanecer: $\omega_s = 95.26^\circ$

6.2.1 Materiales a emplear y sus propiedades.

Policarbonato:

Conductividad térmica: $K_{pol} = 0.13 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Espesor: $l_{pol} = 0.004 \text{ m}$

Emitancia: $\epsilon_{pol} = 0.8$

Índice de refracción: $n = 1.59$

Absorbedor de aluminio con capa de pintura negro mate:

Absortancia: $\alpha_{abs} = 0.98$

Emitancia: $\epsilon_{abs} = 0.9$

Recubrimientos de aluminio:

Conductividad térmica: $K_{al} = 210 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Espesor: $l_{al} = 2 \times 0.0005 \text{ m} = 0.001 \text{ m}$

Alma de plástico:

Conductividad térmica: $K_{plas} = 0.13 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Espesor: $l_{plas} = 0.002 \text{ m}$

Lana mineral:

Conductividad térmica: $K_{lan} = 0.038 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Espesor: $l_{lan} = 0.0285 \text{ m}$ para la parte del fondo y $l_{lan} = 0.0439 \text{ m}$ para los lados

Lámina galvanizada:

Conductividad térmica: $K_{galv} = 80 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Espesor: $l_{galv} = 0.0012 \text{ m}$

6.2.2 Condiciones de operación.

El colector solar plano debe ser capaz de quitar la humedad del ambiente proporcionando un calor útil suficiente para secar aproximadamente 20 kg de grano con una temperatura $t_f = 80 \text{ }^\circ\text{C}$.

Con la irradiación en Hueytamalco, 6 kg de café por metro cuadrado se secan en 10 días. Por tanto la energía necesaria que se emplea para deshumidificar 20 kg de grano de café sería de:

$$E_u = (10 \text{ días}) \left(\frac{20 \text{ kg}}{6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}} \right) H_{Tm} =$$
$$(10 \text{ días}) \left(\frac{20 \text{ kg}}{6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}} \right) \left(17820.66 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\text{-día}} \right) = 594022 \text{ kJ}$$

Si se pretende secar más rápido, por ejemplo en 5 días, el calor útil que se requiere es:

$$Q_u = \frac{594022kJ}{5días} \left(\frac{1día}{24 \times 3600seg} \right) \approx 1.4 kW$$

6.2.3 Cálculo de las propiedades ópticas del colector.

Calculando la altura solar en Hueytamalco ($\phi = 20.15^\circ$) el 15 de agosto (N=227) al mediodía solar ($\omega = 0^\circ$). De la tabla 2 obtenemos $\delta = 13.49$.

$$\beta = \sin^{-1}(\cos 13.49^\circ \cos 20.15^\circ \cos 0^\circ + \sin 13.49^\circ \sin 20.15^\circ) = 83.27$$

Calculando el ángulo de acimut con los datos obtenidos.

$$\gamma = \cos^{-1} \left[\frac{1}{\cos 83.27} (\cos 20.15^\circ \sin 13.49^\circ - \sin 20.15^\circ \cos 0^\circ \cos 13.49^\circ) \right] \approx 180^\circ$$

Calculando ángulo de incidencia utilizando la ecuación 2.14 y con $\Phi = 70^\circ$, con los valores anteriores.

$$\theta_i = \cos^{-1}[\sin 83.27^\circ \sin 70^\circ - \cos 83.27^\circ \cos 180^\circ \cos 70^\circ] = 13.27^\circ$$

Calculando ángulo de refracción θ_r con la ecuación 4.8 y de la tabla 20 $n = 1.59$ (policarbonato).

$$\theta_r = \text{sen}^{-1} \left[\frac{\text{sen } 13.27^\circ}{1.59} \right] = 8.30^\circ$$

Utilizando las ecuaciones 4.9 y 4.10 para calcular las componentes de polarización de la reflectancia, se obtiene.

$$\rho_{\perp} = \frac{\text{sen}^2(13.27^\circ - 8.30^\circ)}{\text{sen}^2(13.27^\circ + 8.30^\circ)} = 0.0555$$

$$\rho_{\parallel} = \frac{\text{tan}^2(13.27^\circ - 8.30^\circ)}{\text{tan}^2(13.27^\circ + 8.30^\circ)} = 0.048$$

De la ecuación 4.16 las componentes de polarización de la transmitancia son.

$$\tau_{\perp} = \frac{(1 - 0.0555)}{(1 + 0.0555)} = 0.8948$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{(1 - 0.048)}{(1 + 0.048)} = 0.9083$$

Sacando el promedio.

$$\tau_m = \frac{(0.8948 + 0.9083)}{2} = 0.9016$$

Empleando la ecuación 4.19 para calcular la fracción absorbida por la cubierta. El ancho de la cubierta es de 4 mm.

$$\tau_a = e^{\frac{32(0.004)}{\cos 8.30^\circ}} = 0.8785$$

De acuerdo con la ecuación 4.20, la transmitancia total es

$$\tau = (0.8785)(0.9016) = 0.7921$$

Calculando la reflectancia difusa con la ecuación 4.22.

$$\rho_d = 0.8785 - 0.7921 = 0.0864$$

Obteniendo el producto transmitancia-absortancia para el conjunto cubierta- absorbedor con la ecuación 4.21.

$$(\tau\alpha) = \frac{(0.7921)(0.98)}{1-0.0864(1-0.98)} = 0.7776$$

6.2.4 Cálculo de las dimensiones del colector.

Calculando las pérdidas globales en los 2 lados del colector, de la ecuación 5.11.

$$U_{lados} = \frac{2}{\frac{0.001}{210} + \frac{0.002}{0.13} + \frac{0.0439}{0.038} + \frac{0.0012}{80} + \frac{1}{10}} = 1.57 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Calculando las pérdidas globales en la parte baja del colector con la ecuación 5.10.

$$U_{fondo} = \frac{1}{\frac{0.001}{210} + \frac{0.002}{0.13} + \frac{0.0285}{0.038} + \frac{0.0012}{80} + \frac{1}{10}} = 1.16 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Calculando las pérdidas en la parte superior del colector. Para la temperatura inicial T_1 tomaremos la temperatura máxima en Ayotxco $T_{max} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$, para la temperatura final T_f tomaremos la que debe alcanzar el colector, es decir, $t_f = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ y se considerará $h_\infty = 10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$.

De la ecuación 5.12

$$f = (1 + 0.089h_\infty - 0.1166 h_\infty \varepsilon_{pol})(1 + 0.07866N)$$

$$f = (1 + 0.089 \cdot 10 - 0.1166 \cdot 10 \cdot 0.9)(1 + 0.07866 \cdot 1) = 0.9067$$

$$U_t = \left(\frac{1}{\left(\frac{344}{353} \right)^{353-310} (1+0.9067)^{0.31}} + \frac{1}{10} \right)^{-1} + \frac{5.67 \cdot 10^{-8} (353+310)(353^2+310^2)}{\frac{1}{0.8+0.0425 \cdot 1(1-0.8)} + \frac{2 \cdot 1 + 0.9067 - 1}{0.9} - 1} =$$

$$12.33 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Calculando las pérdidas totales

$$U_L = 1.57 + 1.16 + 12.33 = 15.06 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Calculando la irradiación H_0 en Ayotoxco por día integrando la ecuación 1.3.

$$H_0 = \frac{24 \cdot 3600 \cdot I_0}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \frac{360N}{365.242} \right] \left[\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin \varphi \sin \delta \right]$$

Calculando ω_s ($\beta = 0^\circ$) de la ecuación 2.8 y con los valores obtenidos.

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan 13.49^\circ \tan 20.15^\circ) = 95.05^\circ$$

$$H_0 = \frac{24 \cdot 3600 \cdot 1353}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \frac{360 \cdot 1}{365.242} \right] \left[\cos 20.15^\circ \cos 13.49^\circ \sin 95.05^\circ + \frac{2\pi \cdot 95.05^\circ}{360} \sin 20.15^\circ \sin 13.49^\circ \right] = 40077.66 \frac{kJ}{m^2 \cdot \text{día}}$$

Calculando el coeficiente K_T con la ecuación 1.4.

$$K_T = \frac{17820.66}{40077.66} = 0.44$$

Calculando la irradiancia I_T en Ayotoxco.

$$I_T = K_T I_0$$

$$I_T = 0.44 \cdot 1353 = 595.32 \frac{W}{m^2}$$

Despejando y calculando el área del colector, de la ecuación 5.5.

$$A_C = \frac{Q_u}{I_T(\tau\alpha) - U_L(T_f - T_0)}$$

$$A_C = \frac{1400}{595.32(0.7776) - 15.06(80 - 37)} = -7.58 m^2$$

Considerando la máxima irradiancia $I_T \approx 1000 \text{ W/m}^2$.

$$A_C = \frac{1400}{1000(0.7776) - 15.06(80 - 37)} = 10.98 m^2$$

El área promedio sería de 1.7 m^2 .

La propuesta es de un colector de $1.22 \text{ m} \times 2 \text{ m}$. de área con un absorbedor acanalado con los lados a 45° para mayor eficiencia, ello nos da un área de 2.44 m^2 en la parte baja, más la de los lados que es aproximadamente de 2 veces $0.11 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, es decir 0.44 m^2 , lo cual da un total de 2.88 m^2 .

Calculando la eficiencia teórica promedio del colector para la irradiancia máxima y la irradiancia promedio con la ecuación 5.6.

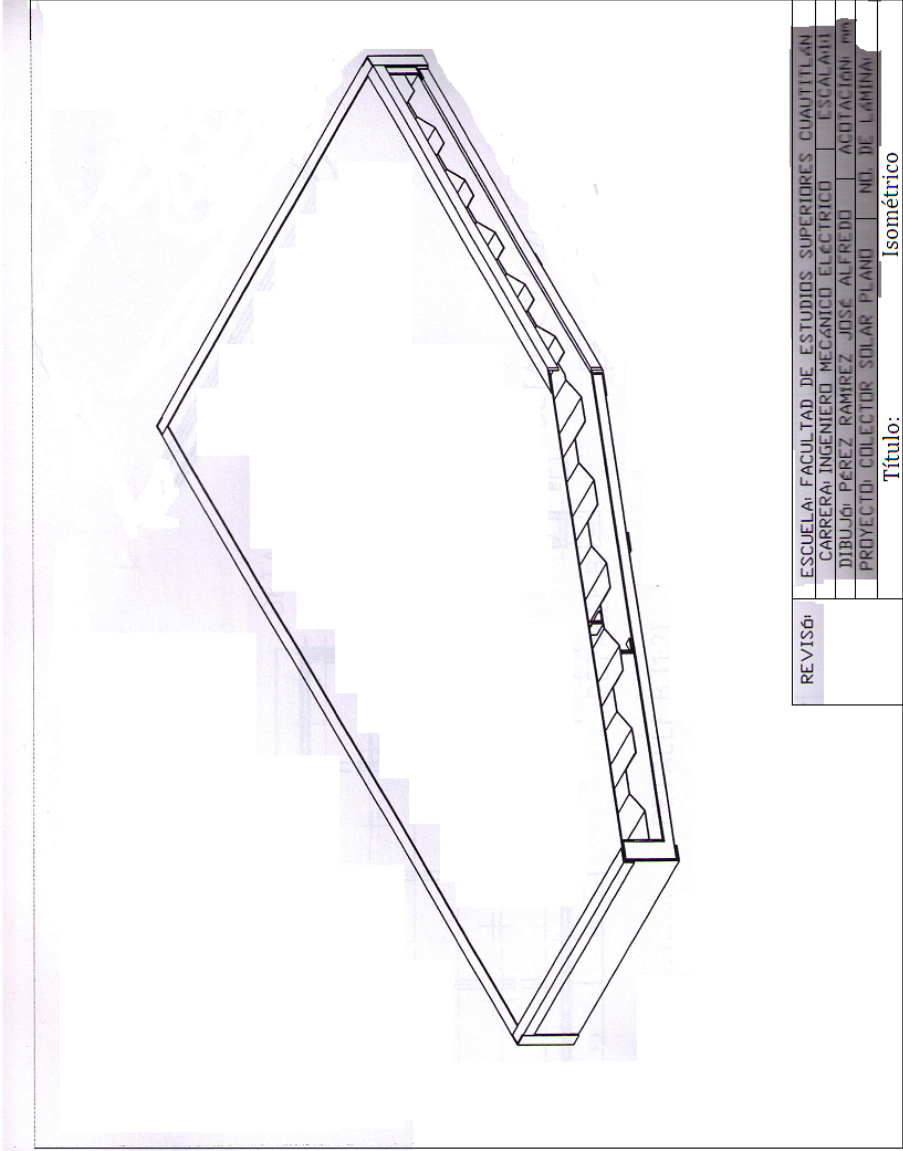
$$\eta_c = \frac{1400}{1000 \cdot 2.88} = 0.4861$$

$$\eta_c = \frac{1400}{595.32 \cdot 2.88} = 0.8166$$

Entonces el rendimiento promedio del colector es teóricamente del 81.7 % y el rendimiento cuando la irradiancia es máxima es de 48.6 %.

CAPÍTULO VII

PLANOS DEL COLECTOR SOLAR PLANO.

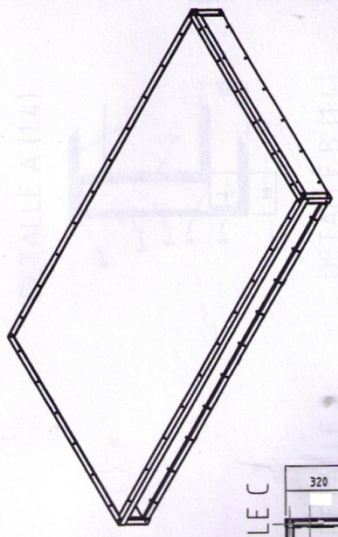


REVISOR:

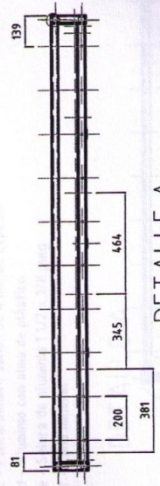
| | |
|---|-----------------|
| ESCUELA: FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN | ESCALA: 1:1 |
| CARRERA: INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO | ACOTACION: mm |
| DIBUJÓ: PÉREZ RAMÍREZ JOSÉ ALFREDO | NÚM. DE LÁMINA: |
| PROYECTO: COLECTOR SOLAR PLANO | |

Título: Isométrico

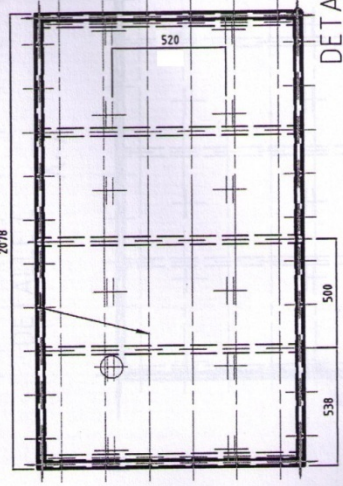
1.- Angulo de aluminio 133x a 133x a 133x a 133x
 2.- Aluminio perfilado de tipo de espesor
 3.- Aluminio perfilado de tipo de espesor
 4.- Aluminio perfilado de tipo de espesor



DETALLE D

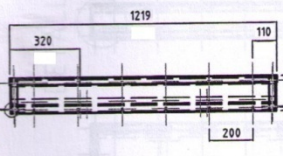


DETALLE A



DETALLE A (1:4)

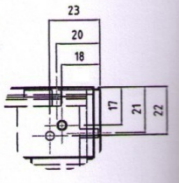
DETALLE C



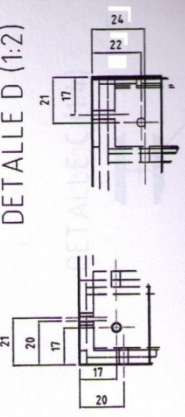
DETALLE C (1:2)

DETALLE B

DETALLE B (1:2)



DETALLE D (1:2)



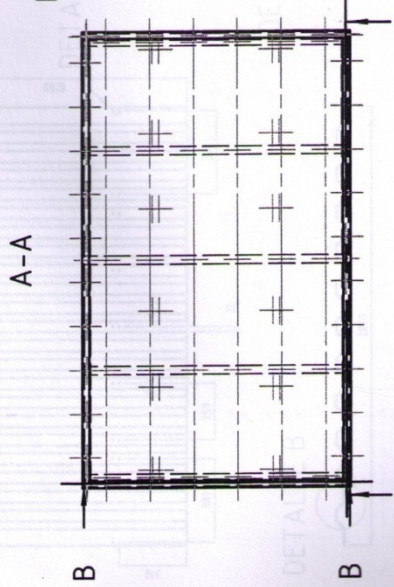
REVISÓ: _____
 ESCUELA: FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUANTITATIVAS
 CARRERA: INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO ESCALA: 1:1
 DIBUJÓ: PÉREZ RAMÍREZ JOSÉ ALFREDO ACOTACIÓN: mm
 PROYECTO: COLECTOR SOLAR PLANO NO. DE LÁMINA: 2.ª
 TÍTULO: CUERPO DEL COLECTOR

- a - Ángulo de aluminio 1 1/4 x 1 1/4 x 1/8 pulg
- b - Lámina galvanizada de 1 mm de espesor
- c - Policarbonato sólido de 4 mm de espesor
- d - Aluminio con alma de plástico
- e - Solera de aluminio 1 1/2 x 1/8 pulg
- f - Lana mineral

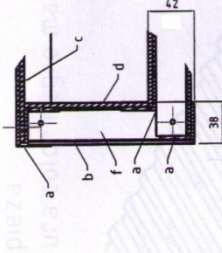
DETALLE A



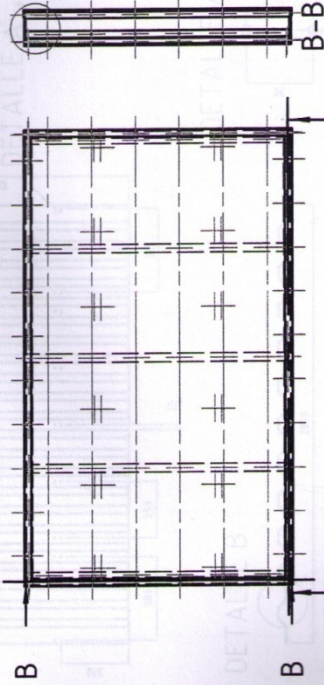
DETALLE C



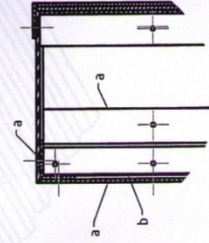
DETALLE A (1:4)



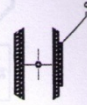
DETALLE B



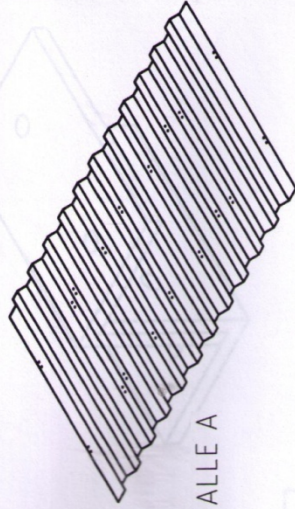
DETALLE B (1:4)



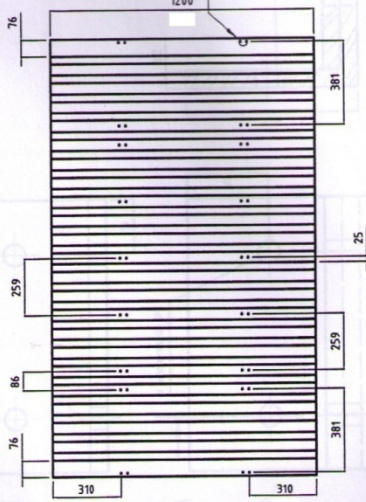
DETALLE C (1:4)



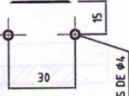
1 pieza
Aluminio con pintura color negro mate



DETALLE A



DETALLE A (1:2)

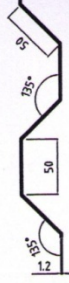


36 BARRIDOS DE $\phi 4$

DETALLE B



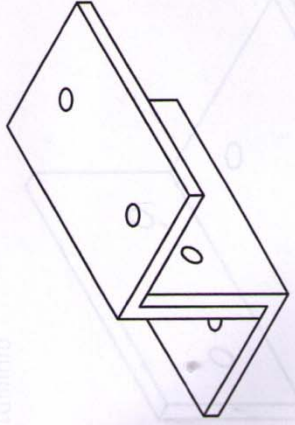
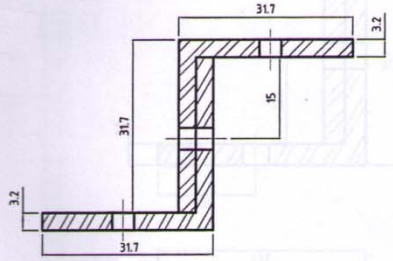
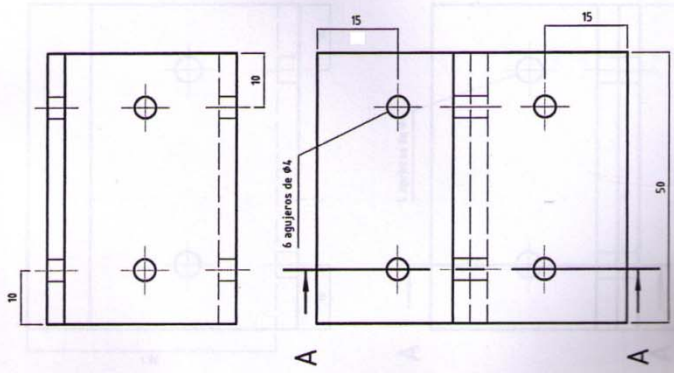
DETALLE B (1:4)



SECCION A-A

| | |
|---------|---|
| REVISÓ: | ESCUOLA: FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN |
| | CARRERA: INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO ESCALA: 1:1 |
| | DIBUJÓ: PÉREZ RAMÍREZ JOSÉ ALFREDO ACOTACIÓN: mm |
| | PROYECTO: COLECTOR SOLAR PLANO NO. DE LÁMINA: 3 |
| | TÍTULO: ABSORBEDOR |

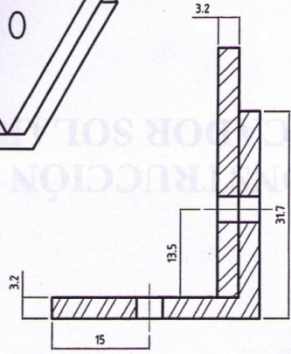
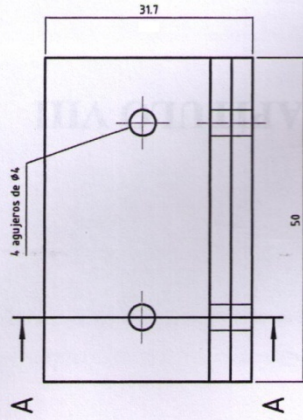
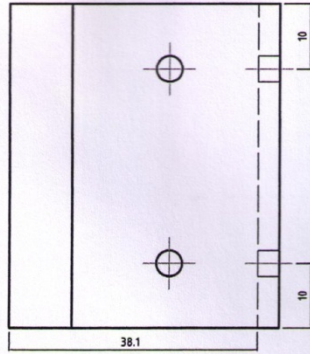
12 piezas
Aluminio



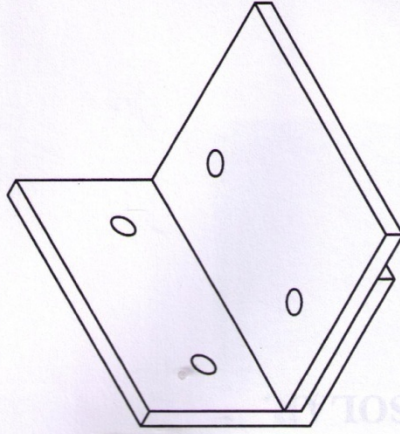
SECCIÓN A-A

| | |
|-----------|---|
| REVISIÓN: | ESQUEMA: FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN |
| | CARRERA: INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO ESCALA: 1:1 |
| | DIBUJANTE: PÉREZ RAMÍREZ JOSÉ ALFREDO ACOTACIÓN: mm |
| | PROYECTO: COLECTOR SOLAR PLANO HO. DE LÁMINA: 4 |
| | Título: Soporte para el absorbedor |

8 piezas
Aluminio



SECCIÓN A-A

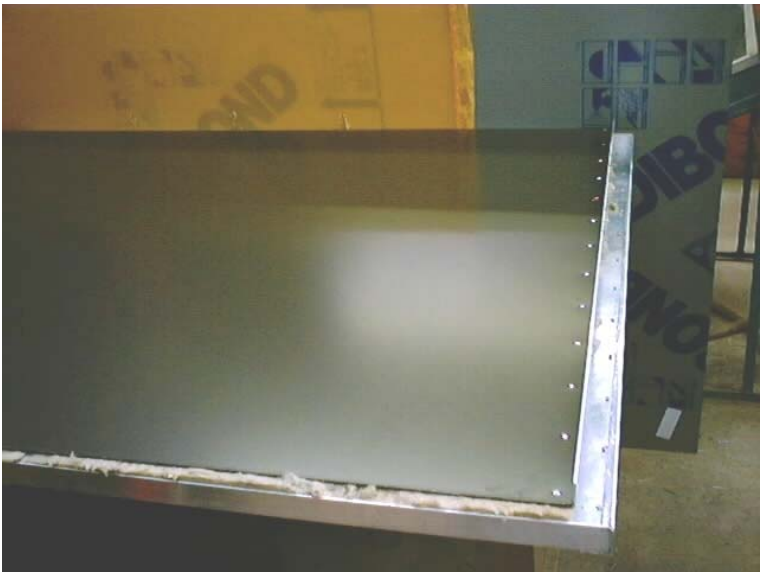


| | |
|-----------|---|
| REVISIÓN: | ESUELA - FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN |
| | CARRERA: INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO ESCALA: 1:1 |
| | DIBUJÓ: PÉREZ RAMÍREZ JOSÉ ALFREDO ACOTACIÓN: mm |
| | PROYECTO: COLECTOR SOLAR PLANO NO DE LÁMINA - 5 |
| | TÍTULO: SOPORTE PARA LA CUBIERTA SUPERIOR |

CAPÍTULO VIII

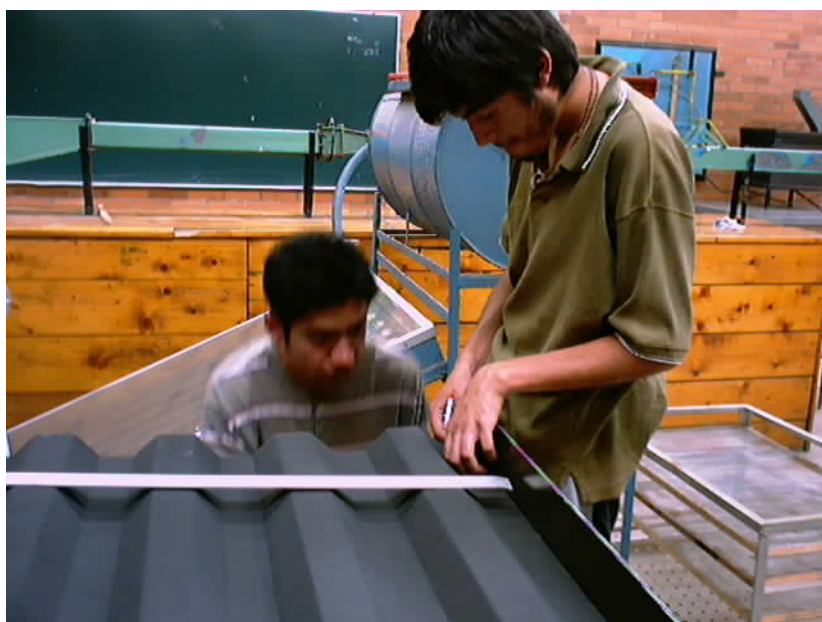
CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR SOLAR.

8.1 Construcción del secador solar.



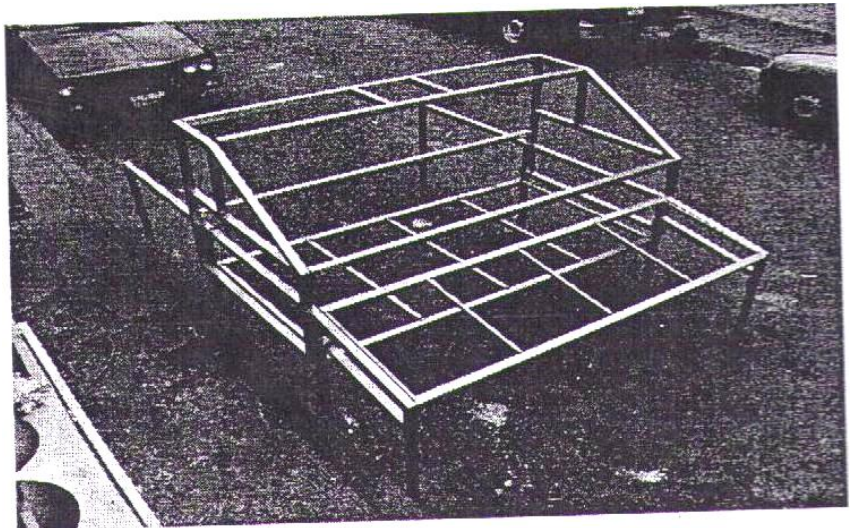
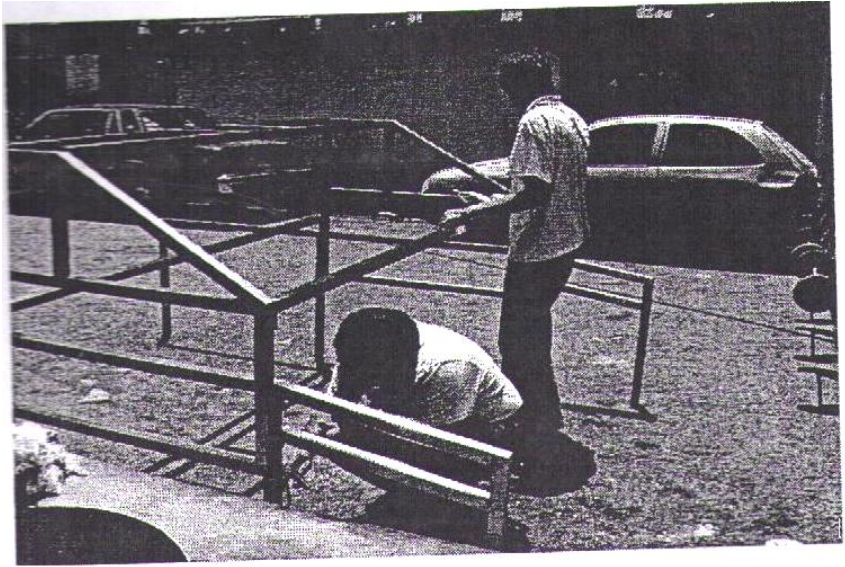




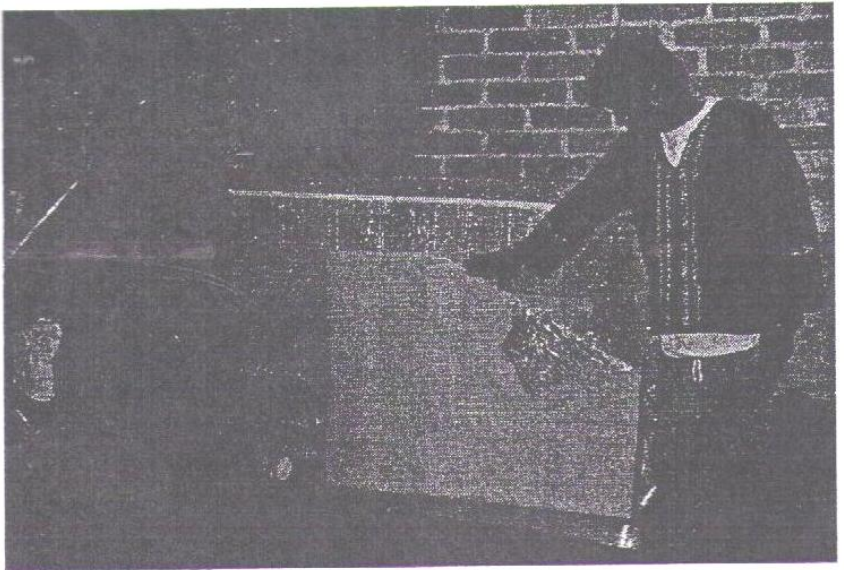
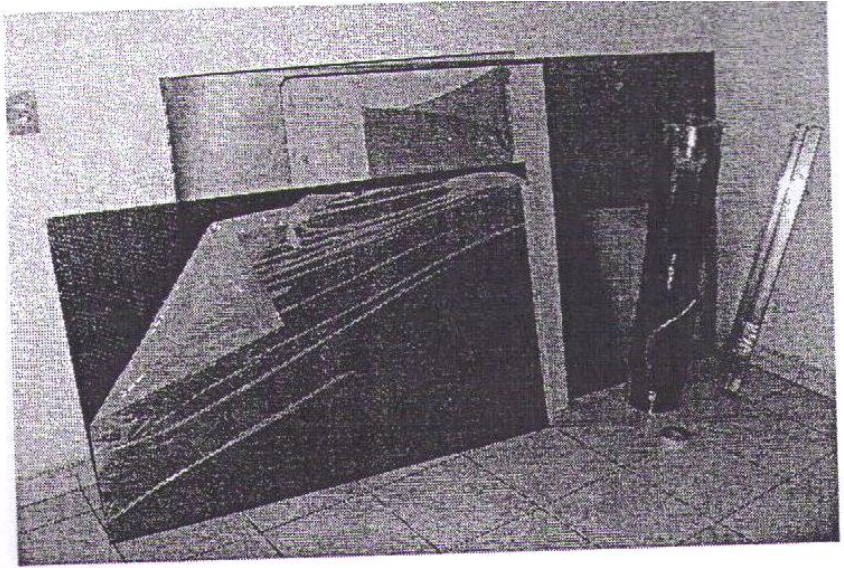


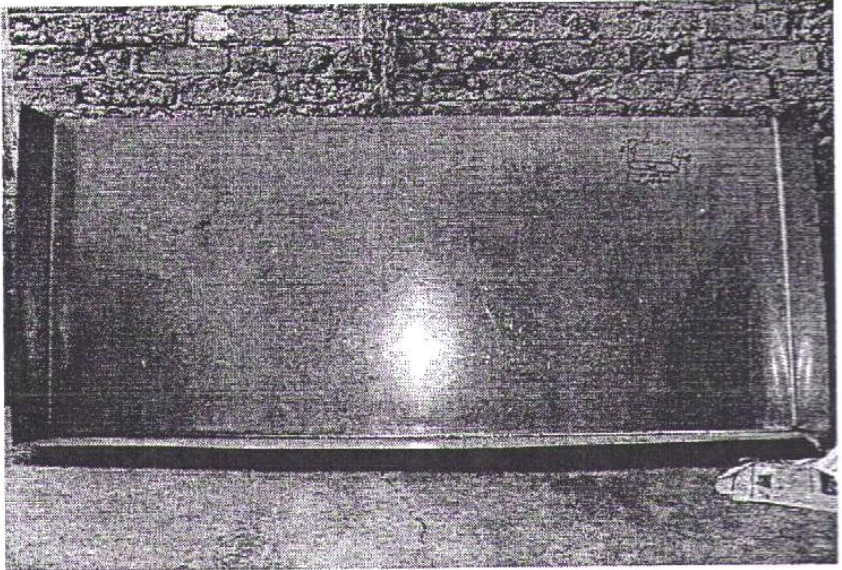


8.2 Construcción de la estructura del secador solar.

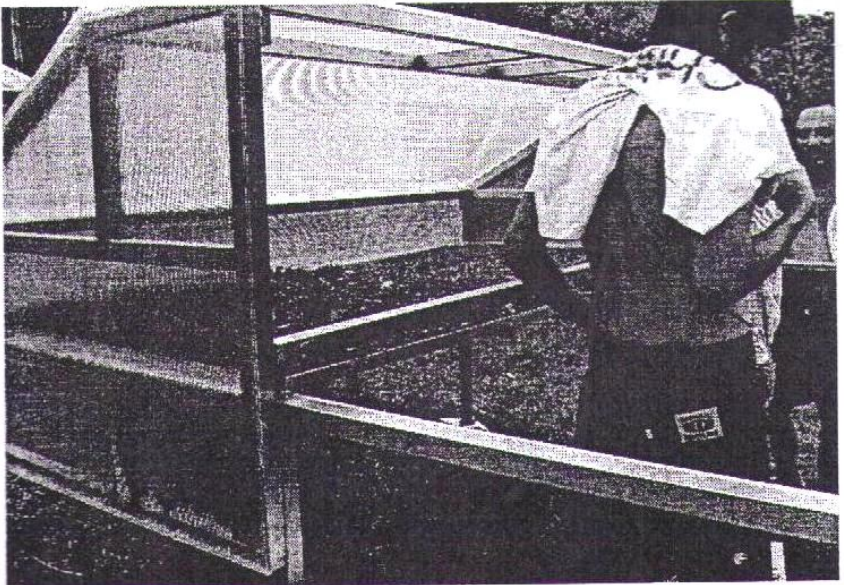


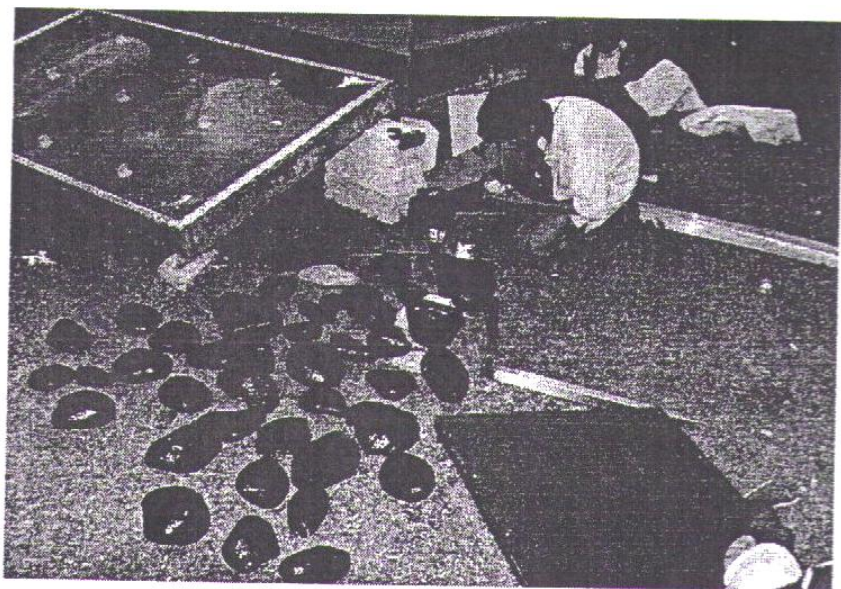
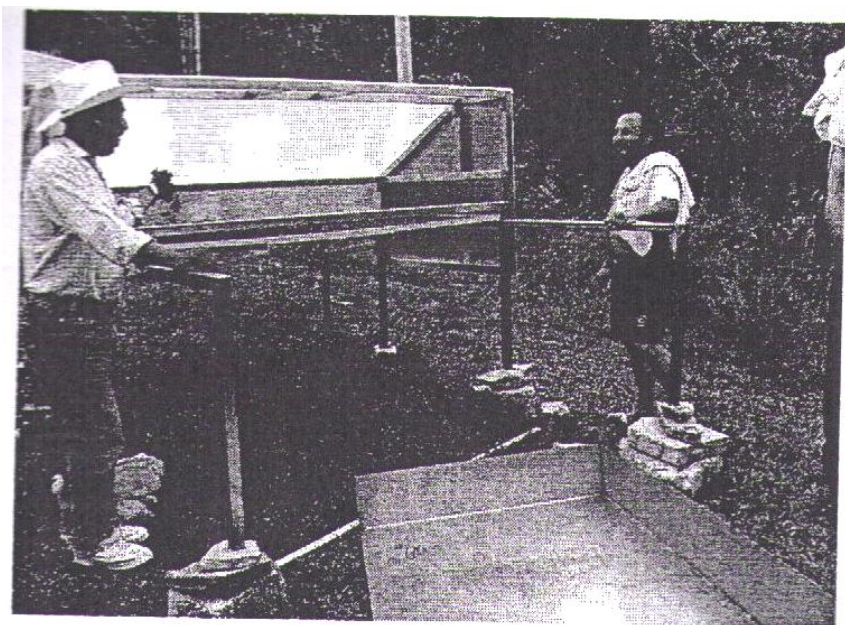
8.3 Materiales de construcción del secador solar.

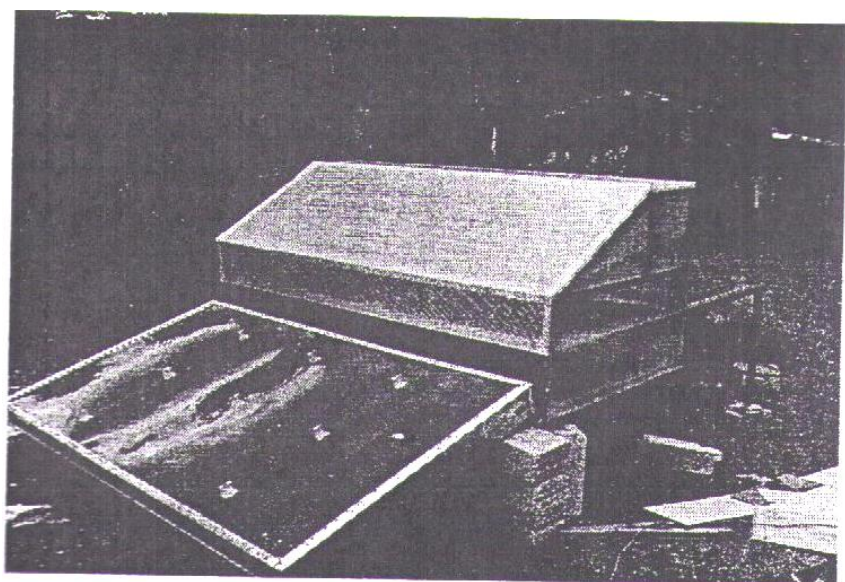




8.4 Instalación del secador solar.







CAPÍTULO IX

PRUEBAS DE ESTANCAMIENTO Y PRUEBAS A FLUJO ABIERTO

9.1 Registro de lecturas.

Se tomaron algunas medidas a las 14:30 (hora civil) el 17 de Octubre de 2005 (N = 290).

Temperatura ambiente $T_A = 26 \text{ }^\circ\text{C}$

Velocidad del viento $V_1 = 1.52 \text{ m/s}$; $V_2 = 1.14 \text{ m/s}$; $v_3 = 1.70 \text{ m/s}$; $v_m = 1.45 \text{ m/s}$

Las lecturas para pruebas de estancamiento fueron:

Tiempo de duración de la prueba $t = 5 \text{ min}$

Temperatura a la entrada en el absorbedor $T_{Eabs} = 76 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura a la entrada por arriba del absorbedor $T_{E1} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura a la entrada por abajo del absorbedor $T_{E2} = 52 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura a la salida en el absorbedor $T_{Sabs} = 85 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura a la salida por arriba del absorbedor $T_{S1} = 108 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura a la salida por abajo del absorbedor $T_{S2} = 96 \text{ }^\circ\text{C}$

Las lecturas para las pruebas a flujo abierto fueron:

Temperatura a la entrada en el absorbedor $T_{Eabs} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura a la entrada por arriba del absorbedor $T_{E1} = 57 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura a la entrada por abajo del absorbedor $T_{E2} = 44 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura a la salida en el absorbedor $T_{Sabs} = 64 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura a la salida por arriba del absorbedor $T_{S1} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura a la salida por abajo del absorbedor $T_{S2} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

Velocidad del flujo termosifónico $v_t = 0.45 \text{ m/s}$

9.2 Cálculo de las propiedades ópticas.

De la tabla. $ET = -0.2496$

Para la FES Cuautitlán: $L_{loc} = 99.2$ y $L_{st} = 90$

Transformando la hora civil en hora solar con la ecuación 3.3.

$$TS = 14.5 - \frac{99.2-90}{15} - (-0.2496) = 14.1363$$

Calculando el ángulo horario con la ecuación 3.1.

$$\omega = 15(14.1363 - 12) = 32.04$$

De las tablas para la FES Cuautitlán. $\phi = 19.68$ y extrapolando entre los valores de las 14 y 15 horas.

$$\beta = 36.31 + \frac{47.67-36.31}{30-45} (32.04 - 45) = 46.13$$

$$\gamma = 120.41 + \frac{133.14-120.41}{30-45} (32.04 - 45) = 131.41$$

Calculando el ángulo de incidencia con un ángulo de inclinación del colector de

70° con respecto a la vertical usando la ecuación 2.14.

$$\theta_i = \cos^{-1}[\text{sen}46.13^\circ \text{sen}70^\circ - \cos46.13^\circ \cos131.41^\circ \cos70^\circ] = 33.46^\circ$$

Calculando el ángulo de refracción con la ecuación 4.72.

$$\theta_r = \text{sen}^{-1} \left[\frac{\text{sen} 33.46^\circ}{1.59} \right] = 20.29^\circ$$

Utilizando las ecuaciones 4.73 y 4.74 se obtiene.

$$\rho_{\perp} = \frac{\text{sen}^2(33.46^\circ - 20.29^\circ)}{\text{sen}^2(33.46^\circ + 20.29^\circ)} = 0.0798$$

$$\rho_{\parallel} = \frac{\text{tan}^2(33.46^\circ - 20.29^\circ)}{\text{tan}^2(33.46^\circ + 20.29^\circ)} = 0.0294$$

De la ecuación 4.80.

$$\tau_{\perp} = \frac{(1-0.0798)}{(1+0.0798)} = 0.8522$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{(1-0.0294)}{(1+0.0294)} = 0.9429$$

Sacando el promedio.

$$\tau_m = \frac{(0.8522+0.9429)}{2} = 0.8976$$

Empleando la ecuación 4.19. El ancho de la cubierta es de 2 mm.

$$\tau_a = e^{\frac{32(0.002)}{\cos 20.29^\circ}} = 0.9341$$

De acuerdo con la ecuación 4.20, la transmitancia total es

$$\tau = 0.9341 \cdot 0.8976 = 0.8384$$

Calculando la reflectancia difusa con la ecuación 4.86.

$$\rho_d = 0.9341 - 0.8384 = 0.0957$$

Obteniendo el producto transmitancia-absortancia con la ecuación 4.85.

$$(\tau\alpha) = \frac{(0.8384)(0.98)}{1-0.0957(1-0.98)} = 0.8232$$

9.3 Cálculos en pruebas de estancamiento.

En estas condiciones:

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_{\text{perdidas}}$$

$$A_C | T(\tau\alpha) = (U_{\text{lados}} A_{\text{lados}} + U_{\text{piso}} A_{\text{piso}} + U_{\text{cubierta}} A_{\text{cubierta}})(T_{\text{pm}} - T_a)$$

donde $A_{\text{lados}} = 0.44 \text{ m}^2$, $A_{\text{piso}} = A_{\text{cubierta}} = 2.44 \text{ m}^2$, $A_C = 2.44 \text{ m}^2$.

Calculando Pérdidas Globales con la ecuación 4.11

$$\bar{h}_v = 5.7 + 3.8 \times 1.45 = 11.21$$

$$U_{\text{lados}} = \frac{2}{\frac{0.001}{210} + \frac{0.002}{0.13} + \frac{0.0439}{0.038} + \frac{0.0012}{80} + \frac{1}{11.21}} = 1.59 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot ^\circ K}$$

$$U_{fondo} = \frac{1}{\frac{0.001}{210} + \frac{0.002}{0.13} + \frac{0.0285}{0.038} + \frac{0.0012}{80} + \frac{1}{11.21}} = 1.17 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Cálculo de las demás variables.

$$f = (1 + 0.089 \cdot 11.21 - 0.1166 \cdot 11.21 \cdot 0.9)(1 + 0.07866 \cdot 1) = 0.8859$$

$$U_t = \left(\frac{1}{\frac{\left(\frac{344}{381}\right)(381-299)}{(1+0.8859)^{0.31}} + 11.21} \right)^{-1} + \frac{5.67 \cdot 10^{-8}(381+299)(381^2+299^2)}{\frac{1}{0.8+0.0425 \cdot 1(1-0.8)} + \frac{2 \cdot 1 + 0.8859 - 1}{0.9} - 1} = 8.16 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Despejando y calculando I_T de la ecuación 6.1.

$$I_T = \frac{[(1.59)(0.44) + (1.17)(2.44) + (8.16)(2.44)](381-299)}{(2.88)(0.8232)} = 690.15 \frac{W}{m^2}$$

9.4 Cálculos en pruebas a flujo abierto.

Calculando las pérdidas en la cubierta.

$$U_t = \left(\frac{1}{\frac{\left(\frac{344}{343}\right)(381-299)}{(1+0.8859)^{0.31}} + 11.21} \right)^{-1} + \frac{5.67 \cdot 10^{-8}(343+299)(343^2+299^2)}{\frac{1}{0.8+0.0425 \cdot 1(1-0.8)} + \frac{2 \cdot 1 + 0.8859 - 1}{0.9} - 1} = 4.18 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Calculando el calor útil

$$Q_{\text{útil}} = Q_{\text{absorbido}} - Q_{\text{pérdidas}}$$

$$Q_{\text{abs}} = (2.88)(690.15)(0.8232) = 1636.22\text{W}$$

$$Q_{\text{pérd}} = [(1.59)(0.44) + (1.17)(2.44) + (4.18)(2.44)](343 - 299) \\ = 452.32\text{W}$$

$$Q_{\text{útil}} = 1183.90\text{W}$$

9.5 Eficiencia del colector.

Calculando la eficiencia del colector.

$$\eta_c = \frac{1183.9}{(2.88)(822.39)} 100 = 49.99\%$$

CONCLUSIONES.

Los resultados en las pruebas son relativamente satisfactorias considerando las condiciones en que se realizaron. Primero, las pruebas se realizaron en la FES Cuautitlán y no en el Tenexate por dificultades de transporte. No obstante, si el colector funcionó bien en la FES Cuautitlán, es muy probable que funcione también en el Tenexate y en cualquier lugar.

Los materiales empleados tuvieron un costo muy elevado considerando el tipo de lugar donde se harían las pruebas, el cual es un lugar muy húmedo por tratarse de un lugar subtropical. No necesariamente se tienen que emplear esos materiales, más bien se debe procurar emplear preferentemente los materiales con propiedades similares que se encuentren por la región.

La eficiencia de casi un 50 % entra dentro de lo calculado, por lo que podemos concluir al respecto que se alcanzaron las expectativas al menos con las pruebas realizadas en la FES Cuautitlán.

En el caso de el calor útil entregado por el colector (1.18 kW) está por debajo de lo calculado en casi una cuarta parte. Lo anterior quiere decir que va a secar una menor

cantidad de granos en un mismo tiempo o la misma cantidad de granos en un mayor tiempo. Considerando que la prueba se hizo en un tiempo en que la irradiación es alta y en un lugar con menor humedad, esta diferencia puede acrecentarse considerablemente cambiando tales condiciones.

Aún así, se proponen otras soluciones para incrementar la eficiencia del secador aparte del colector solar plano.

Una de las soluciones propuestas que es al parecer más viable es el anexo de una batería de piedras cubiertas de pintura negra para conservar mejor el calor.

Al aumentar la eficiencia de este modo, no aumentará el calor útil entregado pero si la velocidad de secado al disminuir el calor rechazado.

Se puede considerar el colector solar plano solo como uno de los dispositivos para solucionar el problema de la falta de eficiencia térmica del secador solar tipo invernadero ya existente.

APÉNDICE.

Tabla 1 Ecuaciones para convertir el día del mes en el número del año.

| Mes | “n” para el i-ésimo día del mes |
|------------|---------------------------------|
| Enero | i |
| Febrero | $31 + i$ |
| Marzo | $59 + i$ |
| Abril | $90 + i$ |
| Mayo | $120 + i$ |
| Junio | $151 + i$ |
| Julio | $181 + i$ |
| Agosto | $212 + i$ |
| Septiembre | $243 + i$ |
| Octubre | $273 + i$ |
| Noviembre | $304 + i$ |
| Diciembre | $334 + i$ |

Tabla 2 Valores de la declinación solar δ a lo largo de los 365 días del año.

| | | | | | |
|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------------|
| día | δ | día | δ | día | δ |
| 1 | -22.9261116 | 123 | 15.80720952 | 245 | 7.000047358 |
| 2 | -22.8379294 | 124 | 16.10283436 | 246 | 6.614017523 |
| 3 | -22.7429888 | 125 | 16.3936939 | 247 | 6.226030407 |
| 4 | -22.6413179 | 126 | 16.67970208 | 248 | 5.836200829 |
| 5 | -22.5329467 | 127 | 16.96077424 | 249 | 5.444644149 |
| 6 | -22.4179075 | 128 | 17.23682722 | 250 | 5.051476241 |
| 7 | -22.2962341 | 129 | 17.50777932 | 251 | 4.656813454 |
| 8 | -22.1679626 | 130 | 17.77355036 | 252 | 4.260772581 |
| 9 | -22.0331309 | 131 | 18.03406169 | 253 | 3.863470822 |
| 10 | -21.8917791 | 132 | 18.28923622 | 254 | 3.465025749 |
| 11 | -21.7439488 | 133 | 18.53899843 | 255 | 3.065555275 |
| 12 | -21.5896838 | 134 | 18.78327441 | 256 | 2.665177613 |
| 13 | -21.4290298 | 135 | 19.02199188 | 257 | 2.264011248 |
| 14 | -21.2620344 | 136 | 19.25508018 | 258 | 1.862174897 |
| 15 | -21.0887469 | 137 | 19.48247035 | 259 | 1.459787473 |
| 16 | -20.9092186 | 138 | 19.70409509 | 260 | 1.056968057 |
| 17 | -20.7235027 | 139 | 19.91988882 | 261 | 0.653835852 |
| día | δ | día | δ | día | δ |
| 18 | -20.5316541 | 140 | 20.12978767 | 262 | 0.250510159 |
| 19 | -20.3337295 | 141 | 20.33372953 | 263 | -0.15288967 |
| 20 | -20.1297877 | 142 | 20.53165405 | 264 | -0.55624425 |
| 21 | -19.9198888 | 143 | 20.72350266 | 265 | -0.95943422 |
| 22 | -19.7040951 | 144 | 20.90921858 | 266 | -1.36234027 |
| 23 | -19.4824704 | 145 | 21.08874686 | 267 | -1.76484316 |
| 24 | -19.2550802 | 146 | 21.26203436 | 268 | -2.16682379 |
| 25 | -19.0219919 | 147 | 21.42902981 | 269 | -2.56816319 |
| 26 | -18.7832744 | 148 | 21.58968379 | 270 | -2.96874259 |
| 27 | -18.5389984 | 149 | 21.74394875 | 271 | -3.36844346 |
| 28 | -18.2892362 | 150 | 21.89177905 | 272 | -3.7671475 |
| 29 | -18.0340617 | 151 | 22.03313094 | 273 | -4.16473674 |
| 30 | -17.7735504 | 152 | 22.16796258 | 274 | -4.56109351 |
| 31 | -17.5077793 | 153 | 22.29623407 | 275 | -4.95610053 |
| 32 | -17.2368272 | 154 | 22.41790746 | 276 | -5.34964088 |
| 33 | -16.9607742 | 155 | 22.53294675 | 277 | -5.74159813 |
| 34 | -16.6797021 | 156 | 22.64131788 | 278 | -6.13185626 |
| 35 | -16.3936939 | 157 | 22.74298878 | 279 | -6.52029981 |
| 36 | -16.1028344 | 158 | 22.83792937 | 280 | -6.90681381 |

| | | | | | |
|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------------|
| día | δ | día | δ | día | δ |
| 37 | -15.8072095 | 159 | 22.92611156 | 281 | -7.29128388 |
| 38 | -15.5069069 | 160 | 23.00750925 | 282 | -7.67359624 |
| 39 | -15.2020153 | 161 | 23.08209834 | 283 | -8.05363777 |
| 40 | -14.892625 | 162 | 23.14985677 | 284 | -8.43129599 |
| 41 | -14.5788275 | 163 | 23.21076449 | 285 | -8.80645915 |
| 42 | -14.2607157 | 164 | 23.26480347 | 286 | -9.17901622 |
| 43 | -13.9383838 | 165 | 23.31195771 | 287 | -9.54885695 |
| 44 | -13.6119271 | 166 | 23.35221327 | 288 | -9.9158719 |
| 45 | -13.2814422 | 167 | 23.38555823 | 289 | -10.2799525 |
| 46 | -12.947027 | 168 | 23.41198273 | 290 | -10.6409909 |
| 47 | -12.6087803 | 169 | 23.43147894 | 291 | -10.9988803 |
| 48 | -12.2668024 | 170 | 23.44404109 | 292 | -11.3535149 |
| 49 | -11.9211943 | 171 | 23.44966547 | 293 | -11.7047896 |
| 50 | -11.5720585 | 172 | 23.44835042 | 294 | -12.0526005 |
| 51 | -11.2194981 | 173 | 23.44009631 | 295 | -12.3968447 |
| 52 | -10.8636175 | 174 | 23.4249056 | 296 | -12.7374203 |
| 53 | -10.5045221 | 175 | 23.40278278 | 297 | -13.0742266 |
| 54 | -10.1423181 | 176 | 23.3737344 | 298 | -13.4071638 |
| 55 | -9.7771127 | 177 | 23.33776905 | 299 | -13.7361334 |
| día | δ | día | δ | día | δ |
| 56 | -9.40901395 | 178 | 23.29489738 | 300 | -14.0610382 |
| 57 | -9.0381308 | 179 | 23.24513206 | 301 | -14.3817818 |
| 58 | -8.66457301 | 180 | 23.18848784 | 302 | -14.6982695 |
| 59 | -8.28845111 | 181 | 23.12498148 | 303 | -15.0104075 |
| 60 | -7.90987643 | 182 | 23.05463175 | 304 | -15.3181035 |
| 61 | -7.52896098 | 183 | 22.9774595 | 305 | -15.6212664 |
| 62 | -7.1458175 | 184 | 22.89348754 | 306 | -15.9198066 |
| 63 | -6.76055935 | 185 | 22.80274074 | 307 | -16.2136356 |
| 64 | -6.37330057 | 186 | 22.70524594 | 308 | -16.5026665 |
| 65 | -5.98415574 | 187 | 22.60103201 | 309 | -16.7868138 |
| 66 | -5.59324002 | 188 | 22.49012977 | 310 | -17.0659934 |
| 67 | -5.2006691 | 189 | 22.37257204 | 311 | -17.3401227 |
| 68 | -4.80655915 | 190 | 22.24839363 | 312 | -17.6091205 |
| 69 | -4.4110268 | 191 | 22.11763126 | 313 | -17.8729073 |
| 70 | -4.0141891 | 192 | 21.98032365 | 314 | -18.131405 |
| 71 | -3.61616349 | 193 | 21.83651142 | 315 | -18.384537 |
| 72 | -3.21706774 | 194 | 21.68623713 | 316 | -18.6322286 |
| 73 | -2.81701998 | 195 | 21.52954526 | 317 | -18.8744063 |
| 74 | -2.41613857 | 196 | 21.36648217 | 318 | -19.1109985 |

| | | | | | |
|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------------|
| día | δ | día | δ | día | δ |
| 75 | -2.01454216 | 197 | 21.19709611 | 319 | -19.3419353 |
| 76 | -1.61234959 | 198 | 21.02143722 | 320 | -19.5671482 |
| 77 | -1.20967987 | 199 | 20.83955747 | 321 | -19.7865706 |
| 78 | -0.80665218 | 200 | 20.6515107 | 322 | -20.0001376 |
| 79 | -0.40338578 | 201 | 20.45735254 | 323 | -20.207786 |
| 80 | 0 | 202 | 20.25714046 | 324 | -20.4094542 |
| 81 | 0.403385778 | 203 | 20.0509337 | 325 | -20.6050828 |
| 82 | 0.806652182 | 204 | 19.83879328 | 326 | -20.7946137 |
| 83 | 1.209679875 | 205 | 19.620782 | 327 | -20.9779909 |
| 84 | 1.612349588 | 206 | 19.39696435 | 328 | -21.15516 |
| 85 | 2.01454216 | 207 | 19.16740657 | 329 | -21.3260688 |
| 86 | 2.416138571 | 208 | 18.93217661 | 330 | -21.4906665 |
| 87 | 2.817019976 | 209 | 18.69134406 | 331 | -21.6489046 |
| 88 | 3.217067743 | 210 | 18.4449802 | 332 | -21.8007361 |
| 89 | 3.616163486 | 211 | 18.19315794 | 333 | -21.9461161 |
| 90 | 4.014189101 | 212 | 17.93595179 | 334 | -22.0850016 |
| 91 | 4.411026801 | 213 | 17.67343787 | 335 | -22.2173516 |
| 92 | 4.80655915 | 214 | 17.40569387 | 336 | -22.3431267 |
| 93 | 5.200669099 | 215 | 17.13279902 | 337 | -22.4622899 |
| día | δ | día | δ | día | δ |
| 94 | 5.593240018 | 216 | 16.85483408 | 338 | -22.5748059 |
| 95 | 5.984155736 | 217 | 16.5718813 | 339 | -22.6806413 |
| 96 | 6.373300567 | 218 | 16.28402442 | 340 | -22.7797648 |
| 97 | 6.760559354 | 219 | 15.99134862 | 341 | -22.8721472 |
| 98 | 7.145817495 | 220 | 15.69394052 | 342 | -22.957761 |
| 99 | 7.528960982 | 221 | 15.39188813 | 343 | -23.036581 |
| 100 | 7.909876429 | 222 | 15.08528083 | 344 | -23.1085837 |
| 101 | 8.288451115 | 223 | 14.77420935 | 345 | -23.173748 |
| 102 | 8.664573007 | 224 | 14.45876576 | 346 | -23.2320545 |
| 103 | 9.0381308 | 225 | 14.1390434 | 347 | -23.2834859 |
| 104 | 9.409013948 | 226 | 13.81513689 | 348 | -23.3280271 |
| 105 | 9.777112695 | 227 | 13.48714207 | 349 | -23.3656648 |
| 106 | 10.14231811 | 228 | 13.15515602 | 350 | -23.396388 |
| 107 | 10.50452212 | 229 | 12.81927698 | 351 | -23.4201875 |
| 108 | 10.86361754 | 230 | 12.47960434 | 352 | -23.4370562 |
| 109 | 11.21949809 | 231 | 12.13623862 | 353 | -23.4469893 |
| 110 | 11.57205847 | 232 | 11.78928143 | 354 | -23.4499837 |
| 111 | 11.92119434 | 233 | 11.43883546 | 355 | -23.4460386 |
| 112 | 12.26680239 | 234 | 11.0850044 | 356 | -23.4351551 |

| día | δ | día | δ | día | δ |
|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------------|
| 113 | 12.60878033 | 235 | 10.72789297 | 357 | -23.4173365 |
| 114 | 12.94702696 | 236 | 10.36760684 | 358 | -23.392588 |
| 115 | 13.2814422 | 237 | 10.00425264 | 359 | -23.360917 |
| 116 | 13.61192707 | 238 | 9.637937882 | 360 | -23.3223328 |
| 117 | 13.93838378 | 239 | 9.268770983 | 361 | -23.2768468 |
| 118 | 14.26071571 | 240 | 8.896861185 | 362 | -23.2244725 |
| 119 | 14.57882748 | 241 | 8.522318547 | 363 | -23.1652255 |
| 120 | 14.89262496 | 242 | 8.145253908 | 364 | -23.0991232 |
| 121 | 15.20201527 | 243 | 7.765778852 | 365 | -23.0261852 |
| 122 | 15.50690687 | 244 | 7.384005676 | | |

Gráfica 1 Curva de la declinación solar a lo largo del año.

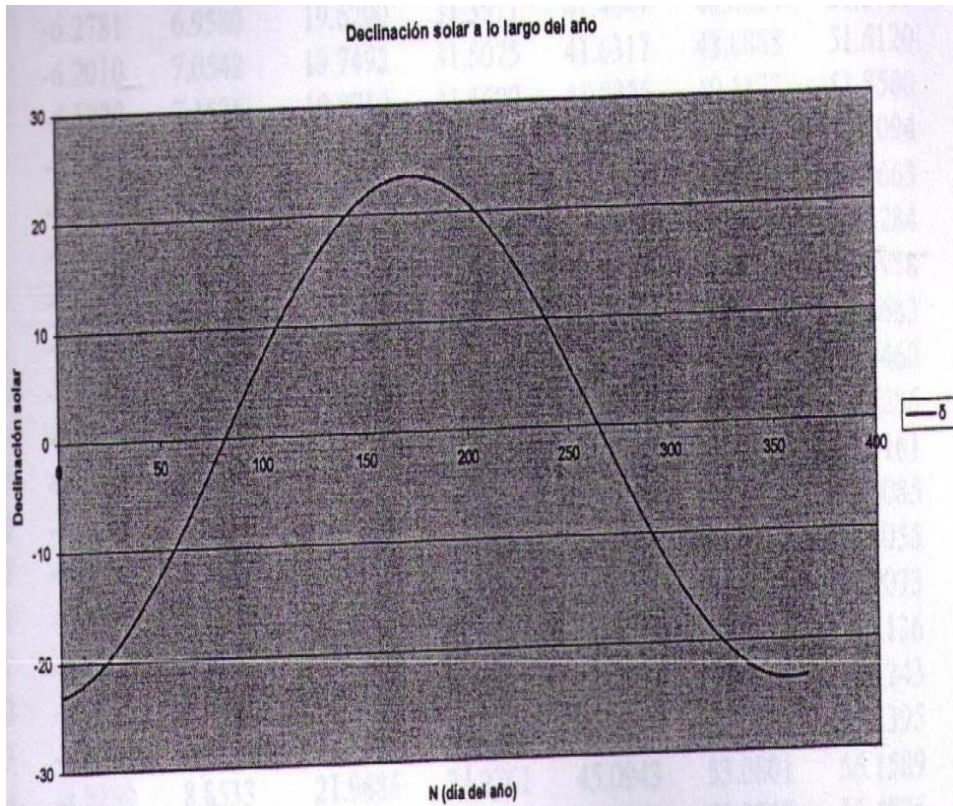


Tabla 3 Valores de los ángulos de altura solar β para la latitud $\varphi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 90^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | β ($\omega = 90^\circ$) | día | β ($\omega = 90^\circ$) | día | β ($\omega = 90^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 1 | -7.53809259 | 123 | 5.263466639 | 245 | 2.352182646 |
| 2 | -7.51049506 | 124 | 5.359600768 | 246 | 2.22299434 |
| 3 | -7.48076438 | 125 | 5.454060376 | 247 | 2.093060693 |
| 4 | -7.44890544 | 126 | 5.546821472 | 248 | 1.962424176 |
| 5 | -7.41492355 | 127 | 5.637860793 | 249 | 1.831127692 |
| 6 | -7.37882442 | 128 | 5.7271558 | 250 | 1.699214546 |
| 7 | -7.34061417 | 129 | 5.814684673 | 251 | 1.566728427 |
| 8 | -7.30029938 | 130 | 5.900426302 | 252 | 1.433713382 |
| 9 | -7.25788704 | 131 | 5.984360286 | 253 | 1.300213786 |
| 10 | -7.21338463 | 132 | 6.06646692 | 254 | 1.166274318 |
| 11 | -7.16680006 | 133 | 6.146727192 | 255 | 1.031939935 |
| 12 | -7.11814173 | 134 | 6.225122772 | 256 | 0.897255842 |
| 13 | -7.06741854 | 135 | 6.301636002 | 257 | 0.762267466 |
| 14 | -7.01463988 | 136 | 6.37624989 | 258 | 0.627020428 |
| 15 | -6.95981564 | 137 | 6.448948096 | 259 | 0.491560513 |
| 16 | -6.90295626 | 138 | 6.519714924 | 260 | 0.355933642 |
| 17 | -6.84407269 | 139 | 6.588535312 | 261 | 0.220185842 |
| 18 | -6.78317644 | 140 | 6.655394816 | 262 | 0.084363217 |
| 19 | -6.72027961 | 141 | 6.720279605 | 263 | -0.05148808 |
| 20 | -6.65539482 | 142 | 6.783176445 | 264 | -0.18732188 |
| 21 | -6.58853531 | 143 | 6.844072687 | 265 | -0.32309202 |
| 22 | -6.51971492 | 144 | 6.902956257 | 266 | -0.45875238 |
| 23 | -6.4489481 | 145 | 6.959815643 | 267 | -0.59425691 |
| 24 | -6.37624989 | 146 | 7.014639881 | 268 | -0.72955967 |
| 25 | -6.301636 | 147 | 7.067418545 | 269 | -0.86461483 |
| 26 | -6.22512277 | 148 | 7.118141733 | 270 | -0.99937674 |
| 27 | -6.14672719 | 149 | 7.166800057 | 271 | -1.13379991 |
| 28 | -6.06646692 | 150 | 7.213384627 | 272 | -1.26783908 |
| 29 | -5.98436029 | 151 | 7.257887041 | 273 | -1.40144923 |
| 30 | -5.9004263 | 152 | 7.300299375 | 274 | -1.53458562 |
| 31 | -5.81468467 | 153 | 7.340614169 | 275 | -1.66720379 |
| 32 | -5.7271558 | 154 | 7.378824417 | 276 | -1.79925962 |
| 33 | -5.63786079 | 155 | 7.414923552 | 277 | -1.93070932 |
| 34 | -5.54682147 | 156 | 7.448905444 | 278 | -2.0615095 |
| 35 | -5.45406038 | 157 | 7.480764379 | 279 | -2.19161715 |
| 36 | -5.35960077 | 158 | 7.510495059 | 280 | -2.3209897 |
| 37 | -5.26346664 | 159 | 7.538092585 | 281 | -2.44958502 |
| 38 | -5.16568271 | 160 | 7.563552453 | 282 | -2.57736145 |

| día | β ($\omega = 90^\circ$) | día | β ($\omega = 90^\circ$) | día | β ($\omega = 90^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 39 | -5.06627443 | 161 | 7.586870542 | 283 | -2.70427781 |
| 40 | -4.965268 | 162 | 7.60804311 | 284 | -2.83029347 |
| 41 | -4.86269035 | 163 | 7.627066784 | 285 | -2.9553683 |
| 42 | -4.75856913 | 164 | 7.643938552 | 286 | -3.07946274 |
| 43 | -4.65293274 | 165 | 7.658655762 | 287 | -3.2025378 |
| 44 | -4.54581032 | 166 | 7.671216111 | 288 | -3.32455506 |
| 45 | -4.43723173 | 167 | 7.681617645 | 289 | -3.44547674 |
| 46 | -4.32722756 | 168 | 7.68985875 | 290 | -3.56526565 |
| 47 | -4.21582911 | 169 | 7.695938152 | 291 | -3.68388527 |
| 48 | -4.10306842 | 170 | 7.699854915 | 292 | -3.8012997 |
| 49 | -3.98897822 | 171 | 7.701608436 | 293 | -3.91747371 |
| 50 | -3.87359194 | 172 | 7.701198445 | 294 | -4.03237275 |
| 51 | -3.75694371 | 173 | 7.698625006 | 295 | -4.14596297 |
| 52 | -3.63906833 | 174 | 7.693888514 | 296 | -4.25821118 |
| 53 | -3.52000129 | 175 | 7.686989697 | 297 | -4.36908493 |
| 54 | -3.39977873 | 176 | 7.677929622 | 298 | -4.47855245 |
| 55 | -3.27843741 | 177 | 7.666709689 | 299 | -4.58658271 |
| 56 | -3.15601477 | 178 | 7.653331641 | 300 | -4.6931454 |
| 57 | -3.03254882 | 179 | 7.637797564 | 301 | -4.79821093 |
| 58 | -2.90807819 | 180 | 7.620109892 | 302 | -4.90175044 |
| 59 | -2.7826421 | 181 | 7.600271413 | 303 | -5.00373582 |
| 60 | -2.65628032 | 182 | 7.578285276 | 304 | -5.10413967 |
| 61 | -2.52903318 | 183 | 7.554154992 | 305 | -5.20293536 |
| 62 | -2.40094152 | 184 | 7.527884446 | 306 | -5.30009697 |
| 63 | -2.2720467 | 185 | 7.499477904 | 307 | -5.39559933 |
| 64 | -2.14239057 | 186 | 7.468940017 | 308 | -5.48941799 |
| 65 | -2.01201541 | 187 | 7.436275835 | 309 | -5.58152923 |
| 66 | -1.88096398 | 188 | 7.401490814 | 310 | -5.67191007 |
| 67 | -1.74927943 | 189 | 7.364590822 | 311 | -5.76053824 |
| 68 | -1.6170053 | 190 | 7.325582155 | 312 | -5.84739219 |
| 69 | -1.48418551 | 191 | 7.284471545 | 313 | -5.93245109 |
| 70 | -1.35086432 | 192 | 7.241266167 | 314 | -6.01569479 |
| 71 | -1.21708629 | 193 | 7.195973658 | 315 | -6.09710385 |
| 72 | -1.08289627 | 194 | 7.148602121 | 316 | -6.17665952 |
| 73 | -0.94833938 | 195 | 7.09916014 | 317 | -6.25434373 |
| 74 | -0.81346097 | 196 | 7.047656794 | 318 | -6.33013908 |
| 75 | -0.67830659 | 197 | 6.994101664 | 319 | -6.40402881 |
| 76 | -0.54292196 | 198 | 6.938504849 | 320 | -6.47599684 |
| 77 | -0.40735295 | 199 | 6.880876978 | 321 | -6.5460277 |
| 78 | -0.27164556 | 200 | 6.821229221 | 322 | -6.61410658 |

| día | β ($\omega = 90^\circ$) | día | β ($\omega = 90^\circ$) | día | β ($\omega = 90^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 79 | -0.13584586 | 201 | 6.7595733 | 323 | -6.68021926 |
| 80 | 3.30478E-15 | 202 | 6.695921508 | 324 | -6.74435215 |
| 81 | 0.135845863 | 203 | 6.630286713 | 325 | -6.80649222 |
| 82 | 0.271645559 | 204 | 6.562682373 | 326 | -6.86662704 |
| 83 | 0.407352949 | 205 | 6.493122552 | 327 | -6.92474477 |
| 84 | 0.542921955 | 206 | 6.421621925 | 328 | -6.9808341 |
| 85 | 0.678306587 | 207 | 6.348195794 | 329 | -7.03488426 |
| 86 | 0.813460972 | 208 | 6.272860097 | 330 | -7.08688504 |
| 87 | 0.948339383 | 209 | 6.195631421 | 331 | -7.13682672 |
| 88 | 1.082896271 | 210 | 6.116527009 | 332 | -7.18470011 |
| 89 | 1.217086288 | 211 | 6.035564771 | 333 | -7.23049651 |
| 90 | 1.35086432 | 212 | 5.952763297 | 334 | -7.27420769 |
| 91 | 1.484185514 | 213 | 5.868141859 | 335 | -7.31582591 |
| 92 | 1.6170053 | 214 | 5.781720426 | 336 | -7.35534388 |
| 93 | 1.749279426 | 215 | 5.693519666 | 337 | -7.39275476 |
| 94 | 1.880963979 | 216 | 5.603560957 | 338 | -7.42805216 |
| 95 | 2.012015411 | 217 | 5.511866392 | 339 | -7.4612301 |
| 96 | 2.142390565 | 218 | 5.418458783 | 340 | -7.49228303 |
| 97 | 2.272046702 | 219 | 5.323361669 | 341 | -7.5212058 |
| 98 | 2.400941519 | 220 | 5.226599316 | 342 | -7.54799366 |
| 99 | 2.529033176 | 221 | 5.128196724 | 343 | -7.57264226 |
| 100 | 2.656280318 | 222 | 5.028179627 | 344 | -7.59514762 |
| 101 | 2.782642097 | 223 | 4.926574494 | 345 | -7.61550613 |
| 102 | 2.908078188 | 224 | 4.823408531 | 346 | -7.63371457 |
| 103 | 3.032548815 | 225 | 4.718709681 | 347 | -7.64977005 |
| 104 | 3.156014767 | 226 | 4.612506621 | 348 | -7.66367007 |
| 105 | 3.278437414 | 227 | 4.504828759 | 349 | -7.67541244 |
| 106 | 3.399778728 | 228 | 4.395706234 | 350 | -7.68499534 |
| 107 | 3.520001295 | 229 | 4.285169909 | 351 | -7.69241729 |
| 108 | 3.639068334 | 230 | 4.173251366 | 352 | -7.69767714 |
| 109 | 3.756943708 | 231 | 4.059982899 | 353 | -7.70077409 |
| 110 | 3.87359194 | 232 | 3.94539751 | 354 | -7.70170765 |
| 111 | 3.98897822 | 233 | 3.829528898 | 355 | -7.70047769 |
| 112 | 4.103068423 | 234 | 3.712411446 | 356 | -7.69708439 |
| 113 | 4.215829114 | 235 | 3.59408022 | 357 | -7.69152827 |
| 114 | 4.327227559 | 236 | 3.474570948 | 358 | -7.6838102 |
| 115 | 4.437231732 | 237 | 3.353920013 | 359 | -7.67393135 |
| 116 | 4.545810322 | 238 | 3.232164438 | 360 | -7.66189327 |
| 117 | 4.652932742 | 239 | 3.10934187 | 361 | -7.64769782 |
| 118 | 4.758569127 | 240 | 2.985490569 | 362 | -7.63134723 |

| día | $\beta (\omega = 90^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 90^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 90^\circ)$ |
|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|
| 119 | 4.862690348 | 241 | 2.860649385 | 363 | -7.61284405 |
| 120 | 4.965268005 | 242 | 2.734857747 | 364 | -7.59219122 |
| 121 | 5.066274434 | 243 | 2.608155642 | 365 | -7.56939202 |
| 122 | 5.165682709 | 244 | 2.480583593 | | |

Tabla 4 Valores de los ángulos de altura solar β para la latitud $\varphi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 75^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | $\beta (\omega = 75^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 75^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 75^\circ)$ |
|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|
| 1 | 5.35147971 | 123 | 19.0395503 | 245 | 16.4349282 |
| 2 | 5.38735311 | 124 | 19.119881 | 246 | 16.3120082 |
| 3 | 5.42596395 | 125 | 19.1984386 | 247 | 16.1877762 |
| 4 | 5.46729807 | 126 | 19.275221 | 248 | 16.0622653 |
| 5 | 5.51134029 | 127 | 19.3502266 | 249 | 15.9355098 |
| 6 | 5.55807438 | 128 | 19.4234549 | 250 | 15.8075449 |
| 7 | 5.60748311 | 129 | 19.494906 | 251 | 15.6784071 |
| 8 | 5.65954824 | 130 | 19.5645805 | 252 | 15.5481339 |
| 9 | 5.71425048 | 131 | 19.6324801 | 253 | 15.4167639 |
| 10 | 5.77156955 | 132 | 19.6986067 | 254 | 15.2843367 |
| 11 | 5.83148415 | 133 | 19.762963 | 255 | 15.150893 |
| 12 | 5.89397194 | 134 | 19.8255523 | 256 | 15.0164744 |

| día | β ($\omega = 75^\circ$) | día | β ($\omega = 75^\circ$) | día | β ($\omega = 75^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 13 | 5.95900962 | 135 | 19.8863784 | 257 | 14.8811235 |
| 14 | 6.02657283 | 136 | 19.9454453 | 258 | 14.744884 |
| 15 | 6.09663624 | 137 | 20.0027579 | 259 | 14.6078002 |
| 16 | 6.16917351 | 138 | 20.0583213 | 260 | 14.4699175 |
| 17 | 6.24415731 | 139 | 20.1121407 | 261 | 14.3312823 |
| 18 | 6.32155932 | 140 | 20.1642222 | 262 | 14.1919415 |
| 19 | 6.40135021 | 141 | 20.2145716 | 263 | 14.051943 |
| 20 | 6.4834997 | 142 | 20.2631954 | 264 | 13.9113355 |
| 21 | 6.56797652 | 143 | 20.3101001 | 265 | 13.7701682 |
| 22 | 6.65474845 | 144 | 20.3552925 | 266 | 13.6284912 |
| 23 | 6.7437823 | 145 | 20.3987793 | 267 | 13.4863553 |
| 24 | 6.83504393 | 146 | 20.4405677 | 268 | 13.3438118 |
| 25 | 6.92849825 | 147 | 20.4806646 | 269 | 13.2009126 |
| 26 | 7.02410926 | 148 | 20.5190771 | 270 | 13.0577101 |
| 27 | 7.12184002 | 149 | 20.5558124 | 271 | 12.9142573 |
| 28 | 7.22165269 | 150 | 20.5908776 | 272 | 12.7706076 |
| 29 | 7.32350852 | 151 | 20.6242795 | 273 | 12.6268151 |
| 30 | 7.4273679 | 152 | 20.6560252 | 274 | 12.4829338 |
| 31 | 7.53319031 | 153 | 20.6861215 | 275 | 12.3390184 |
| 32 | 7.64093441 | 154 | 20.7145749 | 276 | 12.195124 |
| 33 | 7.75055799 | 155 | 20.741392 | 277 | 12.0513056 |
| 34 | 7.86201803 | 156 | 20.7665789 | 278 | 11.9076187 |
| 35 | 7.9752707 | 157 | 20.7901418 | 279 | 11.764119 |
| 36 | 8.09027136 | 158 | 20.8120864 | 280 | 11.6208623 |
| 37 | 8.20697461 | 159 | 20.8324181 | 281 | 11.4779045 |
| 38 | 8.32533431 | 160 | 20.8511421 | 282 | 11.3353016 |
| 39 | 8.44530356 | 161 | 20.8682634 | 283 | 11.1931096 |
| 40 | 8.56683477 | 162 | 20.8837863 | 284 | 11.0513845 |
| 41 | 8.68987966 | 163 | 20.897715 | 285 | 10.9101824 |
| 42 | 8.81438927 | 164 | 20.9100533 | 286 | 10.7695591 |
| 43 | 8.94031401 | 165 | 20.9208047 | 287 | 10.6295705 |
| 44 | 9.06760367 | 166 | 20.9299719 | 288 | 10.4902721 |
| 45 | 9.19620746 | 167 | 20.9375577 | 289 | 10.3517195 |
| 46 | 9.326074 | 168 | 20.9435641 | 290 | 10.2139678 |
| 47 | 9.45715142 | 169 | 20.9479928 | 291 | 10.0770721 |
| 48 | 9.5893873 | 170 | 20.9508452 | 292 | 9.94108701 |
| 49 | 9.72272877 | 171 | 20.9521219 | 293 | 9.80606685 |
| 50 | 9.8571225 | 172 | 20.9518234 | 294 | 9.67206563 |
| 51 | 9.99251475 | 173 | 20.9499496 | 295 | 9.53913693 |
| 52 | 10.1288514 | 174 | 20.9464999 | 296 | 9.40733391 |

| día | $\beta (\omega = 75^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 75^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 75^\circ)$ |
|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|
| 53 | 10.266078 | 175 | 20.9414734 | 297 | 9.27670927 |
| 54 | 10.4041397 | 176 | 20.9348687 | 298 | 9.14731523 |
| 55 | 10.5429814 | 177 | 20.9266838 | 299 | 9.01920348 |
| 56 | 10.6825479 | 178 | 20.9169165 | 300 | 8.89242518 |
| 57 | 10.8227837 | 179 | 20.905564 | 301 | 8.7670309 |
| 58 | 10.9636329 | 180 | 20.8926234 | 302 | 8.64307062 |
| 59 | 11.1050398 | 181 | 20.8780909 | 303 | 8.52059369 |
| 60 | 11.2469484 | 182 | 20.8619627 | 304 | 8.39964881 |
| 61 | 11.3893028 | 183 | 20.8442346 | 305 | 8.28028402 |
| 62 | 11.5320468 | 184 | 20.8249018 | 306 | 8.16254663 |
| 63 | 11.6751245 | 185 | 20.8039595 | 307 | 8.04648327 |
| 64 | 11.8184798 | 186 | 20.7814022 | 308 | 7.9321398 |
| 65 | 11.962057 | 187 | 20.7572245 | 309 | 7.81956134 |
| 66 | 12.1058003 | 188 | 20.7314205 | 310 | 7.7087922 |
| 67 | 12.249654 | 189 | 20.703984 | 311 | 7.59987592 |
| 68 | 12.3935629 | 190 | 20.6749087 | 312 | 7.49285522 |
| 69 | 12.5374718 | 191 | 20.6441881 | 313 | 7.38777198 |
| 70 | 12.6813258 | 192 | 20.6118155 | 314 | 7.28466722 |
| 71 | 12.8250706 | 193 | 20.577784 | 315 | 7.18358113 |
| 72 | 12.9686519 | 194 | 20.5420867 | 316 | 7.08455299 |
| 73 | 13.1120161 | 195 | 20.5047165 | 317 | 6.98762122 |
| 74 | 13.2551099 | 196 | 20.4656665 | 318 | 6.8928233 |
| 75 | 13.3978805 | 197 | 20.4249293 | 319 | 6.80019582 |
| 76 | 13.5402756 | 198 | 20.3824981 | 320 | 6.70977444 |
| 77 | 13.6822436 | 199 | 20.3383656 | 321 | 6.62159389 |
| 78 | 13.8237333 | 200 | 20.2925251 | 322 | 6.53568795 |
| 79 | 13.9646943 | 201 | 20.2449697 | 323 | 6.45208945 |
| 80 | 14.1050768 | 202 | 20.1956926 | 324 | 6.37083024 |
| 81 | 14.2448317 | 203 | 20.1446875 | 325 | 6.29194123 |
| 82 | 14.3839106 | 204 | 20.091948 | 326 | 6.21545233 |
| 83 | 14.5222661 | 205 | 20.0374683 | 327 | 6.14139248 |
| 84 | 14.6598514 | 206 | 19.9812426 | 328 | 6.06978964 |
| 85 | 14.7966205 | 207 | 19.9232657 | 329 | 6.00067076 |
| 86 | 14.9325285 | 208 | 19.8635325 | 330 | 5.9340618 |
| 87 | 15.0675311 | 209 | 19.8020387 | 331 | 5.86998772 |
| 88 | 15.2015852 | 210 | 19.7387801 | 332 | 5.80847247 |
| 89 | 15.3346485 | 211 | 19.6737532 | 333 | 5.74953901 |
| 90 | 15.4666797 | 212 | 19.6069549 | 334 | 5.69320927 |
| 91 | 15.5976386 | 213 | 19.5383829 | 335 | 5.63950416 |
| 92 | 15.727486 | 214 | 19.4680351 | 336 | 5.58844359 |

| día | $\beta (\omega = 75^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 75^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 75^\circ)$ |
|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|
| 93 | 15.8561836 | 215 | 19.3959106 | 337 | 5.54004645 |
| 94 | 15.9836944 | 216 | 19.3220086 | 338 | 5.49433061 |
| 95 | 16.1099823 | 217 | 19.2463295 | 339 | 5.45131291 |
| 96 | 16.2350124 | 218 | 19.1688741 | 340 | 5.41100918 |
| 97 | 16.358751 | 219 | 19.0896442 | 341 | 5.37343421 |
| 98 | 16.4811654 | 220 | 19.0086423 | 342 | 5.3386018 |
| 99 | 16.6022241 | 221 | 18.9258717 | 343 | 5.30652468 |
| 100 | 16.7218967 | 222 | 18.8413368 | 344 | 5.27721459 |
| 101 | 16.8401541 | 223 | 18.7550427 | 345 | 5.25068223 |
| 102 | 16.9569682 | 224 | 18.6669955 | 346 | 5.22693727 |
| 103 | 17.0723124 | 225 | 18.5772022 | 347 | 5.20598838 |
| 104 | 17.1861608 | 226 | 18.4856708 | 348 | 5.18784317 |
| 105 | 17.2984892 | 227 | 18.3924106 | 349 | 5.17250824 |
| 106 | 17.4092741 | 228 | 18.2974314 | 350 | 5.15998917 |
| 107 | 17.5184936 | 229 | 18.2007445 | 351 | 5.1502905 |
| 108 | 17.6261268 | 230 | 18.102362 | 352 | 5.14341576 |
| 109 | 17.7321539 | 231 | 18.0022973 | 353 | 5.13936744 |
| 110 | 17.8365563 | 232 | 17.9005649 | 354 | 5.13814701 |
| 111 | 17.9393168 | 233 | 17.7971801 | 355 | 5.13975491 |
| 112 | 18.0404189 | 234 | 17.6921598 | 356 | 5.14419056 |
| 113 | 18.1398477 | 235 | 17.5855218 | 357 | 5.15145235 |
| 114 | 18.237589 | 236 | 17.477285 | 358 | 5.16153764 |
| 115 | 18.3336301 | 237 | 17.3674697 | 359 | 5.17444278 |
| 116 | 18.4279591 | 238 | 17.2560971 | 360 | 5.19016307 |
| 117 | 18.5205652 | 239 | 17.1431898 | 361 | 5.20869279 |
| 118 | 18.6114388 | 240 | 17.0287716 | 362 | 5.23002522 |
| 119 | 18.7005712 | 241 | 16.9128672 | 363 | 5.25415259 |
| 120 | 18.7879548 | 242 | 16.7955029 | 364 | 5.28106609 |
| 121 | 18.8735829 | 243 | 16.6767057 | 365 | 5.31075592 |
| 122 | 18.9574496 | 244 | 16.5565043 | | |

Tabla 5 Valores de los ángulos de altura solar β para la latitud $\varphi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 60^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | β ($\omega = 60^\circ$) | día | β ($\omega = 60^\circ$) | día | β ($\omega = 60^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 1 | 17.602999 | 123 | 33.005946 | 245 | 30.5524298 |
| 2 | 17.6486445 | 124 | 33.0744948 | 246 | 30.4276274 |
| 3 | 17.697753 | 125 | 33.1410206 | 247 | 30.3008156 |
| 4 | 17.750302 | 126 | 33.2055452 | 248 | 30.1720223 |
| 5 | 17.8062673 | 127 | 33.2680916 | 249 | 30.0412775 |
| 6 | 17.8656235 | 128 | 33.3286835 | 250 | 29.9086131 |
| 7 | 17.9283431 | 129 | 33.3873458 | 251 | 29.774063 |
| 8 | 17.9943974 | 130 | 33.4441039 | 252 | 29.6376633 |
| 9 | 18.0637559 | 131 | 33.498984 | 253 | 29.4994519 |
| 10 | 18.1363868 | 132 | 33.5520131 | 254 | 29.3594687 |
| 11 | 18.2122565 | 133 | 33.6032187 | 255 | 29.2177555 |
| 12 | 18.29133 | 134 | 33.6526288 | 256 | 29.0743562 |
| 13 | 18.3735708 | 135 | 33.7002718 | 257 | 28.9293162 |
| 14 | 18.4589407 | 136 | 33.7461764 | 258 | 28.782683 |
| 15 | 18.5474002 | 137 | 33.7903717 | 259 | 28.6345057 |
| 16 | 18.6389083 | 138 | 33.8328871 | 260 | 28.4848354 |
| 17 | 18.7334225 | 139 | 33.8737517 | 261 | 28.3337247 |
| 18 | 18.8308987 | 140 | 33.9129952 | 262 | 28.1812279 |
| 19 | 18.9312917 | 141 | 33.9506469 | 263 | 28.0274008 |
| 20 | 19.0345544 | 142 | 33.986736 | 264 | 27.8723011 |
| 21 | 19.1406388 | 143 | 34.0212918 | 265 | 27.7159875 |
| 22 | 19.2494952 | 144 | 34.0543432 | 266 | 27.5585207 |
| 23 | 19.3610726 | 145 | 34.0859188 | 267 | 27.3999623 |
| 24 | 19.4753187 | 146 | 34.1160467 | 268 | 27.2403757 |
| 25 | 19.5921799 | 147 | 34.1447547 | 269 | 27.0798252 |
| 26 | 19.7116013 | 148 | 34.1720702 | 270 | 26.9183765 |
| 27 | 19.8335265 | 149 | 34.1980198 | 271 | 26.7560966 |
| 28 | 19.9578982 | 150 | 34.2226296 | 272 | 26.5930533 |
| 29 | 20.0846577 | 151 | 34.2459249 | 273 | 26.4293157 |
| 30 | 20.2137452 | 152 | 34.2679304 | 274 | 26.2649539 |

| día | β ($\omega = 60^\circ$) | día | β ($\omega = 60^\circ$) | día | β ($\omega = 60^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 31 | 20.3450995 | 153 | 34.2886699 | 275 | 26.1000387 |
| 32 | 20.4786585 | 154 | 34.3081663 | 276 | 25.9346419 |
| 33 | 20.614359 | 155 | 34.3264417 | 277 | 25.7688361 |
| 34 | 20.7521367 | 156 | 34.3435171 | 278 | 25.6026946 |
| 35 | 20.891926 | 157 | 34.3594125 | 279 | 25.4362915 |
| 36 | 21.0336607 | 158 | 34.3741471 | 280 | 25.2697013 |
| 37 | 21.1772734 | 159 | 34.3877387 | 281 | 25.1029991 |
| 38 | 21.3226959 | 160 | 34.4002041 | 282 | 24.9362606 |
| 39 | 21.4698589 | 161 | 34.4115589 | 283 | 24.7695618 |
| 40 | 21.6186925 | 162 | 34.4218176 | 284 | 24.6029791 |
| 41 | 21.7691257 | 163 | 34.4309932 | 285 | 24.4365891 |
| 42 | 21.9210871 | 164 | 34.4390978 | 286 | 24.2704688 |
| 43 | 22.0745044 | 165 | 34.4461419 | 287 | 24.1046953 |
| 44 | 22.2293044 | 166 | 34.4521349 | 288 | 23.9393456 |
| 45 | 22.3854136 | 167 | 34.4570847 | 289 | 23.774497 |
| 46 | 22.5427578 | 168 | 34.4609979 | 290 | 23.6102268 |
| 47 | 22.7012622 | 169 | 34.4638799 | 291 | 23.446612 |
| 48 | 22.8608516 | 170 | 34.4657345 | 292 | 23.2837297 |
| 49 | 23.0214503 | 171 | 34.4665643 | 293 | 23.1216567 |
| 50 | 23.1829822 | 172 | 34.4663703 | 294 | 22.9604695 |
| 51 | 23.345371 | 173 | 34.4651523 | 295 | 22.8002444 |
| 52 | 23.50854 | 174 | 34.4629087 | 296 | 22.6410573 |
| 53 | 23.6724123 | 175 | 34.4596364 | 297 | 22.4829838 |
| 54 | 23.8369108 | 176 | 34.455331 | 298 | 22.3260989 |
| 55 | 24.0019583 | 177 | 34.4499867 | 299 | 22.1704771 |
| 56 | 24.1674777 | 178 | 34.4435964 | 300 | 22.0161925 |
| 57 | 24.3333918 | 179 | 34.4361515 | 301 | 21.8633185 |
| 58 | 24.4996234 | 180 | 34.4276423 | 302 | 21.7119278 |
| 59 | 24.6660954 | 181 | 34.4180577 | 303 | 21.5620924 |
| 60 | 24.8327311 | 182 | 34.4073852 | 304 | 21.4138837 |
| 61 | 24.999454 | 183 | 34.3956112 | 305 | 21.2673722 |
| 62 | 25.1661876 | 184 | 34.3827209 | 306 | 21.1226275 |
| 63 | 25.3328562 | 185 | 34.3686981 | 307 | 20.9797186 |
| 64 | 25.4993844 | 186 | 34.3535258 | 308 | 20.8387133 |
| 65 | 25.6656971 | 187 | 34.3371854 | 309 | 20.6996786 |
| 66 | 25.83172 | 188 | 34.3196576 | 310 | 20.5626806 |
| 67 | 25.9973793 | 189 | 34.300922 | 311 | 20.4277842 |
| 68 | 26.1626021 | 190 | 34.2809572 | 312 | 20.2950534 |
| 69 | 26.327316 | 191 | 34.2597406 | 313 | 20.1645509 |
| 70 | 26.4914496 | 192 | 34.2372491 | 314 | 20.0363387 |

| día | β ($\omega = 60^\circ$) | día | β ($\omega = 60^\circ$) | día | β ($\omega = 60^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 71 | 26.6549322 | 193 | 34.2134585 | 315 | 19.9104771 |
| 72 | 26.8176942 | 194 | 34.188344 | 316 | 19.7870258 |
| 73 | 26.979667 | 195 | 34.1618798 | 317 | 19.6660428 |
| 74 | 27.1407831 | 196 | 34.1340397 | 318 | 19.5475853 |
| 75 | 27.300976 | 197 | 34.1047968 | 319 | 19.4317088 |
| 76 | 27.4601804 | 198 | 34.0741235 | 320 | 19.3184679 |
| 77 | 27.6183324 | 199 | 34.041992 | 321 | 19.2079156 |
| 78 | 27.7753694 | 200 | 34.0083738 | 322 | 19.1001039 |
| 79 | 27.9312299 | 201 | 33.9732402 | 323 | 18.9950831 |
| 80 | 28.0858542 | 202 | 33.9365623 | 324 | 18.8929025 |
| 81 | 28.2391838 | 203 | 33.8983108 | 325 | 18.7936095 |
| 82 | 28.3911618 | 204 | 33.8584564 | 326 | 18.6972506 |
| 83 | 28.5417329 | 205 | 33.8169696 | 327 | 18.6038707 |
| 84 | 28.6908434 | 206 | 33.773821 | 328 | 18.513513 |
| 85 | 28.8384413 | 207 | 33.7289813 | 329 | 18.4262197 |
| 86 | 28.9844764 | 208 | 33.6824212 | 330 | 18.3420312 |
| 87 | 29.1289001 | 209 | 33.6341119 | 331 | 18.2609864 |
| 88 | 29.2716657 | 210 | 33.5840246 | 332 | 18.183123 |
| 89 | 29.4127282 | 211 | 33.5321312 | 333 | 18.1084767 |
| 90 | 29.5520447 | 212 | 33.4784037 | 334 | 18.0370822 |
| 91 | 29.6895741 | 213 | 33.422815 | 335 | 17.9689723 |
| 92 | 29.8252771 | 214 | 33.3653383 | 336 | 17.9041784 |
| 93 | 29.9591167 | 215 | 33.3059476 | 337 | 17.8427302 |
| 94 | 30.0910575 | 216 | 33.2446178 | 338 | 17.784656 |
| 95 | 30.2210663 | 217 | 33.1813244 | 339 | 17.7299825 |
| 96 | 30.349112 | 218 | 33.116044 | 340 | 17.6787347 |
| 97 | 30.4751654 | 219 | 33.048754 | 341 | 17.6309362 |
| 98 | 30.5991994 | 220 | 32.979433 | 342 | 17.5866087 |
| 99 | 30.721189 | 221 | 32.9080606 | 343 | 17.5457726 |
| 100 | 30.8411113 | 222 | 32.8346178 | 344 | 17.5084465 |
| 101 | 30.9589452 | 223 | 32.7590865 | 345 | 17.4746475 |
| 102 | 31.0746721 | 224 | 32.6814503 | 346 | 17.444391 |
| 103 | 31.1882751 | 225 | 32.6016939 | 347 | 17.4176908 |
| 104 | 31.2997395 | 226 | 32.5198036 | 348 | 17.3945591 |
| 105 | 31.4090526 | 227 | 32.4357671 | 349 | 17.3750063 |
| 106 | 31.5162039 | 228 | 32.3495738 | 350 | 17.3590415 |
| 107 | 31.6211846 | 229 | 32.2612146 | 351 | 17.3466719 |
| 108 | 31.723988 | 230 | 32.170682 | 352 | 17.3379032 |
| 109 | 31.8246096 | 231 | 32.0779704 | 353 | 17.3327392 |
| 110 | 31.9230466 | 232 | 31.9830758 | 354 | 17.3311824 |

| día | $\beta (\omega = 60^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 60^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 60^\circ)$ |
|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|
| 111 | 32.019298 | 233 | 31.8859961 | 355 | 17.3332334 |
| 112 | 32.1133648 | 234 | 31.786731 | 356 | 17.3388914 |
| 113 | 32.20525 | 235 | 31.6852821 | 357 | 17.3481538 |
| 114 | 32.2949581 | 236 | 31.5816528 | 358 | 17.3610163 |
| 115 | 32.3824955 | 237 | 31.4758486 | 359 | 17.3774731 |
| 116 | 32.4678702 | 238 | 31.3678768 | 360 | 17.3975168 |
| 117 | 32.551092 | 239 | 31.257747 | 361 | 17.421138 |
| 118 | 32.632172 | 240 | 31.1454705 | 362 | 17.4483262 |
| 119 | 32.7111231 | 241 | 31.0310607 | 363 | 17.4790689 |
| 120 | 32.7879597 | 242 | 30.9145332 | 364 | 17.5133521 |
| 121 | 32.8626975 | 243 | 30.7959054 | 365 | 17.5511601 |
| 122 | 32.9353534 | 244 | 30.6751971 | | |

Tabla 6 Valores de los ángulos de altura solar β para la latitud $\varphi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 45^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | $\beta (\omega = 45^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 45^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 45^\circ)$ |
|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|
| 1 | 28.8177349 | 123 | 47.0846779 | 245 | 44.5782175 |
| 2 | 28.8750339 | 124 | 47.1458318 | 246 | 44.4399249 |
| 3 | 28.9366761 | 125 | 47.2044623 | 247 | 44.2986964 |
| 4 | 29.0026322 | 126 | 47.2606214 | 248 | 44.1545627 |
| 5 | 29.072871 | 127 | 47.3143626 | 249 | 44.0075581 |
| 6 | 29.1473594 | 128 | 47.3657408 | 250 | 43.85772 |
| 7 | 29.2260619 | 129 | 47.4148121 | 251 | 43.7050892 |
| 8 | 29.3089411 | 130 | 47.4616339 | 252 | 43.54971 |

| día | β ($\omega = 45^\circ$) | día | β ($\omega = 45^\circ$) | día | β ($\omega = 45^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 9 | 29.3959577 | 131 | 47.5062645 | 253 | 43.3916295 |
| 10 | 29.4870702 | 132 | 47.5487632 | 254 | 43.2308982 |
| 11 | 29.5822351 | 133 | 47.5891898 | 255 | 43.0675698 |
| 12 | 29.6814069 | 134 | 47.6276049 | 256 | 42.9017007 |
| 13 | 29.7845383 | 135 | 47.6640695 | 257 | 42.7333506 |
| 14 | 29.8915796 | 136 | 47.6986446 | 258 | 42.5625819 |
| 15 | 30.0024796 | 137 | 47.7313919 | 259 | 42.3894597 |
| 16 | 30.1171849 | 138 | 47.7623727 | 260 | 42.2140522 |
| 17 | 30.2356402 | 139 | 47.7916484 | 261 | 42.0364298 |
| 18 | 30.3577883 | 140 | 47.81928 | 262 | 41.8566657 |
| 19 | 30.4835701 | 141 | 47.8453283 | 263 | 41.6748354 |
| 20 | 30.6129246 | 142 | 47.8698535 | 264 | 41.491017 |
| 21 | 30.7457889 | 143 | 47.8929151 | 265 | 41.3052906 |
| 22 | 30.8820985 | 144 | 47.9145719 | 266 | 41.1177386 |
| 23 | 31.0217868 | 145 | 47.934882 | 267 | 40.9284455 |
| 24 | 31.1647855 | 146 | 47.9539022 | 268 | 40.7374977 |
| 25 | 31.3110247 | 147 | 47.9716884 | 269 | 40.5449834 |
| 26 | 31.4604324 | 148 | 47.9882951 | 270 | 40.3509927 |
| 27 | 31.6129353 | 149 | 48.0037756 | 271 | 40.1556173 |
| 28 | 31.7684581 | 150 | 48.0181818 | 272 | 39.9589504 |
| 29 | 31.926924 | 151 | 48.0315638 | 273 | 39.7610867 |
| 30 | 32.0882545 | 152 | 48.0439704 | 274 | 39.5621224 |
| 31 | 32.2523696 | 153 | 48.0554485 | 275 | 39.3621547 |
| 32 | 32.4191877 | 154 | 48.0660432 | 276 | 39.1612819 |
| 33 | 32.5886255 | 155 | 48.0757976 | 277 | 38.9596037 |
| 34 | 32.7605986 | 156 | 48.084753 | 278 | 38.7572205 |
| 35 | 32.9350208 | 157 | 48.0929485 | 279 | 38.5542334 |
| 36 | 33.1118046 | 158 | 48.1004211 | 280 | 38.3507445 |
| 37 | 33.2908613 | 159 | 48.1072057 | 281 | 38.1468565 |
| 38 | 33.4721006 | 160 | 48.1133348 | 282 | 37.9426725 |
| 39 | 33.6554311 | 161 | 48.1188386 | 283 | 37.7382962 |
| 40 | 33.8407601 | 162 | 48.123745 | 284 | 37.5338316 |
| 41 | 34.0279939 | 163 | 48.1280795 | 285 | 37.3293829 |
| 42 | 34.2170373 | 164 | 48.131865 | 286 | 37.1250546 |
| 43 | 34.4077944 | 165 | 48.135122 | 287 | 36.9209513 |
| 44 | 34.600168 | 166 | 48.1378684 | 288 | 36.7171775 |
| 45 | 34.7940602 | 167 | 48.1401195 | 289 | 36.5138377 |
| 46 | 34.9893719 | 168 | 48.1418881 | 290 | 36.3110361 |
| 47 | 35.1860034 | 169 | 48.1431843 | 291 | 36.1088769 |
| 48 | 35.3838541 | 170 | 48.1440156 | 292 | 35.9074637 |

| día | β ($\omega = 45^\circ$) | día | β ($\omega = 45^\circ$) | día | β ($\omega = 45^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 49 | 35.5828226 | 171 | 48.1443868 | 293 | 35.7068999 |
| 50 | 35.7828071 | 172 | 48.1443 | 294 | 35.5072885 |
| 51 | 35.9837049 | 173 | 48.1437549 | 295 | 35.3087316 |
| 52 | 36.185413 | 174 | 48.1427481 | 296 | 35.1113311 |
| 53 | 36.3878279 | 175 | 48.1412739 | 297 | 34.915188 |
| 54 | 36.5908458 | 176 | 48.1393237 | 298 | 34.7204026 |
| 55 | 36.7943624 | 177 | 48.1368865 | 299 | 34.5270744 |
| 56 | 36.9982734 | 178 | 48.1339486 | 300 | 34.3353019 |
| 57 | 37.2024742 | 179 | 48.1304936 | 301 | 34.145183 |
| 58 | 37.4068604 | 180 | 48.1265025 | 302 | 33.9568142 |
| 59 | 37.6113274 | 181 | 48.1219541 | 303 | 33.7702912 |
| 60 | 37.8157708 | 182 | 48.1168244 | 304 | 33.5857086 |
| 61 | 38.0200865 | 183 | 48.111087 | 305 | 33.4031598 |
| 62 | 38.2241705 | 184 | 48.1047132 | 306 | 33.2227371 |
| 63 | 38.4279193 | 185 | 48.0976718 | 307 | 33.0445313 |
| 64 | 38.6312301 | 186 | 48.0899294 | 308 | 32.8686321 |
| 65 | 38.8340003 | 187 | 48.0814504 | 309 | 32.6951279 |
| 66 | 39.0361282 | 188 | 48.0721969 | 310 | 32.5241056 |
| 67 | 39.2375129 | 189 | 48.062129 | 311 | 32.3556508 |
| 68 | 39.4380543 | 190 | 48.0512047 | 312 | 32.1898475 |
| 69 | 39.6376533 | 191 | 48.0393801 | 313 | 32.0267782 |
| 70 | 39.8362118 | 192 | 48.0266094 | 314 | 31.866524 |
| 71 | 40.0336331 | 193 | 48.012845 | 315 | 31.7091644 |
| 72 | 40.2298216 | 194 | 47.9980377 | 316 | 31.5547772 |
| 73 | 40.4246831 | 195 | 47.9821365 | 317 | 31.4034387 |
| 74 | 40.6181249 | 196 | 47.9650891 | 318 | 31.2552232 |
| 75 | 40.810056 | 197 | 47.9468418 | 319 | 31.1102039 |
| 76 | 41.000387 | 198 | 47.9273393 | 320 | 30.9684516 |
| 77 | 41.1890303 | 199 | 47.9065256 | 321 | 30.8300359 |
| 78 | 41.3759002 | 200 | 47.8843432 | 322 | 30.6950244 |
| 79 | 41.5609131 | 201 | 47.8607339 | 323 | 30.5634827 |
| 80 | 41.7439873 | 202 | 47.8356385 | 324 | 30.435475 |
| 81 | 41.9250435 | 203 | 47.8089972 | 325 | 30.3110633 |
| 82 | 42.1040047 | 204 | 47.7807497 | 326 | 30.190308 |
| 83 | 42.2807962 | 205 | 47.750835 | 327 | 30.0732673 |
| 84 | 42.4553457 | 206 | 47.7191919 | 328 | 29.9599978 |
| 85 | 42.6275838 | 207 | 47.6857591 | 329 | 29.8505541 |
| 86 | 42.7974433 | 208 | 47.6504751 | 330 | 29.7449886 |
| 87 | 42.9648603 | 209 | 47.6132785 | 331 | 29.6433522 |
| 88 | 43.1297733 | 210 | 47.5741081 | 332 | 29.5456936 |

| día | β ($\omega = 45^\circ$) | día | β ($\omega = 45^\circ$) | día | β ($\omega = 45^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 89 | 43.2921239 | 211 | 47.5329033 | 333 | 29.4520593 |
| 90 | 43.4518567 | 212 | 47.4896036 | 334 | 29.3624941 |
| 91 | 43.6089192 | 213 | 47.4441495 | 335 | 29.2770408 |
| 92 | 43.7632622 | 214 | 47.3964819 | 336 | 29.1957401 |
| 93 | 43.9148395 | 215 | 47.346543 | 337 | 29.1186304 |
| 94 | 44.0636084 | 216 | 47.2942758 | 338 | 29.0457486 |
| 95 | 44.2095292 | 217 | 47.2396246 | 339 | 28.9771291 |
| 96 | 44.3525656 | 218 | 47.182535 | 340 | 28.9128044 |
| 97 | 44.4926849 | 219 | 47.1229542 | 341 | 28.852805 |
| 98 | 44.6298574 | 220 | 47.0608308 | 342 | 28.7971592 |
| 99 | 44.7640571 | 221 | 46.9961152 | 343 | 28.7458932 |
| 100 | 44.8952615 | 222 | 46.9287598 | 344 | 28.6990313 |
| 101 | 45.0234512 | 223 | 46.8587188 | 345 | 28.6565955 |
| 102 | 45.1486107 | 224 | 46.7859487 | 346 | 28.6186059 |
| 103 | 45.2707277 | 225 | 46.7104082 | 347 | 28.5850802 |
| 104 | 45.3897933 | 226 | 46.6320582 | 348 | 28.5560343 |
| 105 | 45.5058022 | 227 | 46.5508623 | 349 | 28.5314817 |
| 106 | 45.6187526 | 228 | 46.4667865 | 350 | 28.5114341 |
| 107 | 45.7286458 | 229 | 46.3797995 | 351 | 28.4959008 |
| 108 | 45.8354866 | 230 | 46.2898728 | 352 | 28.4848891 |
| 109 | 45.9392832 | 231 | 46.1969809 | 353 | 28.4784043 |
| 110 | 46.0400469 | 232 | 46.101101 | 354 | 28.4764492 |
| 111 | 46.1377924 | 233 | 46.0022135 | 355 | 28.479025 |
| 112 | 46.2325374 | 234 | 45.9003019 | 356 | 28.4861302 |
| 113 | 46.3243027 | 235 | 45.7953527 | 357 | 28.4977617 |
| 114 | 46.413112 | 236 | 45.6873558 | 358 | 28.5139139 |
| 115 | 46.4989921 | 237 | 45.5763043 | 359 | 28.5345793 |
| 116 | 46.5819727 | 238 | 45.4621948 | 360 | 28.5597482 |
| 117 | 46.6620858 | 239 | 45.3450269 | 361 | 28.5894087 |
| 118 | 46.7393666 | 240 | 45.224804 | 362 | 28.623547 |
| 119 | 46.8138524 | 241 | 45.1015327 | 363 | 28.6621468 |
| 120 | 46.8855832 | 242 | 44.9752231 | 364 | 28.7051902 |
| 121 | 46.9546011 | 243 | 44.8458888 | 365 | 28.7526568 |
| 122 | 47.0209505 | 244 | 44.7135468 | | |

Tabla 7 Valores de los ángulos de altura solar β para la latitud $\varphi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 30^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | $\beta (\omega = 30^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 30^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 30^\circ)$ |
|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|
| 1 | 38.3045059 | 123 | 61.2037317 | 245 | 58.2555095 |
| 2 | 38.3750359 | 124 | 61.2649439 | 246 | 58.0815022 |
| 3 | 38.4509281 | 125 | 61.3225658 | 247 | 57.9032768 |
| 4 | 38.5321502 | 126 | 61.3766932 | 248 | 57.7208932 |
| 5 | 38.6186676 | 127 | 61.427425 | 249 | 57.5344166 |
| 6 | 38.7104435 | 128 | 61.4748629 | 250 | 57.3439176 |
| 7 | 38.8074385 | 129 | 61.5191116 | 251 | 57.1494714 |
| 8 | 38.9096113 | 130 | 61.5602778 | 252 | 56.9511584 |
| 9 | 39.016918 | 131 | 61.5984705 | 253 | 56.7490633 |
| 10 | 39.1293125 | 132 | 61.6338003 | 254 | 56.5432754 |
| 11 | 39.2467464 | 133 | 61.6663794 | 255 | 56.3338882 |
| 12 | 39.3691691 | 134 | 61.696321 | 256 | 56.1209994 |
| 13 | 39.4965277 | 135 | 61.7237393 | 257 | 55.9047101 |
| 14 | 39.628767 | 136 | 61.7487489 | 258 | 55.6851256 |
| 15 | 39.7658296 | 137 | 61.771465 | 259 | 55.4623542 |
| 16 | 39.9076557 | 138 | 61.7920026 | 260 | 55.2365076 |
| 17 | 40.0541836 | 139 | 61.8104763 | 261 | 55.0077007 |
| 18 | 40.205349 | 140 | 61.8270003 | 262 | 54.776051 |
| 19 | 40.3610856 | 141 | 61.8416881 | 263 | 54.5416786 |
| 20 | 40.5213249 | 142 | 61.8546518 | 264 | 54.3047064 |
| 21 | 40.6859961 | 143 | 61.8660026 | 265 | 54.0652592 |
| 22 | 40.8550263 | 144 | 61.8758498 | 266 | 53.8234639 |
| 23 | 41.0283404 | 145 | 61.8843009 | 267 | 53.5794495 |
| 24 | 41.2058612 | 146 | 61.8914618 | 268 | 53.3333466 |
| 25 | 41.3875092 | 147 | 61.8974356 | 269 | 53.0852871 |
| 26 | 41.573203 | 148 | 61.9023233 | 270 | 52.8354045 |
| 27 | 41.762859 | 149 | 61.9062231 | 271 | 52.5838334 |

| día | β ($\omega = 30^\circ$) | día | β ($\omega = 30^\circ$) | día | β ($\omega = 30^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 28 | 41.9563914 | 150 | 61.9092307 | 272 | 52.3307095 |
| 29 | 42.1537124 | 151 | 61.9114383 | 273 | 52.0761692 |
| 30 | 42.3547322 | 152 | 61.9129353 | 274 | 51.8203498 |
| 31 | 42.5593588 | 153 | 61.9138076 | 275 | 51.5633891 |
| 32 | 42.7674985 | 154 | 61.9141378 | 276 | 51.3054252 |
| 33 | 42.9790551 | 155 | 61.9140046 | 277 | 51.0465967 |
| 34 | 43.193931 | 156 | 61.9134833 | 278 | 50.7870422 |
| 35 | 43.4120261 | 157 | 61.9126449 | 279 | 50.5269004 |
| 36 | 43.6332387 | 158 | 61.9115569 | 280 | 50.2663099 |
| 37 | 43.8574652 | 159 | 61.9102823 | 281 | 50.0054093 |
| 38 | 44.0845999 | 160 | 61.9088801 | 282 | 49.7443366 |
| 39 | 44.3145355 | 161 | 61.9074051 | 283 | 49.4832295 |
| 40 | 44.5471627 | 162 | 61.9059075 | 284 | 49.2222252 |
| 41 | 44.7823704 | 163 | 61.9044333 | 285 | 48.9614604 |
| 42 | 45.020046 | 164 | 61.9030238 | 286 | 48.701071 |
| 43 | 45.2600748 | 165 | 61.901716 | 287 | 48.4411921 |
| 44 | 45.5023407 | 166 | 61.9005421 | 288 | 48.181958 |
| 45 | 45.7467259 | 167 | 61.8995296 | 289 | 47.9235021 |
| 46 | 45.9931109 | 168 | 61.8987015 | 290 | 47.6659566 |
| 47 | 46.2413747 | 169 | 61.8980758 | 291 | 47.4094529 |
| 48 | 46.4913947 | 170 | 61.8976661 | 292 | 47.1541209 |
| 49 | 46.7430471 | 171 | 61.897481 | 293 | 46.9000897 |
| 50 | 46.9962063 | 172 | 61.8975244 | 294 | 46.6474867 |
| 51 | 47.2507456 | 173 | 61.8977953 | 295 | 46.3964383 |
| 52 | 47.5065369 | 174 | 61.8982882 | 296 | 46.1470694 |
| 53 | 47.7634508 | 175 | 61.8989924 | 297 | 45.8995033 |
| 54 | 48.0213569 | 176 | 61.8998928 | 298 | 45.6538621 |
| 55 | 48.2801234 | 177 | 61.9009694 | 299 | 45.4102661 |
| 56 | 48.5396176 | 178 | 61.9021976 | 300 | 45.1688343 |
| 57 | 48.7997058 | 179 | 61.903548 | 301 | 44.9296838 |
| 58 | 49.0602534 | 180 | 61.9049865 | 302 | 44.6929302 |
| 59 | 49.321125 | 181 | 61.9064747 | 303 | 44.4586873 |
| 60 | 49.5821844 | 182 | 61.9079694 | 304 | 44.2270672 |
| 61 | 49.8432946 | 183 | 61.909423 | 305 | 43.9981804 |
| 62 | 50.1043184 | 184 | 61.9107835 | 306 | 43.7721354 |
| 63 | 50.3651177 | 185 | 61.9119945 | 307 | 43.5490388 |
| 64 | 50.6255544 | 186 | 61.9129956 | 308 | 43.3289956 |
| 65 | 50.8854899 | 187 | 61.9137219 | 309 | 43.1121087 |
| 66 | 51.1447856 | 188 | 61.9141048 | 310 | 42.8984792 |
| 67 | 51.4033028 | 189 | 61.9140714 | 311 | 42.6882062 |

| día | β ($\omega = 30^\circ$) | día | β ($\omega = 30^\circ$) | día | β ($\omega = 30^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 68 | 51.6609028 | 190 | 61.9135452 | 312 | 42.4813868 |
| 69 | 51.9174472 | 191 | 61.9124446 | 313 | 42.2781162 |
| 70 | 52.172798 | 192 | 61.91069 | 314 | 42.0784875 |
| 71 | 52.4268175 | 193 | 61.9081899 | 315 | 41.882592 |
| 72 | 52.6793689 | 194 | 61.9048552 | 316 | 41.6905185 |
| 73 | 52.930316 | 195 | 61.9005923 | 317 | 41.5023543 |
| 74 | 53.1795234 | 196 | 61.8953047 | 318 | 41.3181841 |
| 75 | 53.426857 | 197 | 61.888893 | 319 | 41.1380908 |
| 76 | 53.6721839 | 198 | 61.8812555 | 320 | 40.9621551 |
| 77 | 53.9153725 | 199 | 61.8722877 | 321 | 40.7904556 |
| 78 | 54.1562929 | 200 | 61.8618835 | 322 | 40.6230688 |
| 79 | 54.3948169 | 201 | 61.8499343 | 323 | 40.4600688 |
| 80 | 54.6308184 | 202 | 61.8363303 | 324 | 40.3015278 |
| 81 | 54.8641732 | 203 | 61.8209599 | 325 | 40.1475157 |
| 82 | 55.0947595 | 204 | 61.8037103 | 326 | 39.9981003 |
| 83 | 55.3224581 | 205 | 61.7844679 | 327 | 39.8533469 |
| 84 | 55.5471525 | 206 | 61.7631182 | 328 | 39.713319 |
| 85 | 55.7687291 | 207 | 61.7395464 | 329 | 39.5780776 |
| 86 | 55.9870773 | 208 | 61.7136374 | 330 | 39.4476814 |
| 87 | 56.20209 | 209 | 61.6852762 | 331 | 39.3221871 |
| 88 | 56.4136634 | 210 | 61.6543484 | 332 | 39.2016491 |
| 89 | 56.6216977 | 211 | 61.6207401 | 333 | 39.0861192 |
| 90 | 56.8260968 | 212 | 61.5843384 | 334 | 38.9756475 |
| 91 | 57.0267688 | 213 | 61.5450317 | 335 | 38.8702812 |
| 92 | 57.223626 | 214 | 61.5027099 | 336 | 38.7700658 |
| 93 | 57.4165854 | 215 | 61.457265 | 337 | 38.675044 |
| 94 | 57.6055685 | 216 | 61.4085908 | 338 | 38.5852566 |
| 95 | 57.7905019 | 217 | 61.356584 | 339 | 38.5007419 |
| 96 | 57.971317 | 218 | 61.3011436 | 340 | 38.4215359 |
| 97 | 58.1479505 | 219 | 61.242172 | 341 | 38.3476723 |
| 98 | 58.3203445 | 220 | 61.1795748 | 342 | 38.2791825 |
| 99 | 58.4884466 | 221 | 61.1132611 | 343 | 38.2160956 |
| 100 | 58.6522101 | 222 | 61.0431441 | 344 | 38.1584384 |
| 101 | 58.811594 | 223 | 60.9691409 | 345 | 38.1062351 |
| 102 | 58.9665633 | 224 | 60.8911731 | 346 | 38.0595081 |
| 103 | 59.1170887 | 225 | 60.8091669 | 347 | 38.0182769 |
| 104 | 59.2631473 | 226 | 60.7230533 | 348 | 37.9825591 |
| 105 | 59.4047222 | 227 | 60.6327683 | 349 | 37.9523696 |
| 106 | 59.5418026 | 228 | 60.5382534 | 350 | 37.9277213 |
| 107 | 59.6743841 | 229 | 60.4394551 | 351 | 37.9086245 |

| día | β ($\omega = 30^\circ$) | día | β ($\omega = 30^\circ$) | día | β ($\omega = 30^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 108 | 59.8024683 | 230 | 60.3363259 | 352 | 37.8950872 |
| 109 | 59.9260632 | 231 | 60.2288237 | 353 | 37.8871153 |
| 110 | 60.0451829 | 232 | 60.1169125 | 354 | 37.884712 |
| 111 | 60.1598477 | 233 | 60.000562 | 355 | 37.8878783 |
| 112 | 60.2700841 | 234 | 59.8797483 | 356 | 37.8966129 |
| 113 | 60.3759243 | 235 | 59.7544533 | 357 | 37.9109122 |
| 114 | 60.4774069 | 236 | 59.6246652 | 358 | 37.9307701 |
| 115 | 60.5745758 | 237 | 59.4903785 | 359 | 37.9561782 |
| 116 | 60.6674811 | 238 | 59.3515938 | 360 | 37.9871259 |
| 117 | 60.7561779 | 239 | 59.208318 | 361 | 38.0236 |
| 118 | 60.840727 | 240 | 59.0605641 | 362 | 38.0655852 |
| 119 | 60.9211943 | 241 | 58.9083514 | 363 | 38.1130637 |
| 120 | 60.9976505 | 242 | 58.7517053 | 364 | 38.1660155 |
| 121 | 61.0701714 | 243 | 58.590657 | 365 | 38.2244181 |
| 122 | 61.138837 | 244 | 58.4252441 | | |

Tabla 8 Valores de los ángulos de altura solar β para la latitud $\phi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 15^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | β ($\omega = 15^\circ$) | día | β ($\omega = 15^\circ$) | día | β ($\omega = 15^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 1 | 44.9488639 | 123 | 75.2050544 | 245 | 70.6940667 |
| 2 | 45.0316453 | 124 | 75.2907179 | 246 | 70.4312126 |
| 3 | 45.1207532 | 125 | 75.3697777 | 247 | 70.1631225 |

| día | β ($\omega = 15^\circ$) | día | β ($\omega = 15^\circ$) | día | β ($\omega = 15^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 4 | 45.216157 | 126 | 75.4423851 | 248 | 69.8899762 |
| 5 | 45.317824 | 127 | 75.5087051 | 249 | 69.6119558 |
| 6 | 45.4257194 | 128 | 75.5689162 | 250 | 69.3292462 |
| 7 | 45.5398062 | 129 | 75.6232093 | 251 | 69.0420336 |
| 8 | 45.6600452 | 130 | 75.6717866 | 252 | 68.7505057 |
| 9 | 45.786395 | 131 | 75.7148608 | 253 | 68.4548512 |
| 10 | 45.9188121 | 132 | 75.7526538 | 254 | 68.1552594 |
| 11 | 46.0572509 | 133 | 75.7853958 | 255 | 67.8519198 |
| 12 | 46.2016634 | 134 | 75.8133241 | 256 | 67.5450221 |
| 13 | 46.3519999 | 135 | 75.8366818 | 257 | 67.2347555 |
| 14 | 46.5082081 | 136 | 75.8557167 | 258 | 66.9213089 |
| 15 | 46.6702339 | 137 | 75.8706804 | 259 | 66.6048706 |
| 16 | 46.8380211 | 138 | 75.8818267 | 260 | 66.2856276 |
| 17 | 47.011511 | 139 | 75.889411 | 261 | 65.9637664 |
| 18 | 47.1906433 | 140 | 75.8936888 | 262 | 65.6394721 |
| 19 | 47.3753553 | 141 | 75.894915 | 263 | 65.3129284 |
| 20 | 47.5655823 | 142 | 75.8933428 | 264 | 64.9843177 |
| 21 | 47.7612575 | 143 | 75.889223 | 265 | 64.653821 |
| 22 | 47.962312 | 144 | 75.8828026 | 266 | 64.3216177 |
| 23 | 48.168675 | 145 | 75.8743248 | 267 | 63.9878853 |
| 24 | 48.3802735 | 146 | 75.8640277 | 268 | 63.6528 |
| 25 | 48.5970324 | 147 | 75.852144 | 269 | 63.316536 |
| 26 | 48.8188748 | 148 | 75.8388999 | 270 | 62.9792658 |
| 27 | 49.0457215 | 149 | 75.8245153 | 271 | 62.6411601 |
| 28 | 49.2774914 | 150 | 75.8092028 | 272 | 62.3023876 |
| 29 | 49.5141014 | 151 | 75.7931672 | 273 | 61.9631153 |
| 30 | 49.7554665 | 152 | 75.7766056 | 274 | 61.6235082 |
| 31 | 50.0014995 | 153 | 75.7597067 | 275 | 61.2837296 |
| 32 | 50.2521113 | 154 | 75.7426506 | 276 | 60.9439407 |
| 33 | 50.5072108 | 155 | 75.7256087 | 277 | 60.6043008 |
| 34 | 50.7667051 | 156 | 75.7087434 | 278 | 60.2649674 |
| 35 | 51.030499 | 157 | 75.6922077 | 279 | 59.926096 |
| 36 | 51.2984957 | 158 | 75.6761455 | 280 | 59.5878401 |
| 37 | 51.5705961 | 159 | 75.6606911 | 281 | 59.2503514 |
| 38 | 51.8466995 | 160 | 75.6459695 | 282 | 58.9137797 |
| 39 | 52.1267031 | 161 | 75.6320958 | 283 | 58.5782727 |
| 40 | 52.410502 | 162 | 75.6191757 | 284 | 58.2439764 |
| 41 | 52.6979896 | 163 | 75.607305 | 285 | 57.9110348 |
| 42 | 52.9890574 | 164 | 75.59657 | 286 | 57.57959 |
| 43 | 53.2835949 | 165 | 75.587047 | 287 | 57.2497821 |

| día | β ($\omega = 15^\circ$) | día | β ($\omega = 15^\circ$) | día | β ($\omega = 15^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 44 | 53.5814896 | 166 | 75.5788027 | 288 | 56.9217494 |
| 45 | 53.8826273 | 167 | 75.5718939 | 289 | 56.5956283 |
| 46 | 54.1868916 | 168 | 75.5663678 | 290 | 56.2715533 |
| 47 | 54.4941646 | 169 | 75.5622615 | 291 | 55.9496569 |
| 48 | 54.8043261 | 170 | 75.5596026 | 292 | 55.6300698 |
| 49 | 55.1172542 | 171 | 75.5584089 | 293 | 55.3129208 |
| 50 | 55.4328252 | 172 | 75.5586882 | 294 | 54.9983367 |
| 51 | 55.7509133 | 173 | 75.5604387 | 295 | 54.6864427 |
| 52 | 56.0713909 | 174 | 75.5636487 | 296 | 54.3773617 |
| 53 | 56.3941285 | 175 | 75.5682969 | 297 | 54.071215 |
| 54 | 56.7189947 | 176 | 75.574352 | 298 | 53.7681218 |
| 55 | 57.0458562 | 177 | 75.581773 | 299 | 53.4681997 |
| 56 | 57.3745778 | 178 | 75.5905092 | 300 | 53.171564 |
| 57 | 57.7050225 | 179 | 75.6004999 | 301 | 52.8783284 |
| 58 | 58.0370512 | 180 | 75.6116748 | 302 | 52.5886046 |
| 59 | 58.3705231 | 181 | 75.6239539 | 303 | 52.3025023 |
| 60 | 58.7052952 | 182 | 75.6372472 | 304 | 52.0201294 |
| 61 | 59.041223 | 183 | 75.6514552 | 305 | 51.7415918 |
| 62 | 59.3781598 | 184 | 75.6664686 | 306 | 51.4669935 |
| 63 | 59.715957 | 185 | 75.6821686 | 307 | 51.1964366 |
| 64 | 60.0544641 | 186 | 75.6984266 | 308 | 50.9300213 |
| 65 | 60.3935288 | 187 | 75.7151046 | 309 | 50.6678456 |
| 66 | 60.7329968 | 188 | 75.7320554 | 310 | 50.4100059 |
| 67 | 61.0727117 | 189 | 75.7491223 | 311 | 50.1565963 |
| 68 | 61.4125156 | 190 | 75.7661394 | 312 | 49.9077093 |
| 69 | 61.7522483 | 191 | 75.7829321 | 313 | 49.6634351 |
| 70 | 62.0917477 | 192 | 75.799317 | 314 | 49.423862 |
| 71 | 62.4308501 | 193 | 75.8151022 | 315 | 49.1890765 |
| 72 | 62.7693897 | 194 | 75.8300876 | 316 | 48.9591628 |
| 73 | 63.1071988 | 195 | 75.8440654 | 317 | 48.7342033 |
| 74 | 63.4441078 | 196 | 75.8568201 | 318 | 48.5142784 |
| 75 | 63.7799455 | 197 | 75.8681295 | 319 | 48.2994663 |
| 76 | 64.1145386 | 198 | 75.8777647 | 320 | 48.0898434 |
| 77 | 64.4477123 | 199 | 75.8854911 | 321 | 47.8854838 |
| 78 | 64.7792898 | 200 | 75.8910684 | 322 | 47.6864598 |
| 79 | 65.1090929 | 201 | 75.894252 | 323 | 47.4928415 |
| 80 | 65.4369415 | 202 | 75.8947932 | 324 | 47.3046969 |
| 81 | 65.7626543 | 203 | 75.8924404 | 325 | 47.1220921 |
| 82 | 66.0860481 | 204 | 75.8869395 | 326 | 46.945091 |
| 83 | 66.4069389 | 205 | 75.8780353 | 327 | 46.7737554 |

| día | β ($\omega = 15^\circ$) | día | β ($\omega = 15^\circ$) | día | β ($\omega = 15^\circ$) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 84 | 66.7251409 | 206 | 75.8654722 | 328 | 46.6081451 |
| 85 | 67.0404674 | 207 | 75.8489952 | 329 | 46.4483176 |
| 86 | 67.352731 | 208 | 75.8283514 | 330 | 46.2943285 |
| 87 | 67.661743 | 209 | 75.8032904 | 331 | 46.1462312 |
| 88 | 67.9673145 | 210 | 75.773566 | 332 | 46.0040769 |
| 89 | 68.269256 | 211 | 75.7389372 | 333 | 45.8679149 |
| 90 | 68.5673778 | 212 | 75.6991693 | 334 | 45.737792 |
| 91 | 68.8614906 | 213 | 75.6540351 | 335 | 45.6137532 |
| 92 | 69.1514051 | 214 | 75.603316 | 336 | 45.4958412 |
| 93 | 69.4369332 | 215 | 75.5468032 | 337 | 45.3840964 |
| 94 | 69.7178874 | 216 | 75.4842986 | 338 | 45.2785573 |
| 95 | 69.9940821 | 217 | 75.415616 | 339 | 45.1792601 |
| 96 | 70.2653335 | 218 | 75.3405819 | 340 | 45.0862387 |
| 97 | 70.5314601 | 219 | 75.2590363 | 341 | 44.9995251 |
| 98 | 70.7922834 | 220 | 75.1708336 | 342 | 44.9191489 |
| 99 | 71.0476284 | 221 | 75.0758432 | 343 | 44.8451376 |
| 100 | 71.2973242 | 222 | 74.9739499 | 344 | 44.7775164 |
| 101 | 71.5412043 | 223 | 74.8650547 | 345 | 44.7163085 |
| 102 | 71.7791078 | 224 | 74.7490746 | 346 | 44.6615347 |
| 103 | 72.0108797 | 225 | 74.6259431 | 347 | 44.6132136 |
| 104 | 72.2363717 | 226 | 74.4956102 | 348 | 44.5713618 |
| 105 | 72.4554431 | 227 | 74.3580424 | 349 | 44.5359935 |
| 106 | 72.6679614 | 228 | 74.2132225 | 350 | 44.5071208 |
| 107 | 72.873803 | 229 | 74.061149 | 351 | 44.4847534 |
| 108 | 73.0728543 | 230 | 73.9018365 | 352 | 44.468899 |
| 109 | 73.2650124 | 231 | 73.7353144 | 353 | 44.459563 |
| 110 | 73.4501855 | 232 | 73.561627 | 354 | 44.4567485 |
| 111 | 73.6282943 | 233 | 73.3808322 | 355 | 44.4604565 |
| 112 | 73.7992722 | 234 | 73.1930018 | 356 | 44.4706858 |
| 113 | 73.9630663 | 235 | 72.9982197 | 357 | 44.4874329 |
| 114 | 74.1196379 | 236 | 72.7965822 | 358 | 44.510692 |
| 115 | 74.2689631 | 237 | 72.5881962 | 359 | 44.5404553 |
| 116 | 74.4110335 | 238 | 72.3731793 | 360 | 44.5767126 |
| 117 | 74.5458563 | 239 | 72.1516584 | 361 | 44.6194515 |
| 118 | 74.6734551 | 240 | 71.9237693 | 362 | 44.6686576 |
| 119 | 74.7938694 | 241 | 71.6896557 | 363 | 44.7243141 |
| 120 | 74.9071556 | 242 | 71.4494685 | 364 | 44.7864019 |
| 121 | 75.0133865 | 243 | 71.203365 | 365 | 44.8548999 |
| 122 | 75.112651 | 244 | 70.9515083 | | |

Tabla 9 Valores de los ángulos de altura solar β para la latitud $\varphi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 0^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | $\beta (\omega = 0^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 0^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 0^\circ)$ |
|-----|----------------------------|-----|----------------------------|-----|----------------------------|
| 1 | 47.3938884 | 123 | 86.1272095 | 245 | 77.3200474 |
| 2 | 47.4820706 | 124 | 86.4228344 | 246 | 76.9340175 |
| 3 | 47.5770112 | 125 | 86.7136939 | 247 | 76.5460304 |
| 4 | 47.6786821 | 126 | 86.9997021 | 248 | 76.1562008 |
| 5 | 47.7870533 | 127 | 87.2807742 | 249 | 75.7646441 |
| 6 | 47.9020925 | 128 | 87.5568272 | 250 | 75.3714762 |
| 7 | 48.0237659 | 129 | 87.8277793 | 251 | 74.9768135 |
| 8 | 48.1520374 | 130 | 88.0935504 | 252 | 74.5807726 |
| 9 | 48.2868691 | 131 | 88.3540617 | 253 | 74.1834708 |
| 10 | 48.4282209 | 132 | 88.6092362 | 254 | 73.7850257 |
| 11 | 48.5760512 | 133 | 88.8589984 | 255 | 73.3855553 |
| 12 | 48.7303162 | 134 | 89.1032744 | 256 | 72.9851776 |
| 13 | 48.8909702 | 135 | 89.3419919 | 257 | 72.5840112 |
| 14 | 49.0579656 | 136 | 89.5750802 | 258 | 72.1821749 |
| 15 | 49.2312531 | 137 | 89.8024704 | 259 | 71.7797875 |
| 16 | 49.4107814 | 138 | 89.9759049 | 260 | 71.3769681 |
| 17 | 49.5964973 | 139 | 89.7601112 | 261 | 70.9738359 |
| 18 | 49.7883459 | 140 | 89.5502123 | 262 | 70.5705102 |
| 19 | 49.9862705 | 141 | 89.3462705 | 263 | 70.1671103 |

| día | β ($\omega = 0^\circ$) | día | β ($\omega = 0^\circ$) | día | β ($\omega = 0^\circ$) |
|-----|--------------------------------|-----|--------------------------------|-----|--------------------------------|
| 20 | 50.1902123 | 142 | 89.1483459 | 264 | 69.7637558 |
| 21 | 50.4001112 | 143 | 88.9564973 | 265 | 69.3605658 |
| 22 | 50.6159049 | 144 | 88.7707814 | 266 | 68.9576597 |
| 23 | 50.8375296 | 145 | 88.5912531 | 267 | 68.5551568 |
| 24 | 51.0649198 | 146 | 88.4179656 | 268 | 68.1531762 |
| 25 | 51.2980081 | 147 | 88.2509702 | 269 | 67.7518368 |
| 26 | 51.5367256 | 148 | 88.0903162 | 270 | 67.3512574 |
| 27 | 51.7810016 | 149 | 87.9360512 | 271 | 66.9515565 |
| 28 | 52.0307638 | 150 | 87.7882209 | 272 | 66.5528525 |
| 29 | 52.2859383 | 151 | 87.6468691 | 273 | 66.1552633 |
| 30 | 52.5464496 | 152 | 87.5120374 | 274 | 65.7589065 |
| 31 | 52.8122207 | 153 | 87.3837659 | 275 | 65.3638995 |
| 32 | 53.0831728 | 154 | 87.2620925 | 276 | 64.9703591 |
| 33 | 53.3592258 | 155 | 87.1470533 | 277 | 64.5784019 |
| 34 | 53.6402979 | 156 | 87.0386821 | 278 | 64.1881437 |
| 35 | 53.9263061 | 157 | 86.9370112 | 279 | 63.7997002 |
| 36 | 54.2171656 | 158 | 86.8420706 | 280 | 63.4131862 |
| 37 | 54.5127905 | 159 | 86.7538884 | 281 | 63.0287161 |
| 38 | 54.8130931 | 160 | 86.6724908 | 282 | 62.6464038 |
| 39 | 55.1179847 | 161 | 86.5979017 | 283 | 62.2663622 |
| 40 | 55.427375 | 162 | 86.5301432 | 284 | 61.888704 |
| 41 | 55.7411725 | 163 | 86.4692355 | 285 | 61.5135409 |
| 42 | 56.0592843 | 164 | 86.4151965 | 286 | 61.1409838 |
| 43 | 56.3816162 | 165 | 86.3680423 | 287 | 60.771143 |
| 44 | 56.7080729 | 166 | 86.3277867 | 288 | 60.4041281 |
| 45 | 57.0385578 | 167 | 86.2944418 | 289 | 60.0400475 |
| 46 | 57.372973 | 168 | 86.2680173 | 290 | 59.6790091 |
| 47 | 57.7112197 | 169 | 86.2485211 | 291 | 59.3211197 |
| 48 | 58.0531976 | 170 | 86.2359589 | 292 | 58.9664851 |
| 49 | 58.3988057 | 171 | 86.2303345 | 293 | 58.6152104 |
| 50 | 58.7479415 | 172 | 86.2316496 | 294 | 58.2673995 |
| 51 | 59.1005019 | 173 | 86.2399037 | 295 | 57.9231553 |
| 52 | 59.4563825 | 174 | 86.2550944 | 296 | 57.5825797 |
| 53 | 59.8154779 | 175 | 86.2772172 | 297 | 57.2457734 |
| 54 | 60.1776819 | 176 | 86.3062656 | 298 | 56.9128362 |
| 55 | 60.5428873 | 177 | 86.342231 | 299 | 56.5838666 |
| 56 | 60.9109861 | 178 | 86.3851026 | 300 | 56.2589618 |
| 57 | 61.2818692 | 179 | 86.4348679 | 301 | 55.9382182 |
| 58 | 61.655427 | 180 | 86.4915122 | 302 | 55.6217305 |
| 59 | 62.0315489 | 181 | 86.5550185 | 303 | 55.3095925 |

| día | $\beta (\omega = 0^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 0^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 0^\circ)$ |
|-----|----------------------------|-----|----------------------------|-----|----------------------------|
| 60 | 62.4101236 | 182 | 86.6253682 | 304 | 55.0018965 |
| 61 | 62.791039 | 183 | 86.7025405 | 305 | 54.6987336 |
| 62 | 63.1741825 | 184 | 86.7865125 | 306 | 54.4001934 |
| 63 | 63.5594406 | 185 | 86.8772593 | 307 | 54.1063644 |
| 64 | 63.9466994 | 186 | 86.9747541 | 308 | 53.8173335 |
| 65 | 64.3358443 | 187 | 87.078968 | 309 | 53.5331862 |
| 66 | 64.72676 | 188 | 87.1898702 | 310 | 53.2540066 |
| 67 | 65.1193309 | 189 | 87.307428 | 311 | 52.9798773 |
| 68 | 65.5134408 | 190 | 87.4316064 | 312 | 52.7108795 |
| 69 | 65.9089732 | 191 | 87.5623687 | 313 | 52.4470927 |
| 70 | 66.3058109 | 192 | 87.6996763 | 314 | 52.188595 |
| 71 | 66.7038365 | 193 | 87.8434886 | 315 | 51.935463 |
| 72 | 67.1029323 | 194 | 87.9937629 | 316 | 51.6877714 |
| 73 | 67.50298 | 195 | 88.1504547 | 317 | 51.4455937 |
| 74 | 67.9038614 | 196 | 88.3135178 | 318 | 51.2090015 |
| 75 | 68.3054578 | 197 | 88.4829039 | 319 | 50.9780647 |
| 76 | 68.7076504 | 198 | 88.6585628 | 320 | 50.7528518 |
| 77 | 69.1103201 | 199 | 88.8404425 | 321 | 50.5334294 |
| 78 | 69.5133478 | 200 | 89.0284893 | 322 | 50.3198624 |
| 79 | 69.9166142 | 201 | 89.2226475 | 323 | 50.112214 |
| 80 | 70.32 | 202 | 89.4228595 | 324 | 49.9105458 |
| 81 | 70.7233858 | 203 | 89.6290663 | 325 | 49.7149172 |
| 82 | 71.1266522 | 204 | 89.8412067 | 326 | 49.5253863 |
| 83 | 71.5296799 | 205 | 89.940782 | 327 | 49.3420091 |
| 84 | 71.9323496 | 206 | 89.7169643 | 328 | 49.16484 |
| 85 | 72.3345422 | 207 | 89.4874066 | 329 | 48.9939312 |
| 86 | 72.7361386 | 208 | 89.2521766 | 330 | 48.8293335 |
| 87 | 73.13702 | 209 | 89.0113441 | 331 | 48.6710954 |
| 88 | 73.5370677 | 210 | 88.7649802 | 332 | 48.5192639 |
| 89 | 73.9361635 | 211 | 88.5131579 | 333 | 48.3738839 |
| 90 | 74.3341891 | 212 | 88.2559518 | 334 | 48.2349984 |
| 91 | 74.7310268 | 213 | 87.9934379 | 335 | 48.1026484 |
| 92 | 75.1265592 | 214 | 87.7256939 | 336 | 47.9768733 |
| 93 | 75.5206691 | 215 | 87.452799 | 337 | 47.8577101 |
| 94 | 75.91324 | 216 | 87.1748341 | 338 | 47.7451941 |
| 95 | 76.3041557 | 217 | 86.8918813 | 339 | 47.6393587 |
| 96 | 76.6933006 | 218 | 86.6040244 | 340 | 47.5402352 |
| 97 | 77.0805594 | 219 | 86.3113486 | 341 | 47.4478528 |
| 98 | 77.4658175 | 220 | 86.0139405 | 342 | 47.362239 |
| 99 | 77.848961 | 221 | 85.7118881 | 343 | 47.283419 |

| día | $\beta (\omega = 0^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 0^\circ)$ | día | $\beta (\omega = 0^\circ)$ |
|-----|----------------------------|-----|----------------------------|-----|----------------------------|
| 100 | 78.2298764 | 222 | 85.4052808 | 344 | 47.2114163 |
| 101 | 78.6084511 | 223 | 85.0942094 | 345 | 47.146252 |
| 102 | 78.984573 | 224 | 84.7787658 | 346 | 47.0879455 |
| 103 | 79.3581308 | 225 | 84.4590434 | 347 | 47.0365141 |
| 104 | 79.7290139 | 226 | 84.1351369 | 348 | 46.9919729 |
| 105 | 80.0971127 | 227 | 83.8071421 | 349 | 46.9543352 |
| 106 | 80.4623181 | 228 | 83.475156 | 350 | 46.923612 |
| 107 | 80.8245221 | 229 | 83.139277 | 351 | 46.8998125 |
| 108 | 81.1836175 | 230 | 82.7996043 | 352 | 46.8829438 |
| 109 | 81.5394981 | 231 | 82.4562386 | 353 | 46.8730107 |
| 110 | 81.8920585 | 232 | 82.1092814 | 354 | 46.8700163 |
| 111 | 82.2411943 | 233 | 81.7588355 | 355 | 46.8739614 |
| 112 | 82.5868024 | 234 | 81.4050044 | 356 | 46.8848449 |
| 113 | 82.9287803 | 235 | 81.047893 | 357 | 46.9026635 |
| 114 | 83.267027 | 236 | 80.6876068 | 358 | 46.927412 |
| 115 | 83.6014422 | 237 | 80.3242526 | 359 | 46.959083 |
| 116 | 83.9319271 | 238 | 79.9579379 | 360 | 46.9976672 |
| 117 | 84.2583838 | 239 | 79.588771 | 361 | 47.0431532 |
| 118 | 84.5807157 | 240 | 79.2168612 | 362 | 47.0955275 |
| 119 | 84.8988275 | 241 | 78.8423185 | 363 | 47.1547745 |
| 120 | 85.212625 | 242 | 78.4652539 | 364 | 47.2208768 |
| 121 | 85.5220153 | 243 | 78.0857789 | 365 | 47.2938148 |
| 122 | 85.8269069 | 244 | 77.7040057 | | |

Tabla 10 Valores de los ángulos de acimut γ para la latitud $\phi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 90^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | $\gamma (\omega = 90^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 90^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 90^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 1 | 111.71483 | 123 | 75.0737237 | 245 | 83.4051264 |
| 2 | 111.63035 | 124 | 74.7929608 | 246 | 83.7691877 |
| 3 | 111.539408 | 125 | 74.5166375 | 247 | 84.1350307 |
| 4 | 111.442032 | 126 | 74.2448382 | 248 | 84.5025499 |
| 5 | 111.338255 | 127 | 73.9776466 | 249 | 84.8716395 |
| 6 | 111.22811 | 128 | 73.7151447 | 250 | 85.2421936 |
| 7 | 111.111632 | 129 | 73.4574135 | 251 | 85.6141055 |
| 8 | 110.98886 | 130 | 73.2045327 | 252 | 85.9872689 |
| 9 | 110.859833 | 131 | 72.9565807 | 253 | 86.3615767 |
| 10 | 110.724592 | 132 | 72.7136344 | 254 | 86.7369219 |
| 11 | 110.583181 | 133 | 72.4757695 | 255 | 87.1131972 |
| 12 | 110.435647 | 134 | 72.24306 | 256 | 87.4902951 |
| 13 | 110.282035 | 135 | 72.0155788 | 257 | 87.868108 |
| 14 | 110.122395 | 136 | 71.7933971 | 258 | 88.2465282 |
| 15 | 109.956779 | 137 | 71.5765847 | 259 | 88.6254477 |
| 16 | 109.785239 | 138 | 71.3652096 | 260 | 89.0047586 |
| 17 | 109.60783 | 139 | 71.1593386 | 261 | 89.3843529 |
| 18 | 109.424608 | 140 | 70.9590367 | 262 | 89.7641224 |
| 19 | 109.235633 | 141 | 70.7643671 | 263 | 90.1439591 |
| 20 | 109.040963 | 142 | 70.5753917 | 264 | 90.5237549 |
| 21 | 108.840661 | 143 | 70.3921703 | 265 | 90.9034015 |
| 22 | 108.63479 | 144 | 70.2147614 | 266 | 91.2827909 |
| 23 | 108.423415 | 145 | 70.0432214 | 267 | 91.661815 |
| 24 | 108.206603 | 146 | 69.8776051 | 268 | 92.0403659 |
| 25 | 107.984421 | 147 | 69.7179654 | 269 | 92.4183357 |
| 26 | 107.75694 | 148 | 69.5643535 | 270 | 92.7956165 |
| 27 | 107.524231 | 149 | 69.4168186 | 271 | 93.1721007 |
| 28 | 107.286366 | 150 | 69.275408 | 272 | 93.5476808 |
| 29 | 107.043419 | 151 | 69.1401674 | 273 | 93.9222495 |
| 30 | 106.795467 | 152 | 69.0111402 | 274 | 94.2956996 |
| 31 | 106.542586 | 153 | 68.888368 | 275 | 94.6679242 |
| 32 | 106.284855 | 154 | 68.7718904 | 276 | 95.0388167 |
| 33 | 106.022353 | 155 | 68.6617452 | 277 | 95.4082704 |

| día | γ ($\omega = 90^\circ$) | día | γ ($\omega = 90^\circ$) | día | γ ($\omega = 90^\circ$) |
|-----|----------------------------------|-----|----------------------------------|-----|----------------------------------|
| 34 | 105.755162 | 156 | 68.5579679 | 278 | 95.7761794 |
| 35 | 105.483363 | 157 | 68.4605923 | 279 | 96.1424377 |
| 36 | 105.207039 | 158 | 68.3696497 | 280 | 96.5069398 |
| 37 | 104.926276 | 159 | 68.2851698 | 281 | 96.8695806 |
| 38 | 104.641116 | 160 | 68.2071801 | 282 | 97.2302552 |
| 39 | 104.351776 | 161 | 68.1357057 | 283 | 97.5888592 |
| 40 | 104.058214 | 162 | 68.0707701 | 284 | 97.9452887 |
| 41 | 103.760562 | 163 | 68.0123943 | 285 | 98.29944 |
| 42 | 103.45891 | 164 | 67.9605974 | 286 | 98.6512102 |
| 43 | 103.153349 | 165 | 67.9153962 | 287 | 99.0004967 |
| 44 | 102.843972 | 166 | 67.8768056 | 288 | 99.3471974 |
| 45 | 102.530871 | 167 | 67.8448379 | 289 | 99.6912108 |
| 46 | 102.21414 | 168 | 67.8195038 | 290 | 100.032436 |
| 47 | 101.893875 | 169 | 67.8008115 | 291 | 100.370773 |
| 48 | 101.570169 | 170 | 67.788767 | 292 | 100.706121 |
| 49 | 101.24312 | 171 | 67.7833743 | 293 | 101.038383 |
| 50 | 100.912825 | 172 | 67.7846352 | 294 | 101.367459 |
| 51 | 100.579382 | 173 | 67.7925492 | 295 | 101.693252 |
| 52 | 100.242889 | 174 | 67.8071138 | 296 | 102.015665 |
| 53 | 99.9034462 | 175 | 67.8283242 | 297 | 102.334603 |
| 54 | 99.5611524 | 176 | 67.8561736 | 298 | 102.649969 |
| 55 | 99.2161086 | 177 | 67.8906527 | 299 | 102.961669 |
| 56 | 98.8684159 | 178 | 67.9317503 | 300 | 103.269611 |
| 57 | 98.5181761 | 179 | 67.9794531 | 301 | 103.573701 |
| 58 | 98.1654913 | 180 | 68.0337455 | 302 | 103.873847 |
| 59 | 97.8104644 | 181 | 68.0946098 | 303 | 104.16996 |
| 60 | 97.4531986 | 182 | 68.1620262 | 304 | 104.461949 |
| 61 | 97.0937976 | 183 | 68.2359728 | 305 | 104.749726 |
| 62 | 96.7323655 | 184 | 68.3164254 | 306 | 105.033202 |
| 63 | 96.3690069 | 185 | 68.403358 | 307 | 105.312293 |
| 64 | 96.0038268 | 186 | 68.4967423 | 308 | 105.586911 |
| 65 | 95.6369304 | 187 | 68.596548 | 309 | 105.856974 |
| 66 | 95.2684235 | 188 | 68.7027428 | 310 | 106.122398 |
| 67 | 94.898412 | 189 | 68.8152922 | 311 | 106.383101 |
| 68 | 94.5270021 | 190 | 68.93416 | 312 | 106.639003 |
| 69 | 94.1543005 | 191 | 69.0593076 | 313 | 106.890025 |
| 70 | 93.7804138 | 192 | 69.1906947 | 314 | 107.136089 |
| 71 | 93.4054492 | 193 | 69.328279 | 315 | 107.377118 |
| 72 | 93.0295138 | 194 | 69.4720161 | 316 | 107.613038 |
| 73 | 92.652715 | 195 | 69.6218599 | 317 | 107.843775 |

| día | $\gamma (\omega = 90^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 90^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 90^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 74 | 92.2751604 | 196 | 69.7777622 | 318 | 108.069255 |
| 75 | 91.8969577 | 197 | 69.9396732 | 319 | 108.28941 |
| 76 | 91.5182147 | 198 | 70.1075409 | 320 | 108.50417 |
| 77 | 91.1390394 | 199 | 70.2813118 | 321 | 108.713467 |
| 78 | 90.7595398 | 200 | 70.4609303 | 322 | 108.917235 |
| 79 | 90.379824 | 201 | 70.6463394 | 323 | 109.115409 |
| 80 | 90 | 202 | 70.8374801 | 324 | 109.307928 |
| 81 | 89.620176 | 203 | 71.0342917 | 325 | 109.49473 |
| 82 | 89.2404602 | 204 | 71.2367118 | 326 | 109.675755 |
| 83 | 88.8609606 | 205 | 71.4446766 | 327 | 109.850946 |
| 84 | 88.4817853 | 206 | 71.6581204 | 328 | 110.020247 |
| 85 | 88.1030423 | 207 | 71.8769759 | 329 | 110.183604 |
| 86 | 87.7248396 | 208 | 72.1011744 | 330 | 110.340966 |
| 87 | 87.347285 | 209 | 72.3306455 | 331 | 110.49228 |
| 88 | 86.9704862 | 210 | 72.5653176 | 332 | 110.637499 |
| 89 | 86.5945508 | 211 | 72.8051172 | 333 | 110.776577 |
| 90 | 86.2195862 | 212 | 73.0499696 | 334 | 110.909467 |
| 91 | 85.8456995 | 213 | 73.2997987 | 335 | 111.036129 |
| 92 | 85.4729979 | 214 | 73.5545271 | 336 | 111.15652 |
| 93 | 85.101588 | 215 | 73.8140758 | 337 | 111.270602 |
| 94 | 84.7315765 | 216 | 74.0783647 | 338 | 111.378338 |
| 95 | 84.3630696 | 217 | 74.3473124 | 339 | 111.479693 |
| 96 | 83.9961732 | 218 | 74.6208362 | 340 | 111.574634 |
| 97 | 83.6309931 | 219 | 74.8988521 | 341 | 111.66313 |
| 98 | 83.2676345 | 220 | 75.1812753 | 342 | 111.745153 |
| 99 | 82.9062024 | 221 | 75.4680193 | 343 | 111.820677 |
| 100 | 82.5468014 | 222 | 75.758997 | 344 | 111.889676 |
| 101 | 82.1895356 | 223 | 76.0541199 | 345 | 111.952127 |
| 102 | 81.8345087 | 224 | 76.3532986 | 346 | 112.008012 |
| 103 | 81.4818239 | 225 | 76.6564426 | 347 | 112.057311 |
| 104 | 81.1315841 | 226 | 76.9634606 | 348 | 112.100008 |
| 105 | 80.7838914 | 227 | 77.27426 | 349 | 112.13609 |
| 106 | 80.4388476 | 228 | 77.5887477 | 350 | 112.165545 |
| 107 | 80.0965538 | 229 | 77.9068295 | 351 | 112.188363 |
| 108 | 79.7571105 | 230 | 78.2284103 | 352 | 112.204536 |
| 109 | 79.4206177 | 231 | 78.5533942 | 353 | 112.21406 |
| 110 | 79.0871746 | 232 | 78.8816847 | 354 | 112.216931 |
| 111 | 78.7568797 | 233 | 79.2131843 | 355 | 112.213148 |
| 112 | 78.429831 | 234 | 79.5477949 | 356 | 112.202713 |
| 113 | 78.1061255 | 235 | 79.8854177 | 357 | 112.185629 |

| día | $\gamma (\omega = 90^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 90^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 90^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 114 | 77.7858596 | 236 | 80.2259531 | 358 | 112.161902 |
| 115 | 77.4691288 | 237 | 80.569301 | 359 | 112.131538 |
| 116 | 77.1560279 | 238 | 80.9153607 | 360 | 112.09455 |
| 117 | 76.8466507 | 239 | 81.2640307 | 361 | 112.050947 |
| 118 | 76.5410902 | 240 | 81.6152093 | 362 | 112.000745 |
| 119 | 76.2394383 | 241 | 81.9687938 | 363 | 111.943959 |
| 120 | 75.9417862 | 242 | 82.3246815 | 364 | 111.880609 |
| 121 | 75.6482238 | 243 | 82.6827688 | 365 | 111.810715 |
| 122 | 75.3588404 | 244 | 83.0429518 | | |

Tabla 11 Valores de los ángulos de acimut γ para la latitud $\phi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 75^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | $\gamma (\omega = 75^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 75^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 75^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 1 | 116.681047 | 123 | 79.4779125 | 245 | 88.3128215 |
| 2 | 116.600136 | 124 | 79.1768734 | 246 | 88.6942264 |
| 3 | 116.513014 | 125 | 78.880402 | 247 | 89.0770816 |
| 4 | 116.419703 | 126 | 78.5886002 | 248 | 89.4612684 |
| 5 | 116.320229 | 127 | 78.3015687 | 249 | 89.8466684 |
| 6 | 116.214618 | 128 | 78.0194065 | 250 | 90.2331635 |
| 7 | 116.102898 | 129 | 77.7422114 | 251 | 90.6206354 |

| día | $\gamma (\omega = 75^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 75^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 75^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 8 | 115.985099 | 130 | 77.4700796 | 252 | 91.0089666 |
| 9 | 115.861253 | 131 | 77.2031056 | 253 | 91.3980395 |
| 10 | 115.731393 | 132 | 76.9413825 | 254 | 91.7877369 |
| 11 | 115.595552 | 133 | 76.6850017 | 255 | 92.1779421 |
| 12 | 115.453768 | 134 | 76.4340529 | 256 | 92.5685387 |
| 13 | 115.306078 | 135 | 76.1886238 | 257 | 92.9594107 |
| 14 | 115.152522 | 136 | 75.9488008 | 258 | 93.3504427 |
| 15 | 114.993139 | 137 | 75.714668 | 259 | 93.7415196 |
| 16 | 114.827972 | 138 | 75.4863079 | 260 | 94.132527 |
| 17 | 114.657064 | 139 | 75.263801 | 261 | 94.523351 |
| 18 | 114.480462 | 140 | 75.0472259 | 262 | 94.9138783 |
| 19 | 114.298211 | 141 | 74.836659 | 263 | 95.303996 |
| 20 | 114.11036 | 142 | 74.6321749 | 264 | 95.6935921 |
| 21 | 113.916958 | 143 | 74.433846 | 265 | 96.0825552 |
| 22 | 113.718056 | 144 | 74.2417428 | 266 | 96.4707744 |
| 23 | 113.513707 | 145 | 74.0559333 | 267 | 96.8581396 |
| 24 | 113.303963 | 146 | 73.8764837 | 268 | 97.2445415 |
| 25 | 113.08888 | 147 | 73.7034577 | 269 | 97.6298714 |
| 26 | 112.868515 | 148 | 73.5369171 | 270 | 98.0140214 |
| 27 | 112.642924 | 149 | 73.376921 | 271 | 98.3968844 |
| 28 | 112.412168 | 150 | 73.2235265 | 272 | 98.778354 |
| 29 | 112.176306 | 151 | 73.0767885 | 273 | 99.1583247 |
| 30 | 111.935399 | 152 | 72.9367593 | 274 | 99.5366917 |
| 31 | 111.689512 | 153 | 72.8034888 | 275 | 99.9133512 |
| 32 | 111.438708 | 154 | 72.6770249 | 276 | 100.2882 |
| 33 | 111.183052 | 155 | 72.5574126 | 277 | 100.661136 |
| 34 | 110.922611 | 156 | 72.4446948 | 278 | 101.032058 |
| 35 | 110.657452 | 157 | 72.3389118 | 279 | 101.400864 |
| 36 | 110.387645 | 158 | 72.2401016 | 280 | 101.767457 |
| 37 | 110.113261 | 159 | 72.1482995 | 281 | 102.131737 |
| 38 | 109.834369 | 160 | 72.0635384 | 282 | 102.493606 |
| 39 | 109.551044 | 161 | 71.9858488 | 283 | 102.852967 |
| 40 | 109.263358 | 162 | 71.9152584 | 284 | 103.209724 |
| 41 | 108.971386 | 163 | 71.8517926 | 285 | 103.563783 |
| 42 | 108.675204 | 164 | 71.7954742 | 286 | 103.91505 |
| 43 | 108.37489 | 165 | 71.7463233 | 287 | 104.26343 |
| 44 | 108.070521 | 166 | 71.7043577 | 288 | 104.608832 |
| 45 | 107.762177 | 167 | 71.6695923 | 289 | 104.951166 |
| 46 | 107.449937 | 168 | 71.6420397 | 290 | 105.29034 |
| 47 | 107.133885 | 169 | 71.6217098 | 291 | 105.626265 |

| día | $\gamma (\omega = 75^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 75^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 75^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 48 | 106.8141 | 170 | 71.6086098 | 292 | 105.958854 |
| 49 | 106.490669 | 171 | 71.6027444 | 293 | 106.288019 |
| 50 | 106.163674 | 172 | 71.6041158 | 294 | 106.613673 |
| 51 | 105.833201 | 173 | 71.6127235 | 295 | 106.935732 |
| 52 | 105.499337 | 174 | 71.6285644 | 296 | 107.254112 |
| 53 | 105.16217 | 175 | 71.6516327 | 297 | 107.568729 |
| 54 | 104.821788 | 176 | 71.6819202 | 298 | 107.879502 |
| 55 | 104.478281 | 177 | 71.7194161 | 299 | 108.186349 |
| 56 | 104.131739 | 178 | 71.7641069 | 300 | 108.48919 |
| 57 | 103.782254 | 179 | 71.8159764 | 301 | 108.787947 |
| 58 | 103.429919 | 180 | 71.8750062 | 302 | 109.082543 |
| 59 | 103.074826 | 181 | 71.9411751 | 303 | 109.372899 |
| 60 | 102.71707 | 182 | 72.0144592 | 304 | 109.658941 |
| 61 | 102.356747 | 183 | 72.0948323 | 305 | 109.940595 |
| 62 | 101.993953 | 184 | 72.1822656 | 306 | 110.217787 |
| 63 | 101.628785 | 185 | 72.2767278 | 307 | 110.490445 |
| 64 | 101.261342 | 186 | 72.378185 | 308 | 110.758498 |
| 65 | 100.891722 | 187 | 72.4866009 | 309 | 111.021877 |
| 66 | 100.520025 | 188 | 72.6019366 | 310 | 111.280512 |
| 67 | 100.146352 | 189 | 72.7241508 | 311 | 111.534337 |
| 68 | 99.7708047 | 190 | 72.8531999 | 312 | 111.783286 |
| 69 | 99.393486 | 191 | 72.9890376 | 313 | 112.027292 |
| 70 | 99.0144989 | 192 | 73.1316155 | 314 | 112.266294 |
| 71 | 98.6339477 | 193 | 73.2808826 | 315 | 112.500228 |
| 72 | 98.2519376 | 194 | 73.4367856 | 316 | 112.729034 |
| 73 | 97.8685742 | 195 | 73.599269 | 317 | 112.952651 |
| 74 | 97.4839644 | 196 | 73.7682747 | 318 | 113.171021 |
| 75 | 97.0982155 | 197 | 73.9437426 | 319 | 113.384087 |
| 76 | 96.7114356 | 198 | 74.1256102 | 320 | 113.591793 |
| 77 | 96.3237338 | 199 | 74.3138129 | 321 | 113.794084 |
| 78 | 95.9352197 | 200 | 74.5082838 | 322 | 113.990908 |
| 79 | 95.5460037 | 201 | 74.7089539 | 323 | 114.182212 |
| 80 | 95.1561967 | 202 | 74.915752 | 324 | 114.367946 |
| 81 | 94.7659105 | 203 | 75.1286049 | 325 | 114.548062 |
| 82 | 94.3752575 | 204 | 75.3474373 | 326 | 114.722511 |
| 83 | 93.9843506 | 205 | 75.5721719 | 327 | 114.891248 |
| 84 | 93.5933034 | 206 | 75.8027294 | 328 | 115.054228 |
| 85 | 93.2022301 | 207 | 76.0390286 | 329 | 115.211407 |
| 86 | 92.8112451 | 208 | 76.2809864 | 330 | 115.362746 |
| 87 | 92.4204639 | 209 | 76.5285176 | 331 | 115.508202 |

| día | $\gamma (\omega = 75^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 75^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 75^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 88 | 92.030002 | 210 | 76.7815356 | 332 | 115.647737 |
| 89 | 91.6399755 | 211 | 77.0399518 | 333 | 115.781315 |
| 90 | 91.250501 | 212 | 77.3036758 | 334 | 115.9089 |
| 91 | 90.8616955 | 213 | 77.5726156 | 335 | 116.030458 |
| 92 | 90.4736761 | 214 | 77.8466777 | 336 | 116.145957 |
| 93 | 90.0865605 | 215 | 78.1257667 | 337 | 116.255365 |
| 94 | 89.7004666 | 216 | 78.409786 | 338 | 116.358653 |
| 95 | 89.3155124 | 217 | 78.6986372 | 339 | 116.455795 |
| 96 | 88.9318163 | 218 | 78.9922206 | 340 | 116.546763 |
| 97 | 88.5494969 | 219 | 79.2904353 | 341 | 116.631534 |
| 98 | 88.1686726 | 220 | 79.5931786 | 342 | 116.710084 |
| 99 | 87.7894622 | 221 | 79.900347 | 343 | 116.782394 |
| 100 | 87.4119844 | 222 | 80.2118354 | 344 | 116.848442 |
| 101 | 87.036358 | 223 | 80.5275377 | 345 | 116.908212 |
| 102 | 86.6627015 | 224 | 80.8473466 | 346 | 116.961688 |
| 103 | 86.2911335 | 225 | 81.1711538 | 347 | 117.008855 |
| 104 | 85.9217725 | 226 | 81.4988499 | 348 | 117.049701 |
| 105 | 85.5547366 | 227 | 81.8303245 | 349 | 117.084214 |
| 106 | 85.1901438 | 228 | 82.1654664 | 350 | 117.112385 |
| 107 | 84.8281117 | 229 | 82.5041635 | 351 | 117.134207 |
| 108 | 84.4687578 | 230 | 82.8463027 | 352 | 117.149674 |
| 109 | 84.1121988 | 231 | 83.1917706 | 353 | 117.158781 |
| 110 | 83.7585513 | 232 | 83.5404525 | 354 | 117.161526 |
| 111 | 83.4079311 | 233 | 83.8922337 | 355 | 117.157909 |
| 112 | 83.0604538 | 234 | 84.2469983 | 356 | 117.147931 |
| 113 | 82.7162341 | 235 | 84.6046303 | 357 | 117.131593 |
| 114 | 82.3753861 | 236 | 84.9650131 | 358 | 117.108901 |
| 115 | 82.0380232 | 237 | 85.3280295 | 359 | 117.07986 |
| 116 | 81.704258 | 238 | 85.693562 | 360 | 117.044479 |
| 117 | 81.3742024 | 239 | 86.0614931 | 361 | 117.002767 |
| 118 | 81.0479673 | 240 | 86.4317045 | 362 | 116.954735 |
| 119 | 80.7256626 | 241 | 86.8040779 | 363 | 116.900396 |
| 120 | 80.4073974 | 242 | 87.178495 | 364 | 116.839764 |
| 121 | 80.0932796 | 243 | 87.5548371 | 365 | 116.772857 |
| 122 | 79.7834161 | 244 | 87.9329855 | | |

Tabla 12 Valores de los ángulos de acimut γ para la latitud $\phi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 60^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | $\gamma (\omega = 60^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 60^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 60^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 1 | 123.19631 | 123 | 83.5316043 | 245 | 93.4869254 |
| 2 | 123.117144 | 124 | 83.1885626 | 246 | 93.9108455 |
| 3 | 123.031866 | 125 | 82.850532 | 247 | 94.3358175 |
| 4 | 122.940491 | 126 | 82.5176428 | 248 | 94.761696 |
| 5 | 122.843035 | 127 | 82.1900235 | 249 | 95.1883362 |
| 6 | 122.739516 | 128 | 81.8678006 | 250 | 95.6155946 |
| 7 | 122.629952 | 129 | 81.5510986 | 251 | 96.0433285 |
| 8 | 122.514362 | 130 | 81.2400397 | 252 | 96.4713964 |
| 9 | 122.392768 | 131 | 80.9347442 | 253 | 96.8996576 |
| 10 | 122.26519 | 132 | 80.63533 | 254 | 97.3279731 |
| 11 | 122.131652 | 133 | 80.3419127 | 255 | 97.7562049 |
| 12 | 121.992177 | 134 | 80.0546055 | 256 | 98.1842163 |
| 13 | 121.84679 | 135 | 79.7735192 | 257 | 98.6118722 |
| 14 | 121.695518 | 136 | 79.4987622 | 258 | 99.0390387 |
| 15 | 121.538387 | 137 | 79.2304402 | 259 | 99.4655837 |
| 16 | 121.375425 | 138 | 78.9686565 | 260 | 99.8913763 |
| 17 | 121.206662 | 139 | 78.7135117 | 261 | 100.316287 |
| 18 | 121.032128 | 140 | 78.4651036 | 262 | 100.74019 |
| 19 | 120.851854 | 141 | 78.2235277 | 263 | 101.162957 |
| 20 | 120.665873 | 142 | 77.9888762 | 264 | 101.584466 |
| 21 | 120.474218 | 143 | 77.761239 | 265 | 102.004593 |
| 22 | 120.276924 | 144 | 77.5407029 | 266 | 102.423218 |
| 23 | 120.074026 | 145 | 77.327352 | 267 | 102.840222 |
| 24 | 119.865561 | 146 | 77.1212675 | 268 | 103.255488 |
| 25 | 119.651568 | 147 | 76.9225277 | 269 | 103.668901 |

| día | $\gamma (\omega = 60^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 60^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 60^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 26 | 119.432084 | 148 | 76.7312081 | 270 | 104.080347 |
| 27 | 119.207151 | 149 | 76.547381 | 271 | 104.489714 |
| 28 | 118.976809 | 150 | 76.371116 | 272 | 104.896894 |
| 29 | 118.7411 | 151 | 76.2024797 | 273 | 105.301777 |
| 30 | 118.500069 | 152 | 76.0415355 | 274 | 105.704257 |
| 31 | 118.253759 | 153 | 75.8883442 | 275 | 106.104232 |
| 32 | 118.002217 | 154 | 75.7429632 | 276 | 106.501597 |
| 33 | 117.745489 | 155 | 75.6054471 | 277 | 106.896253 |
| 34 | 117.483624 | 156 | 75.4758475 | 278 | 107.2881 |
| 35 | 117.21667 | 157 | 75.3542127 | 279 | 107.677043 |
| 36 | 116.944678 | 158 | 75.2405883 | 280 | 108.062985 |
| 37 | 116.6677 | 159 | 75.1350166 | 281 | 108.445833 |
| 38 | 116.385789 | 160 | 75.037537 | 282 | 108.825496 |
| 39 | 116.098999 | 161 | 74.9481858 | 283 | 109.201884 |
| 40 | 115.807385 | 162 | 74.8669961 | 284 | 109.57491 |
| 41 | 115.511005 | 163 | 74.7939981 | 285 | 109.944486 |
| 42 | 115.209916 | 164 | 74.7292189 | 286 | 110.310528 |
| 43 | 114.904177 | 165 | 74.6726826 | 287 | 110.672953 |
| 44 | 114.593849 | 166 | 74.62441 | 288 | 111.031681 |
| 45 | 114.278995 | 167 | 74.584419 | 289 | 111.386631 |
| 46 | 113.959678 | 168 | 74.5527245 | 290 | 111.737725 |
| 47 | 113.635962 | 169 | 74.5293381 | 291 | 112.084888 |
| 48 | 113.307915 | 170 | 74.5142685 | 292 | 112.428045 |
| 49 | 112.975603 | 171 | 74.5075212 | 293 | 112.767121 |
| 50 | 112.639096 | 172 | 74.5090988 | 294 | 113.102047 |
| 51 | 112.298464 | 173 | 74.5190007 | 295 | 113.43275 |
| 52 | 111.953781 | 174 | 74.5372232 | 296 | 113.759164 |
| 53 | 111.605119 | 175 | 74.5637596 | 297 | 114.08122 |
| 54 | 111.252554 | 176 | 74.5986 | 298 | 114.398854 |
| 55 | 110.896163 | 177 | 74.6417316 | 299 | 114.712 |
| 56 | 110.536025 | 178 | 74.6931384 | 300 | 115.020595 |
| 57 | 110.172219 | 179 | 74.7528014 | 301 | 115.324579 |
| 58 | 109.804828 | 180 | 74.8206985 | 302 | 115.62389 |
| 59 | 109.433934 | 181 | 74.8968045 | 303 | 115.918471 |
| 60 | 109.059624 | 182 | 74.9810912 | 304 | 116.208263 |
| 61 | 108.681984 | 183 | 75.0735272 | 305 | 116.49321 |
| 62 | 108.301103 | 184 | 75.1740781 | 306 | 116.773258 |
| 63 | 107.917072 | 185 | 75.2827066 | 307 | 117.048352 |
| 64 | 107.529981 | 186 | 75.399372 | 308 | 117.318441 |
| 65 | 107.139927 | 187 | 75.524031 | 309 | 117.583472 |

| día | $\gamma (\omega = 60^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 60^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 60^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 66 | 106.747003 | 188 | 75.6566369 | 310 | 117.843396 |
| 67 | 106.351309 | 189 | 75.79714 | 311 | 118.098164 |
| 68 | 105.952943 | 190 | 75.9454876 | 312 | 118.347729 |
| 69 | 105.552007 | 191 | 76.1016242 | 313 | 118.592044 |
| 70 | 105.148603 | 192 | 76.265491 | 314 | 118.831063 |
| 71 | 104.742837 | 193 | 76.4370262 | 315 | 119.064742 |
| 72 | 104.334816 | 194 | 76.6161652 | 316 | 119.29304 |
| 73 | 103.924647 | 195 | 76.8028403 | 317 | 119.515912 |
| 74 | 103.512443 | 196 | 76.9969809 | 318 | 119.73332 |
| 75 | 103.098314 | 197 | 77.1985134 | 319 | 119.945222 |
| 76 | 102.682376 | 198 | 77.4073612 | 320 | 120.151581 |
| 77 | 102.264743 | 199 | 77.623445 | 321 | 120.35236 |
| 78 | 101.845535 | 200 | 77.8466825 | 322 | 120.547521 |
| 79 | 101.42487 | 201 | 78.0769885 | 323 | 120.73703 |
| 80 | 101.00287 | 202 | 78.314275 | 324 | 120.920852 |
| 81 | 100.579658 | 203 | 78.5584514 | 325 | 121.098954 |
| 82 | 100.155358 | 204 | 78.809424 | 326 | 121.271304 |
| 83 | 99.7300977 | 205 | 79.0670966 | 327 | 121.437872 |
| 84 | 99.3040046 | 206 | 79.3313703 | 328 | 121.598627 |
| 85 | 98.8772086 | 207 | 79.6021435 | 329 | 121.753541 |
| 86 | 98.449841 | 208 | 79.8793119 | 330 | 121.902586 |
| 87 | 98.0220345 | 209 | 80.1627688 | 331 | 122.045735 |
| 88 | 97.5939236 | 210 | 80.4524049 | 332 | 122.182963 |
| 89 | 97.165644 | 211 | 80.7481085 | 333 | 122.314245 |
| 90 | 96.7373327 | 212 | 81.0497655 | 334 | 122.439557 |
| 91 | 96.3091283 | 213 | 81.3572593 | 335 | 122.558879 |
| 92 | 95.8811705 | 214 | 81.6704711 | 336 | 122.672187 |
| 93 | 95.4536 | 215 | 81.9892801 | 337 | 122.779462 |
| 94 | 95.0265591 | 216 | 82.313563 | 338 | 122.880686 |
| 95 | 94.6001906 | 217 | 82.6431946 | 339 | 122.975839 |
| 96 | 94.1746386 | 218 | 82.9780476 | 340 | 123.064905 |
| 97 | 93.7500481 | 219 | 83.3179928 | 341 | 123.147868 |
| 98 | 93.3265648 | 220 | 83.6628993 | 342 | 123.224714 |
| 99 | 92.9043351 | 221 | 84.012634 | 343 | 123.295428 |
| 100 | 92.4835063 | 222 | 84.3670626 | 344 | 123.359998 |
| 101 | 92.0642259 | 223 | 84.7260488 | 345 | 123.418412 |
| 102 | 91.6466422 | 224 | 85.089455 | 346 | 123.470661 |
| 103 | 91.2309037 | 225 | 85.457142 | 347 | 123.516735 |
| 104 | 90.8171593 | 226 | 85.8289693 | 348 | 123.556625 |
| 105 | 90.4055578 | 227 | 86.2047954 | 349 | 123.590325 |

| día | $\gamma (\omega = 60^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 60^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 60^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 106 | 89.9962485 | 228 | 86.5844771 | 350 | 123.617828 |
| 107 | 89.5893805 | 229 | 86.9678707 | 351 | 123.63913 |
| 108 | 89.1851027 | 230 | 87.3548311 | 352 | 123.654227 |
| 109 | 88.783564 | 231 | 87.7452127 | 353 | 123.663116 |
| 110 | 88.3849128 | 232 | 88.1388689 | 354 | 123.665796 |
| 111 | 87.9892972 | 233 | 88.5356523 | 355 | 123.662265 |
| 112 | 87.5968648 | 234 | 88.9354154 | 356 | 123.652526 |
| 113 | 87.2077626 | 235 | 89.3380097 | 357 | 123.636579 |
| 114 | 86.8221369 | 236 | 89.7432867 | 358 | 123.614427 |
| 115 | 86.4401331 | 237 | 90.1510975 | 359 | 123.586074 |
| 116 | 86.0618958 | 238 | 90.5612931 | 360 | 123.551526 |
| 117 | 85.6875685 | 239 | 90.9737243 | 361 | 123.510788 |
| 118 | 85.3172937 | 240 | 91.388242 | 362 | 123.463868 |
| 119 | 84.9512127 | 241 | 91.8046974 | 363 | 123.410774 |
| 120 | 84.5894654 | 242 | 92.2229415 | 364 | 123.351515 |
| 121 | 84.2321904 | 243 | 92.6428262 | 365 | 123.286103 |
| 122 | 83.8795249 | 244 | 93.0642033 | | |

Tabla 13 Valores de los ángulos de acimut γ para la latitud $\phi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 45^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | $\gamma (\omega = 45^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 45^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 45^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 1 | 131.986408 | 123 | 87.6967421 | 245 | 99.8297483 |
| 2 | 131.909883 | 124 | 87.2717312 | 246 | 100.335132 |
| 3 | 131.827399 | 125 | 86.852628 | 247 | 100.840655 |

| día | $\gamma (\omega = 45^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 45^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 45^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 4 | 131.738959 | 126 | 86.4396225 | 248 | 101.346115 |
| 5 | 131.644567 | 127 | 86.0329016 | 249 | 101.851316 |
| 6 | 131.544225 | 128 | 85.6326482 | 250 | 102.356064 |
| 7 | 131.437938 | 129 | 85.2390419 | 251 | 102.860168 |
| 8 | 131.325711 | 130 | 84.8522584 | 252 | 103.363439 |
| 9 | 131.207548 | 131 | 84.4724695 | 253 | 103.865694 |
| 10 | 131.083453 | 132 | 84.099843 | 254 | 104.366751 |
| 11 | 130.953432 | 133 | 83.7345425 | 255 | 104.866434 |
| 12 | 130.81749 | 134 | 83.3767276 | 256 | 105.364569 |
| 13 | 130.675633 | 135 | 83.0265536 | 257 | 105.860988 |
| 14 | 130.527866 | 136 | 82.6841714 | 258 | 106.355524 |
| 15 | 130.374196 | 137 | 82.3497276 | 259 | 106.848016 |
| 16 | 130.214629 | 138 | 82.0233646 | 260 | 107.338307 |
| 17 | 130.049173 | 139 | 81.70522 | 261 | 107.826243 |
| 18 | 129.877833 | 140 | 81.3954272 | 262 | 108.311677 |
| 19 | 129.700619 | 141 | 81.0941151 | 263 | 108.794462 |
| 20 | 129.517538 | 142 | 80.8014081 | 264 | 109.274458 |
| 21 | 129.328599 | 143 | 80.517426 | 265 | 109.75153 |
| 22 | 129.133809 | 144 | 80.2422843 | 266 | 110.225544 |
| 23 | 128.933179 | 145 | 79.976094 | 267 | 110.696373 |
| 24 | 128.726718 | 146 | 79.7189615 | 268 | 111.163892 |
| 25 | 128.514436 | 147 | 79.4709889 | 269 | 111.627984 |
| 26 | 128.296343 | 148 | 79.232274 | 270 | 112.088531 |
| 27 | 128.072452 | 149 | 79.0029099 | 271 | 112.545422 |
| 28 | 127.842774 | 150 | 78.7829857 | 272 | 112.998551 |
| 29 | 127.60732 | 151 | 78.5725859 | 273 | 113.447813 |
| 30 | 127.366105 | 152 | 78.3717909 | 274 | 113.893108 |
| 31 | 127.119142 | 153 | 78.1806769 | 275 | 114.334342 |
| 32 | 126.866445 | 154 | 77.9993158 | 276 | 114.771422 |
| 33 | 126.608029 | 155 | 77.8277755 | 277 | 115.20426 |
| 34 | 126.343911 | 156 | 77.6661196 | 278 | 115.632771 |
| 35 | 126.074106 | 157 | 77.5144078 | 279 | 116.056874 |
| 36 | 125.798634 | 158 | 77.3726956 | 280 | 116.476491 |
| 37 | 125.517512 | 159 | 77.2410349 | 281 | 116.891547 |
| 38 | 125.230759 | 160 | 77.1194732 | 282 | 117.301972 |
| 39 | 124.938398 | 161 | 77.0080545 | 283 | 117.707697 |
| 40 | 124.640449 | 162 | 76.9068187 | 284 | 118.108656 |
| 41 | 124.336935 | 163 | 76.815802 | 285 | 118.504789 |
| 42 | 124.027881 | 164 | 76.7350367 | 286 | 118.896036 |
| 43 | 123.713312 | 165 | 76.6645515 | 287 | 119.282339 |

| día | $\gamma (\omega = 45^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 45^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 45^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 44 | 123.393255 | 166 | 76.6043713 | 288 | 119.663646 |
| 45 | 123.067738 | 167 | 76.5545172 | 289 | 120.039905 |
| 46 | 122.736792 | 168 | 76.5150069 | 290 | 120.411067 |
| 47 | 122.400447 | 169 | 76.4858541 | 291 | 120.777086 |
| 48 | 122.058737 | 170 | 76.4670691 | 292 | 121.137917 |
| 49 | 121.711697 | 171 | 76.4586583 | 293 | 121.493518 |
| 50 | 121.359363 | 172 | 76.4606249 | 294 | 121.84385 |
| 51 | 121.001775 | 173 | 76.472968 | 295 | 122.188874 |
| 52 | 120.638973 | 174 | 76.4956834 | 296 | 122.528555 |
| 53 | 120.271 | 175 | 76.5287631 | 297 | 122.862857 |
| 54 | 119.8979 | 176 | 76.5721955 | 298 | 123.19175 |
| 55 | 119.519722 | 177 | 76.6259655 | 299 | 123.5152 |
| 56 | 119.136515 | 178 | 76.690054 | 300 | 123.833181 |
| 57 | 118.748332 | 179 | 76.7644384 | 301 | 124.145663 |
| 58 | 118.355227 | 180 | 76.8490926 | 302 | 124.45262 |
| 59 | 117.957257 | 181 | 76.9439864 | 303 | 124.754028 |
| 60 | 117.554484 | 182 | 77.049086 | 304 | 125.049862 |
| 61 | 117.14697 | 183 | 77.1643538 | 305 | 125.3401 |
| 62 | 116.734782 | 184 | 77.2897483 | 306 | 125.624721 |
| 63 | 116.317989 | 185 | 77.4252244 | 307 | 125.903704 |
| 64 | 115.896663 | 186 | 77.5707327 | 308 | 126.17703 |
| 65 | 115.47088 | 187 | 77.7262201 | 309 | 126.444682 |
| 66 | 115.040719 | 188 | 77.8916295 | 310 | 126.706641 |
| 67 | 114.606264 | 189 | 78.0668996 | 311 | 126.962891 |
| 68 | 114.167599 | 190 | 78.2519652 | 312 | 127.213417 |
| 69 | 113.724814 | 191 | 78.446757 | 313 | 127.458203 |
| 70 | 113.278004 | 192 | 78.6512013 | 314 | 127.697236 |
| 71 | 112.827264 | 193 | 78.8652206 | 315 | 127.930502 |
| 72 | 112.372697 | 194 | 79.0887327 | 316 | 128.157989 |
| 73 | 111.914408 | 195 | 79.3216515 | 317 | 128.379683 |
| 74 | 111.452504 | 196 | 79.5638863 | 318 | 128.595575 |
| 75 | 110.987099 | 197 | 79.8153422 | 319 | 128.805652 |
| 76 | 110.518311 | 198 | 80.0759199 | 320 | 129.009904 |
| 77 | 110.04626 | 199 | 80.3455155 | 321 | 129.208322 |
| 78 | 109.571072 | 200 | 80.624021 | 322 | 129.400896 |
| 79 | 109.092876 | 201 | 80.9113237 | 323 | 129.587616 |
| 80 | 108.611807 | 202 | 81.2073064 | 324 | 129.768474 |
| 81 | 108.128001 | 203 | 81.5118475 | 325 | 129.943463 |
| 82 | 107.641602 | 204 | 81.8248211 | 326 | 130.112573 |
| 83 | 107.152755 | 205 | 82.1460964 | 327 | 130.275798 |

| día | $\gamma (\omega = 45^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 45^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 45^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 84 | 106.661612 | 206 | 82.4755385 | 328 | 130.433131 |
| 85 | 106.168326 | 207 | 82.8130079 | 329 | 130.584564 |
| 86 | 105.673058 | 208 | 83.1583607 | 330 | 130.730092 |
| 87 | 105.175969 | 209 | 83.5114486 | 331 | 130.869709 |
| 88 | 104.677227 | 210 | 83.872119 | 332 | 131.003407 |
| 89 | 104.177002 | 211 | 84.2402151 | 333 | 131.131183 |
| 90 | 103.67547 | 212 | 84.6155756 | 334 | 131.25303 |
| 91 | 103.172809 | 213 | 84.9980355 | 335 | 131.368944 |
| 92 | 102.6692 | 214 | 85.3874252 | 336 | 131.47892 |
| 93 | 102.16483 | 215 | 85.7835716 | 337 | 131.582954 |
| 94 | 101.659888 | 216 | 86.1862975 | 338 | 131.681042 |
| 95 | 101.154565 | 217 | 86.5954221 | 339 | 131.773179 |
| 96 | 100.649058 | 218 | 87.0107607 | 340 | 131.859362 |
| 97 | 100.143565 | 219 | 87.4321255 | 341 | 131.939588 |
| 98 | 99.6382858 | 220 | 87.859325 | 342 | 132.013853 |
| 99 | 99.1334256 | 221 | 88.2921648 | 343 | 132.082155 |
| 100 | 98.62919 | 222 | 88.7304472 | 344 | 132.144491 |
| 101 | 98.1257875 | 223 | 89.1739719 | 345 | 132.200858 |
| 102 | 97.6234285 | 224 | 89.6225358 | 346 | 132.251255 |
| 103 | 97.122325 | 225 | 90.0759333 | 347 | 132.295679 |
| 104 | 96.6226908 | 226 | 90.5339567 | 348 | 132.334128 |
| 105 | 96.124741 | 227 | 90.9963961 | 349 | 132.366602 |
| 106 | 95.6286919 | 228 | 91.4630397 | 350 | 132.393099 |
| 107 | 95.1347604 | 229 | 91.933674 | 351 | 132.413618 |
| 108 | 94.6431644 | 230 | 92.4080845 | 352 | 132.428157 |
| 109 | 94.154122 | 231 | 92.886055 | 353 | 132.436717 |
| 110 | 93.6678515 | 232 | 93.3673687 | 354 | 132.439298 |
| 111 | 93.1845712 | 233 | 93.8518079 | 355 | 132.435898 |
| 112 | 92.704499 | 234 | 94.3391547 | 356 | 132.426519 |
| 113 | 92.2278523 | 235 | 94.8291906 | 357 | 132.411116 |
| 114 | 91.7548476 | 236 | 95.3216974 | 358 | 132.389822 |
| 115 | 91.2857005 | 237 | 95.816457 | 359 | 132.362507 |
| 116 | 90.8206253 | 238 | 96.313252 | 360 | 132.329214 |
| 117 | 90.3598348 | 239 | 96.8118656 | 361 | 132.289946 |
| 118 | 89.90354 | 240 | 97.3120819 | 362 | 132.244704 |
| 119 | 89.4519501 | 241 | 97.8136863 | 363 | 132.193489 |
| 120 | 89.005272 | 242 | 98.3164657 | 364 | 132.136304 |
| 121 | 88.5637103 | 243 | 98.8202086 | 365 | 132.07315 |
| 122 | 88.1274672 | 244 | 99.3247053 | | |

Tabla 14 Valores de los ángulos de acimut γ para la latitud $\phi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 30^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | $\gamma (\omega = 30^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 30^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 30^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 1 | 143.848999 | 123 | 92.8713062 | 245 | 109.395653 |
| 2 | 143.765522 | 124 | 92.2703041 | 246 | 110.048999 |
| 3 | 143.676688 | 125 | 91.6767491 | 247 | 110.69921 |
| 4 | 143.582483 | 126 | 91.0910097 | 248 | 111.345986 |
| 5 | 143.482891 | 127 | 90.5134458 | 249 | 111.98904 |
| 6 | 143.377896 | 128 | 89.9444086 | 250 | 112.628097 |
| 7 | 143.267482 | 129 | 89.3842395 | 251 | 113.262895 |
| 8 | 143.151629 | 130 | 88.8332701 | 252 | 113.893183 |
| 9 | 143.030319 | 131 | 88.291822 | 253 | 114.518722 |
| 10 | 142.903533 | 132 | 87.7602061 | 254 | 115.139287 |
| 11 | 142.771249 | 133 | 87.2387228 | 255 | 115.754664 |
| 12 | 142.633445 | 134 | 86.7276613 | 256 | 116.364651 |
| 13 | 142.490099 | 135 | 86.2273 | 257 | 116.96906 |
| 14 | 142.341186 | 136 | 85.7379061 | 258 | 117.567712 |
| 15 | 142.186683 | 137 | 85.2597356 | 259 | 118.160443 |
| 16 | 142.026564 | 138 | 84.7930334 | 260 | 118.747098 |
| 17 | 141.860801 | 139 | 84.3380333 | 261 | 119.327534 |
| 18 | 141.689367 | 140 | 83.894958 | 262 | 119.90162 |
| 19 | 141.512234 | 141 | 83.4640195 | 263 | 120.469236 |
| 20 | 141.329373 | 142 | 83.0454188 | 264 | 121.030269 |
| 21 | 141.140751 | 143 | 82.6393465 | 265 | 121.58462 |
| 22 | 140.946339 | 144 | 82.245983 | 266 | 122.132198 |

| día | $\gamma (\omega = 30^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 30^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 30^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 23 | 140.746103 | 145 | 81.8654983 | 267 | 122.672923 |
| 24 | 140.540011 | 146 | 81.4980529 | 268 | 123.20672 |
| 25 | 140.328028 | 147 | 81.1437975 | 269 | 123.733528 |
| 26 | 140.110119 | 148 | 80.8028737 | 270 | 124.25329 |
| 27 | 139.886248 | 149 | 80.4754141 | 271 | 124.765959 |
| 28 | 139.656377 | 150 | 80.1615426 | 272 | 125.271494 |
| 29 | 139.42047 | 151 | 79.861375 | 273 | 125.769863 |
| 30 | 139.178488 | 152 | 79.5750188 | 274 | 126.26104 |
| 31 | 138.930392 | 153 | 79.302574 | 275 | 126.745005 |
| 32 | 138.67614 | 154 | 79.0441333 | 276 | 127.221743 |
| 33 | 138.415694 | 155 | 78.7997824 | 277 | 127.691246 |
| 34 | 138.149011 | 156 | 78.5696 | 278 | 128.153511 |
| 35 | 137.87605 | 157 | 78.3536586 | 279 | 128.608541 |
| 36 | 137.596768 | 158 | 78.1520247 | 280 | 129.056341 |
| 37 | 137.311122 | 159 | 77.9647588 | 281 | 129.496921 |
| 38 | 137.019069 | 160 | 77.7919157 | 282 | 129.930297 |
| 39 | 136.720566 | 161 | 77.6335452 | 283 | 130.356487 |
| 40 | 136.415568 | 162 | 77.4896919 | 284 | 130.775512 |
| 41 | 136.104032 | 163 | 77.3603954 | 285 | 131.187397 |
| 42 | 135.785915 | 164 | 77.2456909 | 286 | 131.592168 |
| 43 | 135.461171 | 165 | 77.145609 | 287 | 131.989856 |
| 44 | 135.129757 | 166 | 77.0601761 | 288 | 132.380493 |
| 45 | 134.79163 | 167 | 76.9894143 | 289 | 132.764112 |
| 46 | 134.446748 | 168 | 76.933342 | 290 | 133.14075 |
| 47 | 134.095067 | 169 | 76.8919733 | 291 | 133.510444 |
| 48 | 133.736546 | 170 | 76.8653188 | 292 | 133.873233 |
| 49 | 133.371145 | 171 | 76.8533851 | 293 | 134.229157 |
| 50 | 132.998824 | 172 | 76.8561753 | 294 | 134.578256 |
| 51 | 132.619544 | 173 | 76.8736888 | 295 | 134.920573 |
| 52 | 132.233269 | 174 | 76.9059209 | 296 | 135.25615 |
| 53 | 131.839964 | 175 | 76.9528638 | 297 | 135.585031 |
| 54 | 131.439595 | 176 | 77.0145053 | 298 | 135.907259 |
| 55 | 131.032131 | 177 | 77.0908298 | 299 | 136.222877 |
| 56 | 130.617543 | 178 | 77.1818175 | 300 | 136.531929 |
| 57 | 130.195806 | 179 | 77.2874447 | 301 | 136.83446 |
| 58 | 129.766895 | 180 | 77.4076834 | 302 | 137.130514 |
| 59 | 129.33079 | 181 | 77.5425013 | 303 | 137.420133 |
| 60 | 128.887475 | 182 | 77.6918616 | 304 | 137.703362 |
| 61 | 128.436936 | 183 | 77.8557227 | 305 | 137.980244 |
| 62 | 127.979165 | 184 | 78.0340382 | 306 | 138.250821 |

| día | $\gamma (\omega = 30^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 30^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 30^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 63 | 127.514156 | 185 | 78.2267563 | 307 | 138.515135 |
| 64 | 127.04191 | 186 | 78.4338202 | 308 | 138.773228 |
| 65 | 126.562432 | 187 | 78.655167 | 309 | 139.025142 |
| 66 | 126.075732 | 188 | 78.8907282 | 310 | 139.270917 |
| 67 | 125.581827 | 189 | 79.1404288 | 311 | 139.510592 |
| 68 | 125.080738 | 190 | 79.4041874 | 312 | 139.744207 |
| 69 | 124.572495 | 191 | 79.6819159 | 313 | 139.971799 |
| 70 | 124.057132 | 192 | 79.9735188 | 314 | 140.193406 |
| 71 | 123.534694 | 193 | 80.2788933 | 315 | 140.409065 |
| 72 | 123.00523 | 194 | 80.5979287 | 316 | 140.618812 |
| 73 | 122.4688 | 195 | 80.9305063 | 317 | 140.82268 |
| 74 | 121.925469 | 196 | 81.2764989 | 318 | 141.020705 |
| 75 | 121.375313 | 197 | 81.6357704 | 319 | 141.212918 |
| 76 | 120.818418 | 198 | 82.008176 | 320 | 141.399353 |
| 77 | 120.254878 | 199 | 82.3935612 | 321 | 141.58004 |
| 78 | 119.684797 | 200 | 82.7917619 | 322 | 141.75501 |
| 79 | 119.108289 | 201 | 83.2026042 | 323 | 141.924291 |
| 80 | 118.52548 | 202 | 83.6259039 | 324 | 142.087912 |
| 81 | 117.936505 | 203 | 84.0614666 | 325 | 142.2459 |
| 82 | 117.341511 | 204 | 84.5090868 | 326 | 142.398281 |
| 83 | 116.740657 | 205 | 84.9685488 | 327 | 142.545081 |
| 84 | 116.134113 | 206 | 85.4396256 | 328 | 142.686324 |
| 85 | 115.52206 | 207 | 85.9220792 | 329 | 142.822033 |
| 86 | 114.904692 | 208 | 86.4156605 | 330 | 142.952231 |
| 87 | 114.282216 | 209 | 86.9201092 | 331 | 143.076939 |
| 88 | 113.65485 | 210 | 87.4351539 | 332 | 143.196178 |
| 89 | 113.022824 | 211 | 87.9605121 | 333 | 143.309968 |
| 90 | 112.386382 | 212 | 88.4958904 | 334 | 143.418326 |
| 91 | 111.745778 | 213 | 89.0409842 | 335 | 143.521271 |
| 92 | 111.10128 | 214 | 89.5954787 | 336 | 143.61882 |
| 93 | 110.453168 | 215 | 90.1590484 | 337 | 143.710987 |
| 94 | 109.801734 | 216 | 90.7313579 | 338 | 143.797789 |
| 95 | 109.147279 | 217 | 91.3120621 | 339 | 143.87924 |
| 96 | 108.490119 | 218 | 91.9008065 | 340 | 143.955351 |
| 97 | 107.830578 | 219 | 92.4972277 | 341 | 144.026137 |
| 98 | 107.168994 | 220 | 93.1009542 | 342 | 144.091607 |
| 99 | 106.505713 | 221 | 93.7116067 | 343 | 144.151773 |
| 100 | 105.841089 | 222 | 94.3287987 | 344 | 144.206643 |
| 101 | 105.175489 | 223 | 94.9521371 | 345 | 144.256228 |
| 102 | 104.509285 | 224 | 95.5812235 | 346 | 144.300535 |

| día | $\gamma (\omega = 30^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 30^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 30^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 103 | 103.842859 | 225 | 96.2156539 | 347 | 144.33957 |
| 104 | 103.176599 | 226 | 96.8550205 | 348 | 144.37334 |
| 105 | 102.5109 | 227 | 97.4989119 | 349 | 144.40185 |
| 106 | 101.846163 | 228 | 98.1469141 | 350 | 144.425106 |
| 107 | 101.182793 | 229 | 98.7986113 | 351 | 144.44311 |
| 108 | 100.521199 | 230 | 99.453587 | 352 | 144.455865 |
| 109 | 99.8617938 | 231 | 100.111424 | 353 | 144.463374 |
| 110 | 99.2049919 | 232 | 100.771708 | 354 | 144.465637 |
| 111 | 98.5512097 | 233 | 101.434023 | 355 | 144.462655 |
| 112 | 97.9008639 | 234 | 102.09796 | 356 | 144.454428 |
| 113 | 97.2543709 | 235 | 102.763109 | 357 | 144.440953 |
| 114 | 96.6121458 | 236 | 103.429067 | 358 | 144.42223 |
| 115 | 95.9746017 | 237 | 104.095436 | 359 | 144.398255 |
| 116 | 95.3421489 | 238 | 104.761823 | 360 | 144.369024 |
| 117 | 94.7151938 | 239 | 105.427843 | 361 | 144.334533 |
| 118 | 94.0941382 | 240 | 106.093116 | 362 | 144.294776 |
| 119 | 93.4793788 | 241 | 106.757274 | 363 | 144.249747 |
| 120 | 143.848999 | 242 | 107.419953 | 364 | 144.199439 |
| 121 | 143.765522 | 243 | 108.080803 | 365 | 144.143843 |
| 122 | 143.676688 | 244 | 108.73948 | | |

Tabla 15 Valores de los ángulos de acimut γ para la latitud $\phi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 15^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | $\gamma (\omega = 15^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 15^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 15^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 1 | 160.317247 | 123 | 102.782895 | 245 | 129.012131 |
| 2 | 160.274281 | 124 | 101.671722 | 246 | 129.861717 |
| 3 | 160.227884 | 125 | 100.566424 | 247 | 130.693638 |
| 4 | 160.178036 | 126 | 99.4684876 | 248 | 131.507906 |
| 5 | 160.124719 | 127 | 98.3793814 | 249 | 132.304575 |
| 6 | 160.067911 | 128 | 97.3005477 | 250 | 133.083732 |
| 7 | 160.007591 | 129 | 96.2333961 | 251 | 133.845501 |
| 8 | 159.943734 | 130 | 95.1792954 | 252 | 134.590033 |
| 9 | 159.876314 | 131 | 94.1395673 | 253 | 135.31751 |
| 10 | 159.805306 | 132 | 93.1154806 | 254 | 136.028132 |
| 11 | 159.73068 | 133 | 92.108246 | 255 | 136.722124 |
| 12 | 159.652405 | 134 | 91.1190119 | 256 | 137.399727 |
| 13 | 159.570451 | 135 | 90.1488611 | 257 | 138.061199 |
| 14 | 159.484782 | 136 | 89.1988079 | 258 | 138.706808 |
| 15 | 159.395363 | 137 | 88.2697972 | 259 | 139.336835 |
| 16 | 159.302157 | 138 | 87.3627026 | 260 | 139.95157 |
| 17 | 159.205124 | 139 | 86.4783271 | 261 | 140.551308 |
| 18 | 159.104222 | 140 | 85.6174033 | 262 | 141.136351 |
| 19 | 158.999409 | 141 | 84.7805946 | 263 | 141.707003 |
| 20 | 158.890639 | 142 | 83.9684971 | 264 | 142.263573 |
| 21 | 158.777864 | 143 | 83.1816421 | 265 | 142.806367 |
| 22 | 158.661033 | 144 | 82.4204986 | 266 | 143.335695 |
| 23 | 158.540096 | 145 | 81.6854763 | 267 | 143.851862 |
| 24 | 158.414997 | 146 | 80.9769294 | 268 | 144.355174 |
| 25 | 158.28568 | 147 | 80.2951597 | 269 | 144.845934 |
| 26 | 158.152085 | 148 | 79.6404206 | 270 | 145.324439 |
| 27 | 158.014149 | 149 | 79.0129211 | 271 | 145.790985 |
| 28 | 157.871809 | 150 | 78.4128293 | 272 | 146.245862 |
| 29 | 157.724996 | 151 | 77.8402766 | 273 | 146.689355 |
| 30 | 157.573641 | 152 | 77.2953612 | 274 | 147.121745 |
| 31 | 157.417671 | 153 | 76.7781519 | 275 | 147.543305 |
| 32 | 157.257008 | 154 | 76.2886922 | 276 | 147.954305 |
| 33 | 157.091574 | 155 | 75.8270028 | 277 | 148.355006 |
| 34 | 156.921286 | 156 | 75.3930859 | 278 | 148.745665 |
| 35 | 156.746059 | 157 | 74.9869276 | 279 | 149.126532 |
| 36 | 156.565803 | 158 | 74.6085013 | 280 | 149.497851 |
| 37 | 156.380425 | 159 | 74.2577703 | 281 | 149.859858 |
| 38 | 156.189829 | 160 | 73.9346902 | 282 | 150.212785 |
| 39 | 155.993914 | 161 | 73.6392116 | 283 | 150.556855 |
| 40 | 155.792578 | 162 | 73.3712818 | 284 | 150.892287 |

| día | $\gamma (\omega = 15^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 15^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 15^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 41 | 155.585711 | 163 | 73.1308474 | 285 | 151.219291 |
| 42 | 155.373201 | 164 | 72.9178553 | 286 | 151.538073 |
| 43 | 155.154933 | 165 | 72.7322549 | 287 | 151.848832 |
| 44 | 154.930785 | 166 | 72.573999 | 288 | 152.151761 |
| 45 | 154.700633 | 167 | 72.4430454 | 289 | 152.447045 |
| 46 | 154.464346 | 168 | 72.3393577 | 290 | 152.734866 |
| 47 | 154.22179 | 169 | 72.262906 | 291 | 153.015399 |
| 48 | 153.972827 | 170 | 72.2136679 | 292 | 153.288813 |
| 49 | 153.71731 | 171 | 72.1916285 | 293 | 153.555271 |
| 50 | 153.455092 | 172 | 72.1967813 | 294 | 153.814931 |
| 51 | 153.186016 | 173 | 72.2291278 | 295 | 154.067947 |
| 52 | 152.909924 | 174 | 72.2886777 | 296 | 154.314466 |
| 53 | 152.626649 | 175 | 72.3754488 | 297 | 154.554629 |
| 54 | 152.33602 | 176 | 72.4894663 | 298 | 154.788575 |
| 55 | 152.03786 | 177 | 72.6307629 | 299 | 155.016437 |
| 56 | 151.731986 | 178 | 72.7993771 | 300 | 155.238342 |
| 57 | 151.41821 | 179 | 72.9953532 | 301 | 155.454413 |
| 58 | 151.096335 | 180 | 73.2187398 | 302 | 155.664771 |
| 59 | 150.766161 | 181 | 73.4695887 | 303 | 155.869529 |
| 60 | 150.427481 | 182 | 73.7479531 | 304 | 156.068798 |
| 61 | 150.08008 | 183 | 74.0538867 | 305 | 156.262685 |
| 62 | 149.723738 | 184 | 74.3874409 | 306 | 156.451292 |
| 63 | 149.35823 | 185 | 74.7486635 | 307 | 156.634718 |
| 64 | 148.98332 | 186 | 75.1375964 | 308 | 156.813057 |
| 65 | 148.598771 | 187 | 75.5542727 | 309 | 156.986402 |
| 66 | 148.204336 | 188 | 75.9987146 | 310 | 157.15484 |
| 67 | 147.799762 | 189 | 76.4709301 | 311 | 157.318456 |
| 68 | 147.384791 | 190 | 76.9709105 | 312 | 157.477332 |
| 69 | 146.959158 | 191 | 77.4986268 | 313 | 157.631544 |
| 70 | 146.522593 | 192 | 78.0540264 | 314 | 157.781169 |
| 71 | 146.074819 | 193 | 78.6370297 | 315 | 157.926278 |
| 72 | 145.615553 | 194 | 79.2475263 | 316 | 158.066941 |
| 73 | 145.144509 | 195 | 79.8853715 | 317 | 158.203225 |
| 74 | 144.661394 | 196 | 80.5503821 | 318 | 158.335191 |
| 75 | 144.165912 | 197 | 81.2423328 | 319 | 158.462903 |
| 76 | 143.657764 | 198 | 81.9609522 | 320 | 158.586418 |
| 77 | 143.136645 | 199 | 82.705919 | 321 | 158.705792 |
| 78 | 142.60225 | 200 | 83.4768585 | 322 | 158.82108 |
| 79 | 142.054271 | 201 | 84.2733389 | 323 | 158.932331 |
| 80 | 141.4924 | 202 | 85.0948678 | 324 | 159.039597 |

| día | $\gamma (\omega = 15^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 15^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 15^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 81 | 140.91633 | 203 | 85.94089 | 325 | 159.142922 |
| 82 | 140.325753 | 204 | 86.8107838 | 326 | 159.242352 |
| 83 | 139.720366 | 205 | 87.7038598 | 327 | 159.33793 |
| 84 | 139.09987 | 206 | 88.6193589 | 328 | 159.429696 |
| 85 | 138.463971 | 207 | 89.5564514 | 329 | 159.51769 |
| 86 | 137.812383 | 208 | 90.5142365 | 330 | 159.601947 |
| 87 | 137.144828 | 209 | 91.4917431 | 331 | 159.682503 |
| 88 | 136.461043 | 210 | 92.4879304 | 332 | 159.759391 |
| 89 | 135.760776 | 211 | 93.5016905 | 333 | 159.832642 |
| 90 | 135.043791 | 212 | 94.531851 | 334 | 159.902287 |
| 91 | 134.309873 | 213 | 95.5771786 | 335 | 159.968353 |
| 92 | 133.558827 | 214 | 96.6363838 | 336 | 160.030867 |
| 93 | 132.790485 | 215 | 97.7081264 | 337 | 160.089853 |
| 94 | 132.004704 | 216 | 98.7910211 | 338 | 160.145335 |
| 95 | 131.201374 | 217 | 99.8836453 | 339 | 160.197335 |
| 96 | 130.380419 | 218 | 100.984545 | 340 | 160.245873 |
| 97 | 129.541802 | 219 | 102.092246 | 341 | 160.290968 |
| 98 | 128.685528 | 220 | 103.205256 | 342 | 160.332637 |
| 99 | 127.811646 | 221 | 104.322082 | 343 | 160.370897 |
| 100 | 126.920258 | 222 | 105.44123 | 344 | 160.405762 |
| 101 | 126.011515 | 223 | 106.561222 | 345 | 160.437245 |
| 102 | 125.085628 | 224 | 107.680597 | 346 | 160.465358 |
| 103 | 124.142868 | 225 | 108.797925 | 347 | 160.490113 |
| 104 | 123.183569 | 226 | 109.911813 | 348 | 160.511517 |
| 105 | 122.208133 | 227 | 111.020911 | 349 | 160.529581 |
| 106 | 121.217031 | 228 | 112.12392 | 350 | 160.544309 |
| 107 | 120.210806 | 229 | 113.219601 | 351 | 160.555709 |
| 108 | 119.190078 | 230 | 114.306773 | 352 | 160.563783 |
| 109 | 118.155538 | 231 | 115.384325 | 353 | 160.568536 |
| 110 | 117.107957 | 232 | 116.451214 | 354 | 160.569968 |
| 111 | 116.048181 | 233 | 117.506472 | 355 | 160.568081 |
| 112 | 114.977133 | 234 | 118.549206 | 356 | 160.562873 |
| 113 | 113.895808 | 235 | 119.578598 | 357 | 160.554344 |
| 114 | 112.805277 | 236 | 120.593907 | 358 | 160.542488 |
| 115 | 111.706676 | 237 | 121.594469 | 359 | 160.527303 |
| 116 | 110.60121 | 238 | 122.579694 | 360 | 160.508783 |
| 117 | 109.490141 | 239 | 123.549066 | 361 | 160.486919 |
| 118 | 108.374788 | 240 | 124.50214 | 362 | 160.461705 |
| 119 | 107.256518 | 241 | 125.438541 | 363 | 160.433131 |
| 120 | 106.136739 | 242 | 126.357959 | 364 | 160.401185 |

| día | $\gamma (\omega = 15^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 15^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 15^\circ)$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 121 | 105.016894 | 243 | 127.260146 | 365 | 160.365856 |
| 122 | 103.898451 | 244 | 128.144914 | | |

Tabla 16 Valores de los ángulos de acimut γ para la latitud $\phi = 19.68$ correspondiente a la FES Cuautitlán cuando $\omega = 0^\circ$ a lo largo de los 365 días del año.

| día | $\gamma (\omega = 0^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 0^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 0^\circ)$ |
|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|
| 1 | 180 | 123 | 180 | 245 | 180 |
| 2 | 180 | 124 | 180 | 246 | 180 |
| 3 | 180 | 125 | 180 | 247 | 180 |
| 4 | 180 | 126 | 180 | 248 | 180 |
| 5 | 180 | 127 | 180 | 249 | 180 |
| 6 | 180 | 128 | 180 | 250 | 180 |
| 7 | 180 | 129 | 180 | 251 | 180 |
| 8 | 180 | 130 | 180 | 252 | 180 |
| 9 | 180 | 131 | 180 | 253 | 180 |
| 10 | 180 | 132 | 180 | 254 | 180 |
| 11 | 180 | 133 | 180 | 255 | 180 |
| 12 | 180 | 134 | 180 | 256 | 180 |
| 13 | 180 | 135 | 180 | 257 | 180 |
| 14 | 180 | 136 | 180 | 258 | 180 |

| día | $\gamma (\omega = 0^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 0^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 0^\circ)$ |
|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|
| 15 | 180 | 137 | 180 | 259 | 180 |
| 16 | 180 | 138 | ∞ | 260 | 180 |
| 17 | 180 | 139 | 0 | 261 | 180 |
| 18 | 180 | 140 | 0 | 262 | 180 |
| 19 | 180 | 141 | 0 | 263 | 180 |
| 20 | 180 | 142 | 0 | 264 | 180 |
| 21 | 180 | 143 | 0 | 265 | 180 |
| 22 | 180 | 144 | 0 | 266 | 180 |
| 23 | 180 | 145 | 0 | 267 | 180 |
| 24 | 180 | 146 | 0 | 268 | 180 |
| 25 | 180 | 147 | 0 | 269 | 180 |
| 26 | 180 | 148 | 0 | 270 | 180 |
| 27 | 180 | 149 | 0 | 271 | 180 |
| 28 | 180 | 150 | 0 | 272 | 180 |
| 29 | 180 | 151 | 0 | 273 | 180 |
| 30 | 180 | 152 | 0 | 274 | 180 |
| 31 | 180 | 153 | 0 | 275 | 180 |
| 32 | 180 | 154 | 0 | 276 | 180 |
| 33 | 180 | 155 | 0 | 277 | 180 |
| 34 | 180 | 156 | 0 | 278 | 180 |
| 35 | 180 | 157 | 0 | 279 | 180 |
| 36 | 180 | 158 | 0 | 280 | 180 |
| 37 | 180 | 159 | 0 | 281 | 180 |
| 38 | 180 | 160 | 0 | 282 | 180 |
| 39 | 180 | 161 | 0 | 283 | 180 |
| 40 | 180 | 162 | 0 | 284 | 180 |
| 41 | 180 | 163 | 0 | 285 | 180 |
| 42 | 180 | 164 | 0 | 286 | 180 |
| 43 | 180 | 165 | 0 | 287 | 180 |
| 44 | 180 | 166 | 0 | 288 | 180 |
| 45 | 180 | 167 | 0 | 289 | 180 |
| 46 | 180 | 168 | 0 | 290 | 180 |
| 47 | 180 | 169 | 0 | 291 | 180 |
| 48 | 180 | 170 | 0 | 292 | 180 |
| 49 | 180 | 171 | 0 | 293 | 180 |
| 50 | 180 | 172 | 0 | 294 | 180 |
| 51 | 180 | 173 | 0 | 295 | 180 |
| 52 | 180 | 174 | 0 | 296 | 180 |
| 53 | 180 | 175 | 0 | 297 | 180 |
| 54 | 180 | 176 | 0 | 298 | 180 |

| día | $\gamma (\omega = 0^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 0^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 0^\circ)$ |
|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|
| 55 | 180 | 177 | 0 | 299 | 180 |
| 56 | 180 | 178 | 0 | 300 | 180 |
| 57 | 180 | 179 | 0 | 301 | 180 |
| 58 | 180 | 180 | 0 | 302 | 180 |
| 59 | 180 | 181 | 0 | 303 | 180 |
| 60 | 180 | 182 | 0 | 304 | 180 |
| 61 | 180 | 183 | 0 | 305 | 180 |
| 62 | 180 | 184 | 0 | 306 | 180 |
| 63 | 180 | 185 | 0 | 307 | 180 |
| 64 | 180 | 186 | 0 | 308 | 180 |
| 65 | 180 | 187 | 0 | 309 | 180 |
| 66 | 180 | 188 | 0 | 310 | 180 |
| 67 | 180 | 189 | 0 | 311 | 180 |
| 68 | 180 | 190 | 0 | 312 | 180 |
| 69 | 180 | 191 | 0 | 313 | 180 |
| 70 | 180 | 192 | 0 | 314 | 180 |
| 71 | 180 | 193 | 0 | 315 | 180 |
| 72 | 180 | 194 | 0 | 316 | 180 |
| 73 | 180 | 195 | 0 | 317 | 180 |
| 74 | 180 | 196 | 0 | 318 | 180 |
| 75 | 180 | 197 | 0 | 319 | 180 |
| 76 | 180 | 198 | 0 | 320 | 180 |
| 77 | 180 | 199 | 0 | 321 | 180 |
| 78 | 180 | 200 | 0 | 322 | 180 |
| 79 | 180 | 201 | 0 | 323 | 180 |
| 80 | 180 | 202 | 0 | 324 | 180 |
| 81 | 180 | 203 | 0 | 325 | 180 |
| 82 | 180 | 204 | 0 | 326 | 180 |
| 83 | 180 | 205 | ∞ | 327 | 180 |
| 84 | 180 | 206 | 180 | 328 | 180 |
| 85 | 180 | 207 | 180 | 329 | 180 |
| 86 | 180 | 208 | 180 | 330 | 180 |
| 87 | 180 | 209 | 180 | 331 | 180 |
| 88 | 180 | 210 | 180 | 332 | 180 |
| 89 | 180 | 211 | 180 | 333 | 180 |
| 90 | 180 | 212 | 180 | 334 | 180 |
| 91 | 180 | 213 | 180 | 335 | 180 |
| 92 | 180 | 214 | 180 | 336 | 180 |
| 93 | 180 | 215 | 180 | 337 | 180 |
| 94 | 180 | 216 | 180 | 338 | 180 |

| día | $\gamma (\omega = 0^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 0^\circ)$ | día | $\gamma (\omega = 0^\circ)$ |
|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|
| 95 | 180 | 217 | 180 | 339 | 180 |
| 96 | 180 | 218 | 180 | 340 | 180 |
| 97 | 180 | 219 | 180 | 341 | 180 |
| 98 | 180 | 220 | 180 | 342 | 180 |
| 99 | 180 | 221 | 180 | 343 | 180 |
| 100 | 180 | 222 | 180 | 344 | 180 |
| 101 | 180 | 223 | 180 | 345 | 180 |
| 102 | 180 | 224 | 180 | 346 | 180 |
| 103 | 180 | 225 | 180 | 347 | 180 |
| 104 | 180 | 226 | 180 | 348 | 180 |
| 105 | 180 | 227 | 180 | 349 | 180 |
| 106 | 180 | 228 | 180 | 350 | 180 |
| 107 | 180 | 229 | 180 | 351 | 180 |
| 108 | 180 | 230 | 180 | 352 | 180 |
| 109 | 180 | 231 | 180 | 353 | 180 |
| 110 | 180 | 232 | 180 | 354 | 180 |
| 111 | 180 | 233 | 180 | 355 | 180 |
| 112 | 180 | 234 | 180 | 356 | 180 |
| 113 | 180 | 235 | 180 | 357 | 180 |
| 114 | 180 | 236 | 180 | 358 | 180 |
| 115 | 180 | 237 | 180 | 359 | 180 |
| 116 | 180 | 238 | 180 | 360 | 180 |
| 117 | 180 | 239 | 180 | 361 | 180 |
| 118 | 180 | 240 | 180 | 362 | 180 |
| 119 | 180 | 241 | 180 | 363 | 180 |
| 120 | 180 | 242 | 180 | 364 | 180 |
| 121 | 180 | 243 | 180 | 365 | 180 |
| 122 | 180 | 244 | 180 | | |

Tabla 17 Principales meridianos de referencia de los principales husos horarios en distintos lugares de México y sus alrededores.

| Hora | Meridiano de referencia | Ejemplos |
|---------------|-------------------------|----------------------------------|
| del Este | 75°W | Este de los EEUU, New York, etc. |
| del Centro | 90°W | Este de México de Yuc. a Jal. |
| de la Montaña | 105°W | Nay., Sin., Son. y BCS. |
| del Pacífico | 120°W | Baja California, California. |
| Alaska-Hawaii | 135°W | Alaska, Hawaii |

Tabla 18 Valores de ET para cada día del año.

| día | ET | día | ET | día | ET |
|-----|------------|-----|-------------|-----|-------------|
| 1 | 0.0565 | 123 | -0.05486202 | 245 | -0.00492956 |
| 2 | 0.06388135 | 124 | -0.05657344 | 246 | -0.01060218 |
| 3 | 0.07118516 | 125 | -0.05812211 | 247 | -0.01635684 |
| 4 | 0.07840468 | 126 | -0.05950713 | 248 | -0.02218766 |
| 5 | 0.08553324 | 127 | -0.06072782 | 249 | -0.02808868 |
| 6 | 0.0925643 | 128 | -0.06178373 | 250 | -0.03405378 |
| 7 | 0.09949141 | 129 | -0.06267463 | 251 | -0.04007677 |
| 8 | 0.10630828 | 130 | -0.06340051 | 252 | -0.04615134 |
| 9 | 0.1130087 | 131 | -0.06396159 | 253 | -0.05227112 |
| 10 | 0.11958664 | 132 | -0.0643583 | 254 | -0.05842962 |
| 11 | 0.12603618 | 133 | -0.06459131 | 255 | -0.06462031 |
| 12 | 0.13235156 | 134 | -0.06466148 | 256 | -0.07083655 |
| 13 | 0.13852718 | 135 | -0.06456992 | 257 | -0.07707169 |
| 14 | 0.14455758 | 136 | -0.06431793 | 258 | -0.08331898 |
| 15 | 0.15043749 | 137 | -0.06390705 | 259 | -0.08957165 |
| 16 | 0.1561618 | 138 | -0.06333901 | 260 | -0.0958229 |
| 17 | 0.16172559 | 139 | -0.06261576 | 261 | -0.10206587 |
| 18 | 0.1671241 | 140 | -0.06173946 | 262 | -0.10829372 |
| 19 | 0.17235277 | 141 | -0.06071247 | 263 | -0.11449956 |
| 20 | 0.17740724 | 142 | -0.05953735 | 264 | -0.12067652 |
| 21 | 0.18228333 | 143 | -0.05821687 | 265 | -0.12681771 |
| 22 | 0.18697709 | 144 | -0.05675397 | 266 | -0.13291627 |
| 23 | 0.19148474 | 145 | -0.05515181 | 267 | -0.13896535 |
| 24 | 0.19580275 | 146 | -0.05341371 | 268 | -0.14495812 |
| 25 | 0.19992775 | 147 | -0.05154319 | 269 | -0.15088781 |
| 26 | 0.20385665 | 148 | -0.04954394 | 270 | -0.15674766 |
| 27 | 0.20758653 | 149 | -0.04741982 | 271 | -0.16253098 |
| 28 | 0.21111473 | 150 | -0.04517486 | 272 | -0.16823113 |
| 29 | 0.21443877 | 151 | -0.04281325 | 273 | -0.17384155 |
| 30 | 0.21755645 | 152 | -0.04033935 | 274 | -0.17935574 |
| 31 | 0.22046576 | 153 | -0.03775765 | 275 | -0.18476729 |
| 32 | 0.22316495 | 154 | -0.0350728 | 276 | -0.19006986 |
| 33 | 0.22565248 | 155 | -0.03228958 | 277 | -0.19525723 |

| día | ET | día | ET | día | ET |
|-----|------------|-----|-------------|-----|-------------|
| 34 | 0.22792707 | 156 | -0.02941291 | 278 | -0.20032327 |
| 35 | 0.22998765 | 157 | -0.02644785 | 279 | -0.20526197 |
| 36 | 0.23183341 | 158 | -0.02339954 | 280 | -0.21006744 |
| 37 | 0.23346376 | 159 | -0.02027328 | 281 | -0.2147339 |
| 38 | 0.23487836 | 160 | -0.01707445 | 282 | -0.21925572 |
| 39 | 0.23607709 | 161 | -0.01380853 | 283 | -0.22362739 |
| 40 | 0.23706009 | 162 | -0.01048111 | 284 | -0.22784356 |
| 41 | 0.23782772 | 163 | -0.00709785 | 285 | -0.23189903 |
| 42 | 0.23838058 | 164 | -0.00366451 | 286 | -0.23578876 |
| 43 | 0.23871951 | 165 | -0.00018688 | 287 | -0.23950785 |
| 44 | 0.23884558 | 166 | 0.00332913 | 288 | -0.24305161 |
| 45 | 0.23876009 | 167 | 0.0068776 | 289 | -0.2464155 |
| 46 | 0.23846455 | 168 | 0.01045254 | 290 | -0.24959515 |
| 47 | 0.23796074 | 169 | 0.01404792 | 291 | -0.25258642 |
| 48 | 0.23725064 | 170 | 0.01765767 | 292 | -0.25538531 |
| 49 | 0.23633643 | 171 | 0.02127571 | 293 | -0.25798804 |
| 50 | 0.23522056 | 172 | 0.02489593 | 294 | -0.26039105 |
| 51 | 0.23390564 | 173 | 0.02851221 | 295 | -0.26259094 |
| 52 | 0.23239454 | 174 | 0.03211844 | 296 | -0.26458457 |
| 53 | 0.23069031 | 175 | 0.03570849 | 297 | -0.26636897 |
| 54 | 0.22879622 | 176 | 0.03927626 | 298 | -0.26794141 |
| 55 | 0.22671571 | 177 | 0.04281567 | 299 | -0.26929937 |
| 56 | 0.22445246 | 178 | 0.04632067 | 300 | -0.27044057 |
| 57 | 0.22201031 | 179 | 0.04978523 | 301 | -0.27136294 |
| 58 | 0.2193933 | 180 | 0.05320338 | 302 | -0.27206464 |
| 59 | 0.21660564 | 181 | 0.0565692 | 303 | -0.27254407 |
| 60 | 0.21365172 | 182 | 0.05987682 | 304 | -0.27279985 |
| 61 | 0.2105361 | 183 | 0.06312044 | 305 | -0.27283086 |
| 62 | 0.20726351 | 184 | 0.06629434 | 306 | -0.27263619 |
| 63 | 0.20383884 | 185 | 0.06939288 | 307 | -0.27221518 |
| 64 | 0.20026712 | 186 | 0.07241049 | 308 | -0.27156741 |
| 65 | 0.19655354 | 187 | 0.07534172 | 309 | -0.27069271 |
| 66 | 0.19270341 | 188 | 0.07818121 | 310 | -0.26959112 |
| 67 | 0.1887222 | 189 | 0.08092372 | 311 | -0.26826296 |
| 68 | 0.18461548 | 190 | 0.0835641 | 312 | -0.26670876 |
| 69 | 0.18038896 | 191 | 0.08609735 | 313 | -0.26492931 |
| 70 | 0.17604845 | 192 | 0.08851858 | 314 | -0.26292562 |
| 71 | 0.17159987 | 193 | 0.09082307 | 315 | -0.26069897 |
| 72 | 0.16704924 | 194 | 0.09300619 | 316 | -0.25825084 |
| 73 | 0.16240267 | 195 | 0.0950635 | 317 | -0.25558297 |

| día | ET | día | ET | día | ET |
|-----|-------------|-----|------------|-----|-------------|
| 74 | 0.15766636 | 196 | 0.09699069 | 318 | -0.25269733 |
| 75 | 0.15284656 | 197 | 0.09878362 | 319 | -0.24959613 |
| 76 | 0.14794962 | 198 | 0.10043832 | 320 | -0.2462818 |
| 77 | 0.14298194 | 199 | 0.10195097 | 321 | -0.24275699 |
| 78 | 0.13794996 | 200 | 0.10331795 | 322 | -0.2390246 |
| 79 | 0.13286018 | 201 | 0.10453579 | 323 | -0.23508774 |
| 80 | 0.12771913 | 202 | 0.10560123 | 324 | -0.23094972 |
| 81 | 0.12253338 | 203 | 0.10651119 | 325 | -0.22661409 |
| 82 | 0.1173095 | 204 | 0.10726279 | 326 | -0.2220846 |
| 83 | 0.1120541 | 205 | 0.10785333 | 327 | -0.21736522 |
| 84 | 0.10677377 | 206 | 0.10828032 | 328 | -0.21246012 |
| 85 | 0.10147512 | 207 | 0.10854149 | 329 | -0.20737364 |
| 86 | 0.09616474 | 208 | 0.10863474 | 330 | -0.20211035 |
| 87 | 0.09084919 | 209 | 0.10855822 | 331 | -0.196675 |
| 88 | 0.08553502 | 210 | 0.10831027 | 332 | -0.19107252 |
| 89 | 0.08022875 | 211 | 0.10788946 | 333 | -0.185308 |
| 90 | 0.07493684 | 212 | 0.10729456 | 334 | -0.17938674 |
| 91 | 0.06966572 | 213 | 0.10652457 | 335 | -0.17331419 |
| 92 | 0.06442174 | 214 | 0.10557871 | 336 | -0.16709594 |
| 93 | 0.05921121 | 215 | 0.10445643 | 337 | -0.16073776 |
| 94 | 0.05404035 | 216 | 0.10315739 | 338 | -0.15424557 |
| 95 | 0.04891532 | 217 | 0.10168149 | 339 | -0.14762542 |
| 96 | 0.04384216 | 218 | 0.10002885 | 340 | -0.1408835 |
| 97 | 0.03882685 | 219 | 0.0981998 | 341 | -0.13402613 |
| 98 | 0.03387526 | 220 | 0.09619492 | 342 | -0.12705974 |
| 99 | 0.02899314 | 221 | 0.09401501 | 343 | -0.1199909 |
| 100 | 0.02418613 | 222 | 0.09166109 | 344 | -0.11282625 |
| 101 | 0.01945976 | 223 | 0.08913439 | 345 | -0.10557257 |
| 102 | 0.01481942 | 224 | 0.0864364 | 346 | -0.09823669 |
| 103 | 0.01027038 | 225 | 0.0835688 | 347 | -0.09082557 |
| 104 | 0.00581774 | 226 | 0.0805335 | 348 | -0.08334622 |
| 105 | 0.00146649 | 227 | 0.07733264 | 349 | -0.07580572 |
| 106 | -0.00277855 | 228 | 0.07396856 | 350 | -0.0682112 |
| 107 | -0.00691273 | 229 | 0.07044382 | 351 | -0.06056988 |
| 108 | -0.01093153 | 230 | 0.06676121 | 352 | -0.052889 |
| 109 | -0.01483063 | 231 | 0.06292369 | 353 | -0.04517583 |
| 110 | -0.01860586 | 232 | 0.05893447 | 354 | -0.03743769 |
| 111 | -0.02225325 | 233 | 0.05479693 | 355 | -0.0296819 |
| 112 | -0.025769 | 234 | 0.05051465 | 356 | -0.02191581 |
| 113 | -0.02914949 | 235 | 0.04609143 | 357 | -0.01414678 |

| día | ET | día | ET | día | ET |
|-----|-------------|-----|------------|-----|-------------|
| 114 | -0.0323913 | 236 | 0.04153125 | 358 | -0.00638213 |
| 115 | -0.03549122 | 237 | 0.03683825 | 359 | 0.00137078 |
| 116 | -0.0384462 | 238 | 0.0320168 | 360 | 0.00910465 |
| 117 | -0.04125344 | 239 | 0.0270714 | 361 | 0.01681219 |
| 118 | -0.0439103 | 240 | 0.02200675 | 362 | 0.02448614 |
| 119 | -0.04641437 | 241 | 0.01682772 | 363 | 0.03211931 |
| 120 | -0.04876346 | 242 | 0.01153932 | 364 | 0.03970453 |
| 121 | -0.05095558 | 243 | 0.00614673 | 365 | 0.04723471 |
| 122 | -0.05298895 | 244 | 0.00065528 | | |

Gráfica 2 Curva de la variación del tiempo en minutos a lo largo de los 365 días del año.

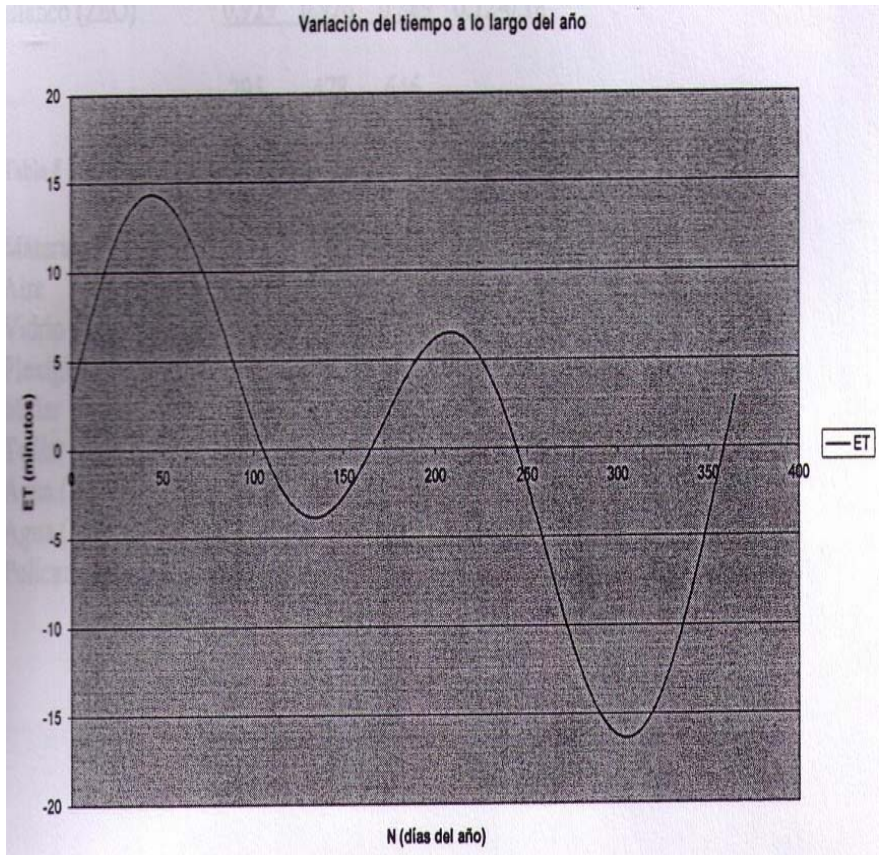


Tabla 19 Absortancia y emitancia de algunos materiales a distintas temperaturas.

| Superficie | E / T (°K) | A |
|------------|------------|---|
|------------|------------|---|

| | | | | |
|---------------------------|--------------|--------------|---------------|-----------|
| Aluminio puro | 0.102 573 | 0.130 773 | 0.113 873 | 0.09-0.10 |
| Aluminio anodizado | 0.842 296 | 0.720 484 | 0.669 574 | 0.12-0.16 |
| Cromo | 0.290 722 | 0.355 905 | 0.435 1072 | 0.415 |
| Cobre pulido | 0.041 338 | 0.036 463 | 0.039 803 | 0.35 |
| Oro | 0.025 275 | 0.040 468 | 0.048 668 | 0.20-0.23 |
| Hierro | 0.071 199 | 0.110 468 | 0.175 668 | 0.44 |
| Níquel | 0.10 310 | 0.10 468 | 0.12 668 | 0.36-0.43 |
| Pintura Negro mate | 0.981 240 | 0.981 462 | | 0.98 |
| Blanco (ZnO) | 0.929 295 | 0.926 478 | 0.889 646 | 0.12-0.18 |

Tabla 20 Índice de refracción de distintas sustancias en el intervalo visible.

Material

Índice de refracción

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| Aire | 1.00 |
| Vidrio (tipo para colector solar) | 1.50-1.52 |
| Plexiglas | 1.49 |
| Mylar | 1.64 |
| Tedlar | 1.45 |
| Agua (líquida) | 1.33 |
| Agua (sólida) | 1.31 |
| Policarbonato | 1.59 |

BIBLIOGRAFÍA.

Energía Solar: Fundamentos y Aplicaciones fototérmicas.

José A. Manrique.

Ed. HARLA.

España, 1998.

Ingenios Solares.

José Manuel Jiménez.

Editorial: Pamiela.

Navarra Pamplona-España, 1997.

Energía solar: Aplicaciones prácticas.

Hans Rau.

Marcombo Boixareu Editores.

Barcelona-España, 1980.

Solar Energy Thermal Processes.

J. A. Duffie, W. A. Beckman.

Editorial: John Wiley and Sons.

N. York-Estados Unidos, 1974.

Hidrógeno solar: Energía para el futuro.

Dr. Phil Eduard W. Justi.

Marcombo Boixareu Editores.

Barcelona-España, 1985.

Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas.

Claudio Mataix.

Alfaomega-Oxford.

España, 2005.

Ingeniería Termodinámica.

William C. Reynolds, Henry C. Perkins.

Mc Graw-Hill.

México, 1977.

Fundamentos de transferencia de calor.

Jaime Cervantes de Gortari.

UNAM. Fondo de Cultura Económica.

México, 1999.

Termotecnia: Aplicaciones agroindustriales.

Pablo Amigo Martín.

Ediciones Mundi-Prensa.

Madrid-España, 2000.

La energía en México: Replanteamiento de retos y oportunidades.

I Congreso Nacional de la Asociación Mexicana para la Economía Energética, A. C.

UNAM. Asociación Mexicana para la Economía Energética, A. C. Instituto Mexicano del Petróleo.

México, 1997.

Energía solar: Selección del equipo, instalación y aprovechamiento.

Richard H. Montgomery.

Editorial LIMUSA.

México, 1994.