



03045  
N+2  
2Ej.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ESTRATEGIA DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO  
PARA LA RESTAURACION Y EL DESARROLLO  
DE LA EX-HACIENDA DE CHINAMPAS EN EL ESTADO DE  
JALISCO.

Tesina que presenta Mario Daniel Reynoso Sánchez para obtener el diploma de:

ESPECIALISTA EN HELIODISEÑO.

1994



Posgrado en Energía Solar  
de la  
Unidad Académica de los Ciclos  
Profesional y de Posgrado del  
Colegio de Ciencias y Humanidades

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1994



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 está 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.

# I N D I C E

<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>ESTRATEGIA DE DISEÑO BIOCLIMATICO.....</b>	<b>2</b>
A. DESCRIPCION DEL PROYECTO.	
B. CARACTERISTICAS GENERALES DEL INMUEBLE.	
C. DESCRIPCION GENERAL DEL CLIMA DEL LUGAR.	
D. DESCRIPCION DE LA TOPOGRAFIA DEL LUGAR.	
E. CONCLUSIONES SOBRE EL CLIMA DEL LUGAR Y ELECCION DE DIAS DE DISEÑO.	
F. RADIACION SOLAR.	
G. ESTRATEGIA DE DISEÑO.	
<b>ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR.....</b>	<b>18</b>
A. GLOBAL, DIFUSA Y DIRECTA DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE EL PLANO HORIZONTAL.	
B. GLOBAL, DIFUSA Y DIRECTA DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO.	
C. GLOBAL, DIFUSA Y DIRECTA HORARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE EL PLANO HORIZONTAL.	
D. GLOBAL, DIFUSA Y DIRECTA HORARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO.	
<b>INFORMACION CLIMATICA PARA LOS DIAS DE DISEÑO.....</b>	<b>33</b>
A. EPOCA FRIA (5 DE ENERO).	
B. EPOCA CALUROSA (25 DE MAYO).	
<b>GRAFICAS SOLARES.....</b>	<b>41</b>
A. CALCULO DE COORDENADAS POLARES DE POSICION SOLAR.	
B. GRAFICA SOLAR CILINDRICA.	
C. GRAFICA SOLAR EQUIDISTANTE.	
D. GRAFICA SOLAR GNOMICA.	
<b>ANALISIS SOLAR EXTERIOR.....</b>	<b>51</b>
A. CALCULO DEL TIEMPO SOLAR VERDADERO.	
B. PROYECCION DE SOMBRAS.	
C. ANALISIS EXTERIOR.	
<b>CALCULO TERMICO DE UNA ZONA DEL EDIFICIO.....</b>	<b>62</b>
<b>CALCULO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGIA SOLAR.....</b>	<b>73</b>
A. CALCULO DEL ANGULO DE INCIDENCIA SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA.	
B. ANALISIS OPTICO.	
C. DETERMINACION DE COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR.	
D. ANALISIS TERMICO DE UN COLECTOR PLANO.	
E. FACTORES DE DISEÑO.	
F. DETERMINACION DEL CALOR UTIL Y DE LA EFICIENCIA.	
G. TABLA DE RESULTADOS.	
H. EQUIPO RECOMENDADO Y ANTEPRESUPUESTO.	
I. ESPECIFICACIONES Y DIAGRAMA DE INSTALACION.	
<b>OTRAS FORMAS DE UTILIZACION DE LA ENERGIA SOLAR.....</b>	<b>112</b>
<b>BIBLIOGRAFIA GENERAL.....</b>	<b>114</b>

## INTRODUCCION

Uno de los objetivos fundamentales de la Arquitectura, que es proteger al hombre de condiciones climáticas adversas, en muchos casos se ha dejado de cumplir; los edificios se han convertido en objetos meramente visuales contruidos con la falsa seguridad de un futuro de recursos energéticos abundantes.

El hombre, como todos los animales de sangre caliente, busca en forma instintiva las mejores condiciones ambientales; sin embargo, diversos factores como la visión estática de la arquitectura (que no contempla transiciones, cambios ni aspectos climáticos) y actitudes elitistas, entre otros, aunados a una falta de ciencia creativa, relegan a un segundo término el aspecto térmico de las edificaciones.

El diseño bioclimático de edificios utiliza el clima como el recurso para satisfacer eficientemente las necesidades de confort con una alta calidad sanitaria; esto último se debe a que un edificio con un buen diseño térmico implica cambios pequeños y graduales entre sus diferentes áreas y el medio ambiente, por lo que sus habitantes no están expuestos a cambios bruscos de temperatura, evitando así, afecciones musculares y broncorespiratorias.

En esta técnica no es suficiente decir, por ejemplo, que si se abre una ventana al sur se captará energía solar durante el invierno; habrá que evaluar qué cantidad se capta, qué temperatura se alcanza y en qué tiempo.

La metodología para el diseño Bioclimático de edificios parte de un cuidadoso análisis del clima del sitio y de los requisitos derivados del uso propuesto, plantea una estrategia de diseño térmico seleccionando cualitativamente los dispositivos, componentes, materiales de construcción, el emplazamiento y finalmente simula mediante un algoritmo por computadora el comportamiento térmico del inmueble.

El presente trabajo intenta colaborar en la difusión de esta técnica analizando un caso práctico. En forma complementaria, se evalúa el recurso solar en la región donde se ubica el proyecto, proponiendo formas de utilización de la energía solar y calculando en forma detallada una de ellas.

## NOTA ACLARATORIA

El presente trabajo no pretende ser un proyecto de restauración por lo que en ningún momento deberá ser tomado como tal. Las plantas y cortes que contiene se presentan a nivel esquemático con el único fin de explicar los conceptos a que se hace referencia.

**ESTRATEGIA DE DISEÑO BIOCLIMATICO**

## **ESTRATEGIA DE DISEÑO BIOCLIMATICO PARA LA RESTAURACION Y EL DESARROLLO DE LA EX-HACIENDA DE CHINAMPAS EN EL ESTADO DE JALISCO**

### **A. DESCRIPCION DEL PROYECTO.**

La ex-hacienda de Chinampas en el estado de Jalisco se encuentra ubicada a la altura del Km 26 de la carretera Ojuelos-Aguascalientes, a 21° 50' de latitud norte y a 101° 29' de longitud oeste. Su altitud es de 2100 m.s.n.m.

Para su restauración y desarrollo se pretende fijar una estrategia adecuada que corrija las deficiencias térmicas que presenta el edificio sobre todo durante la época fría.

Se requiere así mismo instalar un sistema de energía solar que sustituya, al menos parcialmente, a los calentadores de gas que actualmente cubren las necesidades domésticas de agua caliente con un alto costo energético, debido a la lejanía de los centros de población para el aprovisionamiento de combustible.

### **B. CARACTERISTICAS GENERALES DEL INMUEBLE.**

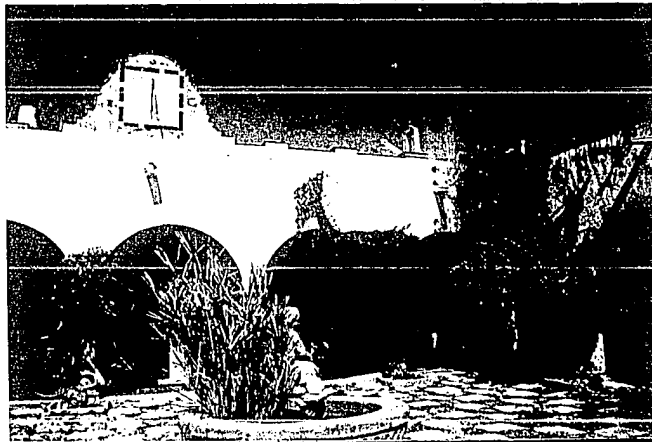
El edificio data del siglo pasado, y fue construido para funcionar como la casa principal de una hacienda dedicada a la cría de ganado de engorda principalmente.

La casa fue construida utilizando materiales de la región básicamente; muros de adobe de 50, 60 y 70 cm de espesor recubiertos con aplanados de mortero cal-arena con espesores de 2 a 4 cm en ambas caras. Los sistemas de cubierta son de tres tipos: techos de bóveda catalana (a base de vigas de madera, ladrillo de barro recocido, terrados de 20 cm de espesor promedio y enladrillado), techos de bóveda "cañón" formada con capas de ladrillo recocido y mortero cal-arena, techos a base de elementos acoplados de barro, de un tipo muy especial, recibidos con mortero cal-arena. El recubrimiento de pisos es de loseta de barro recocido.

La estructura de la casa y su distribución han sufrido modificaciones a través del tiempo. Las bóvedas catalanas con terrados que cubrían la mayor parte de las habitaciones han venido sustituyéndose por bóvedas de tabique de 14 cm de espesor, de propiedades térmicas diferentes a las anteriores, modificándose las condiciones de temperatura interior. Podemos suponer que esta sustitución en el sistema de techumbre se debió principalmente a que la vida útil de las vigas de madera era relativamente corta por las condiciones de humedad ambiental que provocan los vientos dominantes al pasar por la presa que se ubica 80 m al frente del inmueble.



FACHADA  
PRINCIPAL



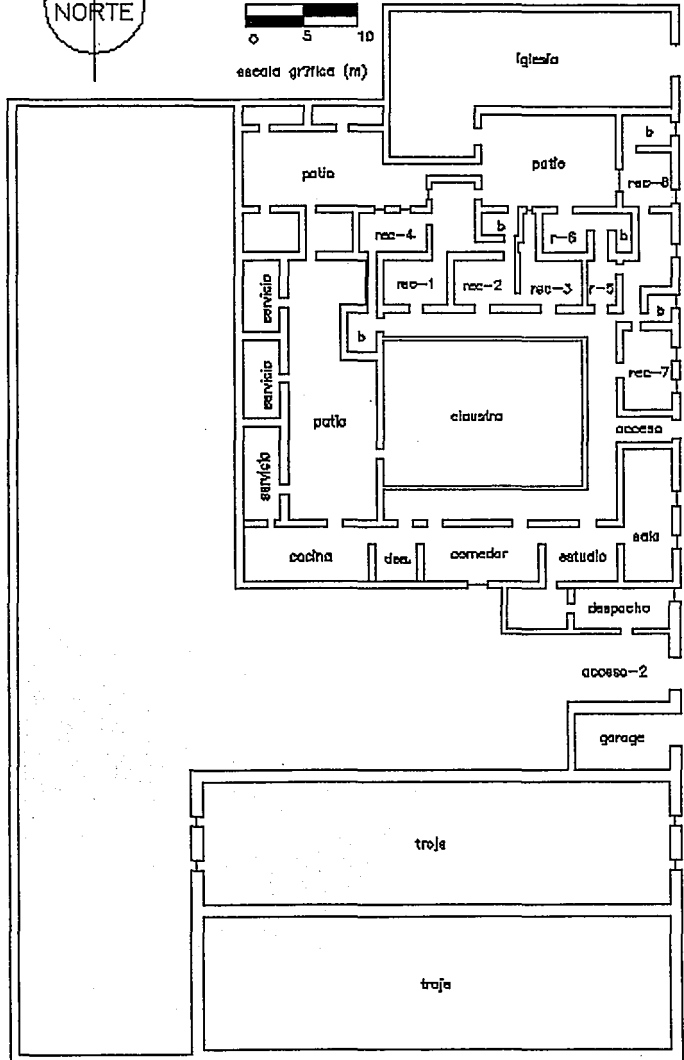
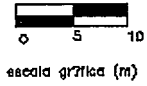
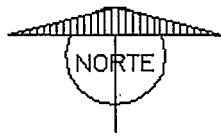
CLAUSTRO

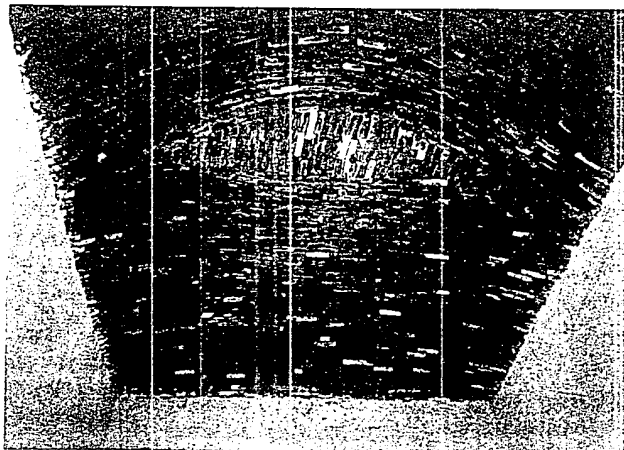


TROJES

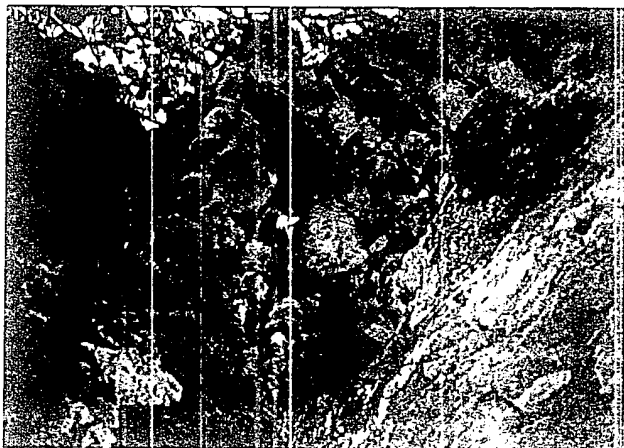


# PLANTA GENERAL





BOVEDA DE TABIQUE DE 14 cm DE ESPESOR



BOVEDA CATALANA

TECHOS A BASE DE ELEMENTOS  
ACOPLADOS DE BARRO

### C. DESCRIPCION GENERAL DEL CLIMA DEL LUGAR.

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta García, la Estación Climatológica de Ojuelos, Jal. (no. 14-072), situada a una latitud de 21° 51', a una longitud de 101° 35', y a una altitud de 2257 m.s.n.m corresponde a un clima seco, con temperatura media anual de 16.6 °C. Como se observa, la localización geográfica y la altitud de esta estación son muy similares a las del proyecto, por lo que sus registros deben ser tomados en consideración. El Observatorio de Tacubaya no dispone de Normales Climatológicas para esta estación, aunque se cuenta con registros de parámetros de interés desde el año de 1961.

Los parámetros de la Estación 14-072 consultados son los siguientes: Temperatura Media, Precipitación Total, Número de Días Nublados, Número de Días Despejados, Vientos Dominantes y Temperaturas Máxima y Mínima Extremas.

Sin embargo, la información señalada no nos ofrece la certeza de trabajar con márgenes de seguridad confiables, por lo que se ha decidido utilizarla únicamente como referencia básica.

A los puntos anteriores habría que agregar que el microclima del lugar es de características muy especiales debido a que existe una presa cuyo vaso, de aproximadamente 1 Km<sup>2</sup>, se ubica 80 m al Este del edificio. De esta dirección provienen posiblemente el 50% de los vientos dominantes como se mencionó previamente.

Es por las razones expuestas que la información climatológica no resulta del todo suficiente, por lo que se propone llevar a cabo una simulación por computadora eligiendo días de diseño, para posteriormente, cuando se localicen otras fuentes de información, se cuente con resultados base para llevar a cabo comparaciones, interpolaciones o comprobaciones en su caso.

### D. DESCRIPCION DE LA TOPOGRAFIA DEL LUGAR.

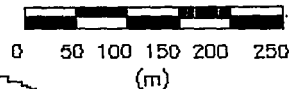
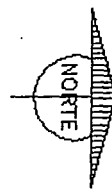
El edificio se encuentra ubicado en un pequeño valle rodeado por cerros de poca altura y alejados del edificio y que por ello tienen poca influencia en el microclima del lugar. La presa que mencionamos previamente sí tiene una gran importancia climática afectando parámetros de humedad y temperatura. La vegetación es escasa, a excepción del jardín que se localiza al frente de la casa, en dirección Este, justo entre el edificio y la presa como ya se señaló. En este jardín se observa al Noreste un núcleo tupido de palmas y otros árboles de gran follaje y tamaño, que fueron sembrados, según informes proporcionados por los actuales usuarios, por un antiguo propietario que los plantó con el propósito de que constituyeran una barrera protectora de vientos, esta medida sólo logró atenuar el problema en un 60% probablemente.

PLANTA DE CONJUNTO  
EDIFICIO - PRESA

EDIFICIO



BARRERA DE ARBOLES

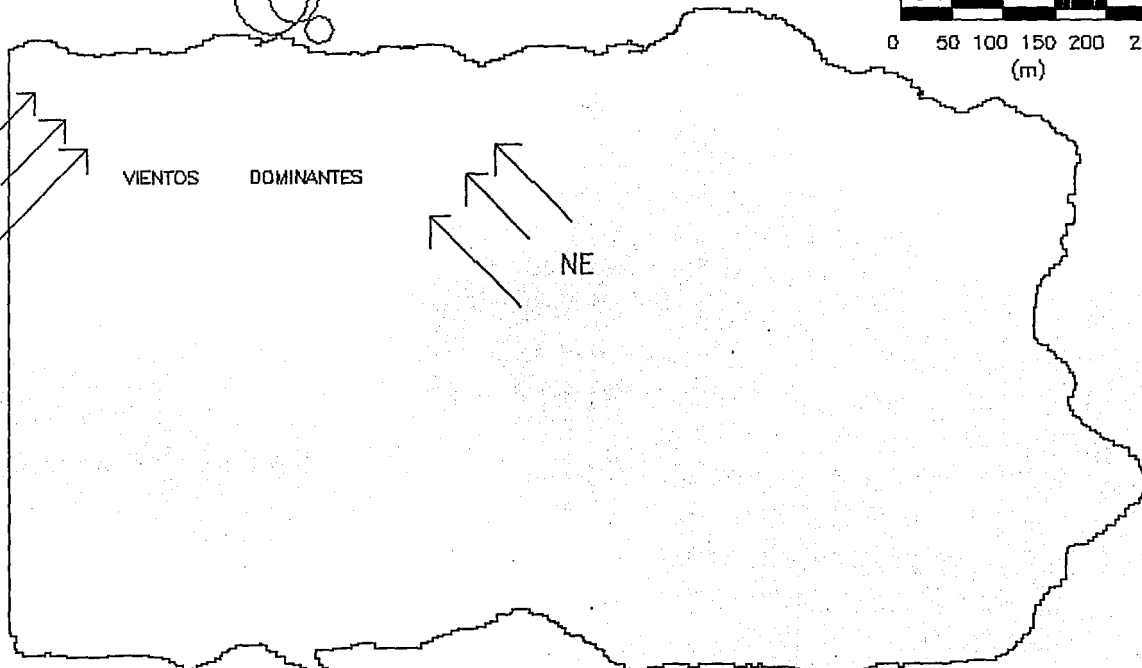


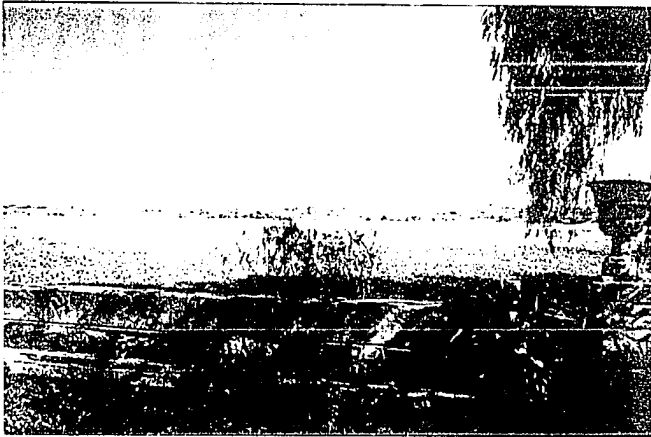
8

SE.

VIENTOS DOMINANTES

NE





VASO DE  
LA PRESA



JARDIN AL  
FRENTE DE  
LA CASA.

AL FONDO  
LA PRESA



BARRERA DE  
ARBOLES

Al frente, a todo lo largo de la fachada principal, se observan árboles de ornato (Jacarandas) de aproximadamente 8 m de altura y troncos de 40 cm de diámetro. No obstante se trata de árboles caducifolios, su importancia en el microclima es casi nula debido a que la fachada principal dá al oriente, recibiendo una radiación solar de muy poca importancia.

#### **E. CONCLUSIONES SOBRE EL CLIMA DEL LUGAR Y ELECCION DE DIAS DE DISEÑO.**

Concluimos que se trata de un clima seco, clasificado por Enriqueta García como BS1, en virtud de que la relación PRECIPITACION ANUAL / TEMPERATURA MEDIA ANUAL es de 35.2 (mayor de 22.9), es decir, el menos seco dentro de esta clasificación. La temperatura media anual es de 15.8 °C y la precipitación media anual de 584 mm (datos obtenidos al promediar aritméticamente los reportes de la Estación Meteorológica de referencia).

Consultando también los reportes correspondientes a los parámetros "Temperatura Máxima Extrema" y "Temperatura Mínima Extrema", observamos que el día más frío corresponde a los primeros días de enero, entre el 3 y el 12, mientras que el más caluroso a la segunda quincena de mayo, entre el 23 y el 30.

En cuanto a vientos dominantes, después de analizar la gráfica ilustrativa podemos concluir que provienen del Noreste y Sureste. Los primeros son amortiguados por la barrera de árboles descrita, pero los segundos sí deben ser tomados en consideración con velocidades de 2 a 3 m / s.

En base a las consideraciones anteriores, se propone fijar como días de diseño el 5 de enero, como el día más frío, y el 25 de mayo como el más caluroso.

Tomando una posición conservadora, para el mes de mayo consideraremos una Temperatura Media de 21.8 °C, la mayor reportada en el período de datos disponible (1961-1982), a excepción de una extraordinaria que se presentó en el año de 1961 de 24.2 °C. No tomaremos en cuenta la influencia favorable de la presa en la temperatura en la época calurosa.

En el caso del día más frío del año, consideraremos una Temperatura Media de 7.9 °C, la menor en el periodo analizado, disminuida en 2 °C debido a la influencia negativa de la presa en esta época, es decir, nuestra temperatura media de diseño para el día más frío será de 5.9 °C.

En lo que respecta a la humedad relativa, debido a que no se cuenta con mayor información, se tomarán los datos obtenidos en la simulación por computadora realizada en base a las temperaturas medias máxima y mínima, a la latitud, longitud y elevación. Se recomienda continuar recabando información sobre este parámetro para confirmar los datos considerados. En este caso, debido a que se trata de una simulación, no se harán modificaciones a los datos obtenidos.

#### **F. RADIACION SOLAR.**

No existen datos sobre radiación solar en la región, por lo que este parámetro deberá ser estimado en forma aproximada. El presente trabajo se basa en datos de insolación propuestos por Almanza y Estrada-Cajigal.

#### **G. ESTRATEGIA DE DISEÑO.**

Con base en los estudios realizados de Clima, Radiación Solar, Análisis Solar Exterior, Análisis Solar Interior y Cálculo Térmico del edificio, se han identificado las siguientes deficiencias bioclimáticas:

1.- La orientación en general del inmueble no resultó adecuada, seguramente fue fijada tomando únicamente en consideración el aspecto visual que ofrece la presa sin atender a factores bioclimáticos de iluminación y temperatura.

2.- Los vientos dominantes provenientes del Noreste y Sureste, al pasar por la presa, propician niveles de humedad ambiental que perjudican el mobiliario y la ventanería de los locales ubicados en la fachada principal del edificio (orientación Este).

3.- La temperatura interior en la época fría no está dentro de los parámetros de confort, esta información es congruente con la proporcionada por los usuarios del inmueble.

4.- Se observa también que los niveles de iluminación no son los adecuados en la mayoría de las habitaciones, tomando inclusive en consideración el estilo arquitectónico.

Con base en la problemática señalada, se propone la siguiente estrategia de diseño:

1.- Las ventanas de las habitaciones orientadas hacia la presa (fachada principal), a excepción del baño de la recámara # 7, deberán sellarse perfectamente para evitar la infiltración de aire húmedo, el consecuente deterioro del mobiliario y la disminución de la temperatura interior. La ventilación de estas habitaciones será únicamente hacia el oeste, es decir, hacia el claustro.

2.- En todas las habitaciones, a excepción de baños y cocina, con sistema de cubierta a base de bóveda de ladrillo, se instalará un falso plafond con el objeto de formar una cámara de aire que aisle adecuadamente los locales, sobre todo en la época fría.

3.- En el muro sur de la cocina y el desayunador, deberán abrirse ventanas para obtener ganancias en iluminación y temperatura sobre todo durante la época fría.

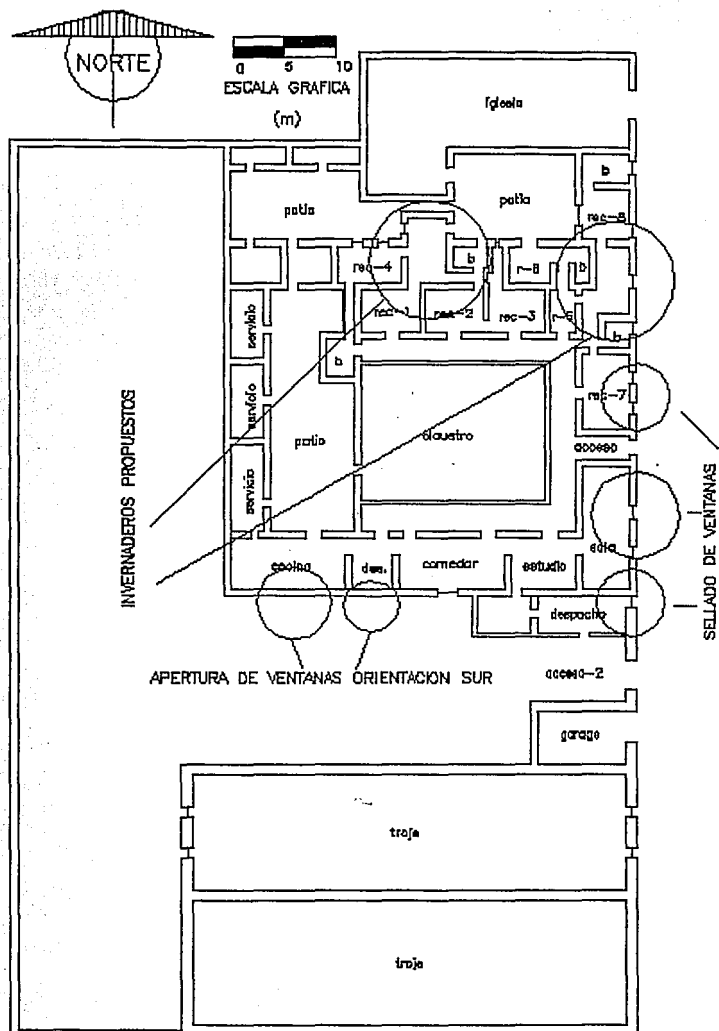
4.- Para lograr los niveles de temperatura de confort en la época fría, se seleccionaron dos locales que se propone sean transformados en invernaderos con cubierta de cristal, inclinada 20 grados hacia el sur, con el objeto de favorecer la captación de radiación solar; las habitaciones deberán ventilarse hacia el exterior durante las primeras horas de la mañana, posteriormente durante las horas de mayor insolación, estarán comunicadas con los invernaderos con el objeto de establecer un flujo de calor mediante un sistema de circulación de aire por convección forzada, obteniendo así la ganancia de calor necesaria. Al ponerse el sol deberá cerrarse esa comunicación para evitar pérdidas de calor durante la noche. Durante la época calurosa se mantendrán los invernaderos ventilados permanentemente.

5.- Se construirá un modelo a escala cuyos muros, pisos, techos y plafones estarán revestidos con materiales de reflectividad similar a los existentes. Este modelo se analizará con un heliodón horizontal (Gráfica Solar Gnomica) para determinar las correcciones necesarias en iluminación natural. Estas correcciones consistirán en domos, pintura con colores claros en determinados muros interiores, y en muros exteriores que puedan reflejar luz hacia el interior.

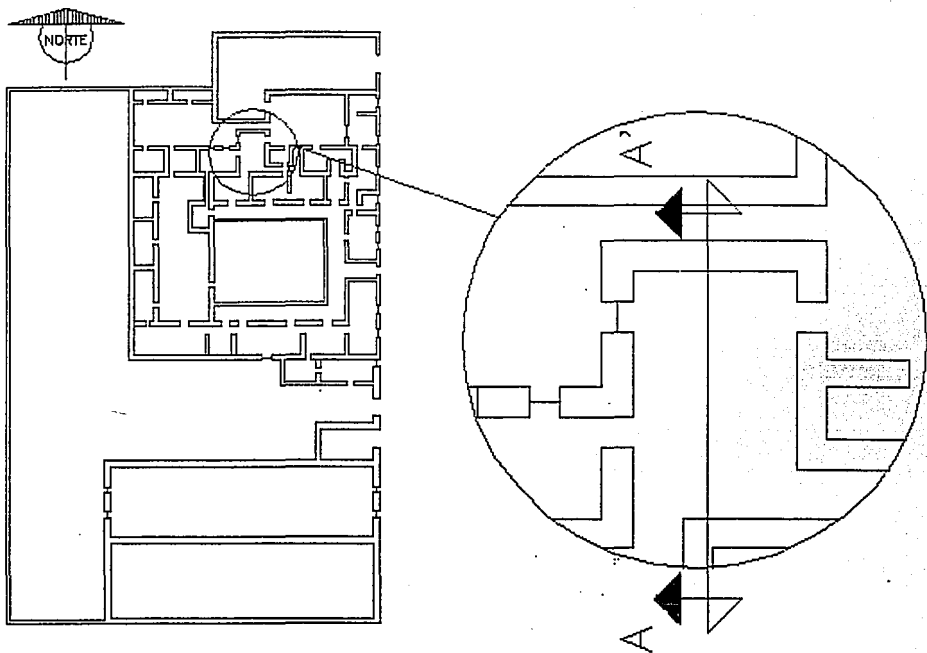
6.- Una vez aprobado el modelo definitivo, y habiendo planteado detalladamente cada acción a seguir, se procederá a realizar el cálculo térmico de acuerdo a la información climatológica recabada y a las características del edificio con las modificaciones propuestas y los materiales constituyentes, para verificar que el funcionamiento térmico sea el adecuado en los días de diseño. En caso de no lograr los niveles de temperatura de confort, se procederá a fijar nuevas estrategias de captación hasta lograr los objetivos planteados, en cuyo caso, deberá realizarse nuevamente el cálculo térmico para verificar resultados.



# ESTRATEGIA GENERAL DE DISEÑO

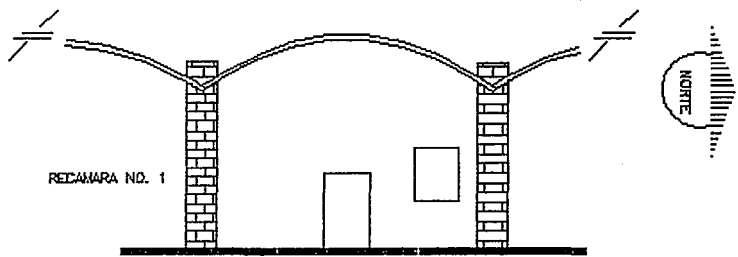


PLANTA GENERAL



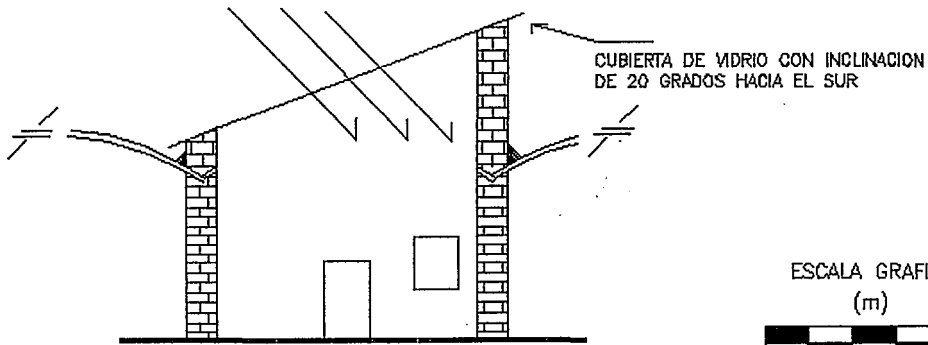
\*\* UBICACION CORTE A - A'

\*\* Correspondiente al invernadero propuesto  
(actualmente se usa como habitación)



LOCAL INVERNADERO, ESTADO ACTUAL

RADIACION INCIDENTE 5 DE ENERO 12:00 HORAS T.S.V.



INVERNADERO PROPUESTO

CORTE A - A'

ESCALA GRAFICA  
(m)

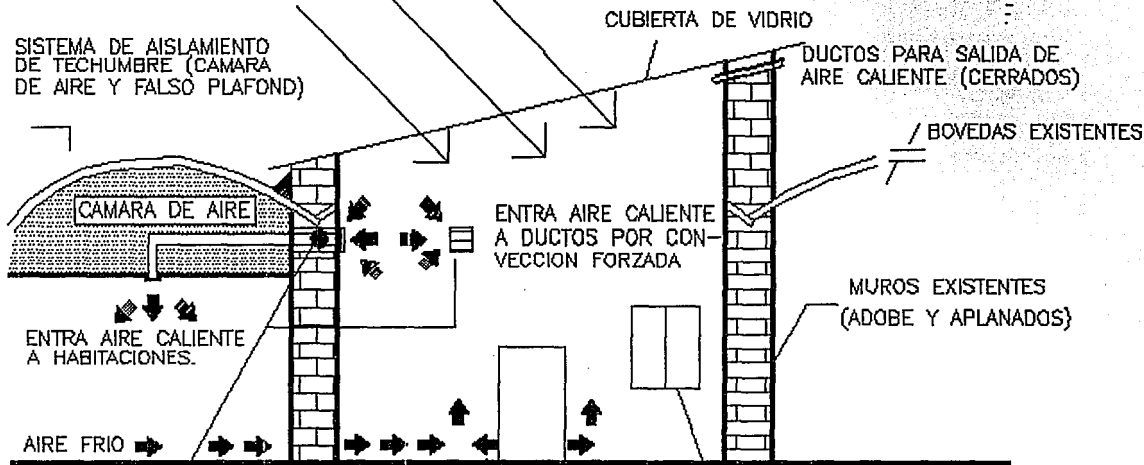


# ESTRATEGIA EPOCA FRIA

RADIACION INCIDENTE  
5 DE ENERO 12:00 HORAS T.S.V.



16



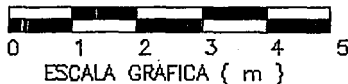
EXTRACTOR DE AIRE CON LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS:  
1/70 H.P.,  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{min}$

PUERTAS ABIERTAS SOLAMENTE DURANTE HORAS DE INSOLACION

VENTANA CERRADA

DUCTOS DE LAMINA GALVANIZADA DE 25 X 25 cm CON 2 SALIDAS EN CADA HABITACION.

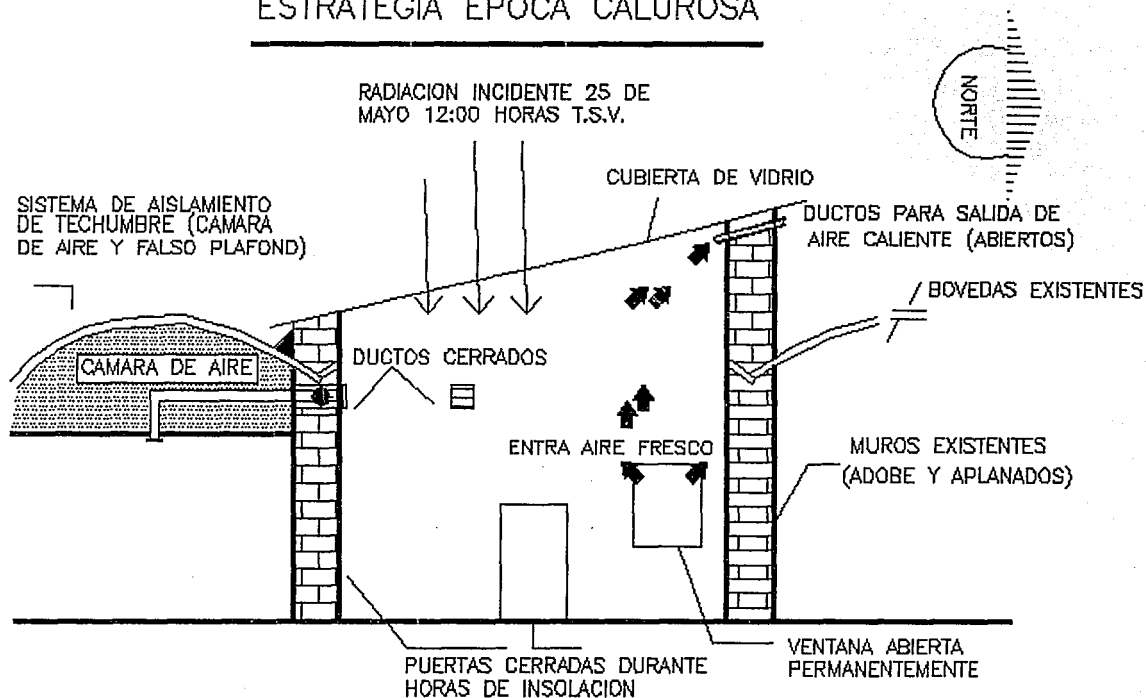
CORTE A - A'



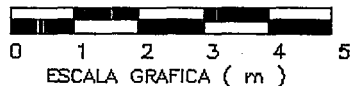
# ESTRATEGIA EPOCA CALUROSA

RADIACION INCIDENTE 25 DE  
MAYO 12:00 HORAS T.S.V.

17



CORTE A - A'



## ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR

- GLOBAL, DIFUSA Y DIRECTA DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE EL PLANO HORIZONTAL.
- GLOBAL, DIFUSA Y DIRECTA DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO.
- GLOBAL, DIFUSA Y DIRECTA HORARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE EL PLANO HORIZONTAL.
- GLOBAL, DIFUSA Y DIRECTA HORARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO.

ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR UTILIZANDO LOS MAPAS  
DE IRRADIACION DE ALMANZA Y ESTRADA - CAJIGAL

LOCALIDAD: Chinampas, Jal.      LATITUD:  $\phi := 21.83^\circ$       N

INCLINACION DEL COLECTOR:                       $s := 20^\circ$

RADIACION SOLAR GLOBAL DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO  
HORIZONTAL:

DIAS MAS REPRESENTATIVOS  
DEL AÑO (DE ACUERDO A KLEIN)

VALORES DE LOS MAPAS DE  
IRRADIACION (KJ /m2 día)

n :=

i	
17	enero 17
47	febrero 16
75	marzo 16
105	abril 15
135	mayo 15
162	junio 11
198	julio 17
228	agosto 14
258	septiembre 15
288	octubre 15
318	noviembre 14
344	diciembre 10

H :=

i	
16200	enero 17
18600	febrero 16
21100	marzo 16
23600	abril 15
25800	mayo 15
22600	junio 11
22100	julio 17
21400	agosto 14
20600	septiembre 15
18300	octubre 15
17200	noviembre 14
14300	diciembre 10

CALCULO DE LA RADIACION EXTRATERRESTRE (Ho):

CONSTANTE SOLAR:       $I_{cs} := 4921.2$       KJ / m2 hr      ( 1367 W / m2 )

$$\text{DECLINACION:} \quad \Gamma_i := 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_i}{365}$$

$$\delta_i := 0.006918 - 0.399912 \cdot \cos[\Gamma_i] + 0.070257 \cdot \sin[\Gamma_i] \dots$$

$$+ -0.006758 \cdot \cos[2 \cdot \Gamma_i] + 0.000907 \cdot \sin[2 \cdot \Gamma_i] \dots$$

$$+ -0.002697 \cdot \cos[3 \cdot \Gamma_i] + 0.00148 \cdot \sin[3 \cdot \Gamma_i]$$

$$\omega_{s_i} := \arccos \left[ -\tan(\phi) \cdot \tan \left[ \delta_i \right] \right]$$

$$H_{o_i} := \frac{24}{\pi} \cdot I_{cs} \cdot \left[ 1 + 0.033 \cdot \cos \left[ 360 \cdot \text{deg} \cdot \frac{n_i}{365} \right] \right] \cdot \left[ \cos(\phi) \cdot \cos \left[ \delta_i \right] \cdot \sin \left[ \omega_{s_i} \right] \dots \right. \\ \left. + \omega_{s_i} \cdot \sin(\phi) \cdot \sin \left[ \delta_i \right] \right]$$

En donde:

$H_o$  = Radiación extraterrestre diaria en KJ / m<sup>2</sup> día

$I_{cs}$  = Constante Solar en KJ / m<sup>2</sup> hr

$\omega_s$  = ángulo horario en el ocaso en radianes.

$\delta$  = Declinación correspondiente al día más representativo del mes en radianes.

$\phi$  = Latitud del lugar.

$n$  = Número consecutivo del día en el año.

$H_o$   
i

ene	26052.007
feb	30241.945
mar	34568.203
abr	37925.534
may	39531.352
jun	39912.546
jul	39567.212
ago	38344.454
sep	35675.694
oct	31542.098
nov	27132.89
dic	24790.033

#### DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO (HT):

$$HT = KT * H_o * R$$

En donde:

$KT$  = Razón entre  $H / H_o$  (factor de claridad):  $KT_i := \frac{H_i}{H_{o_i}}$

$R$  = Razón entre  $HT / H$ , se determina posteriormente mediante la ecuación de LIU y JORDAN.

#### DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR DIFUSA DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO HORIZONTAL (Hd):

$$H_{d_i} := H_i \cdot \left[ 1.39 - 4.027 \cdot KT_i + 5.531 \cdot KT_i^2 - 3.108 \cdot KT_i^3 \right]$$



Ahora, utilizando la ecuación de LIU y JORDAN determinaremos "R." Previamente asignaremos valores a las variables y determinaremos Rb, que es la razón entre Hbt y Hb.

Hb = Radiación Directa Diaria Promedio Mensual sobre un plano inclinado.

Hbt= Radiación Directa Diaria Promedio Mensual sobre un plano horizontal.

Rb = Razón entre Hbt / Hb (se determina posteriormente).

$\rho$  = Constante que considera la reflectividad de los alrededores, su valor varía en el rango  $0.2 < \rho < 0.7$  (0.7 con nieve, 0.2 sin nieve, caso México).  $\rho := 0.20$

s = ángulo de inclinación del plano, en radianes.  $s = 0.349$

$\omega_s$  = ángulo horario en el ocaso referido al plano horizontal.

$\omega'_s$  = ángulo horario en el ocaso referido al plano inclinado.

Se tomará como ángulo horario en el ocaso ( $\omega'_s$ ) el menor de:

$$\omega'_s := \text{acos} \left[ \frac{-\tan(\phi - s) \cdot \tan[\delta]}{1} \right] \quad \text{y de } \omega_s \dots\dots$$

se comparan ambos valores anotándose el menor de ellos en la tercera columna:

$\omega_s$	$\omega'_s$	$\omega'_s :=$
i	i	i
1.419	1.559	1.419
1.484	1.564	1.484
1.559	1.57	1.559
1.64	1.576	1.576
1.708	1.582	1.582
1.743	1.584	1.584
1.727	1.583	1.583
1.668	1.579	1.579
1.592	1.572	1.572
1.51	1.566	1.510
1.438	1.56	1.438
1.401	1.557	1.401

A continuación se determinan "Rb" y "R":

$$R_{b_i} := \frac{\cos(\phi - s) \cdot \cos\left[\frac{\delta}{i}\right] \cdot \sin\left[\frac{\omega's}{i}\right] + \omega's \cdot \sin(\phi - s) \cdot \sin\left[\frac{\delta}{i}\right]}{\cos(\phi) \cdot \cos\left[\frac{\delta}{i}\right] \cdot \sin\left[\frac{\omega s}{i}\right] + \omega s \cdot \sin(\phi) \cdot \sin\left[\frac{\delta}{i}\right]}$$

$$R_i := \left[ 1 - \frac{H_d}{H_i} \right] \cdot R_{b_i} + \frac{H_d}{H_i} \cdot \frac{1 + \cos(s)}{2} + \rho \cdot \frac{(1 - \cos(s))}{2}$$

En la ecuación anterior los tres términos representan la componente directa, la difusa y la reflectividad respectivamente.

DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO (HT):

$$HT_i := K_T \cdot H_o \cdot R_i$$

DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR DIRECTA DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO HORIZONTAL (Hbt):

$$H_{bt_i} := H_i - H_{d_i}$$

DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR DIRECTA DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO (Hb):

$$H_{b_i} := H_{bt_i} \cdot R_{b_i}$$

DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR DIFUSA DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO (HTd):

$$HT_{d_i} := HT_i - H_{b_i}$$

DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL HORARIA PROMEDIO  
MENSUAL SOBRE UN PLANO HORIZONTAL (Hh):

$$Hh = H * RG$$

donde:

RG = Valor obtenido de gráfica o  
mediante la expresión siguiente:

T = longitud del día en horas T := 24

$\omega$  = ángulo horario correspondiente a 1/2 horas

$$a_1 := 0.409 + 0.5016 \cdot \sin\left[\frac{\omega_s}{1} - 1.047\right]$$

$$b_1 := 0.6609 - 0.4767 \cdot \sin\left[\frac{\omega_s}{1} - 1.047\right]$$

$\omega :=$

i

82.5·deg
67.5·deg
52.5·deg
37.5·deg
22.5·deg
7.5·deg
-7.5·deg
-22.5·deg
-37.5·deg
-52.5·deg
-67.5·deg
-82.5·deg

$$RG_{i1} := \frac{\pi}{T} \left[ a_1 + b_1 \cdot \cos\left[\frac{\omega}{1}\right] \right] \cdot \frac{\cos\left[\frac{\omega}{1}\right] - \cos\left[\frac{\omega_s}{1}\right]}{\sin\left[\frac{\omega_s}{1}\right] - \frac{\omega_s}{1} \cdot \cos\left[\frac{\omega_s}{1}\right]}$$

DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR DIFUSA HORARIA PROMEDIO  
MENSUAL SOBRE UN PLANO HORIZONTAL (Hdn):

$$Hdn = Hd * RD$$

$$RD_{i1} := \frac{\pi}{T} \frac{\cos\left[\frac{\omega}{1}\right] - \cos\left[\frac{\omega_s}{1}\right]}{\sin\left[\frac{\omega_s}{1}\right] - \left[\frac{\omega_s}{1}\right] \cdot \cos\left[\frac{\omega_s}{1}\right]}$$

RESULTADOS DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS EN EL CALCULO

	DECLINACION ( grados ) $\delta$ $i$ — deg	FACTOR DE CLARIDAD (adimensional) $K_T$ $i$	$R$ $i$	$R_b$ $i$
ene	-20.709	0.622	1.252	1.352
feb	-12.262	0.615	1.159	1.224
mar	-1.647	0.61	1.065	1.095
abr	9.838	0.622	0.981	0.977
may	18.912	0.653	0.919	0.894
jun	23.11	0.566	0.899	0.857
jul	21.177	0.559	0.911	0.874
ago	13.674	0.558	0.957	0.941
sep	2.959	0.577	1.028	1.045
oct	-8.589	0.58	1.119	1.177
nov	-18.303	0.634	1.227	1.312
dic	-22.932	0.577	1.266	1.391

DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL HORARIA  
PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO (Hht)  
(para un plano inclinado 20 grados hacia el sur)

$$Hht = Hh * R$$

DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR DIFUSA HORARIA  
PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO (Hdht)  
(para un plano inclinado 20 grados hacia el sur)

$$Hdht = H \cdot \left[ \frac{1 + \cos(s)}{2} \cdot \frac{Hd \cdot RD}{H} \right] + ALBEDO$$

donde:

$$ALBEDO := \rho \cdot \frac{1 - \cos(s)}{2}$$

DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR DIRECTA HORARIA  
PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO (Hbn)  
(para un plano inclinado 20 grados hacia el sur)

$$Hbn = Hht - Hdht$$

RADIACION SOLAR DIARIA PROMEDIO MENSUAL  
( KJ / m<sup>2</sup> día )

PLANO HORIZONTAL:

	H GLOBAL	Hbt DIRECTA	Hd DIFUSA
	H j	Hbt j	Hd j
ene	16200	11708.188	4491.812
feb	18600	13347.718	5252.282
mar	21100	15068.185	6031.815
abr	23600	17064.182	6535.818
may	25800	19254.404	6545.596
jun	22600	15393.297	7206.703
jul	22100	14924.363	7175.637
ago	21400	14444.445	6955.555
sep	20600	14203.965	6396.035
oct	18300	12655.768	5644.232
nov	17200	12588.322	4611.678
dic	14300	9853.835	4446.165

PLANO INCLINADO:  
(al sur)

$$\frac{s}{\text{deg}} = 20^\circ$$

	HT GLOBAL	Hb DIRECTA	HTd DIFUSA
	HT j	Hb j	HTd j
ene	20282.656	15828.591	4454.065
feb	21548.329	16342.25	5206.078
mar	22474.065	16496.883	5977.182
abr	23154.559	16673.494	6481.065
may	23719.122	17215.307	6503.815
jun	20319.958	13194.269	7125.689
jul	20137.756	13045.212	7092.544
ago	20471.418	13596.541	6874.877
sep	21174.415	14847.011	6327.404
oct	20474.286	14889.886	5584.4
nov	21098.437	16522.09	4576.348
dic	18106.241	13707.905	4398.336

RADIACION HORARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE EL PLANO HORIZONTAL:  
(KJ / m2 hr)

ENERO

	GLOBAL (Hh)	DIFUSA (Hdn)	DIRECTA (Hbn)
	Hene · RGene		Hene · RGene
	k		k ...
	Hdene · RDene		+ -Hdene · RDene
	k		k
6 a 7 y 17 a 18	-32.4	-17.967	-14.433
7 a 8 y 16 a 17	486	175.181	310.819
8 a 9 y 15 a 16	1117.8	345.87	771.93
9 a 10 y 14 a 15	1717.2	489.607	1227.593
10 a 11 y 13 a 14	2203.2	588.427	1614.773
11 a 12 y 12 a 13	2478.6	637.837	1840.763

Hfeb · RGfeb  
k ...

FEBRERO

	Hfeb · RGfeb	Hdfeb · RDfeb	+ -Hdfeb · RDfeb
	k		k
6 a 7 y 17 a 18	74.4	36.766	37.634
7 a 8 y 16 a 17	669.6	236.353	433.247
8 a 9 y 15 a 16	1320.6	414.93	905.67
9 a 10 y 14 a 15	1953	561.994	1391.006
10 a 11 y 13 a 14	2455.2	661.788	1793.412
11 a 12 y 12 a 13	2734.2	719.563	2014.637

Hmar · RGmar  
k ...

MARZO

	Hmar · RGmar	Hdmar · RDmar	+ -Hdmar · RDmar
	k		k
6 a 7 y 17 a 18	232.1	96.509	135.591
7 a 8 y 16 a 17	844	295.559	548.441
8 a 9 y 15 a 16	1540.3	482.545	1057.755
9 a 10 y 14 a 15	2194.4	627.309	1567.091
10 a 11 y 13 a 14	2700.8	735.881	1964.919
11 a 12 y 12 a 13	2975.1	790.168	2184.932

Habr · RGabr  
k ...

ABRIL

	Habr · RGabr	Hdabr · RDabr	+ -Hdabr · RDabr
	k		k
6 a 7 y 17 a 18	401.2	156.86	244.34
7 a 8 y 16 a 17	1062	346.398	715.602
8 a 9 y 15 a 16	1746.4	522.865	1223.535
9 a 10 y 14 a 15	2407.2	666.653	1740.547
10 a 11 y 13 a 14	2902.8	764.691	2138.109
11 a 12 y 12 a 13	3186	816.977	2369.023

RADIACION HORARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE EL PLANO HORIZONTAL:  
(KJ / m<sup>2</sup> hr)

MAYO

GLOBAL  
(Hh)

DIFUSA  
(Hdn)

DIRECTA  
(Hbn)  
Hmay·RGmay  
k ...

	Hmay·RGmay k	Hdmay·RDmay k	+ -Hdmay·RDmay k
6 a 7 y 17 a 18	567.6	189.822	377.778
7 a 8 y 16 a 17	1238.4	366.553	871.847
8 a 9 y 15 a 16	1935	523.648	1411.352
9 a 10 y 14 a 15	2580	648.014	1931.986
10 a 11 y 13 a 14	3096	739.652	2356.348
11 a 12 y 12 a 13	3379.8	792.017	2587.783

Hjun·RGjun  
k ...

JUNIO

Hjun·RGjun  
k

Hdjun·RDjun  
k

+ -Hdjun·RDjun  
k

	Hjun·RGjun k	Hdjun·RDjun k	+ -Hdjun·RDjun k
6 a 7 y 17 a 18	542.4	223.408	318.992
7 a 8 y 16 a 17	1107.4	403.575	703.825
8 a 9 y 15 a 16	1695	576.536	1118.464
9 a 10 y 14 a 15	2260	706.257	1553.743
10 a 11 y 13 a 14	2666.8	807.151	1859.649
11 a 12 y 12 a 13	2892.8	857.598	2035.202

Hjul·RGjul  
k ...

JULIO

Hjul·RGjul  
k

Hdjul·RDjul  
k

+ -Hdjul·RDjul  
k

	Hjul·RGjul k	Hdjul·RDjul k	+ -Hdjul·RDjul k
6 a 7 y 17 a 18	508.3	215.269	293.031
7 a 8 y 16 a 17	1060.8	401.836	658.964
8 a 9 y 15 a 16	1657.5	574.051	1083.449
9 a 10 y 14 a 15	2210	710.388	1499.612
10 a 11 y 13 a 14	2629.9	803.671	1826.229
11 a 12 y 12 a 13	2850.9	861.076	1989.824

Hago·RGago  
k ...

AGOSTO

Hago·RGago  
k

Hdago·RDago  
k

+ -Hdago·RDago  
k

	Hago·RGago k	Hdago·RDago k	+ -Hdago·RDago k
6 a 7 y 17 a 18	406.6	180.844	225.756
7 a 8 y 16 a 17	984.4	375.6	608.8
8 a 9 y 15 a 16	1605	556.444	1048.556
9 a 10 y 14 a 15	2161.4	702.511	1458.889
10 a 11 y 13 a 14	2610.8	799.889	1810.911
11 a 12 y 12 a 13	2846.2	855.533	1990.667



RADIACION HORARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE EL PLANO HORIZONTAL:  
(KJ / m<sup>2</sup> hr)

SEPTIEMBRE

GLOBAL  
(Hh)

DIFUSA  
(Hdn)

DIRECTA  
(Hbn)

Hsep·RGsep  
k ...

	Hsep·RGsep k	Hdsep·RDsep k	+ -Hdsep·RDsep k
6 a 7 y 17 a 18	288.4	121.525	166.875
7 a 8 y 16 a 17	865.2	326.198	539.002
8 a 9 y 15 a 16	1503.8	511.683	992.117
9 a 10 y 14 a 15	2121.8	658.792	1463.008
10 a 11 y 13 a 14	2595.6	767.524	1828.076
11 a 12 y 12 a 13	2842.8	818.692	2024.108

Hoct·RGoct  
k ...

OCTUBRE

Hoct·RGoct  
k

Hdoct·RDoct  
k

+ -Hdoct·RDoct  
k

	Hoct·RGoct k	Hdoct·RDoct k	+ -Hdoct·RDoct k
6 a 7 y 17 a 18	128.1	5.644	122.456
7 a 8 y 16 a 17	677.1	265.279	411.821
8 a 9 y 15 a 16	1317.6	445.894	871.706
9 a 10 y 14 a 15	1921.5	598.289	1323.211
10 a 11 y 13 a 14	2379	705.529	1673.471
11 a 12 y 12 a 13	2653.5	756.327	1897.173

Hnov·RGnov  
k ...

NOVIEMBRE

Hnov·RGnov  
k

Hdnov·RDnov  
k

+ -Hdnov·RDnov  
k

	Hnov·RGnov k	Hdnov·RDnov k	+ -Hdnov·RDnov k
6 a 7 y 17 a 18	0	0	0
7 a 8 y 16 a 17	550.4	189.079	361.321
8 a 9 y 15 a 16	1186.8	359.711	827.089
9 a 10 y 14 a 15	1823.2	498.061	1325.139
10 a 11 y 13 a 14	2322	594.906	1727.094
11 a 12 y 12 a 13	2597.2	645.635	1951.565

Hdic·RGdic  
k ...

DICIEMBRE

Hdic·RGdic  
k

Hddic·RDdic  
k

+ -Hddic·RDdic  
k

	Hdic·RGdic k	Hddic·RDdic k	+ -Hddic·RDdic k
6 a 7 y 17 a 18	-57.2	-31.123	-26.077
7 a 8 y 16 a 17	414.7	164.508	250.192
8 a 9 y 15 a 16	972.4	342.355	630.045
9 a 10 y 14 a 15	1530.1	484.632	1045.468
10 a 11 y 13 a 14	1959.1	586.894	1372.206
11 a 12 y 12 a 13	2202.2	640.248	1561.952

RADIACION HORARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO  
(para un plano inclinado 20 grados hacia el sur)  
(KJ / m2 hr)

ENERO	(Hht) GLOBAL Hhtene	(Hdht) DIFUSA Hdhtene	(Hbn) DIRECTA Hbnene
	k		
6 a 7 y 17 a 18	-40.565	-17.419	-23.146
7 a 8 y 16 a 17	608.48	169.904	438.575
8 a 9 y 15 a 16	1399.503	335.446	1064.057
9 a 10 y 14 a 15	2149.962	474.85	1675.111
10 a 11 y 13 a 14	2758.441	570.69	2187.751
11 a 12 y 12 a 13	3103.246	618.61	2484.636

FEBRERO	(Hht) GLOBAL Hhtfeb	(Hdht) DIFUSA Hdhtfeb	(Hbn) DIRECTA Hbnfeb
	k		
6 a 7 y 17 a 18	86.193	35.663	50.53
7 a 8 y 16 a 17	775.74	229.232	546.508
8 a 9 y 15 a 16	1529.931	402.425	1127.507
9 a 10 y 14 a 15	2262.575	545.054	1717.52
10 a 11 y 13 a 14	2844.379	641.838	2202.541
11 a 12 y 12 a 13	3167.604	697.871	2469.733

MARZO	(Hht) GLOBAL Hhtmar	(Hdht) DIFUSA Hdhtmar	(Hbn) DIRECTA Hbnmar
	k		
6 a 7 y 17 a 18	247.215	93.605	153.61
7 a 8 y 16 a 17	898.963	286.653	612.31
8 a 9 y 15 a 16	1640.607	468.001	1172.606
9 a 10 y 14 a 15	2337.303	608.399	1728.904
10 a 11 y 13 a 14	2876.68	713.698	2162.982
11 a 12 y 12 a 13	3168.843	766.347	2402.496

ABRIL	(Hht) GLOBAL Hhtabr	(Hdht) DIFUSA Hdhtabr	(Hbn) DIRECTA Hbnabr
	k		
6 a 7 y 17 a 18	393.628	152.136	241.492
7 a 8 y 16 a 17	1041.955	335.959	705.996
8 a 9 y 15 a 16	1713.437	507.105	1206.332
9 a 10 y 14 a 15	2361.765	646.557	1715.208
10 a 11 y 13 a 14	2848.011	741.639	2106.372
11 a 12 y 12 a 13	3125.865	792.348	2333.517

RADIACION HORARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO  
(para un plano inclinado 20 grados hacia el sur)  
(KJ / m<sup>2</sup> hr)

MAYO	(Hht)	(Hdht)	(Hbn)
	GLOBAL	DIFUSA	DIRECTA
	Hhtmay	Hdhtmay	Hbnmay
	k	k	k
6 a 7 y 17 a 18	521.821	184.104	337.716
7 a 8 y 16 a 17	1138.518	355.506	783.011
8 a 9 y 15 a 16	1778.934	507.864	1271.07
9 a 10 y 14 a 15	2371.912	628.48	1743.432
10 a 11 y 13 a 14	2846.295	717.355	2128.94
11 a 12 y 12 a 13	3107.205	768.141	2339.064

JUNIO	(Hht)	(Hdht)	(Hbn)
	GLOBAL	DIFUSA	DIRECTA
	Hhtjun	Hdhtjun	Hbnjun
	k	k	k
6 a 7 y 17 a 18	487.679	216.677	271.002
7 a 8 y 16 a 17	995.678	391.412	604.266
8 a 9 y 15 a 16	1523.997	559.158	964.839
9 a 10 y 14 a 15	2031.996	684.967	1347.029
10 a 11 y 13 a 14	2397.755	782.818	1614.937
11 a 12 y 12 a 13	2600.955	831.744	1769.211

JULIO	(Hht)	(Hdht)	(Hbn)
	GLOBAL	DIFUSA	DIRECTA
	Hhtjul	Hdhtjul	Hbnjul
	k	k	k
6 a 7 y 17 a 18	463.168	208.784	254.384
7 a 8 y 16 a 17	966.612	389.725	576.887
8 a 9 y 15 a 16	1510.332	556.747	953.584
9 a 10 y 14 a 15	2013.776	688.973	1324.802
10 a 11 y 13 a 14	2396.393	779.444	1616.949
11 a 12 y 12 a 13	2597.771	835.118	1762.653

AGOSTO	(Hht)	(Hdht)	(Hbn)
	GLOBAL	DIFUSA	DIRECTA
	Hhtago	Hdhtago	Hbnago
	k	k	k
6 a 7 y 17 a 18	388.957	175.397	213.56
7 a 8 y 16 a 17	941.685	364.28	577.405
8 a 9 y 15 a 16	1535.356	539.672	995.685
9 a 10 y 14 a 15	2067.613	681.334	1386.279
10 a 11 y 13 a 14	2497.513	775.775	1721.738
11 a 12 y 12 a 13	2722.699	829.742	1892.957

RADIACION HORARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO  
(para un plano inclinado 20 grados hacia el sur)  
(KJ / m<sup>2</sup> hr)

SEPTIEMBRE	(Hht)	(Hdht)	(Hbn)
	GLOBAL	DIFUSA	DIRECTA
	Hhtsep	Hdhtsep	Hbnsep
	k	k	k
6 a 7 y 17 a 18	296.442	117.866	178.576
7 a 8 y 16 a 17	889.325	316.368	572.958
8 a 9 y 15 a 16	1545.732	496.26	1049.473
9 a 10 y 14 a 15	2180.965	638.933	1542.032
10 a 11 y 13 a 14	2667.976	744.386	1923.59
11 a 12 y 12 a 13	2922.069	794.012	2128.057

OCTUBRE	(Hht)	(Hdht)	(Hbn)
	GLOBAL	DIFUSA	DIRECTA
	Hhtoct	Hdhtoct	Hbnoct
	k	k	k
6 a 7 y 17 a 18	143.32	5.48	137.84
7 a 8 y 16 a 17	757.549	257.286	500.263
8 a 9 y 15 a 16	1474.149	432.455	1041.694
9 a 10 y 14 a 15	2149.8	580.254	1569.546
10 a 11 y 13 a 14	2661.657	684.261	1977.396
11 a 12 y 12 a 13	2968.771	733.527	2235.244

NOVIEMBRE	(Hht)	(Hdht)	(Hbn)
	GLOBAL	DIFUSA	DIRECTA
	Hhtnov	Hdhtnov	Hbnnov
	k	k	k
6 a 7 y 17 a 18	0	0.006	-0.006
7 a 8 y 16 a 17	675.15	183.383	491.767
8 a 9 y 15 a 16	1455.792	348.87	1106.922
9 a 10 y 14 a 15	2236.434	483.049	1753.385
10 a 11 y 13 a 14	2848.289	576.974	2271.315
11 a 12 y 12 a 13	3185.864	626.173	2559.691

DICIEMBRE	(Hht)	(Hdht)	(Hbn)
	GLOBAL	DIFUSA	DIRECTA
	Hhtdic	Hdhtdic	Hbndic
	k	k	k
6 a 7 y 17 a 18	-72.425	-30.179	-42.246
7 a 8 y 16 a 17	525.081	159.554	365.527
8 a 9 y 15 a 16	1231.224	332.037	899.187
9 a 10 y 14 a 15	1937.368	470.025	1467.343
10 a 11 y 13 a 14	2480.555	569.203	1911.352
11 a 12 y 12 a 13	2788.361	620.948	2167.413

**INFORMACION CLIMATICA PARA LOS DIAS DE DISEÑO**

PERFIL DIARIO DE LA TEMPERATURA DE BULBO SECO  
PARA LOS DIAS DE DISEÑO

Con el fin de estimar en forma aproximada la marcha horaria de la temperatura, a continuación se aplica un procedimiento empírico que parte de las temperaturas máxima y mínima, promedio mensual, y de coeficientes horarios:

COEFICIENTES  
HORARIOS

5 DE ENERO

25 DE MAYO

fh := TEMPERATURA MAXIMA  
i PROMEDIO MENSUAL: TmaxF := 11.3 TmaxC := 21.8

0.21
0.17
0.13
0.09
0.06
0.03
0
0.04
0.09
0.26
0.57
0.75
0.85
0.93
1
0.96
0.92
0.81
0.69
0.56
0.43
0.37
0.30
0.25
0.21

TEMPERATURA MINIMA  
PROMEDIO MENSUAL: TminF := 5.9 TminC := 18.2

ECUACIONES QUE SE APLICAN:

$$ThF_i := TminF + fh_i \cdot (TmaxF - TminF)$$

$$ThC_i := TminC + fh_i \cdot (TmaxC - TminC)$$

\* Elaborado con método "Profilo Giornaliero della Temperatura".

TABULACION HORARIA:

EPOCA FRIA, 5 DE ENERO:

( °C )

		ThF
		i
0	HORAS	7.03
1		6.82
2		6.6
3		6.39
4		6.22
5		6.06
6		5.9
7		6.12
8		6.39
9		7.3
10		8.98
11		9.95
12		10.49
13		10.92
14		11.3
15		11.08
16		10.87
17		10.27
18		9.63
19		8.92
20		8.22
21		7.9
22		7.52
23		7.25
24	HORAS	7.03

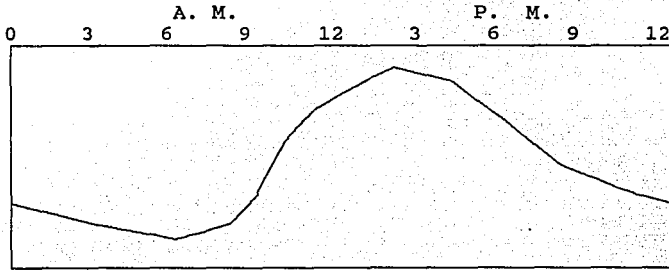
EPOCA CALUROSA, 25 DE MAYO:

( °C )

		ThC
		i
0	HORAS	18.96
1		18.81
2		18.67
3		18.52
4		18.42
5		18.31
6		18.2
7		18.34
8		18.52
9		19.14
10		20.25
11		20.9
12		21.26
13		21.55
14		21.8
15		21.66
16		21.51
17		21.12
18		20.68
19		20.22
20		19.75
21		19.53
22		19.28
23		19.1
24	HORAS	18.96

MARCHA HORARIA DE LA TEMPERATURA PARA LOS DIAS DE DISEÑO  
 TEMPERATURA DE BULBO SECO (°C)

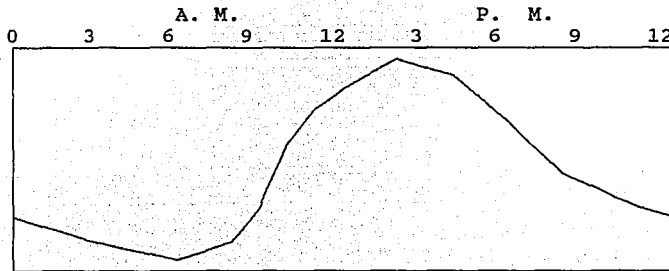
5 DE ENERO:



TEMPERATURA  
 BULBO SECO  
 (°C)

12  
 TmaxF = 11.3  
 -  
 -  
 - 8.5  
 -  
 -  
 TminF = 5.9  
 5

25 DE MAYO:



TEMPERATURA  
 BULBO SECO  
 (°C)

TmaxC = 21.8  
 -  
 -  
 - 20  
 -  
 -  
 TminC = 18.2



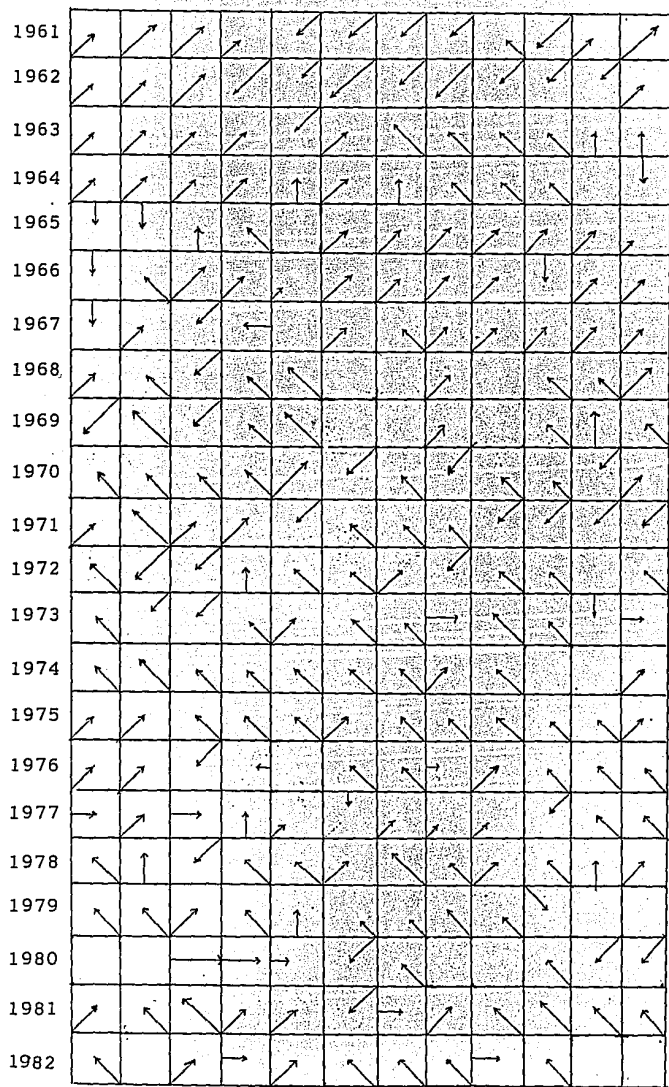
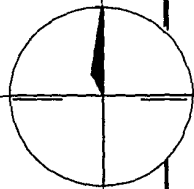
HUMEDAD RELATIVA (%)  
SIMULACION DE MARCHA HORARIA  
CHINAMPAS, JAL. 1994

Debido a que no se cuenta con datos de humedad relativa, se ha estimado este parámetro mediante el programa de cómputo denominado "MARDIA.BAS" desarrollado por A. Tejeda y T Zacarías, versión 1.0, 1990, el cual simula datos de humedad relativa, promedio horario, a partir de las temperaturas medias extremas, de la latitud, longitud y altitud.

24	91	95	93	91	90	94	93	94	92	94	93	93
23	90	94	92	89	89	93	92	93	90	94	93	92
22	88	93	90	87	87	92	91	92	89	93	91	91
21	87	92	89	85	84	91	89	90	87	92	90	90
20	85	91	87	83	82	89	88	89	85	91	89	89
19	83	90	85	81	80	88	86	88	83	90	87	88
18	81	90	84	78	77	86	84	86	81	88	86	86
17	79	89	82	76	75	85	83	85	79	87	85	85
16	78	88	81	74	73	84	81	84	77	86	83	84
15	77	88	80	73	71	83	80	83	76	86	83	84
14	77	88	79	72	71	83	80	83	76	85	82	84
13	78	88	80	73	72	84	81	83	77	86	83	85
12	81	90	82	76	74	85	82	85	79	87	84	86
11	85	92	85	80	79	87	85	87	82	89	87	89
10	90	94	89	85	84	91	89	90	87	92	90	93
09	95	96	93	91	91	94	93	94	92	95	94	96
08	98	98	97	96	96	97	97	97	96	97	97	98
07	97	97	97	96	96	97	97	97	97	97	97	97
06	96	97	97	96	96	97	97	97	96	97	97	97
05	96	97	96	95	95	97	96	96	96	97	96	96
04	95	97	96	95	95	96	96	96	95	96	96	96
03	94	96	95	94	94	96	95	96	95	96	96	96
02	93	96	94	93	93	95	95	95	94	96	95	95
01	92	95	94	92	92	94	94	94	93	95	94	94
HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC

VIENTOS DOMINANTES

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



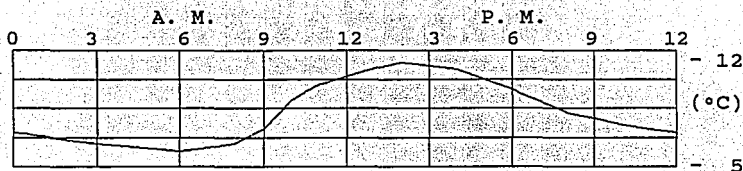
ESCALA  
GRAFICA

2 m / s

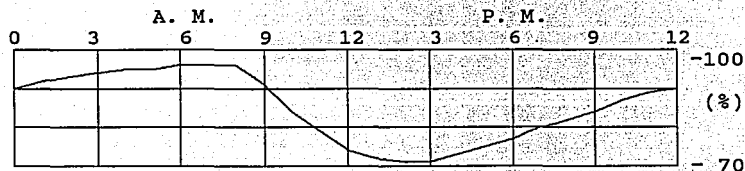


TABLA DE DATOS CLIMATICOS, EPOCA FRIA.  
5 DE ENERO (CHINAMPAS, JAL.).

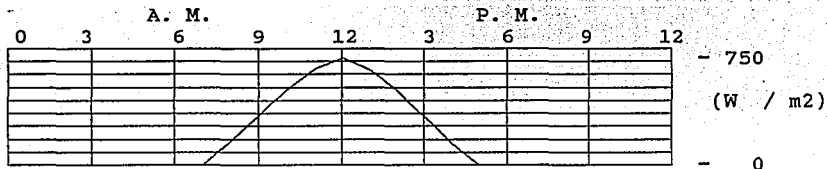
TEMPERATURA DE BULBO SECO (°C):



HUMEDAD RELATIVA (%):



RADIACION SOLAR GLOBAL (W / m2)



VIENTOS DOMINANTES: NE y SE con velocidades de 2 m /s.

PRECIPITACION: (Promedio mensual para el mes de enero): 30 mm

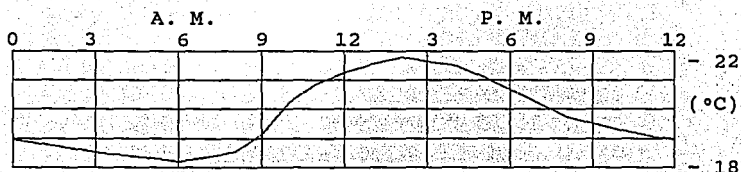
NUBOSIDAD: Número de días nublados (promedio mensual para el mes de enero): 5 días

Número de días despejados (promedio mensual para el mes de enero): 16 días

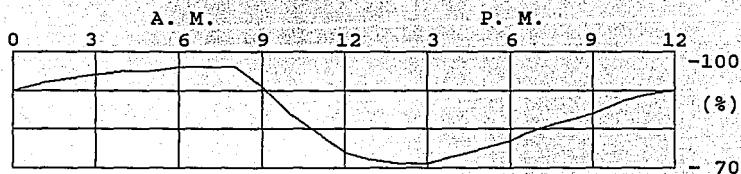
Número de días medio nublados (promedio mensual para el mes de enero): 10 días

TABLA DE DATOS CLIMATICOS, EPOCA CALUROSA.  
25 DE MAYO (CHINAMPAS, JAL.).

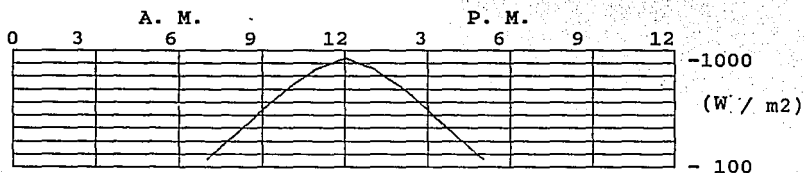
TEMPERATURA DE BULBO SECO (°C):



HUMEDAD RELATIVA (%):



RADIACION SOLAR GLOBAL (W. / m2)



VIENTOS DOMINANTES: NE y SE con velocidades de 2 m /s.

PRECIPITACION: (Promedio mensual para el mes de mayo): 35 mm

NUBOSIDAD: Número de días nublados (promedio mensual para el mes de mayo): 7 días

Número de días despejados (promedio mensual para el mes de mayo): 16 días

Número de días medio nublados (promedio mensual para el mes de mayo): 8 días

## GRAFICAS SOLARES

CALCULO DE COORDENADAS POLARES DE POSICION SOLAR.

GRAFICA SOLAR CILINDRICA (DIAS 21 DE CADA MES).

GRAFICA SOLAR EQUIDISTANTE (DIAS 21 DE CADA MES Y DIAS DE DISEÑO).

GRAFICA SOLAR GNOMICA (HELIODON HORIZONTAL, DIAS 21 DE CADA MES).

## CALCULO DE COORDENADAS POLARES DE POSICION SOLAR

Para el cálculo de coordenadas polares de posición solar se utilizan las siguientes ecuaciones:

ALTITUD:

$$\text{sen}(\alpha) := \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\delta)$$

AZIMUT:

$$\cos(\Omega) := \frac{\text{sen}(\alpha) \cdot \text{sen}(\phi) - \text{sen}(\delta)}{\cos(\alpha) \cdot \cos(\phi)}$$

donde:

$\alpha$  = Altitud solar (rad).

$\phi$  = Latitud del lugar (rad).

$\delta$  = Declinación solar (rad).

$$\delta := \begin{bmatrix} 0.006918 - 0.399912 \cdot \cos(\Gamma) + 0.070257 \cdot \text{sen}(\Gamma) \dots \\ -0.006758 \cdot \cos(2 \cdot \Gamma) + 0.000907 \cdot \text{sen}(2 \cdot \Gamma) \dots \\ -0.002697 \cdot \cos(3 \cdot \Gamma) + 0.00148 \cdot \text{sen}(3 \cdot \Gamma) \end{bmatrix}$$

$$\Gamma := 2 \cdot \pi \cdot \frac{\text{dn} - 1}{365}$$

dn= Número consecutivo del día en el año (enero 1 = 1).

$\omega$  = Angulo horario (rad).

$\Omega$  = Angulo azimutal (rad).

COORDENADAS SOLARES      LATITUD:  
 TABLA DE RESULTADOS       $\phi$  = 21.83°  
 deg

	21 E N E R O		21 F E B R E R O		21 M A R Z O	
	altitud	azimut	altitud	azimut	altitud	azimut
	aene	AZene	afeb	AZfeb	amar	AZmar
	j	j	j	j	j	j
6 y 18	-7.337	71.2503	-4.0115	79.9174	-0.0245	89.9388
7 y 17	5.6206	65.7218	9.5561	74.1601	13.8766	84.2472
8 y 16	17.9514	58.7569	22.6997	67.217	27.6273	77.8156
9 y 15	29.2599	49.5721	35.0803	58.0638	40.9935	69.5262
10 y 14	38.8529	37.0848	46.0225	45.0086	53.4652	57.1292
11 y 13	45.5956	20.328	54.1637	25.7329	63.6671	35.695
12 horas	48.0841	0	57.3263	0	68.1041	0

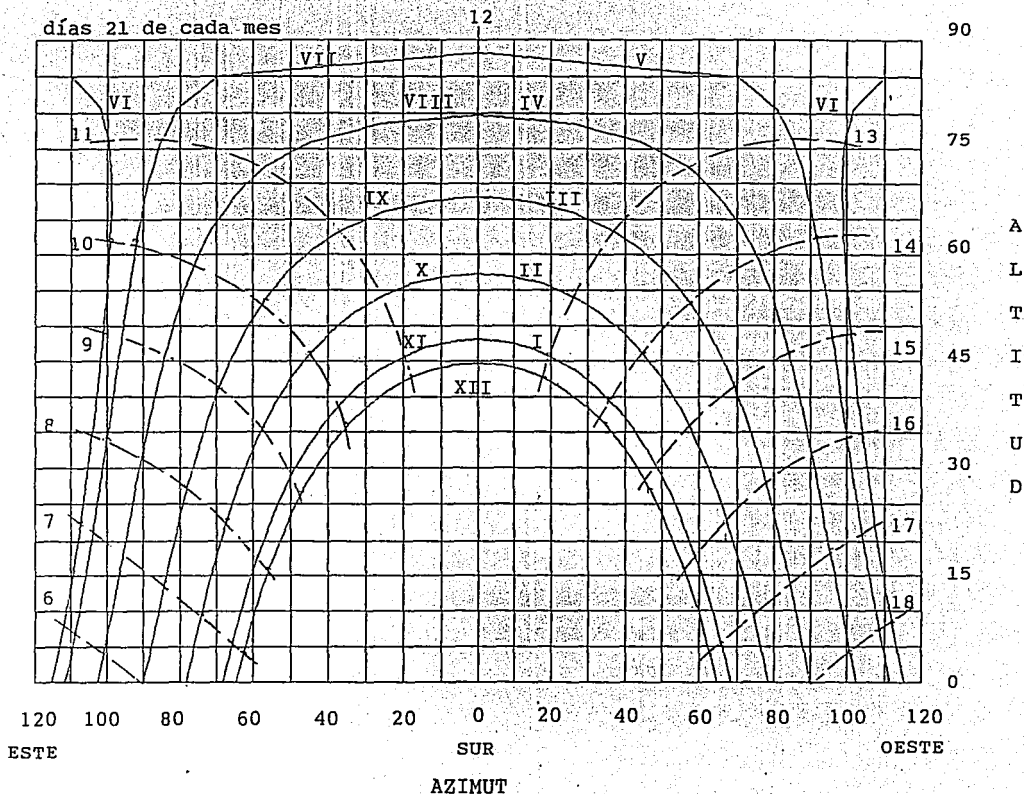
	21 A B R I L		21 M A Y O		21 J U N I O	
	altitud	azimut	altitud	azimut	altitud	azimut
	acabr	AZabr	amay	AZmay	ajun	AZjun
	j	j	j	j	j	j
6 y 18	4.2824	100.7739	7.3141	108.6882	8.5105	111.9351
7 y 17	18.0615	95.561	20.6739	104.0657	21.6172	107.603
8 y 16	31.9625	90.2886	34.2916	99.9757	35.0153	104.0534
9 y 15	45.8651	84.1337	48.0769	96.0794	48.605	101.1811
10 y 14	59.5668	75.2385	61.9637	91.8576	62.3138	99.1656
11 y 13	72.3768	56.8732	75.8789	85.3762	76.0678	99.5461
12 horas	79.7545	0	88.1908	0	88.378	180

	21 J U L I O		21 A G O S T O		21 S E P T I E M B R E	
	ajul	AZjul	ago	AZago	asep	AZsep
	j	j	j	j	j	j
6 y 18	7.5307	109.2697	4.5727	101.5169	0.3815	90.9525
7 y 17	20.8486	104.6973	18.3244	96.3514	14.293	85.288
8 y 16	34.4315	100.7023	32.2136	91.1796	28.0817	78.9386
9 y 15	48.1882	96.9871	46.1257	85.2158	41.5256	70.7947
10 y 14	62.0548	93.1556	59.8774	76.6913	54.1403	58.5827
11 y 13	75.9731	87.8796	72.8496	59.0147	64.5787	37.0729
12 horas	88.8067	0	80.5501	0	69.1961	0

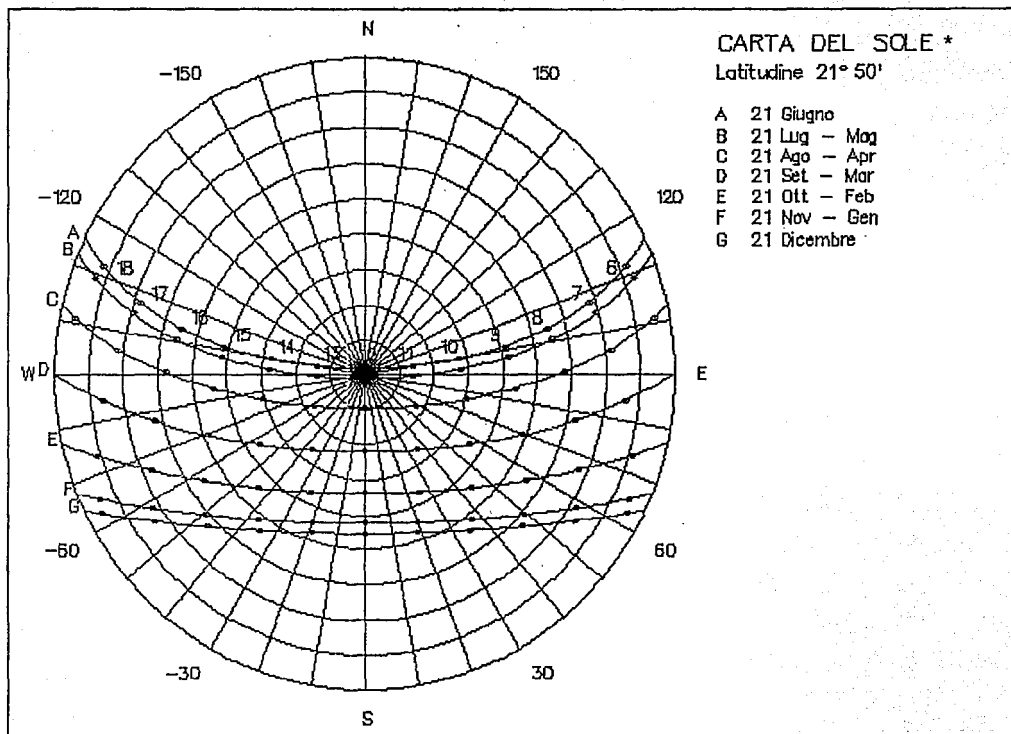
	21 O C T U B R E		21 N O V I E M B R E		21 D I C I E M B R E	
	aoct	AZoct	anov	AZnov	adic	AZdic
	j	j	j	j	j	j
6 y 18	-3.8547	80.3165	-7.2217	71.5589	-8.4994	68.0954
7 y 17	9.734	74.5549	5.7624	66.0179	4.1672	62.7102
8 y 16	22.9091	67.6219	18.1261	59.0477	16.1473	55.8241
9 y 15	35.3351	58.4846	29.4751	49.8548	27.0344	46.7564
10 y 14	46.3401	45.423	39.1152	37.3361	36.1495	34.6246
11 y 13	54.5536	26.0357	45.9027	20.4893	42.4535	18.7771
12 horas	57.7543	0	48.4111	0	44.7501	0

GRAFICA SOLAR CILINDRICA

L A T I T U D  $\frac{\phi}{\text{deg}} = 21.83^\circ\text{N}$



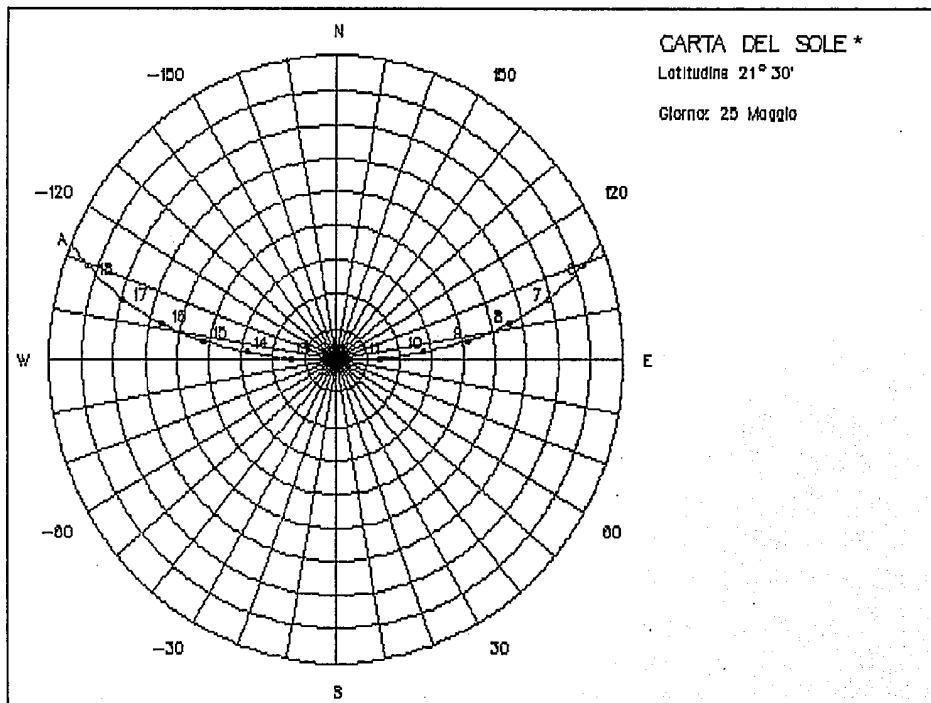




GRAFICA SOLAR EQUIDISTANTE  
 LATITUD: 21° 50'N

\*elaborada por programa  
 "SUNCHART", versión 1.0.  
 1991, Mancini Massimo





CARTA DEL SOLE \*

Latitudine 21° 30'

Giorno: 25 Maggio

GRAFICA SOLAR EQUIDISTANTE  
LATITUD 21° 50' N

\*elaborada por programa  
"SUNCHART", versión 1.0,  
1991, Mancini Massimo

## PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DE UN HELIODON HORIZONTAL

- 1.- Definir la altura del marcador (en este caso 2 cm).
- 2.- Se sitúa el punto inicial de trazo (al centro de una hoja tamaño carta). En ese punto deberá colocarse el GNOMON.
- 3.- La vertical que pasa por el GNOMON define la línea Norte-Sur.
- 4.- De la tabla de longitudes de sombra que se presenta adelante se toma el valor correspondiente al mediodía de los equinoccios. Se traza esa distancia partiendo del GNOMON hacia el norte, sobre la línea N-S.
- 5.- Sobre el punto definido en el inciso anterior se traza una línea horizontal (perpendicular a la que señala el eje N-S). Esta será la línea de los equinoccios.
- 6.- Se calcula el "Punto Radial" de la siguiente forma:

$$\frac{\text{alturamarcador}}{\tan \phi} = 4.99 \text{ cm}$$

En este punto convergen todas las líneas horarias, se traza marcando la distancia indicada partiendo del GNOMON hacia el sur.

- 7.- Se traza la curva correspondiente al 21 de diciembre. La unión de los puntos que indican la hora en esta gráfica con el punto radial representan las LINEAS HORARIAS.
- 8.- La línea horaria de las 6 y 18.00 hs. será horizontal, perpendicular al eje N-S y pasando por el Punto Radial.

ECUACION QUE SE APLICA PARA EL CALCULO DE LONGITUD DE SOMBRA:

$$S = \frac{\text{alturamarcador}}{\tan (\alpha)}$$

TABLA DE VALORES PARA EL TRAZO DEL HELIODON HORIZONTAL  
 (longitudes de sombra en cm)  
 (azimut en grados)  
 $\phi = 21.83^\circ$

	ENE Sene i	FEB Sfeb i	MAR Smar i	ABR Sabr i	MAY Smay i	JUN Sjun i	JUL Sjul i
6	-15.53	-28.52	-4674.51	26.71	15.58	13.37	15.13
7	20.32	11.88	8.1	6.13	5.3	5.05	5.25
8	6.17	4.78	3.82	3.21	2.93	2.85	2.92
9	3.57	2.85	2.3	1.94	1.8	1.76	1.79
10	2.48	1.93	1.48	1.17	1.07	1.05	1.06
11	1.96	1.44	0.99	0.64	0.5	0.5	0.5
12	1.8	1.28	0.8	0.36	0.06	0.06	0.04
13	1.96	1.44	0.99	0.64	0.5	0.5	0.5
14	2.48	1.93	1.48	1.17	1.07	1.05	1.06
15	3.57	2.85	2.3	1.94	1.8	1.76	1.79
16	6.17	4.78	3.82	3.21	2.93	2.85	2.92
17	20.32	11.88	8.1	6.13	5.3	5.05	5.25
18	-15.53	-28.52	-4674.51	26.71	15.58	13.37	15.13

	AGO Sago i	SEP Ssep i	OCT Soct i	NOV Snov i	DIC Sdic i	A Z I M U T AZdic i	A Z I M U T Azfeb i
6	25.01	300.34	-29.68	-15.78	-13.38	68.1	79.92
7	6.04	7.85	11.66	19.82	27.45	62.71	74.16
8	3.17	3.75	4.73	6.11	6.91	55.82	67.22
9	1.92	2.26	2.82	3.54	3.92	46.76	58.06
10	1.16	1.45	1.91	2.46	2.74	34.62	45.01
11	0.62	0.95	1.42	1.94	2.19	18.78	25.73
12	0.33	0.76	1.26	1.77	2.02	0	0
13	0.62	0.95	1.42	1.94	2.19	18.78	25.73
14	1.16	1.45	1.91	2.46	2.74	34.62	45.01
15	1.92	2.26	2.82	3.54	3.92	46.76	58.06
16	3.17	3.75	4.73	6.11	6.91	55.82	67.22
17	6.04	7.85	11.66	19.82	27.45	62.71	74.16
18	25.01	300.34	-29.68	-15.78	-13.38	68.1	79.92

ALTURA MARCADOR:

PUNTO RADIAL:

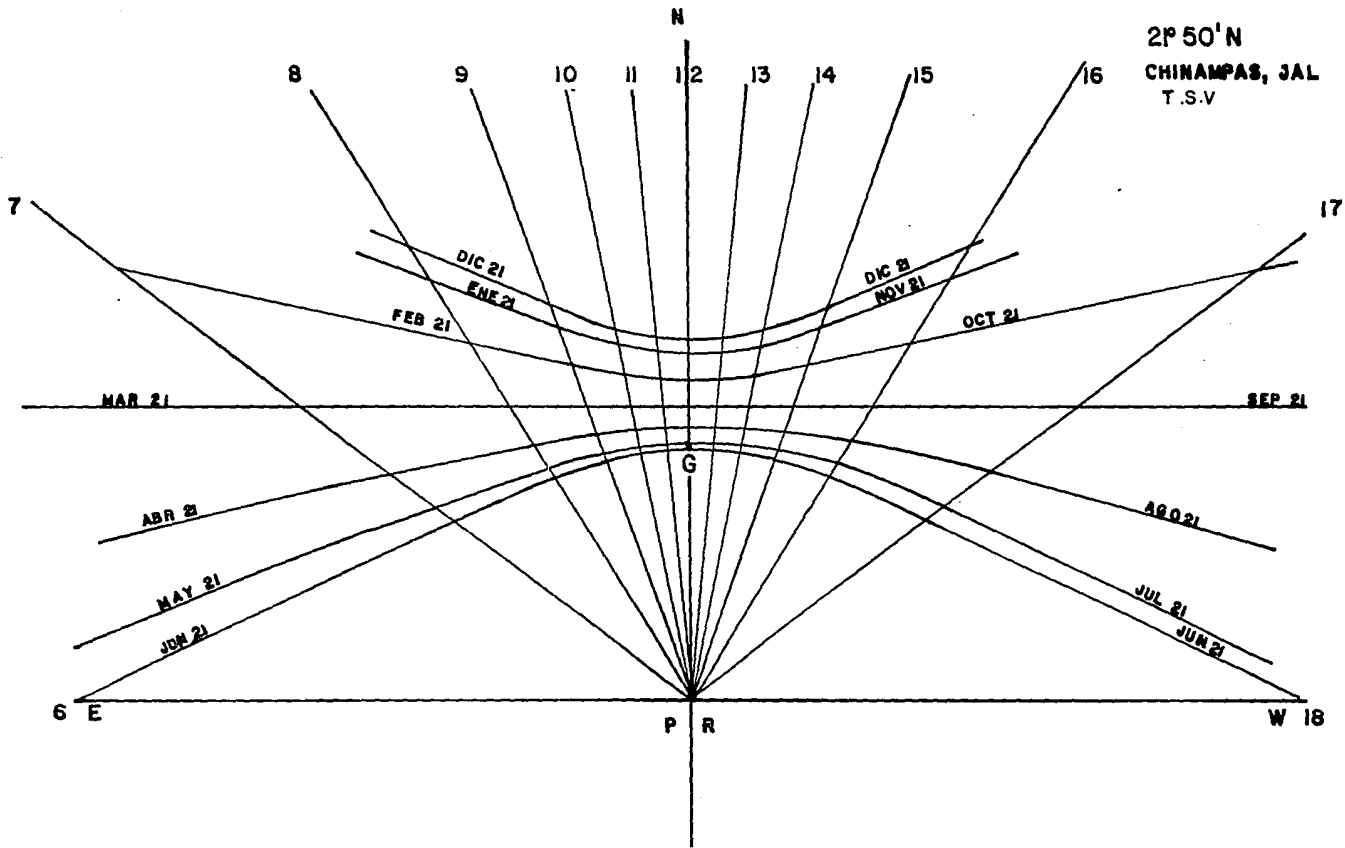
alturamarcador = 2 cm

$\frac{\text{alturamarcador}}{\tan(\phi \cdot \text{deg})} = 4.99 \text{ cm}$

ALTURA MARCADOR



2° 50' N  
CHINAMPAS, JAL  
T.S.V



## **ANALISIS SOLAR EXTERIOR**

**CALCULO DEL TIEMPO SOLAR VERDADERO PARA LOS DIAS DE DISEÑO.**

**PROYECCION DE SOMBRAS A LAS 10, 12 Y 16 HORAS LOS DIAS DE DISEÑO.**

## ANALISIS SOLAR EXTERIOR

El análisis solar exterior se basa en la proyección de sombras.

En el proceso de evaluación de la estrategia propuesta, el análisis solar exterior nos permite determinar las ganancias de calor del edificio por radiación solar. También es útil en lo que se refiere al aspecto de iluminación natural.

Para determinar la sombra que proyecta un cuerpo en un momento determinado debemos partir de las coordenadas polares de posición solar (ver capítulo de gráficas solares); la Altitud Solar determina la longitud de las sombras y el Azimut su dirección, de acuerdo a la siguiente relación:

$$L S = \frac{h}{\tan (A)}$$

donde: L S = Longitud de Sombra

h = Altura del cuerpo que la proyecta

A = Altitud Solar

Para ejemplificar el procedimiento que se debe seguir, se presenta en este capítulo el cálculo de la longitud de sombras para los días de diseño a las 10, 12 y 14 horas. Posteriormente se muestran gráficamente las sombras proyectadas por el edificio a las 14 horas de los días de diseño.

Las horas señaladas se refieren a Tiempo Solar Verdadero (T.S.V.), concepto que involucra la Longitud Geográfica del lugar y las variaciones en la velocidad de la tierra a lo largo del año (Ecuación del Tiempo). En el presente capítulo se presentan también las ecuaciones que se utilizan para calcular el T.S.V., la gráfica anual de la ecuación del tiempo y el cálculo correspondiente para los días de diseño.



TIEMPO SOLAR VERDADERO

LOCALIDAD: Chinampas, Jal.  
 MERIDIANO DE REFERENCIA: Mref := 90°  
 LONGITUD GEOGRAFICA: Mloc := 101.48°  
 FECHA: fecha := enero5 fecha = 5  
 HORA LOCAL: horalocal := 12 horas  
 ECUACION DEL TIEMPO:  $\Gamma := \frac{2 \cdot \pi \cdot (\text{fecha} - 1)}{365}$

$$ET := \left[ 0.000075 + 0.001868 \cdot \cos(\Gamma) - 0.032077 \cdot \sin(\Gamma) \dots \right] \cdot 229.18$$

$$\left[ + -0.014615 \cdot \cos(2 \cdot \Gamma) - 0.04089 \cdot \sin(2 \cdot \Gamma) \right]$$

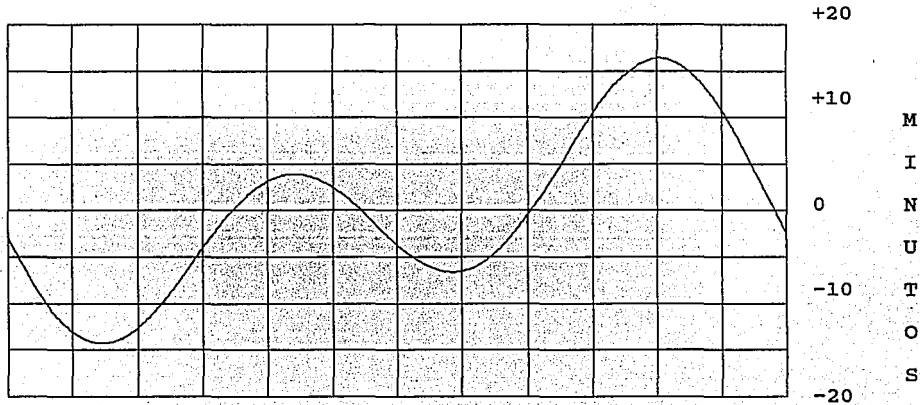
ET = -4.66573 min

$$TSV := \text{horalocal} + \left[ 4 \cdot \frac{\text{Mref} - \text{Mloc}}{60} \right] + \frac{ET}{60}$$

TSV = 11.156905 horas

GRAFICA ANUAL DE LA ECUACION DEL TIEMPO:

ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC



## TIEMPO SOLAR VERDADERO

LOCALIDAD: Chinampas, Jal.  
 MERIDIANO DE REFERENCIA: Mref := 90°  
 LONGITUD GEOGRAFICA: Mloc := 101.48°  
 FECHA: fecha := mayo25                      fecha = 145  
 HORA LOCAL: horalocal := 12                      horas  
 ECUACION DEL TIEMPO:  $\Gamma := \frac{2 \cdot \pi \cdot (\text{fecha} - 1)}{365}$

$$\text{ET} := \left[ 0.000075 + 0.001868 \cdot \cos(\Gamma) - 0.032077 \cdot \sin(\Gamma) \dots \right] \cdot 229.18 \\
 + \left[ -0.014615 \cdot \cos(2 \cdot \Gamma) - 0.04089 \cdot \sin(2 \cdot \Gamma) \right]$$

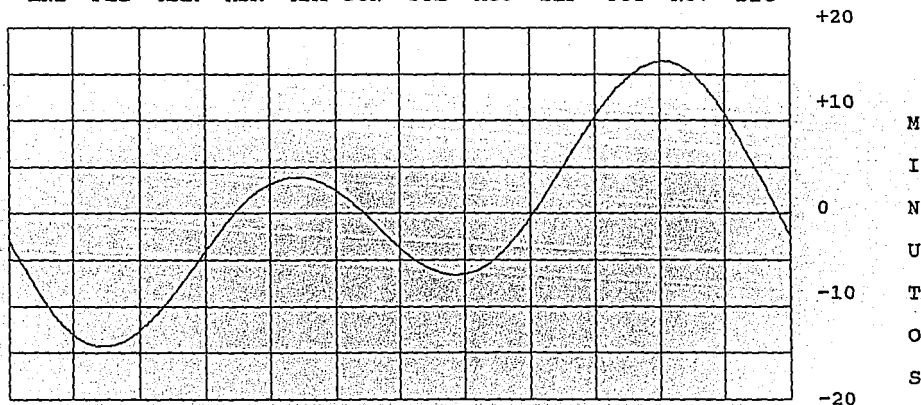
ET = 3.433718    min

$$\text{TSV} := \text{horalocal} + \left[ 4 \cdot \frac{\text{Mref} - \text{Mloc}}{60} \right] + \frac{\text{ET}}{60}$$

TSV = 11.291895    horas

### GRAFICA ANUAL DE LA ECUACION DEL TIEMPO:

ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC



CALCULO DE COORDENADAS SOLARES PARA LOS DIAS DE DISEÑO

LOCALIDAD: Chinampas, Jal.

LATITUD:  $\phi := 21.83^\circ$

ALTITUD (grados)	T. S. V.	AZIMUT (grados)	fecha := enero5
$\alpha$		AZ	DECLINACION (grados)
j		j	$\delta$
-8.249044	6 y 18	68.78207	$\delta$ = -22.695895° deg
4.483904	7 y 17	63.363127	
16.542635	8 y 16	56.456237	
27.522506	9 y 15	47.358015	
36.740837	10 y 14	35.143944	
43.137549	11 y 13	19.100166	
45.474105	12 horas	0	

ALTITUD (grados)	T. S. V.	AZIMUT (grados)	fecha := mayo25
$\alpha$		AZ	$\delta$
j		j	$\delta$
7.590133	6 y 18	109.429795	$\delta$ = 20.806226° deg
20.896267	7 y 17	104.871431	
34.469193	8 y 16	100.902745	
48.217617	9 y 15	97.237594	
62.077681	10 y 14	93.514149	
75.994463	11 y 13	88.573956	
88.976226	12 horas	0.0000051	

CALCULO DE LA LONGITUD DE PROYECCION DE SOMBRAS DE ACUERDO A LOS DIAS DE DISEÑO Y HORAS PROPUESTAS.

5 DE ENERO TIEMPO SOLAR VERDADERO: 10:00:00 HORAS  
 HORA OFICIAL: 10:50:35  
 ALTITUD:  $\alpha := 36.74^\circ$

ALTURAS DEL EDIFICIO: LONGITUD DE SOMBRAS: DIRECCION DE SOMBRAS:

$h :=$ $i$	$h$ $i$	N 35.14°W
	$\tan(\alpha)$	
2.50	3.349	
8.50	11.387	
6.00	8.038	
4.80	6.43	
11.33	15.178	
4.55	6.095	

5 DE ENERO TIEMPO SOLAR VERDADERO: 12:00:00 HORAS  
 HORA OFICIAL: 12:50:35  
 ALTITUD:  $\alpha := 45.47^\circ$

ALTURAS DEL EDIFICIO: LONGITUD DE SOMBRAS: DIRECCION DE SOMBRAS:

$h :=$ $i$	$h$ $i$	NORTE
	$\tan(\alpha)$	
2.50	2.459	
8.50	8.362	
6.00	5.902	
4.80	4.722	
11.33	11.146	
4.55	4.476	

5 DE ENERO

TIEMPO SOLAR VERDADERO: 14:00:00 HORAS

HORA OFICIAL: 14:50:35

ALTITUD:  $\alpha := 36.74^\circ$

ALTURAS DEL  
EDIFICIO:

LONGITUD DE  
SOMBRAS:

DIRECCION DE  
SOMBRAS:

h :=
i
2.50
8.50
6.00
4.80
11.33
4.55

h
i
tan( $\alpha$ )
3.349
11.387
8.038
6.43
15.178
6.095

N 35.14° E

25 DE MAYO

TIEMPO SOLAR VERDADERO: 10:00:00 HORAS

HORA OFICIAL: 10:42:29

ALTITUD:  $\alpha := 62.08^\circ$

ALTURAS DEL  
EDIFICIO:

LONGITUD DE  
SOMBRAS:

DIRECCION DE  
SOMBRAS:

h :=
i
2.50
8.50
6.00
4.80
11.33
4.55

h
i
tan( $\alpha$ )
1.325
4.504
3.18
2.544
6.004
2.411

S 3.51° W

25 DE MAYO

TIEMPO SOLAR VERDADERO: 12:00:00 HORAS

HORA OFICIAL: 12:42:29

ALTITUD:  $\alpha := 88.98^\circ$

ALTURAS DEL  
EDIFICIO:

LONGITUD DE  
SOMBRAS:

DIRECCION DE  
SOMBRAS:

h := i
2.50
8.50
6.00
4.80
11.33
4.55

h i
$\tan(\alpha)$
0.045
0.151
0.107
0.085
0.202
0.081

SUR

25 DE MAYO

TIEMPO SOLAR VERDADERO: 14:00:00 HORAS

HORA OFICIAL: 14:42:29

ALTITUD:  $\alpha := 62.08^\circ$

ALTURAS DEL  
EDIFICIO:

LONGITUD DE  
SOMBRAS:

DIRECCION DE  
SOMBRAS:

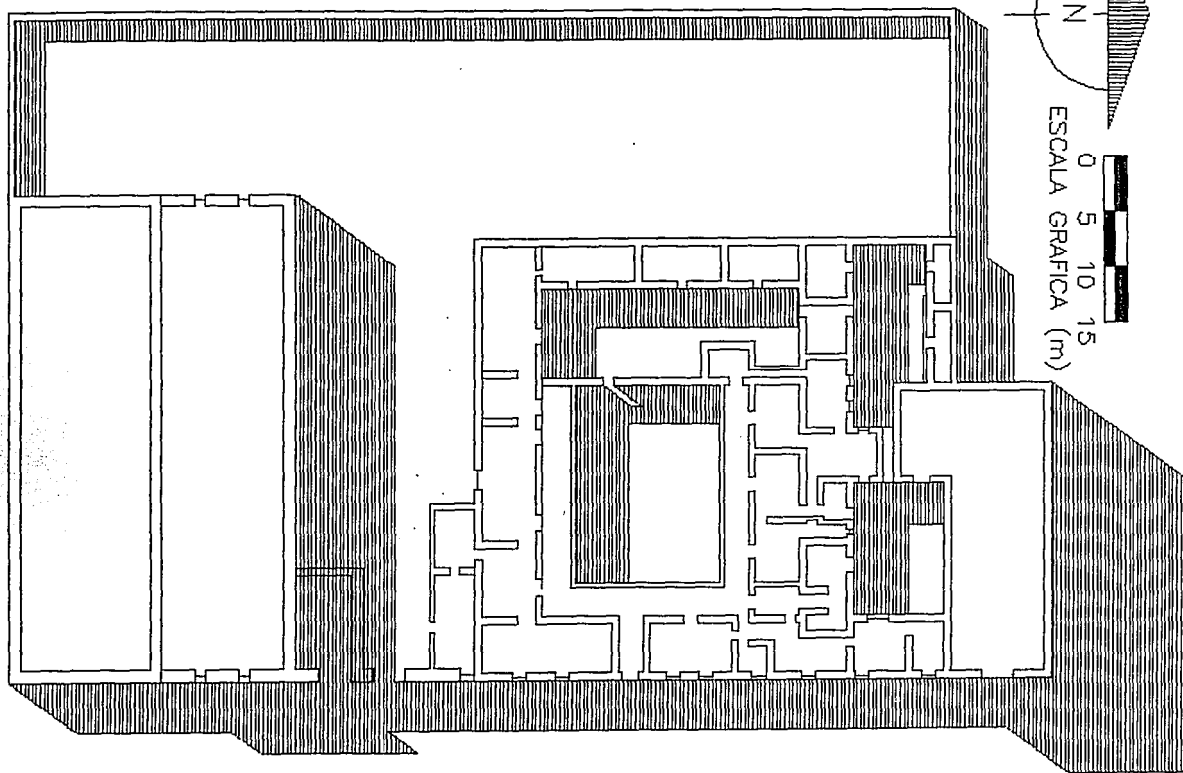
h := i
2.50
8.50
6.00
4.80
11.33
4.55

h i
$\tan(\alpha)$
1.325
4.504
3.18
2.544
6.004
2.411

S 86.49° E

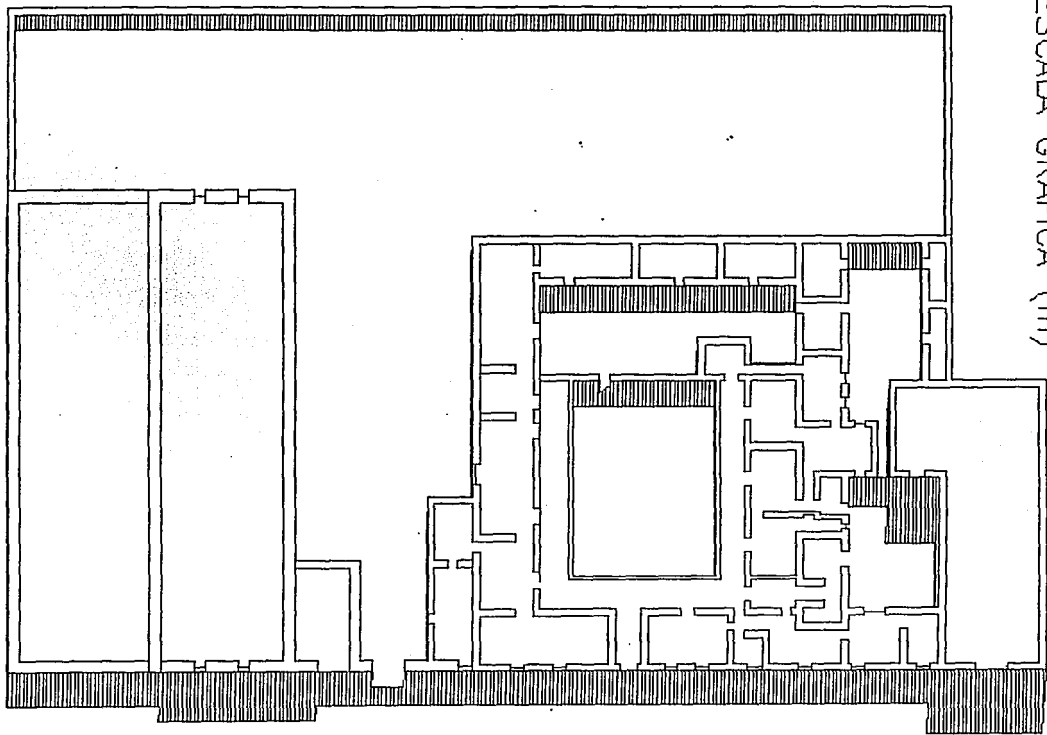
# ANALISIS SOLAR EXTERIOR

PROYECCION DE SOMBRAS, 5 DE ENERO 14:00 HORAS T.S.V.



# ANALISIS SOLAR EXTERIOR

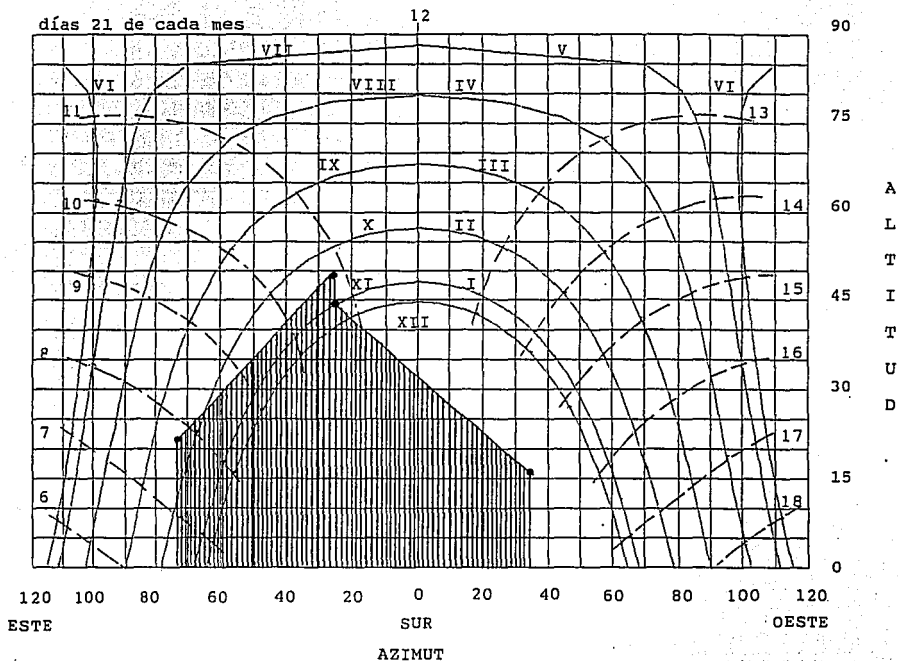
PROYECCION DE SOMBRAS, 25 DE MAYO 14:00 HORAS T.S.V.





# GRAFICA SOLAR CILINDRICA

LATITUD  $\frac{\phi}{\text{deg}} = 21.83^\circ\text{N}$



## APLICACION DE LA GRAFICA SOLAR CILINDRICA EN EL ANALISIS SOLAR EXTERIOR.

La gráfica indica el soleamiento que recibe el edificio a través de la ventana del comedor (orientación sur, ver planta general para ubicación) a lo largo del año. La zona sombreada muestra las sombras que proyectan los cuerpos del edificio ubicados en el exterior.

## **CALCULO TERMICO DE UNA ZONA DEL EDIFICIO**

## CALCULO TERMICO DE UNA ZONA DEL EDIFICIO

En general existen dos procedimientos para el análisis del comportamiento térmico de un edificio, el Transitorio y el Permanente; el primero de ellos se basa en una simulación a lo largo de los días de diseño. El Permanente consiste en un balance de energía instantáneo que se realiza a intervalos de tiempo predeterminados.

Para ejemplificar el procedimiento de cálculo se analizará en forma instantánea el comportamiento térmico del núcleo de recámaras 1,2,3 y 4 en la fecha correspondiente al día de diseño de la época fría (5 de enero). El cálculo considerará en una primera etapa las condiciones existentes, y posteriormente en una segunda, las derivadas de la aplicación de la estrategia de diseño propuesta.

El procedimiento de cálculo a seguir es el siguiente:

- 1.- Determinación de los Coeficientes Globales de Transferencia de Calor de los materiales y sistemas de techumbre que constituyen la envolvente de esa zona del edificio.
- 2.- Determinación de los Coeficientes Globales de Transferencia de Calor de los materiales y sistemas de techumbre propuestos para esa zona del edificio.
- 3.- Cálculo del diferencial térmico de acuerdo a la información climática para el día 5 de enero.
- 4.- Determinación de pérdidas de calor por conducción a través de la envolvente del edificio.
- 5.- Determinación de pérdidas de calor por convección.
- 6.- Determinación de ganancias internas de calor.
- 7.- Balance de energía de acuerdo a las condiciones actuales.
- 8.- Balance de energía de acuerdo a la estrategia de diseño propuesta.
- 9.- Comparación de resultados y conclusiones.

EX-HACIENDA DE CHINAMPAS, JAL.  
 ESTRATEGIA DE DISEÑO BIOCLIMATICO  
 CALCULO TERMICO DEL EDIFICIO

CALCULO DE COEFICIENTES GLOBALES DE TRANSFERENCIA DE CALOR  
 ( W / m<sup>2</sup> K)

COEFICIENTES DE CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LOS MATERIALES DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO (W /m K):	Adobe:	kadobe := 1.1
	Aplanado de mortero cemento-arena:	kmortero := 1.24
	Tabique rojo:	ktabirojo := 0.5
	Vidrio o cristal:	kcristal := 0.76
	Aire:	kaire := 0.026

COEFICIENTES DE CONVECCION EN BASE A LA GEOMETRIA Y LOCALIZACION DE ELEMENTOS: (W /m <sup>2</sup> K):	ELEMENTOS VERTICALES:	
	Aire quieto:	he1 := 9.36
	Viento con velocidades de 6 a 7 m /s:	he2 := 17.03
	Interiores:	hi1 := 3.46

	ELEMENTOS HORIZONTALES:	
	Elementos horizontales, Aire quieto:	he3 := 13.13
	Viento con velocidades de 6 a 7 m /s:	he4 := 23.89
	Cara inferior:	hi2 := 2.56

Muro de adobe de 60 cm de espesor promedio recubierto con mortero cemento-arena de 3 cm de espesor en ambas caras:

$$U_{\text{muro adobe}} = \frac{1}{\frac{1.00}{h_{e1}} + \frac{0.03}{k_{\text{mortero}}} + \frac{0.6}{k_{\text{adobe}}} + \frac{0.03}{k_{\text{mortero}}} + \frac{1.00}{h_{i1}}} = 1.01$$

Bóveda a base de tres capas de ladrillo rojo recocido de 2.5 cm de espesor asentadas con mortero cemento-arena de 1 cm de espesor promedio:

$$U_{\text{bóveda}} = \frac{1}{\left[ \frac{1}{h_{e3}} + \frac{.025}{k_{\text{tabirojo}}} + \frac{.01}{k_{\text{mortero}}} + \frac{.025}{k_{\text{tabirojo}}} + \dots \right] + \frac{.01}{k_{\text{mortero}}} + \frac{.025}{k_{\text{tabirojo}}} + \frac{1}{h_{i2}}} = 1.58$$

Ventanas, cancelos, tragaluces y techumbres de vidrio o cristal con manguetería de fierro ó madera. Cristal o vidrio de 6, 5, 4, o 3 mm de espesor:

$U_{\text{cristal(6)}} =$

$$\frac{1}{\frac{1}{h_{e1}} + \frac{.006}{k_{\text{cristal}}} + \frac{1}{h_{i1}}} = 2.477$$

$U_{\text{cristal(5)}} =$

$$\frac{1}{\frac{1}{h_{e1}} + \frac{.005}{k_{\text{cristal}}} + \frac{1}{h_{i1}}} = 2.485$$

$U_{\text{cristal(4)}} =$

$$\frac{1}{\frac{1}{h_{e1}} + \frac{.004}{k_{\text{cristal}}} + \frac{1}{h_{i1}}} = 2.493$$

$U_{\text{cristal(3)}} =$

$$\frac{1}{\frac{1}{h_{e1}} + \frac{.003}{k_{\text{cristal}}} + \frac{1}{h_{i1}}} = 2.501$$

Bóveda a base de tres capas de ladrillo rojo recocido de 2.5 cm de espesor, asentadas con mortero cemento-arena de 1 cm de espesor promedio. El concepto incluye falso plafond de cualquier material con el propósito de formar una cámara de aire de 1.00 m de espesor como aislante térmico.

Ubóveda/cámara aire =

$$\frac{1}{\frac{1}{h_{e3}} + \frac{1.00}{k_{aire}} + \frac{.025}{k_{tabirojo}} + \frac{.01}{k_{mortero}} + \frac{.025}{k_{tabirojo}} + \dots + \frac{.01}{k_{mortero}} + \frac{.025}{k_{tabirojo}} + \frac{1}{h_{i2}}} = 0.026$$

CARACTERISTICAS FISICAS DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO EN LA ZONA ANALIZADA (núcleo de habitaciones 1,2,3 y 4):

ELEMENTO	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (U) (W /m <sup>2</sup> K )	AREA (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)
Muro sur	1.01 (adobe)	83.6	
Muro norte	1.01 (adobe)	88.0	
Muro oriente	1.01 (adobe)	39.6	
Muro poniente	1.01 (adobe)	39.6	
Cubierta	1.58 (bóveda)	152.0	
Ventanas	2.49 (vidrio 5 mm)	16.3	
	( W / m K )		
Base de muros	1.65		95.0

CALCULO DEL DIFERENCIAL TERMICO, EPOCA FRIA, (5 DE ENERO):

HORA	TEMPERATURA EXTERIOR (°C)	TEMPERATURA INTERIOR (°C)	DIFERENCIA DE TEMPERATURAS (Dif <sup>t</sup> ) (K)
0:00	7.0	24.0	-17.0
4:00	6.2	24.0	-17.8
8:00	6.4	24.0	-17.6
8:00	6.4	24.0	-17.6
10:00	9.0	24.0	-15.0
12:00	10.5	24.0	-13.5
14:00	11.3	24.0	-12.7
16:00	10.9	24.0	-13.1
20:00	8.2	24.0	-15.8
20:00	8.2	24.0	-15.8

CONDICIONES EXISTENTES EL DIA DE DISEÑO, EPOCA FRIA, (5 DE ENERO):

PERDIDAS DE CALOR POR CONDUCCION:

ELEMENTO	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (U) (W /m <sup>2</sup> K )	AREA (m <sup>2</sup> )	U * A (W / K)
Muro sur	1.01 (adobe)	83.6	84.4
Muro norte	1.01 (adobe)	88.0	88.9
Muro oriente	1.01 (adobe)	39.6	40.0
Muro poniente	1.01 (adobe)	39.6	40.0
Cubierta	1.58 (bóveda)	152.0	240.2
Ventanas	2.49 (vidrio 5 mm)	16.3	40.6
	( W / m K )	LONGITUD (m)	
Base de muros	1.65 (según ASHRAE)	95.0	156.8
		SUMA:	690.9 = 0.69 KW / K

PERDIDAS DE CALOR POR CONVECCION:

Volumen de aire en la zona analizada:	Vol := 152 · (4.7)
	Vol = 714.4 m <sup>3</sup>
Número de cambios de aire por hora:	N := 1
Ventilación necesaria: $Ve := N \cdot \frac{Vol}{3600}$	Ve = 0.198 m <sup>3</sup> /s
Pérdidas de calor por ventilación (W):	Qv := 1300 · 0.198 (DIFt)
	Qv = 0.26 KW / K

GANANCIAS INTERNAS DE CALOR:

Ocupantes de habitaciones:	10 (60 W) = 0.6 KW
Sistema de iluminación (10 W /m <sup>2</sup> ):	152 (10 W) = 1.52 KW
Aparatos eléctricos (5 W /m <sup>2</sup> ):	152 (5 W) = 0.76 KW



BALANCE DE ENERGIA, CONDICIONES ACTUALES:

HORAS	0	4	8	8	10	12	14	16	20	20
CONDUCCION	(11.7)	(12.3)	(12.1)	(12.1)	(10.4)	(9.3)	(8.8)	(9.0)	(10.9)	(10.9)
CONVECCION				(4.6)	(3.9)	(3.5)	(3.3)			
GANANCIAS INTERNAS	0.6	0.6	0.6							0.6 2.3
SUMA (KW)	(11.1)	(11.7)	(11.5)	(16.7)	(14.3)	(12.8)	(12.1)	(9.0)	(10.9)	(8.0)
PERDIDAS DE CALOR (KW - hr)	(32.0)	(44.4)	(46.8)		(33.4)	(28.6)	(25.6)	(24.2)	(36.0)	
PERDIDAS ACUMULADAS (MJ)	(115)	(275)	(443)		(563)	(666)	(758)	(845)	(975)	

Como puede observarse, en las condiciones actuales resulta una pérdida de calor de 975 MJ durante el día de diseño. En la siguiente etapa del cálculo se realizará un balance de energía considerando las modificaciones propuestas en la estrategia de diseño. Estas modificaciones consisten en:

- 1.- Instalación de cubierta de cristal con orientación sur e inclinación de 20 grados formando un invernadero (ver croquis "estrategia de diseño"), el cual estará comunicado con las habitaciones durante el periodo de captación de radiación solar (ver croquis "estrategia época fría"). El grado de inclinación de la cubierta del invernadero está en este caso limitado por razones arquitectónicas, una inclinación mayor (aproximadamente 45 grados) permitiría una mayor captación de radiación durante la época fría al disminuir las pérdidas por reflexión.
- 2.- Instalación de falso plafond en las habitaciones para formar una cámara de aire como aislamiento térmico. La altura de las bóvedas existentes es de 4.70 m, se propone instalar el falso plafond a 3.70 m.

CONDICIONES EL DIA DE DISEÑO (5 DE ENERO), DE ACUERDO A LA ESTRATEGIA DE DISEÑO PROPUESTA:

PERDIDAS DE CALOR POR CONDUCCION:

ELEMENTO	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (U)	GLOBAL DE (W /m2 K)	AREA (m2)	U * A (W / K)
Muro sur	1.01	(adobe)	42.7	43.1
Muro norte	1.01	(adobe)	44.9	45.3
Muro oriente	1.01	(adobe)	20.2	20.4
Muro poniente	1.01	(adobe)	20.2	20.4
Cubierta habit.	0.026	(bóveda y F. P.)	152.0	4.0
Cubierta inver.	2.48	(vidrio 6 mm)	19.7	48.9
Ventanas	2.49	(vidrio 5 mm)	16.3	40.6
	( W / m K )		LONGITUD (m)	
Base de muros	1.65	(según ASHRAE)	95.0	156.8
			SUMA:	379.5 = 0.38 KW/ K
Al cerrar la comunicación con el invernadero durante la tarde y noche:			SUMA:	379.5
				- 48.9 = 0.33 KW/ K

PERDIDAS DE CALOR POR CONVECCION:

Volumen de aire en la zona analizada:

$$\text{Vol} := 152 \cdot (2.4)$$

$$\text{Vol} = 364.8 \quad \text{m}^3$$

Número de cambios de aire por hora:

$$N := 1$$

Ventilación necesaria:  $Ve := N \cdot \frac{\text{Vol}}{3600}$

$$Ve = 0.101 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

Pérdidas de calor por ventilación (W):

$$Qv := 1300 \cdot (0.101) \quad (\text{DIFT})$$

$$Qv = 131.3 \quad = 0.13 \text{ KW /K}$$

BALANCE DE ENERGIA AL APLICAR LA ESTRATEGIA DE DISEÑO:

HORAS	0	4	8	8	10	12	14	16	20	20
CONDUCCION	(5.6)	(5.9)	(5.8)	(6.7)	(5.7)	(5.1)	(4.8)	(4.3)	(5.2)	(5.2)
CONVECCION				(2.3)	(2.0)	(1.8)	(1.7)			
GANANCIAS INTERNAS	0.6	0.6	0.6							0.6
* CAPTACION INVERNADERO				8.6	14.6	15.6	14.6	0.9		2.3
SUMA (KW)	(5.0)	(5.3)	(5.2)	(0.4)	6.9	8.7	8.1	(3.4)	(5.2)	(2.3)
PERDIDAS O GANANCIAS DE CALOR (KW - hr)	(9.2)	(20.0)	(21.2)		(0.8)	13.8	17.4	16.2	(13.6)	
PERDIDAS ACUMULADAS (MJ)	(33)	(105)	(181)		(184)	(135)	(73)	(15)	(63)	

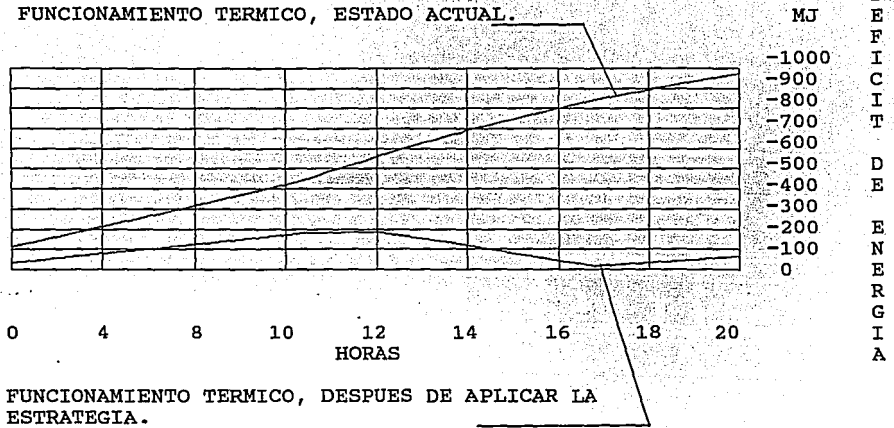
\* Radiación solar global horaria, promedio mensual, para un plano inclinado 20 grados hacia el sur, reducido por reflexión (ver capitulos de estimación de la radiación solar y de análisis óptico).

CONCLUSIONES SOBRE LA ESTRATEGIA DE DISEÑO PROPUESTA:

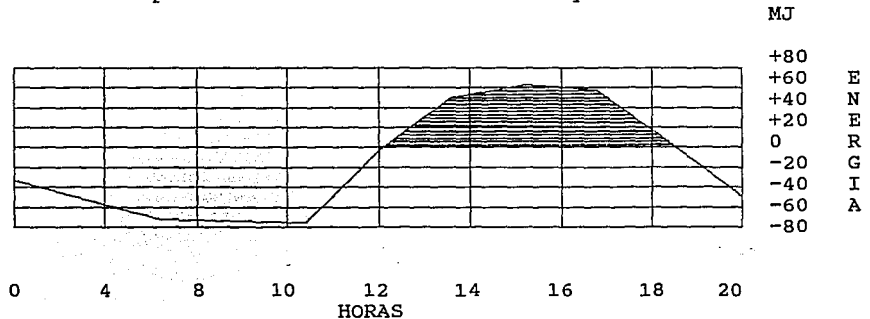
Como puede apreciarse, los requerimientos de energía para conservar una temperatura interior de 24 °C han disminuido en más de un 90%. El déficit de 910 MJ por día que se obtuvo en el análisis de las condiciones actuales se redujo a 63 MJ al aplicar la estrategia de diseño propuesta. Este resultado es aceptable considerando que el cálculo se realizó mediante un método de Estado Permanente.

En el procedimiento de cálculo no se incluyeron pérdidas por infiltración a través de puertas y ventanas, se considera que en este caso el nivel de precisión alcanzado resulta suficiente.

A continuación se muestra gráficamente la sustancial reducción en el déficit de energía para conservar a lo largo del día la temperatura de 24 °C propuesta en el diseño.



La siguiente gráfica se refiere al funcionamiento térmico de la estrategia de diseño a lo largo del día. En ella se observa el periodo de captación de radiación solar; los excedentes de calor (zona sombreada) son almacenados por la masa del edificio para ser liberados paulatinamente durante la tarde y noche.



COMPORTAMIENTO TERMICO DEL EDIFICIO A LO LARGO DEL DIA  
DESPUES DE APLICAR LA ESTRATEGIA DE DISEÑO.

**CALCULO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA  
CON ENERGIA SOLAR**

El cálculo de sistemas de calentamiento de agua para uso doméstico, comercial o industrial con energía solar involucra diversos factores:

**ANGULO DE INCLINACION DEL COLECTOR:**

en forma general se considera la latitud del lugar como el ángulo de inclinación de los colectores cuando se requiere una captación de energía uniforme a lo largo del año, como en el caso de sistemas para calentamiento de agua.

**ORIENTACION DEL COLECTOR:**

Preferentemente los colectores deberán estar orientados hacia el sur astronómico, es decir, deberá considerarse la declinación magnética del lugar cuando se determine la orientación mediante el uso de la brújula. En el caso de que las condiciones del lugar no permitan precisamente esta orientación, deberá considerarse el ángulo de la desviación en el cálculo.

**ANGULO DE INCIDENCIA DE LA RADIACION SOLAR:**

Es el ángulo que forma la radiación incidente con relación a un eje normal al plano del colector, depende de la orientación e inclinación del colector, así como de la declinación solar, latitud del lugar y ángulo horario.

**ANALISIS OPTICO DEL COLECTOR:**

Parte del ángulo de incidencia de la radiación solar. Determina el porcentaje útil de energía absorbido por la placa del colector.

**COEFICIENTE GLOBAL DE PERDIDAS DE CALOR:**

Determina las pérdidas de energía a través de la envolvente del colector. Parte de datos de temperatura ambiente, velocidad del viento y características físicas de los materiales constituyentes.

**ANALISIS TERMICO DEL COLECTOR:**

Consiste en realizar un balance de energía. La radiación absorbida por la placa del colector equivale al calor útil más las pérdidas de energía determinadas.

**FACTORES DE DISEÑO:**

Parte de las características físicas de los materiales constituyentes del colector. Determina la capacidad del colector de transferir el calor al fluido.

**EFICIENCIA DEL COLECTOR:**

Es la razón entre el calor útil y la radiación incidente. Indica el desempeño global del sistema.

CALCULO DEL ANGULO DE INCIDENCIA SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA  
valores horarios en los días más representativos del mes  
el ángulo es con relación a un eje normal al plano

LOCALIDAD: Chinampas, Jal.:

LATITUD:  $\phi := 21.83 \cdot \text{deg}$

Angulo de inclinación del colector:

$s := 20 \cdot \text{deg}$

Días más representativos de los 12 meses del año  
(de acuerdo a KLEIN):

DECLINACION

$$\Gamma_i := 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_i}{365}$$

$$\delta_i := 0.006918 - 0.399912 \cdot \cos[\Gamma_i] \dots$$

$$+ 0.070257 \cdot \sin[\Gamma_i] - 0.006758 \cdot \cos[2 \cdot \Gamma_i] \dots$$

$$+ 0.000907 \cdot \sin[2 \cdot \Gamma_i] - 0.002697 \cdot \cos[3 \cdot \Gamma_i] + 0.00148 \cdot \sin[3 \cdot \Gamma_i]$$

DECLINACION (rad)

$\delta_i$

-0.361	enero 17
-0.214	febrero 16
-0.029	marzo 16
0.172	abril 15
0.33	mayo 15
0.403	junio 11
0.37	julio 17
0.239	agosto 14
0.052	septiembre 15
-0.15	octubre 15
-0.319	noviembre 14
-0.4	diciembre 10

ANGULO HORARIO

$\omega_i$

6 1/2	82.5 deg
7 1/2	67.5 deg
8 1/2	52.5 deg
9 1/2	37.5 deg
10 1/2	22.5 deg
11 1/2	7.5 deg
12 1/2	-7.5 deg
13 1/2	-22.5 deg
14 1/2	-37.5 deg
15 1/2	-52.5 deg
16 1/2	-67.5 deg
17 1/2	-82.5 deg

Ecuación que se aplica para la determinación del ángulo  
de incidencia con respecto a un eje normal al plano del colector:

$$\theta_i := \text{acos}[\sin(\delta_i) \cdot \sin(\phi - s) + \cos(\delta_i) \cdot \cos(\phi - s) \cdot \cos[\omega_i]]$$

ANGULO DE INCIDENCIA HORARIO, PROMEDIO MENSUAL

Inclinación hacia el sur (grados):  $\frac{s}{\text{deg}} = 20$       Latitud (grados):  $\frac{\phi}{\text{deg}} = 21.83$

	enero ET1 i deg	febrero ET2 i deg	marzo ET3 i deg	abril ET4 i deg	mayo ET5 i deg	junio ET6 i deg
de 6 a 7	83.642	83.067	82.56	82.299	82.313	82.384
de 7 a 8	69.728	68.471	67.579	67.523	68.149	68.634
de 8 a 9	56.093	54	52.607	52.774	54.129	55.099
de 9 a 10	43.078	39.819	37.655	38.118	40.492	42.111
de 10 a 11	31.521	26.42	22.764	23.754	27.882	30.476
de 11 a 12	23.706	15.94	8.266	10.941	18.595	22.489
de 12 a 13	23.706	15.94	8.266	10.941	18.595	22.489
de 13 a 14	31.521	26.42	22.764	23.754	27.882	30.476
de 14 a 15	43.078	39.819	37.655	38.118	40.492	42.111
de 15 a 16	56.093	54	52.607	52.774	54.129	55.099
de 16 a 17	69.728	68.471	67.579	67.523	68.149	68.634
de 17 a 18	83.642	83.067	82.56	82.299	82.313	82.384

	julio ET7 i deg	agosto ET8 i deg	septiembre ET9 i deg	octubre ET10 i deg	noviembre ET11 i deg	diciembre ET12 i deg
de 6 a 7	82.346	82.281	82.419	82.864	83.464	83.817
de 7 a 8	68.396	67.716	67.441	68.073	69.322	70.134
de 8 a 9	54.627	53.219	52.462	53.355	55.414	56.775
de 9 a 10	41.329	38.92	37.482	38.805	42.029	44.124
de 10 a 11	29.24	25.206	22.508	24.731	29.927	33.072
de 11 a 12	20.682	13.975	7.578	12.824	21.444	25.818
de 12 a 13	20.682	13.975	7.578	12.824	21.444	25.818
de 13 a 14	29.24	25.206	22.508	24.731	29.927	33.072
de 14 a 15	41.329	38.92	37.482	38.805	42.029	44.124
de 15 a 16	54.627	53.219	52.462	53.355	55.414	56.775
de 16 a 17	68.396	67.716	67.441	68.073	69.322	70.134
de 17 a 18	82.346	82.281	82.419	82.864	83.464	83.817



ANALISIS GRAFICO DEL ANGULO DE INCLINACION DEL COLECTOR

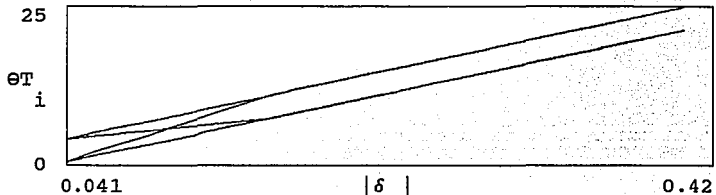
Declinación:                      Angulo horario a las 12:00 hs:                      ω := 0  
                  δ :=                      Angulo de inclinación propuesto:                      s := 20° deg  
                  i

ene	-0.366
feb	-0.227
mar	-0.041
abr	0.161
may	0.325
jun	0.402
jul	0.366
ago	0.227
sep	0.041
oct	-0.161
nov	-0.325
dic	-0.402

$$\theta T_i := \frac{\text{acos} \left[ \frac{\sin[\delta_i] \cdot \sin(\phi - s) + \cos[\delta_i] \cdot \cos(\phi - s) \cdot \cos(\omega)}{\text{deg}} \right]}{\delta_i}$$

	i	deg
ene	22.8	-20.97
feb	14.836	-13.006
mar	4.179	-2.349
abr	7.395	9.225
may	16.791	18.621
jun	21.203	23.033
jul	19.14	20.97
ago	11.176	13.006
sep	0.519	2.349
oct	11.055	-9.225
nov	20.451	-18.621
dic	24.863	-23.033

I  
N  
C  
I  
D  
E  
N  
C  
I  
A



mar-sep    abr-ago    feb-oct    may-jul    ene-nov    jun-dic  
 D E C L I N A C I O N

El ángulo de inclinación del colector será óptimo cuando la gráfica de declinación contra el ángulo de incidencia sea horizontal, es decir, cuando dicho ángulo permanezca constante a lo largo del año.

Es importante aclarar que las condiciones señaladas son las adecuadas debido a que el proyecto se refiere a calentamiento de agua para uso doméstico, es decir, la demanda de energía es sensiblemente constante a lo largo del año.

## ANALISIS OPTICO

### REFLEXION:

En nuestro análisis consideraremos cubiertas de vidrio.

### RELACION DE FRESNEL:

$\theta_1$  = ángulo de incidencia.

$I_\rho$  = radiación reflejada.

$n_1$  = índice de refracción del medio 1

$n_1 := 1.000$  (aire)

$n_2$  = índice de refracción del medio 2

$n_2 := 1.526$  (vidrio)

$n$  = Número de cubiertas.

$n := 1$

$\theta_2$  = ángulo de refracción.

$$\theta_{2ene} := \text{asin} \left[ n_1 \cdot \frac{\sin[\theta_{1ene}]}{n_2} \right] \quad (\text{Ley de Snell})$$

### REFLEXION CUANDO EL ANGULO DE INCIDENCIA NO ES NORMAL

( $\theta_1$  dif. de 0):

$$I_{\rho ene} := \frac{1}{2} \left[ \frac{[\sin[\theta_{2ene} - \theta_{1ene}]]^2}{[\sin[\theta_{2ene} + \theta_{1ene}]]^2} + \frac{[\tan[\theta_{2ene} - \theta_{1ene}]]^2}{[\tan[\theta_{2ene} + \theta_{1ene}]]^2} \right]$$

### Componentes polarizadas:

$$CP_{1ene} := \frac{[\sin[\theta_{2ene} - \theta_{1ene}]]^2}{[\sin[\theta_{2ene} + \theta_{1ene}]]^2} \quad CP_{2ene} := \frac{[\tan[\theta_{2ene} - \theta_{1ene}]]^2}{[\tan[\theta_{2ene} + \theta_{1ene}]]^2}$$

LEY DE SNELL PARA CALCULAR EL ANGULO DE REFRACCION A PARTIR DEL ANGULO DE INCIDENCIA:

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \quad \frac{n_1}{n_2} = 0.655 \dots\dots\dots(II)$$

REFLEXION CUANDO EL ANGULO DE INCIDENCIA ES NORMAL (  $\theta_1 = 0$  ):

$$I_{\rho 0} = \frac{I_r}{I_o} \quad \dots \text{tambi\u00e9n:} \quad I_{\rho 0} := \left[ \frac{n_2 - n_1}{n_2 + 1} \right]^2 \dots\dots(III)$$

$$I_{\rho 0} \cdot 100 = 4.336 \quad \%$$

T R A N S M I S I O N

TRANSMISION A TRAVES DE UNA SOLA CUBIERTA DE VIDRIO CONSIDERANDO SOLO REFLEXION (NO ABSORCION) (  $\tau_{r1}$  ):

$$\tau_{r1ene} := \frac{1 - I_{\rho ene_i}}{1 + I_{\rho ene_i}} \dots\dots(IV)$$

TRANSMISION A TRAVES DE "n" CUBIERTAS DE VIDRIO CONSIDERANDO SOLO REFLEXION (NO ABSORCION) (  $\tau_{rn}$  ):

A incidencia normal: \hspace{15em} N\u00famero de cubiertas: n = 1

$$\tau_{rn0} := \frac{1 - I_{\rho 0}}{1 + (2 \cdot n - 1) \cdot I_{\rho 0}} \quad \tau_{rn0} = 0.917 \quad \dots\dots(V)$$

A incidencia diferente de 0:

$$\tau_{rnCP1ene} := \frac{1 - CP1ene_i}{1 + (2 \cdot n - 1) \cdot CP1ene_i} \quad \tau_{rnCP2ene} := \frac{1 - CP2ene_i}{1 + (2 \cdot n - 1) \cdot CP2ene_i}$$

RADIACION TRANSMITIDA SIN CONSIDERAR ABSORCION:

$$\tau_{rne}_i := 0.5 \cdot [\tau_{rnCP1ene}_i + \tau_{rnCP2ene}_i]$$

TRANSMISION A TRAVES DE "n" CUBIERTAS CONSIDERANDO ABSORCION (ra):

Coefficiente de extinción (propiedad óptica)  
 k = 0.04 / cm para vidrios claros k = 0.32 / cm  
 para vidrios verdes del país.

coeficiente de extinción..... k := 0.161 /cm  
 número de cubiertas..... n = 1  
 Anótese el espesor del vidrio.. L := 0.23 cm

$$\tau_{aene}_i := e^{-n \cdot k \cdot \frac{L}{\cos[\theta_{2ene}_i]}} \dots\dots\dots (VI)$$

TRANSMISION TOTAL

Considerando ambos fenómenos, absorción y reflexión:

$$\tau_{ene}_i := \tau_{rne}_i \cdot \tau_{aene}_i \dots\dots\dots (VII)$$

PRODUCTO TRANSMITANCIA - ABSORTANCIA

Hasta este punto hemos valorado solamente la energía que pasa a través del vidrio, a continuación consideraremos las propiedades ópticas del colector:

REFLECTANCIA DIFUSA:

$\rho_d$ = reflectancia difusa	para 1 cubierta:	$\rho_{d1} := 0.16$
	para 2 cubiertas:	$\rho_{d2} := 0.24$
	para 3 cubiertas:	$\rho_{d3} := 0.29$
	para 4 cubiertas:	$\rho_{d4} := 0.32$

$\alpha$ = absortancia	sup. selectiva:	$\alpha_1 := 0.95$
	negro mate comercial:	$\alpha_2 := 0.83$

Una superficie selectiva tiene una alta absorción de la radiación solar y una baja emisividad de radiación infrarroja. Se propone superficie negro mate:

$\rho_d := \rho_{d1}$   
 $\alpha_1 := 0.95$

$\rho_d := \rho_{d1}$   
 $\alpha_2 := 0.83$

SUPERFICIE SELECTIVA

NEGRO MATE COMERCIAL

$$\tau \alpha_{1 \text{ ene}} := \frac{\tau_{\text{ene}} \cdot \alpha_1}{1 - (1 - \alpha_1) \cdot \rho_d}$$

$$\tau \alpha_{2 \text{ ene}} := \frac{\tau_{\text{ene}} \cdot \alpha_2}{1 - (1 - \alpha_2) \cdot \rho_d}$$

P R O D U C T O   T R A N S M I T A N C I A - A B S O R T A N C I A  
E F E C T I V O .

Incluye otros efectos térmicos, temperatura ambiente, emisividad de placa y velocidad del viento.

el valor de la constante "a", está en función del número de cubiertas y de la emisividad de la placa:

NEGRO MATE COMERCIAL  
 $\epsilon = 0.95$

SUPERFICIE SELECTIVA  
 $\epsilon = 0.10$

$r_{\alpha ef1}$	$a1 := 0.27$	1 cubierta	$a01 := 0.13$	$r_{\alpha ef1}$
$r_{\alpha ef2}$	$a21 := 0.15$ $a22 := 0.62$	2 cubiertas	$a021 := 0.09$ $a022 := 0.40$	$r_{\alpha ef2}$
$r_{\alpha ef3}$	$a31 := 0.14$ $a32 := 0.45$ $a33 := 0.75$	3 cubiertas	$a031 := 0.06$ $a032 := 0.31$ $a033 := 0.53$	$r_{\alpha ef3}$

$$r_{\alpha ene_i} := r_{\alpha 2ene_i} \quad (\text{negro mate comercial})$$

$$r_{\alpha ef1ene_i} := r_{\alpha ene_i} + [1 - r_{\alpha ene_i}] \cdot a1 \cdot r_{ene_i}^{1-1} \quad (1 \text{ cubierta})$$

$$r_{\alpha ef2ene_i} := r_{\alpha ene_i} + [1 - r_{\alpha ene_i}] \cdot a21 \cdot r_{ene_i}^{2-1} \quad (2 \text{ cubiertas})$$

$$+ [1 - r_{\alpha ene_i}] \cdot a22 \cdot r_{ene_i}^{1-1}$$

$$r_{\alpha ef3ene_i} := r_{\alpha ene_i} + [1 - r_{\alpha ene_i}] \cdot a31 \cdot r_{ene_i}^{3-1} \quad (3 \text{ cubiertas})$$

$$+ [1 - r_{\alpha ene_i}] \cdot a32 \cdot r_{ene_i}^{2-1}$$

$$+ [1 - r_{\alpha ene_i}] \cdot a33 \cdot r_{ene_i}^{1-1}$$

ANALISIS OPTICO  
TABLA DE RESULTADOS

CONSTANTES CONSIDERADAS:

No. de cubiertas:	n = 1	Emitancia (negro mate):	$\epsilon = 0.95$
Indice ref. aire:	n1 = 1	Absortancia (negro mate):	$\alpha_2 = 0.83$
Indice ref. vidrio:	n2 = 1.526	Coefficiente de extinción:	k = 0.161
		Espesor del vidrio	L = 0.23

ENERO	ANGULO DE INCIDENCIA (grados)	TRANSMISION (reflexión y absorción) (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA EFECTIVA (%)
	elene	rene · 100	$\tau\alpha_{2ene} \cdot 100$	$\tau\alpha_{eflene} \cdot 100$
	i	i	i	i
	deg	deg	deg	deg
6 a 7 y 17 a 18	83.642	29.232	24.941	26.227
7 a 8 y 16 a 17	69.728	69.494	59.292	60.531
8 a 9 y 15 a 16	56.093	82.87	70.706	71.871
9 a 10 y 14 a 15	43.078	86.749	74.015	75.11
10 a 11 y 13 a 14	31.521	87.861	74.964	76.007
11 a 12 y 12 a 13	23.706	88.153	75.213	76.23

FEBRERO	elfeb	rfeb · 100	$\tau\alpha_{2feb} \cdot 100$	$\tau\alpha_{eflfeb} \cdot 100$
	i	i	i	i
	deg	deg	deg	deg
6 a 7 y 17 a 18	83.067	31.629	26.986	28.271
7 a 8 y 16 a 17	68.471	71.486	60.993	62.225
8 a 9 y 15 a 16	54	83.835	71.529	72.682
9 a 10 y 14 a 15	39.819	87.19	74.391	75.47
10 a 11 y 13 a 14	26.42	88.076	75.147	76.172
11 a 12 y 12 a 13	15.94	88.285	75.326	76.323

MARZO	elmar	rmar · 100	$\tau\alpha_{2mar} \cdot 100$	$\tau\alpha_{eflmar} \cdot 100$
	i	i	i	i
	deg	deg	deg	deg
6 a 7 y 17 a 18	82.56	33.694	28.748	30.032
7 a 8 y 16 a 17	67.579	72.777	62.094	63.322
8 a 9 y 15 a 16	52.607	84.384	71.997	73.143
9 a 10 y 14 a 15	37.655	87.417	74.585	75.654
10 a 11 y 13 a 14	22.764	88.176	75.232	76.246
11 a 12 y 12 a 13	8.266	88.339	75.372	76.358

ABRIL	elabr	rabr · 100	$\tau\alpha_{2abr} \cdot 100$	$\tau\alpha_{eflabr} \cdot 100$
	i	i	i	i
	deg	deg	deg	deg
6 a 7 y 17 a 18	82.299	34.739	29.64	30.923
7 a 8 y 16 a 17	67.523	72.855	62.161	63.388
8 a 9 y 15 a 16	52.774	84.322	71.944	73.091
9 a 10 y 14 a 15	38.118	87.372	74.547	75.618
10 a 11 y 13 a 14	23.754	88.152	75.212	76.229
11 a 12 y 12 a 13	10.941	88.326	75.36	76.349

ANALISIS OPTICO  
TABLA DE RESULTADOS

CONSTANTES CONSIDERADAS:

No. de cubiertas:  $n = 1$       Absortancia (negro mate):  $\alpha_2 = 0.83$   
 Indice ref. aire:  $n_1 = 1$       Coeficiente de extinción:  $k = 0.161$   
 Indice ref. vidrio:  $n_2 = 1.526$       Espesor del vidrio:  $L = 0.23$

MAYO	ANGULO DE INCIDENCIA (grados)	TRANSMISION (reflexión y absorción)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA EFECTIVA (%)
	$\theta_{1may}$ i deg	$\tau_{may}$ · 100 i	$\tau\alpha_2_{may}$ · 100 i	$\tau\alpha_{ef1may}$ · 100 i
6 a 7 y 17 a 18	82.313	34.684	29.592	30.876
7 a 8 y 16 a 17	68.149	71.964	61.4	62.631
8 a 9 y 15 a 16	54.129	83.781	71.482	72.637
9 a 10 y 14 a 15	40.492	87.109	74.322	75.405
10 a 11 y 13 a 14	27.882	88.025	75.104	76.134
11 a 12 y 12 a 13	18.595	88.252	75.297	76.3

JUNIO	$\theta_{1jun}$ i deg	$\tau_{jun}$ · 100 i	$\tau\alpha_2_{jun}$ · 100 i	$\tau\alpha_{ef1jun}$ · 100 i
	6 a 7 y 17 a 18	82.384	34.4	29.351
7 a 8 y 16 a 17	68.634	71.24	60.782	62.015
8 a 9 y 15 a 16	55.099	83.351	71.116	72.276
9 a 10 y 14 a 15	42.111	86.894	74.138	75.229
10 a 11 y 13 a 14	30.476	87.914	75.009	76.049
11 a 12 y 12 a 13	22.489	88.182	75.237	76.251

JULIO	$\theta_{1jul}$ i deg	$\tau_{jul}$ · 100 i	$\tau\alpha_2_{jul}$ · 100 i	$\tau\alpha_{ef1jul}$ · 100 i
	6 a 7 y 17 a 18	82.346	34.552	29.48
7 a 8 y 16 a 17	68.396	71.599	61.089	62.32
8 a 9 y 15 a 16	54.627	83.565	71.298	72.455
9 a 10 y 14 a 15	41.329	87.002	74.23	75.317
10 a 11 y 13 a 14	29.24	87.97	75.057	76.092
11 a 12 y 12 a 13	20.682	88.218	75.268	76.276

AGOSTO	$\theta_{1ago}$ i deg	$\tau_{ago}$ · 100 i	$\tau\alpha_2_{ago}$ · 100 i	$\tau\alpha_{ef1ago}$ · 100 i
	6 a 7 y 17 a 18	82.281	34.811	29.701
7 a 8 y 16 a 17	67.716	72.585	61.93	63.159
8 a 9 y 15 a 16	53.219	84.151	71.798	72.948
9 a 10 y 14 a 15	38.92	87.29	74.476	75.551
10 a 11 y 13 a 14	25.206	88.113	75.179	76.2
11 a 12 y 12 a 13	13.975	88.304	75.342	76.336



ANALISIS OPTICO  
TABLA DE RESULTADOS

CONSTANTES CONSIDERADAS:

No. de cubiertas: n = 1      Absortancia (negro mate):  $\alpha_2 = 0.83$   
 Indice ref. aire: n1 = 1      Coeficiente de extinción: k = 0.161  
 Indice ref. vidrio: n2 = 1.526      Espesor del vidrio L = 0.23

SEPTIEMBRE	ANGULO DE INCIDENCIA (grados)	TRANSMISION (reflexión y absorción) (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA EFECTIVA (%)
	$\theta_{1sep}$ i deg	$\tau_{sep} \cdot 100$ i	$\tau\alpha_2_{sep} \cdot 100$ i	$\tau\alpha_{ef1sep} \cdot 100$ i
6 a 7 y 17 a 18	82.419	34.26	29.231	30.515
7 a 8 y 16 a 17	67.441	72.968	62.257	63.484
8 a 9 y 15 a 16	52.462	84.437	72.042	73.188
9 a 10 y 14 a 15	37.482	87.434	74.599	75.668
10 a 11 y 13 a 14	22.508	88.181	75.237	76.25
11 a 12 y 12 a 13	7.578	88.342	75.374	76.359

OCTUBRE	ANGULO DE INCIDENCIA (grados)	TRANSMISION (reflexión y absorción) (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA EFECTIVA (%)
	$\theta_{1oct}$ i deg	$\tau_{oct} \cdot 100$ i	$\tau\alpha_2_{oct} \cdot 100$ i	$\tau\alpha_{ef1oct} \cdot 100$ i
6 a 7 y 17 a 18	82.864	32.461	27.696	28.981
7 a 8 y 16 a 17	68.073	72.075	61.495	62.725
8 a 9 y 15 a 16	53.355	84.098	71.753	72.903
9 a 10 y 14 a 15	38.805	87.302	74.487	75.561
10 a 11 y 13 a 14	24.731	88.127	75.19	76.21
11 a 12 y 12 a 13	12.824	88.313	75.35	76.342

NOVIEMBRE	ANGULO DE INCIDENCIA (grados)	TRANSMISION (reflexión y absorción) (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA EFECTIVA (%)
	$\theta_{1nov}$ i deg	$\tau_{nov} \cdot 100$ i	$\tau\alpha_2_{nov} \cdot 100$ i	$\tau\alpha_{ef1nov} \cdot 100$ i
6 a 7 y 17 a 18	83.464	29.98	25.579	26.865
7 a 8 y 16 a 17	69.322	70.16	59.861	61.098
8 a 9 y 15 a 16	55.414	83.203	70.99	72.151
9 a 10 y 14 a 15	42.029	86.905	74.148	75.238
10 a 11 y 13 a 14	29.927	87.94	75.031	76.069
11 a 12 y 12 a 13	21.444	88.203	75.256	76.266

DICIEMBRE	ANGULO DE INCIDENCIA (grados)	TRANSMISION (reflexión y absorción) (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA EFECTIVA (%)
	$\theta_{1dic}$ i deg	$\tau_{dic} \cdot 100$ i	$\tau\alpha_2_{dic} \cdot 100$ i	$\tau\alpha_{ef1dic} \cdot 100$ i
6 a 7 y 17 a 18	83.817	28.491	24.309	25.595
7 a 8 y 16 a 17	70.134	68.804	58.704	59.944
8 a 9 y 15 a 16	56.775	82.515	70.402	71.572
9 a 10 y 14 a 15	44.124	86.577	73.868	74.969
10 a 11 y 13 a 14	33.072	87.772	74.888	75.937
11 a 12 y 12 a 13	25.818	88.095	75.163	76.187

## ANALISIS TERMICO DE UN COLECTOR SOLAR PLANO

Para el análisis térmico deberá realizarse un balance de energía:

$$HR (\tau\alpha_{ef}) A = Q_u + Q_L + Q_s$$

$Q_u$  = calor útil

$Q_L$  = pérdidas totales de calor

$Q_s$  = cantidad de calor almacenado ( despreciable,  $Q_s = 0$  ).

$HR$  = radiación solar global sobre el plano inclinado.

$(\tau\alpha_{ef})$  = producto transmitancia-absortancia efectivo.

$A$  = area de la cubierta.

REGIMEN DE FUNCIONAMIENTO: se considera estacionario.

SUPONEMOS: - El flujo de calor es unidimensional.

- El flujo entre cabezales y largueros es uniforme.

- La placa y las cubiertas de vidrio tienen temperaturas uniformes.

- Las pérdidas de calor hacia arriba y hacia abajo se dispersan en un medio de igual temperatura

DETERMINACION DEL COEFICIENTE GLOBAL DE PERDIDAS DE CALOR:

$$Q_L = U_L A (T_p - T_a)$$

donde:

$T_p$  = Temperatura de la placa.

$T_a$  = Temperatura ambiente.

$Q_L$  = Pérdidas totales de calor.

$U_L$  = Coeficiente Global de pérdidas de calor.

$U_L = U_T + U_B$  (suma de pérdidas de las caras superior e inferior).

$A$  = Area del colector (placa absorbente).

$T_a$ :=	$(^{\circ}C)$	
i		
11.6		ene
12.5		feb
15.2		mar
18.2		abr
19.7		may
19.3		jun
18.6		jul
17.9		ago
17.6		sep
15.4		oct
13.5		nov
11.7		dic

DETERMINACION DE COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

RADIACION:

Tc = Temperatura de la cubierta (K): Tc := 30.6 + 273.15

Tp = Temperatura de la placa (K): Tp := 65 + 273.15

εp = Emitancia de la placa (pintura comercial; 0.85 < εp < 0.90)  
(superficies selectivas; 0.10 < εp < 0.15) εp := 0.90

εv = Emitancia del vidrio. εv := 0.88

σ = Constante de Stefan Boltzmann; σ := 5.67 · 10<sup>-8</sup> W / m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>

hrpc = Coeficiente de radiación (de placa a cubierta).

DifT = Diferencia de temperatura entre placa y cubierta  
DifT := Tp - Tc

Ta = Temperatura ambiente ( K ): Ta :=

	i
11.6	ene
12.5	feb
15.2	mar
18.2	abr
19.7	may
19.3	jun
18.6	jul
17.9	ago
17.6	sep
15.4	oct
13.5	nov
11.7	dic

Ta := Ta<sub>i</sub> + 273.15

Determinando el coeficiente de radiación de placa a cubierta para una temperatura de cubierta Tc = 303.75 K y una temperatura de placa Tp = 338.15 K.

$$hrpc := \frac{\sigma \cdot (Tp + Tc) \cdot [Tp^2 + Tc^2]}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1}$$

hrpc = 6.028 W / m<sup>2</sup> K

CONVECCION:

Determinación empírica de coeficientes entre dos placas paralelas:

RELACION DE DROPKIN:

Nu = número de Nusselt (adimensional).

h = coeficiente de convección ( W / m<sup>2</sup> K ).

L = separación entre placas: L := 0.025 m

k = conductividad térmica del aire ( W / m K ).

g = aceleración de la gravedad: g := 9.81 m/s<sup>2</sup>

Gr = número de Grashof ( 10<sup>4</sup> < Gr < 10<sup>7</sup> )

Tprom = temperatura promedio entre ambas placas ( K ):

$$T_{prom} := \frac{T_p + T_c}{2} \quad T_{prom} = 320.95 \quad K$$

DifT = diferencia de temperatura entre placas.  
DifT = 34.4

v = viscosidad cinemática del aire ( m/s ).

v =  $\mu / \rho$  (viscosidad absoluta / densidad)

v := 18.52 · 10<sup>-6</sup>

s = ángulo de inclinación del colector: s := 20

B = coeficiente de expansión volumétrica del  
aire ( 1 / Tprom ) (inverso de la temperatura  
promedio entre ambas placas) ( K<sup>-1</sup> ).

$$B := \frac{1}{T_{prom}} \quad K^{-1}$$

calculando el número de Grashof:

$$Gr := \frac{g \cdot \beta \cdot \text{DiffT} \cdot L^3}{\nu^2} \quad Gr = 4.79 \cdot 10^4 \quad 10^4 < Gr < 10^7$$

calculando el número de Nusselt:

$$Nu := \left[ 0.06 - 0.017 \cdot \left[ \frac{s}{90} \right] \right] \cdot Gr^{\frac{1}{3}} \quad Nu = 2.042$$

calculando la conductividad térmica del aire (según Hollands):

$$k := 0.002528 \cdot \frac{T_{\text{prom}}^{1.5}}{T_{\text{prom}} + 200} \quad k = 0.028 \quad W / m K$$

aplicando la relación de Dropkin:

$$h1 := \frac{Nu \cdot k}{L} \quad h1 = 2.279 \quad W / m^2 K$$

METODO DE HOLLANDS

Número de NUSSELT: 
$$Nu = \frac{h L}{k} = \frac{\text{transf. de calor turbulenta y molec.}}{\text{transf. molecular}}$$

Nu = 1 cuando la transferencia de calor es puramente conductiva, es decir, molecular.

Número de Raleigh:  $Ra = Gr Pr$       donde: Ra = Número de Raleigh  
 Gr = Número de Grashof  
 Pr = Número de Prandtl

Número de Prandtl :  $Pr = \frac{Cp m}{k}$       donde: Cp = Capacidad Calorífica (J / Kg oC).  
 \*m = viscosidad absoluta (Kg/ m s).  
 k = conductividad térmica ( W / m oC ).

CONDICIONES PARA LA APLICACION DE LA RELACION DE HOLLANDS:

- La inclinación del colector debe ser menor de 70 grados.
- El fluido entre placas debe ser aire.
- En placas horizontales:

$$F1 = \frac{L'}{L} > 10 \quad F2 = \frac{W}{L} > = 20$$

- En placas inclinadas:

$$F1 > 20 \quad F2 > = 20$$

siendo: L' = largo de la placa  
 L = separación entre placas  
 W = ancho del colector

DATOS:

L = 0.025 m      L' := 1.75 m      W := 0.92 m      s = 20 gra

Tprom = 320.95 K      ρ := 1 atm      Dift = 34.4

$$\alpha := \frac{100}{T_{prom}} \quad K^{-1}$$

COMPROBANDO QUE EL METODO SEA APLICABLE (placa inclinada):

$$F1 := \frac{L'}{L} \quad F1 = 70 > 20 \quad F2 := \frac{W}{L} \quad F2 = 36.8 > 20$$

EL NUMERO DE RALEIGH PARA EL AIRE DENTRO DE LOS RANGOS  
 0.01 atm < ρ < 1 atm / - 23 °C <= T <= 227 °C  
 ES SEGUN HOLLANDS:

$$Ra := 2737 \cdot (1 + 2 \cdot \alpha)^2 \cdot \alpha^4 \cdot \text{DifT} \cdot (100 \cdot L)^3 \cdot \rho^2$$

$$Ra = 3.653 \cdot 10^4 \quad \text{adimensional}$$

NUMERO DE NUSSELT SEGUN HOLLANDS:

$$Nu := 1 + 1.44 \cdot \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos(s)} \right] \cdot \left[ 1 - \left[ 1708 \cdot \frac{\sin(1.8 \cdot s)^{1.6}}{Ra \cdot \cos(s)} \right] \right] \dots$$

$$+ \left[ \frac{1}{3} \left[ \frac{Ra \cdot \cos(s)}{5830} \right] - 1 \right]$$

$$Nu = 3.145 \quad \text{adimensional}$$

si el término  $\left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos(s)} \right] = 0.95$  es negativo, su valor será 0.

si el término  $\frac{1}{3} \left[ \frac{Ra \cdot \cos(s)}{5830} \right] - 1 = 0.806$  es negativo, su valor será 0.

CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL AIRE SEGUN HOLLANDS:

$$k := \frac{0.002528 \cdot T_{prom}^{\frac{3}{2}}}{T_{prom} + 200} \quad k = 0.028 \quad W / m K$$

Finalmente el coeficiente de convección según Hollands entre placas sería:

$$h_2 := Nu \cdot \frac{k}{L} \quad h_2 = 3.51 \quad W / m^2 K$$

COMPARACION DE COEFICIENTES DE CONVECCION ENTRE PLACAS:

$$h_1 = 2.279 \quad W / m^2 K \quad ( DROPKIN )$$

$$h_2 = 3.51 \quad W / m^2 K \quad ( HOLLANDS )$$

En el presente trabajo se adoptará el determinado según Hollands.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE CONVECCION AIRE - CUBIERTA:

DATOS:

velocidad del viento:  $v := 3 \quad m / s$

$$h_w := 5.7 + 3.8 \cdot v \quad h_w = 17.1 \quad W / m^2 K$$



DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE RADIACION CUBIERTA - AIRE:

$$hrcamb_i := \epsilon v \cdot \sigma \cdot \left[ T_c^2 + T_{a_i}^2 \right] \cdot \left[ T_c + T_{a_i} \right]$$

COEFICIENTE DE RADIACION CUBIERTA - AIRE, PROMEDIO ANUAL:

$$\sum_i \frac{hrcamb_i}{12} = 5.202 \quad W / m^2 K$$

$$hrcamb := \sum_i \frac{hrcamb_i}{12}$$

hrcamb i
5.09
5.113
5.182
5.26
5.299
5.289
5.271
5.252
5.244
5.187
5.139
5.093

COEFICIENTES QUE APLICAREMOS EN EL ANALISIS TERMICO ( W / m2 K ):

Coefficiente de radiación de placa a cubierta: hrpc = 6.028

Coefficiente de convección entre placas: h2 = 3.51

Coefficiente de convección aire - cubierta: hw = 17.1

Coefficiente de radiación cubierta - aire: hrcamb = 5.202

PERDIDAS POR LA CARA INFERIOR DEL COLECTOR ( UB ):

Area del colector  
(placa absorbente):

$$A := 1.60 \text{ m}^2$$

Temperatura de la placa:  $T_p := 65 + 273.15 \text{ K}$

Espesor del aislante:  $L'' := 0.05 \text{ m}$

Coefficiente de conducti-  
vidad térmica del aislante  $k := 0.045 \text{ W / m K}$

$$UB := \frac{k}{L''} \quad UB = 0.9 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

( °C )
Tc :=
i
27
28
30
32
33
33
32
32
31
30
28
27

ene  
feb  
mar  
abr  
may  
jun  
jul  
ago  
sep  
oct  
nov  
dic

Temperatura ambiente ( K ):  $Ta := Ta_i + 273.15 \text{ K}$

Temperatura de cubierta  
(supuesta) (oC):  $Tc := Tc_i + 273.15 \text{ K}$

PERDIDAS POR LA CARA SUPERIOR DEL COLECTOR ( UT ):

Para un colector con una sola cubierta ( n = 1 ):

Coef. de convección placa-cubierta:  $hpc := 3.51 \text{ W / m}^2 \text{ K}$

Coef. de radiación placa-cubierta:  $hrpc := 6.028 \text{ W / m}^2 \text{ K}$

Coef. de convección cubierta-ambiente:  $hw := 17.1 \text{ W / m}^2 \text{ K}$

Coef. de radiación cubierta-ambiente:  $hrcamb := 5.202 \text{ W / m}^2 \text{ K}$

$$UT := \left[ \frac{1}{hpc + hrpc} + \frac{1}{hw + hrcamb} \right]^{-1} \quad UT = 6.681 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

COEFICIENTE GLOBAL DE PERDIDAS DE CALOR:

$$UL := UT + UB$$

$$UL = 7.581 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

**DETERMINACION DE LA TEMPERATURA DE LA CUBIERTA:**

Es necesario verificar que la temperatura de la cubierta (Tc) inicialmente supuesta para el cálculo de coeficientes haya resultado correcta. Es aceptable una diferencia de un 10%. Si fuese mayor dicha diferencia se deberá repetir la iteración.

$$UT ( T_p - T_a ) = ( h_{pc} + h_{rpc} ) ( T_p - T_c )$$

de donde:

$$T_{c_i} := T_p - \frac{UT \cdot [T_p - T_{a_i}]}{h_{pc} + h_{rpc}}$$

SUPUESTA  
273.15

RESULTADO

Tc i	1
27	
28	
30	
32	
33	
33	
32	
32	
31	
30	
28	
27	

Tc i	- 273.15
ene	27.597
feb	28.227
mar	30.118
abr	32.219
may	33.27
jun	32.99
jul	32.5
ago	32.009
sep	31.799
oct	30.258
nov	28.927
dic	27.667

TEMPERATURA DE CUBIERTA, PROMEDIO ANUAL:

$$\sum_i \frac{T_c}{12} - 273.15 = 30.632 \text{ } ^\circ\text{C}$$

similar a la supuesta para el cálculo de coeficientes.

PERDIDAS TOTALES DE CALOR: ~

$$QL_i := UL \cdot A_i \cdot [T_p - T_{a_i}]$$

	( W )
	QL <sub>i</sub>
ene	647.703
feb	636.787
mar	604.038
abr	567.65
may	549.456
jun	554.308
jul	562.798
ago	571.289
sep	574.927
oct	601.612
nov	624.657
dic	646.49

METODO PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE PERDIDAS POR LA PARTE SUPERIOR (UT) (METODO ALTERNO)  
K L E I N

LIMITACIONES:

se requiere hacer ajuste si el ángulo de inclinación es diferente de: 45°

temperatura de placa: 40 °C < Tp < 130 °C

DATOS:

precisión: - 0.2 W / m2 K

Temperatura ambiente

( °C)

Ta :=

ene	11.6
feb	12.5
mar	15.2
abr	18.2
may	19.7
jun	19.3
jul	18.6
ago	17.9
sep	17.6
oct	15.4
nov	13.5
dic	11.7

número de cubiertas: n := 1

velocidad del viento: v := 3 m/ s

coeficiente de convección del viento:  
hw := 5.7 + 3.8 · v (W / m2 K)

$$f := \left[ 1.0 - 0.04 \cdot hw + 5.0 \cdot 10^{-4} \cdot hw^2 \right] \cdot \left[ 1.0 \dots \right] + 0.058 \cdot n$$

temperatura de placa (K): Tp := 65 + 273.15

Temperatura ambiente (K): Ta := Ta + 273.15

emisividad de la placa:  $\epsilon_p := 0.90$

emisividad del vidrio:  $\epsilon_v := 0.88$

constante de Stefan Boltzmann:  $\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8}$

inclinación del colector: s := 20°

$$UT_i := \frac{\left[ \frac{n}{344} \cdot \left[ \frac{Tp - Ta_i}{n + f} \right] + \frac{1}{hw} \right]^{-1} \cdot \left[ \frac{2}{Tp + Ta_i} \right] \cdot \left[ \frac{2}{Tp + Ta_i} \right]}{(\epsilon_p + 0.0425 \cdot n \cdot (1 - \epsilon_p))^{-1} + \frac{2 \cdot n + f - 1}{\epsilon_v}} - n$$

W / m2 K

UT	i
ene	6.453
feb	6.457
mar	6.469
abr	6.48
may	6.485
jun	6.484
jul	6.481
ago	6.479
sep	6.478
oct	6.469
nov	6.461
dic	6.454

Cuando el ángulo de inclinación es diferente de 45 grados es necesario hacer la corrección siguiente:

$$UTs_i := UT_i \cdot (1 - (s - 45) \cdot (0.00259 - 0.00144 \cdot \epsilon_p))$$

W / m2 K  
UTs  
i

ene	6.662
feb	6.666
mar	6.678
abr	6.69
may	6.695
jun	6.694
jul	6.691
ago	6.688
sep	6.687
oct	6.679
nov	6.67
dic	6.662

PERDIDAS POR LA CARA INFERIOR DEL COLECTOR:

Datos adicionales:

espesor del aislante (m):  $L'' := 0.05$

coeficiente de conductividad térmica del aislante ( W / m K ):  $k := 0.045$

$$UB := \frac{k}{L''}$$

UB = 0.9 W / m2 K

COEFICIENTE GLOBAL DE PERDIDAS DE CALOR:

$$UL_i := UTs_i + UB$$

W / m2 K  
UL  
i

ene	7.562
feb	7.566
mar	7.578
abr	7.59
may	7.595
jun	7.594
jul	7.591
ago	7.588
sep	7.587
oct	7.579
nov	7.57
dic	7.562

COEFICIENTE GLOBAL  
(PROMEDIO ANUAL):

$$\sum_i \frac{UL_i}{12} = 7.58 \quad W / m2 K$$

# FACTORES DE DISEÑO

Habiamos determinado que:

$$HR * (\tau_{\text{aef}}) * A = Qu + QL$$

También que:

$$QL = UL * A (Tp - Ta) \quad ( I )$$

Si llamamos "S" al producto  $HR * (\tau_{\text{aef}})$ :

$$Qu = S * A - QL \quad ( II )$$

De I y II obtenemos la ecuación de calor útil:

$$Qu = A ( S - UL * ( Tp - Ta ) ) \quad ( III )$$

FACTOR DE EFICIENCIA ( F' ) DE UN COLECTOR DE TUBO (cobre de 3/8" tipo "m") Y ALETA:

UL = Coeficiente global de pérdidas de calor:  $UL := 7.568 \frac{W}{m^2 K}$

D = Diámetro exterior de tubos:  $D := 1.27 \text{ cm}$

Di = Diámetro interior de tubos  $Di := 1.14 \text{ cm}$

W = Distancia @ de tubos  $W := 15 \text{ cm}$

m = Flujo másico  $m := 0.02 \text{ Kg / s}$

k = Coeficiente de conductividad térmica del cobre:  $k := 380 \frac{W}{m K}$

$\delta$  = Espesor de placa  $\delta := 0.05 \text{ cm}$

kb = Coeficiente de conductividad térmica de la unión soldada (estaño):  $kb := 63 \frac{W}{m K}$

b = Longitud de la unión soldada:  $b := 1.00 \text{ m}$

$\Gamma$  = Espesor de la unión soldada:  $\Gamma := 0.003 \text{ m}$

Cb = Conductancia de la unión soldada:  $Cb := \frac{kb \cdot b}{\Gamma}$

si  $Cb = 21000 > 33 \text{ W / m K}$ : se considera una unión de buena conductancia.

o si  $\frac{1}{Cb} = 0 < 0.03 \text{ W / m K}$ : se considera aceptable la resistencia térmica.

hfi= Coeficiente de transferencia de calor por conducción entre el fluido y la pared del fluido.

Valores de hfi: CONVECCION NATURAL: hfi = 300 W / m2 K  
 CONVECCION FORZADA: hfi = 1500 W / m2 K

En este caso: hfi := 300 W / m2 K

$$mm := \sqrt{\frac{UL}{k \cdot \delta}}$$

$$mm = 0.631$$

FACTOR DE ALETA:

$$F := \frac{(\tanh(mm) \cdot (W - D)) \cdot 0.5}{mm \cdot (W - D) \cdot 0.5} \quad F = 0.885$$

FACTOR DE EFICIENCIA:

$$F' := \frac{1}{UL} \cdot W \cdot \left[ \frac{1}{UL \cdot (D + (W - D) \cdot F)} + \frac{1}{Cb} + \frac{1}{\pi \cdot Di \cdot hfi} \right] \quad F' = 0.814$$

L' = Largo del colector: L' := 1.83 m

W' = Ancho del colector: W' := 0.92 m

A = Area del colector: A := L' · W' A = 1.684 m2

FACTOR DE REMOCION DE CALOR (FR):

G = Flujo másico por unidad de superficie del colector:

$$G := \frac{m}{A} \quad \text{Kg / s m2}$$

Cp= Calor específico del agua:

$$Cp := 4187 \quad \text{J / Kg K}$$

$$FR := \left[ \frac{-UL \cdot \frac{F'}{G \cdot Cp}}{G \cdot Cp \cdot \frac{1 - e}{UL}} \right]$$

$$FR = 0.766$$



CALCULO DEL CALOR UTIL EN BASE A LA TEMPERATURA DE ENTRADA.  
 CALCULO DE LA EFICIENCIA.

DATOS:            Coeficiente Global de Pérdidas de Calor:             $UL := 7.581 \text{ W / m}^2 \text{ K}$   
                   Area del colector:                                     $A := 1.684 \text{ m}^2$   
                   Factor de Remoción de Calor:                                 $FR := 0.766$

( °C)  
 TEMPERATURA  
 AMBIENTE

$Ta :=$

	$Ta_i$
ene	11.6
feb	12.5
mar	15.2
abr	18.2
may	19.7
jun	19.3
jul	18.6
ago	17.9
sep	17.6
oct	15.4
nov	13.5
dic	11.7

$Ta := Ta_i + 273.15$

( °C)  
 TEMPERATURA  
 DE ENTRADA

$Te := Ta_i + 5$

	$Te_i$
ene	16.6
feb	17.5
mar	20.2
abr	23.2
may	24.7
jun	24.3
jul	23.6
ago	22.9
sep	22.6
oct	20.4
nov	18.5
dic	16.7

$Te := Te_i + 273.15$

DETERMINANDO "S":

	ENERO (W/ m2) Sene	FEBRERO (W/ m2) Sfeb	MARZO (W/ m2) Smar	ABRIL (W/ m2) Sabr
	j	j	j	j
6 a 7 y 17 a 18	-7	6.761	20.583	33.818
7 a 8 y 16 a 17	7.278.10	134.076	157.898	183.508
8 a 9 y 15 a 16	102.178	308.975	333.214	347.834
9 a 10 y 14 a 15	279.611	474.601	491.419	496.02
10 a 11 y 13 a 14	448.514	601.98	608.965	602.827
11 a 12 y 12 a 13	582.244	671.44	672.532	662.538
	656.802			

C A L O R U T I L

$$QUene_j := FR \cdot A \cdot \left[ Sene_j - UL \cdot \left[ Te_1 - Ta_1 \right] \right]$$

	ENERO (W) QUene	FEBRERO (W) QUfeb	MARZO (W) QUmar	ABRIL (W) QUabr
	j	j	j	j
6 a 7 y 17 a 18	-48.895	-40.175	-22.344	-5.272
7 a 8 y 16 a 17	82.908	124.055	154.785	187.819
8 a 9 y 15 a 16	311.787	349.665	380.932	399.791
9 a 10 y 14 a 15	529.662	563.314	585.008	590.943
10 a 11 y 13 a 14	702.167	727.625	736.635	728.717
11 a 12 y 12 a 13	798.342	817.225	818.634	805.742

E F I C I E N C I A

$$\eta_{ene_j} := \frac{QUene_j}{A \cdot HRene_j} \cdot 3.6$$

	(%) ENERO "ene · 100	(%) FEBRERO "feb · 100	(%) MARZO "mar · 100	(%) ABRIL "abr · 100
	j	j	j	j
6 a 7 y 17 a 18	9	-99.865	-19.339	-2.86
7 a 8 y 16 a 17	-1.045.10	34.175	36.848	38.533
8 a 9 y 15 a 16	29.151	48.856	49.625	49.893
9 a 10 y 14 a 15	47.609	53.214	53.514	53.484
10 a 11 y 13 a 14	52.665	54.694	54.736	54.699
11 a 12 y 12 a 13	54.426	55.146	55.224	55.102
	55.001			

DETERMINANDO "S":

	MAYO (W/ m2) S <sub>may</sub> j	JUNIO (W/ m2) S <sub>jun</sub> j	JULIO (W/ m2) S <sub>jul</sub> j	AGOSTO (W/ m2) S <sub>ago</sub> j
6 a 7 y 17 a 18	44.805	41.48	39.612	33.497
7 a 8 y 16 a 17	198.059	171.533	167.345	165.373
8 a 9 y 15 a 16	358.765	306.07	304.097	310.838
9 a 10 y 14 a 15	496.802	424.462	421.262	434.28
10 a 11 y 13 a 14	601.613	506.244	506.488	528.743
11 a 12 y 12 a 13	658.511	551.267	550.632	577.125

C A L O R U T I L

$$Q_{U_{may} j} := FR \cdot A \cdot [S_{may} j - UL \cdot [T_e - T_a]_5]$$

	MAYO (W) Q <sub>U</sub> may j	JUNIO (W) Q <sub>U</sub> jun j	JULIO (W) Q <sub>U</sub> jul j	AGOSTO (W) Q <sub>U</sub> ago j
6 a 7 y 17 a 18	8.901	4.612	2.202	-5.686
7 a 8 y 16 a 17	206.59	172.373	166.97	164.427
8 a 9 y 15 a 16	413.891	345.918	343.373	352.068
9 a 10 y 14 a 15	591.952	498.637	494.509	511.302
10 a 11 y 13 a 14	727.151	604.132	604.446	633.154
11 a 12 y 12 a 13	800.547	662.209	661.389	695.563

E F I C I E N C I A

$$\eta_{may} j := \frac{Q_{U_{may} j}}{A \cdot HR_{may} j} \cdot 3.6$$

	(%) MAYO η <sub>may</sub> · 100 j	(%) JUNIO η <sub>jun</sub> · 100 j	(%) JULIO η <sub>jul</sub> · 100 j	(%) AGOSTO η <sub>ago</sub> · 100 j
6 a 7 y 17 a 18	3.645	2.02	1.017	-3.125
7 a 8 y 16 a 17	38.775	36.997	36.912	37.315
8 a 9 y 15 a 16	49.736	48.523	48.613	49.032
9 a 10 y 14 a 15	53.35	52.459	52.49	52.855
10 a 11 y 13 a 14	54.62	53.857	53.93	54.185
11 a 12 y 12 a 13	55.082	54.427	54.422	54.607

DETERMINANDO "S":

		SEPTIEMBRE (W/ m2) Ssep	OCTUBRE (W/ m2) Soct	NOVIEMBRE (W/ m2) Snov	DICIEMBRE (W/ m2) Sdic
		j	j	j	j
6 a 7	y 17 a 18	25.094	11.512	0	0
7 a 8	y 16 a 17	156.76	132.082	114.563	87.412
8 a 9	y 15 a 16	314.31	298.485	291.807	244.73
9 a 10	y 14 a 15	458.434	451.261	467.324	403.38
10 a 11	y 13 a 14	565.097	563.531	601.798	523.353
11 a 12	y 12 a 13	619.789	629.593	674.99	590.049

C A L O R U T I L

$$Q_{Usep_j} := FR \cdot A \cdot [S_{sep_j} - UL \cdot [T_{e_9} - T_{a_9}]]$$

		SEPTIEMBRE (W) QUsep	OCTUBRE (W) QUoct	NOVIEMBRE (W) QUnov	DICIEMBRE (W) QUdic
		j	j	j	j
6 a 7	y 17 a 18	-16.525	-34.046	-48.895	-48.895
7 a 8	y 16 a 17	153.317	121.482	98.884	63.862
8 a 9	y 15 a 16	356.547	336.134	327.519	266.792
9 a 10	y 14 a 15	542.459	533.206	553.926	471.443
10 a 11	y 13 a 14	680.048	678.028	727.391	626.201
11 a 12	y 12 a 13	750.597	763.244	821.803	712.235

E F I C I E N C I A

$$\eta_{sep_j} := \frac{Q_{Usep_j}}{A \cdot HR_{sep_j}} \cdot 3.6$$

		(%) SEPTIEMBRE "sep · 100	(%) OCTUBRE "oct · 100	(%) NOVIEMBRE "nov · 100	(%) DICIEMBRE "dic · 100
		j	j	j	j
6 a 7	y 17 a 18	-11.935	-50.897	-1.045·10 <sup>8</sup>	-1.045·10 <sup>8</sup>
7 a 8	y 16 a 17	36.868	34.261	31.317	26.004
8 a 9	y 15 a 16	49.302	48.75	48.088	46.331
9 a 10	y 14 a 15	53.171	53.017	52.959	52.031
10 a 11	y 13 a 14	54.49	54.45	54.599	53.957
11 a 12	y 12 a 13	54.915	54.956	55.142	54.612

T A B L A D E R E S U L T A D O S

MES	kJ/m2 dia		grados		KJ/m2 hr		W /m2		W		%	
	H	OT	r	ra	raef	HR	S	F	F'	FR	QU	n
ENERO 16200												
07-08		69.7	69.5	59.3	0.605	608	102	0.885	0.814	0.766	83	29.2
08-09		56.1	82.9	70.7	0.719	1400	280				312	47.6
09-10		43.1	86.7	74.0	0.751	2150	449				530	52.7
10-11		31.5	87.9	75.0	0.760	2758	582				702	54.4
11-12		23.7	88.2	75.2	0.762	3103	657				798	55.0
FEBRE. 18600												
07-08		68.5	71.5	61.0	0.622	776	134	0.885	0.814	0.766	124	34.2
08-09		54.0	83.8	71.5	0.727	1530	309				350	48.9
09-10		39.8	87.2	74.4	0.755	2263	475				563	53.2
10-11		26.4	88.1	75.1	0.762	2844	602				728	54.7
11-12		15.9	88.3	75.3	0.763	3168	671				817	55.1
MARZO 21100												
07-08		67.6	72.8	62.1	0.633	899	158	0.885	0.814	0.766	155	36.8
08-09		52.6	84.4	72.0	0.731	1641	333				381	49.6
09-10		37.7	87.4	74.6	0.757	2337	491				585	53.5
10-11		22.8	88.2	75.2	0.762	2877	609				737	54.7
11-12		8.3	88.3	75.4	0.764	3169	673				819	55.2
ABRIL 23600												
07-08		67.5	72.9	62.2	0.634	1042	184	0.885	0.814	0.766	188	38.5
08-09		52.8	84.3	71.9	0.731	1713	348				400	49.9
09-10		38.1	87.4	74.5	0.756	2362	496				591	53.5
10-11		23.8	88.2	75.2	0.762	2848	603				729	54.7
11-12		11.0	88.3	75.4	0.763	3126	663				806	55.1
MAYO 25800												
07-08		68.1	72.0	61.4	0.626	1139	198	0.885	0.814	0.766	198	38.8
08-09		54.1	83.8	71.5	0.726	1779	359				359	49.7
09-10		40.5	87.1	74.3	0.754	2372	497				497	53.4
10-11		27.9	88.0	75.1	0.761	2846	602				602	54.6
11-12		18.6	88.3	75.3	0.763	3107	659				659	55.1
JUNIO 22600												
07-08		68.6	71.2	60.8	0.620	996	172	0.885	0.814	0.766	172	37.0
08-09		55.1	83.4	71.1	0.723	1524	306				306	48.5
09-10		42.1	86.9	74.1	0.752	2032	424				424	52.5
10-11		30.5	87.9	75.0	0.760	2398	506				506	53.9
11-12		22.5	88.2	75.2	0.763	2601	551				551	54.4

JULIO 22100

07-08	68.4	71.6	61.1	0.623	967	167	0.885	0.814	0.766	167	36.9
08-09	54.6	83.6	71.3	0.725	1510	304				304	48.6
09-10	41.3	87.0	74.2	0.753	2014	421				421	52.5
10-11	29.2	88.0	75.1	0.761	2396	506				506	53.9
11-12	20.7	88.2	75.3	0.763	2598	551				551	54.4

AGOSTO 21400

07-08	67.7	72.6	61.9	0.632	942	165	0.885	0.814	0.766	165	37.3
08-09	53.2	84.2	71.8	0.729	1535	311				311	49.0
09-10	38.9	87.3	74.5	0.756	2068	434				434	52.9
10-11	25.2	88.1	75.2	0.762	2498	529				529	54.2
11-12	14.0	88.3	75.3	0.763	2723	577				577	54.6

SEPT. 20600

07-08	67.4	73.0	62.3	0.635	889	157	0.885	0.814	0.766	153	36.9
08-09	52.5	84.4	72.0	0.732	1546	314				357	49.3
09-10	37.5	87.4	74.6	0.757	2181	458				542	53.2
10-11	22.5	88.2	75.2	0.763	2668	565				680	54.5
11-12	7.6	88.3	75.4	0.764	2922	620				751	54.9

OCT. 18300

07-08	68.1	72.1	61.5	0.627	758	132	0.885	0.814	0.766	121	34.3
08-09	53.4	84.1	71.8	0.729	1474	298				336	48.8
09-10	38.8	87.3	74.5	0.756	2150	451				533	53.0
10-11	24.7	88.1	75.2	0.762	2662	564				678	54.5
11-12	12.8	88.3	75.4	0.763	2969	630				763	55.0

NOV. 17200

07-08	69.3	70.2	59.9	0.611	675	114	0.885	0.814	0.766	99	31.3
08-09	55.4	83.2	71.0	0.722	1456	291				328	48.1
09-10	42.0	86.9	74.1	0.752	2236	467				554	53.0
10-11	29.9	87.9	75.0	0.761	2848	602				727	54.6
11-12	21.4	88.2	75.3	0.763	3186	675				822	55.1

DIC. 14300

07-08	70.1	68.8	58.7	0.599	525	87	0.885	0.814	0.766	64	26.0
08-09	56.8	82.5	70.4	0.716	1231	245				267	46.3
09-10	44.1	86.6	73.9	0.750	1937	403				471	52.0
10-11	33.1	87.8	74.9	0.759	2481	523				626	54.0
11-12	25.8	88.1	75.2	0.762	2788	590				712	54.6

DEMANDA DE AGUA CALIENTE:

Número de habitantes:

habitantes := 12

Consumo por habitante (l):

consumo := 65

Demanda total diaria (l):

habitantes · consumo = 780

Número de colectores requerido:

$$\left[ \frac{\text{habitantes} \cdot \text{consumo}}{m} \right] = 7.058$$

CALCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE:

Radiación incidente el día de diseño:

HR := 18106 KJ /m<sup>2</sup>

Eficiencia del colector (promedio):

n := 0.505

Area del colector:

A = 1.684 m<sup>2</sup>

Temperatura del fluido a la entrada:

Tf<sub>12</sub> = 16.7 °C

Temperatura de entrega:

Te = 50 °C

Densidad media del fluido:

ρ := 1.0 Kg /l

Pérdidas caloríficas a través del tanque:

p := 3.0 W

Carga térmica a satisfacer durante el período de captación:

$$QD := \text{consumo} \cdot \text{habitantes} \cdot Cp \cdot \left[ Te - Tf_{12} \right]$$

QD = 108747.943 KJ

$$V := \frac{HR \cdot n \cdot A \cdot (1 - p) - QD}{\left[ Tf_{12} - Te \right] \cdot Cp \cdot \rho}$$

V = 1000.882 l

EQUIPO RECOMENDADO Y ANTEPRESUPUESTO

Calor útil por  
cada colector:  
(KJ / día)

Radiación incidente  
Global, mensual P. I.  
(KJ / m2 día)

Eficiencia  
promedio diario  
del equipo (%):

	QU := i
ene	17460
feb	18590
mar	19277
abr	19541
may	16668
jun	14106
jul	14035
ago	14516
sep	17878
oct	17510
nov	18218
dic	15408

	HR := i
	20283
	21548
	22474
	23155
	23719
	20320
	20138
	20471
	21174
	20474
	21098
	18106

	n i
	51.118
	51.231
	50.935
	50.114
	41.73
	41.223
	41.386
	42.108
	50.139
	50.786
	51.276
	50.534

Si consideramos el calor útil correspondiente al mes de diciembre (mes crítico) nuestro diseño podrá funcionar en las condiciones más desfavorables.

Consideremos también una temperatura de operación de 50 °C.

De la ecuación:  $Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$   
Obtenemos que:  $m = Q / Cp \cdot \Delta T$

Temperatura del agua promedio para el mes de diciembre (°C):

$$T_f = 16.7$$

Temperatura de entrega (°C):

$$T_e := 50.0$$

El calor específico del agua (KJ /Kg °C):

$$C_p := 4.1868$$

Por lo que la cantidad de agua a una temperatura de 50 °C que se obtendrá por cada colector de A = 1.684 m2 durante el mes de diciembre es de:

$$m := \frac{QU_{12}}{C_p \cdot [T_e - T_f]_{12}} \quad m = 110.515 \quad \text{Kg /colector}$$



De acuerdo con los calculos anteriores se requieren 8 colectores de 1.684 m2 de superficie de captación cada uno y un termotanque de 1000 l de capacidad. Por requerimientos de ubicación (existen 2 núcleos de baños) se propone instalar 2 equipos con 4 colectores y 1 termotanque de 500 l cada uno.

Los colectores deberán instalarse con orientación Sur Verdadero y con inclinación de 20 grados. Deberá verificarse que no se encuentren en los alrededores objetos que produzcan sombras, así como árboles con crecimiento futuro.

De acuerdo con las condiciones climáticas del lugar (se presentan temperaturas mínimas extremas menores de 0 °C) es indispensable instalar válvulas de protección anticongelante.

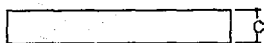
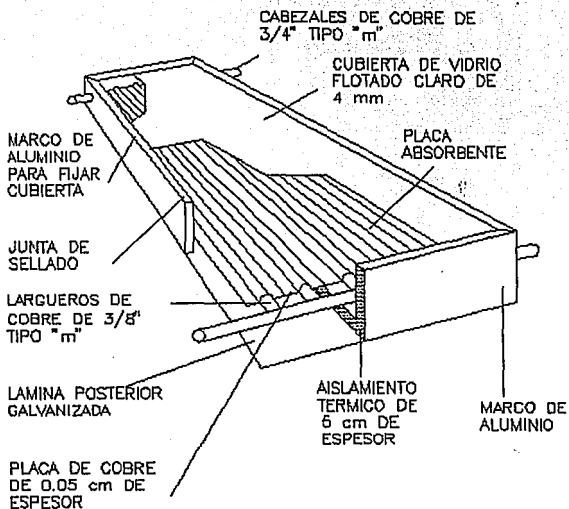
Todas las tuberías de la red de agua caliente deberán aislarse con "Therma-cel" de 3/8" de espesor o similar.

El equipo de apoyo requerido para cuando se presenten días nublados consistirá en 1 calentador de tanque de encendido automático, de 40 galones de capacidad para cada equipo.

#### ANTEPRESUPUESTO

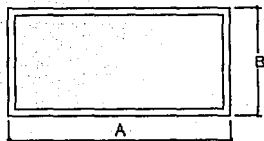
CONCEPTO	U	CANTIDAD	P. U.	IMPORTE
Colectores de 1.6 m2 con cubierta de vidrio y superficie negro mate.	pza	8.00	697.43	5579.44
Termotanques de 500 l de capacidad.	pza	2.00	1745.90	3491.80
válvulas anticongelantes.	pza	2.00	150.00	300.00
			TOTAL EQUIPO:	9371.24
Instalación.	%	30.00	9371.24	2811.37
			TOTAL INSTALACION:	2811.37
			SUBTOTAL:	12182.61
			I.V.A.:	1218.26
			TOTAL NUEVOS PESOS:	13400.87

# ESPECIFICACIONES DEL COLECTOR SOLAR PLANO PROPUESTO



AREA DE CAPTACION (m<sup>2</sup>): 1.60

DIMENSIONES (cm):



A: 183.00  
 B: 92.00  
 C: 8.00

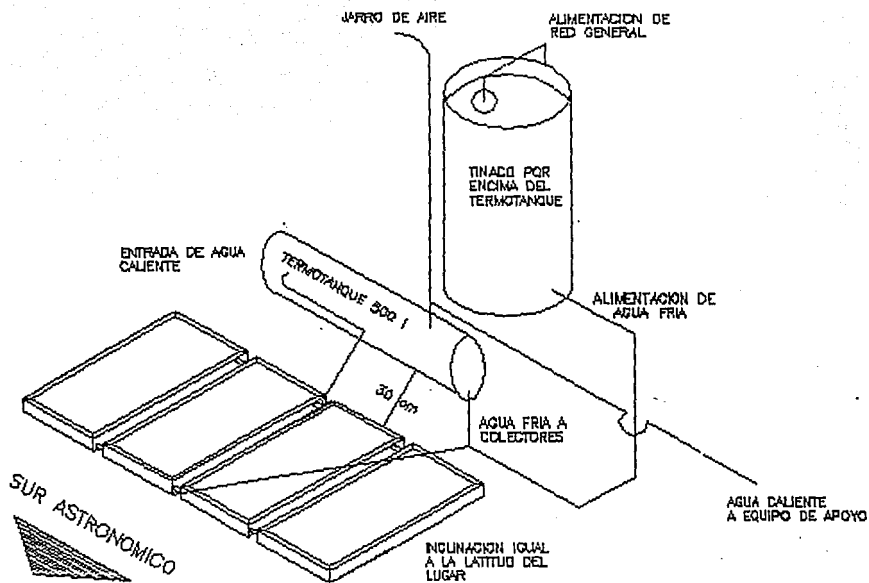


DIAGRAMA DE INSTALACION DEL SISTEMA PARA CALENTAMIENTO DE AGUA PROPUESTO

**OTRAS FORMAS DE UTILIZACION DE LA  
ENERGIA SOLAR**

## OTRAS FORMAS DE UTILIZACION DE LA ENERGIA SOLAR

En el presente trabajo se analizó en detalle el sistema para calentamiento de agua con energía solar, sin embargo es importante señalar que existen otras aplicaciones posibles en proyectos de esta naturaleza. A continuación se ennumeran algunas de ellas:

1. Sistemas fotovoltaicos para iluminación de seguridad de lugares aislados y retirados de la red de energía eléctrica.
2. Sistemas de bombeo para redes hidráulicas y de riego.
3. Cercas energizadas para control de ganado.
4. Sistemas de calefacción hidrónica para acondicionamiento de viviendas y unidades de producción agrícola (invernaderos).
5. Sistemas para energizar viviendas aisladas.
6. Estrategias de diseño pasivo para locales destinados a la instalación de ganado estabulado y de aves, con el objeto de optimizar los niveles de producción.
7. Sistema para calefacción de alberca.
8. Suministro de agua caliente para procesos industriales.

## BIBLIOGRAFIA GENERAL

- Almanza S., Rafael  
Estrada-Cajigal V.  
Barrientos, Joel
- Actualización de los Mapas de Irradiación Global Solar en la República Mexicana.**  
Series del Instituto de Ingeniería U.N.A.M., No. 543, septiembre de 1992.
- ASHRAE 1985 Handbook of Fundamentals.**
- American Society of Heating, Refrigerating and Air - Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, Ga., 1985.
- Duffie, J. A.  
Beckman, W. A.
- Solar Energy Thermal Processes.**  
John Wiley and Sons, New York, N.Y. 1974.
- García, Enriqueta.
- Apuntes de Climatología.**  
Instituto de Geografía U.N.A.M. México D. F., 1989.
- García, Enriqueta.
- Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen.**  
Instituto de Geografía U.N.A.M. México D. F., 1988.
- Manrique, José A.
- Fundamentos y Aplicaciones Fototérmicas.**  
Harpper & Row Latinoamericana. México D. F., 1984.
- Tipkens, Paul E.
- Física Conceptos y Aplicaciones.**  
Department of Physics, Southern Tecnical Institute.  
McGraw-Hill.  
México D. F., 1989.