



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

03045  
201

**ESTRATEGIAS PASIVAS Y ACTIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA  
RADIACION SOLAR, APLICADAS EN UNA VIVIENDA SEMIENTERRADA  
UBICADA EN HERMOSILLO, SONORA**

Tesina que presenta Francisco Javier Chávez del Valle para obtener el diploma de:

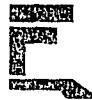
**ESPECIALISTA EN HELIODISEÑO**

1995



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

División de Estudios de posgrado de la  
Facultad de Arquitectura, UNAM



FALLA DE ORIGEN



## **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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

**ESTRATEGIAS PASIVAS Y ACTIVAS  
PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA RADIACION SOLAR  
APLICADAS EN UNA VIVIENDA SEMIENTERRADA  
UBICADA EN HERMOSILLO SONORA**

# INDICE

PAGINA

RESUMEN	
A.INTRODUCCION .....	
B.DESCRIPCION DEL PROYECTO .....	
C.LOCALIZACION .....	
D.DESCRIPCION CLIMATICA GENERAL .....	
1.Descripción general del clima en el lugar .....	
2.Descripción general del clima en época fría .....	
Día típico del mes .....	
3.Descripción general del clima en época calurosa .....	
Día típico del mes .....	
E.DATOS CLIMATICOS.(Días de diseño)	
1.Temperatura ambiente (bulbo seco).....	
2.Humedad relativa .....	
3.Nubosidad .....	
4.Vientos predominantes .....	
5.Radiación global .....	
F.TOPOGRAFIA .....	
G.PROYECTO ARQUITECTONICO .....	
H.GRAFICAS SOLARES .....	
1.Gráfica solar equidistante .....	
2.Gráfica solar cilíndrica .....	
3.Gráfica solar gnómica .....	
I.ANALISIS SOLAR EXTERIOR DEL TERRENO .....	
J.ANALISIS SOLAR INTERIOR .....	
K.MASCARILLAS DE SOMBRAS .....	
L.ANALISIS TERMICO INICIAL .....	

LL. ANALISIS TERMICO CORREGIDO .....	
M. ANALISIS DE VENTILACION NATURAL .....	
N. PROPUESTA DE COLOR EN ACABADOS .....	
Ñ. ANALISIS DE ILUMINACION NATURAL .....	
O. ESTRATEGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR..	
1. Planteamiento de las estrategias de diseño.....	
2. Estrategias pasivas.	
2.1. Construcción semienterrada .....	
2.2. Orientación de la construcción .....	
2.3. Partesol en un tragaluz horizontal .....	
2.4. Cubo de ventilación con enfriamiento por convección- evaporación .....	
3. Estrategia Activa.	
3.1. Objetivos .....	
3.2. Tipo de sistema .....	
3.3. Elementes del sistema .....	
3.4. Especificaciones .....	
3.5. Orientación .....	
3.6. Protección anticongelante .....	
3.7. Determinación de la radiación solar.....	
3.7.1. Irradiación solar diaria promedio mensual, en los planos horizontal e inclinado.....	
3.7.2. Irradiación solar global horaria promedio mensual, sobre un plano horizontal.....	
3.7.3. Irradiación solar global horaria promedio mensual, sobre un plano inclinado.....	
3.8. Diseño de un colector solar plano.	
3.8.1. Angulo de incidencia sobre una superficie inclinada.....	
3.8.2. Analisis optico.....	
3.8.3. Analisis termico.....	
3.8.4. Factores de diseño, F, F, Fr.....	
3.8.5. Calor util y eficiencia.....	
3.9. Tabla de resultados.....	
3.10. Determinación del area de colectores necesaria y volumen del termotanque.....	
3.11. Esquemas del sistema propuesto.....	
3.12. Presupuesto.....	
P.BIBLIOGRAFIA .....	

## RESUMEN

En el presente trabajo se proponen estrategias de heliodiseño pasivas y activas para mejorar las condiciones ambientales hacia el interior de un objeto arquitectónico, en este caso una vivienda unifamiliar semienterrada, ubicada en Hermosillo, Sonora.

Las estrategias se han diseñado tomando en cuenta las condiciones climáticas, requerimientos de confort ambiental de los ocupantes y características físicas de los materiales de la vivienda.

Las mejoras que al ambiente interior de la vivienda pudieran reportar dichas estrategias, se evalúan mediante un modelo matemático simplificado del cual se presentan los resultados numérica y gráficamente.



## A. INTRODUCCION

La función básica de la arquitectura es proporcionar cobijo a sus ocupantes, es decir aislar un espacio limitado de el exterior, modificando el ambiente hacia el interior.

Los objetivos del heliodiseño son planear estrategias que procuren un buen nivel de confort en el interior de los objetos arquitectónicos, proveer de energía ya sea para enfriamiento y calefacción de aire y agua, alimentación de aparatos eléctricos, aprovechando la radiación solar.

En la arquitectura primitiva y vernácula se llegó en muchos casos a soluciones que proporcionaban un ambiente interior agradable mediante el uso de elementos arquitectónicos que ayudaban a utilizar el viento, el calor del aire, la lluvia, el calor de la tierra, la radiación solar etc. En sitios con un clima frío además se utilizaba energía proveniente del carbón y madera principalmente, para obtener calor.

En la arquitectura moderna es frecuente que no se utilicen este tipo de estrategias, provocando con esto un ambiente poco agradable en su interior, con las consecuencias físicas y psicológicas que esto supone, además de incrementar el uso excesivo de energía proveniente de fuentes de energía concentrada y no renovables como la madera, el petróleo, el carbón mineral, el gas natural, etc.

Algunas de las fuentes de energía que se utilizaban en la era preindustrial (arquitectura primitiva y vernácula) se pueden considerar renovables hasta cierto punto porque la cantidad que se consumía se regeneraba a un ritmo similar a el que se consumía, como es el caso de los bosques. Con la revolución industrial esto cambió, las fuentes de energía más utilizadas eran las mismas pero el consumo aumentó convirtiéndolas en no renovables, por la cantidad que la nueva industria requería.

El heliodiseño es importante en cuanto al confort térmico en la arquitectura, pero también lo es en cuanto a la diversificación de las fuentes de energía. La radiación solar representa una opción viable y lo será más aún cuando las fuentes de energía concentrada y no renovables se agoten, haciendo inminente la necesidad de recurrir a fuentes de energía difusa y prácticamente inagotables como la radiación solar, el viento, las mareas etc.

## **B. DESCRIPCION DEL PROYECTO**

Casa habitación semienterrada de un nivel, con tres recámaras, dos baños, cocina, estancia y comedor, con muebles integrados a la construcción. La parte de la construcción que sobresale del terreno tiene taludes formados por tierra vegetal sembrados con pasto, al igual que la capa que cubre las losas de azotea. La vista exterior de esta vivienda es la de un montículo ajardinado con algunas ventanas y domos de formas semiorgánicas y el acceso se ubica en un muro con orientación sudeste que se desvanece en el terreno.

La construcción abarca aproximadamente 90 m<sup>2</sup>. sobre un terreno de 500 m<sup>2</sup>. con una pendiente del 7% hacia la parte noroeste.

La estructura esta constituida por losas de cimentación y de cubierta de concreto armado, muros perimetrales de contención y divisorios de block hueco de cemento arena con castillos ahogados y refuerzos de acero horizontales tipo escalerilla; todos los espacios cuentan con muebles de obra, las basas de éstos seran de block hueco con cubiertas y divisiones de madera.

## **C. LOCALIZACION.**

Se ubica en el estado de Sonora en la ciudad de Hermosillo con una latitud de 29°20', longitud 110°58' y en la zona horaria de 105°.

## **D. DESCRIPCION CLIMATICA GENERAL.**

### **1. Descripción general del clima en el lugar.**

El clima es caluroso seco, en los últimos treinta años de acuerdo con el observatorio meteorológico la temperatura máxima promedio ha sido de 39.6°C y se ha registrado entre los meses de junio y julio, la temperatura mínima promedio ha sido de 8.9°C registrándose a principios del mes de enero.

La humedad relativa media anual es de 43%, registrándose la más alta en el mes de agosto con 53% y la más baja en el mes de mayo con 31%.

La precipitación media anual es de 251.3 mm. , habiéndose registrado la más alta en agosto que fue de 77.3 mm. y la más baja en mayo con 2.2 mm.

La radiación diaria promedio anual es de 23,300 KJ/m<sup>2</sup> día la más alta en el año es 26,100 KJ/m<sup>2</sup> día y se registra en el mes de mayo, la más baja es de 16,200 KJ/m<sup>2</sup> día, que se presenta en enero.

Los datos de temperatura, humedad relativa y precipitación se tomaron de las Normales Climatológicas del Observatorio Nacional y son promedios de 28 a 30 años.

Los datos de radiación solar se tomaron de los mapas de irradiación de Estrada-Cajigal, editadas por el Instituto de Ingeniería.

## **2. Descripción general del clima en época fría, día típico del mes.**

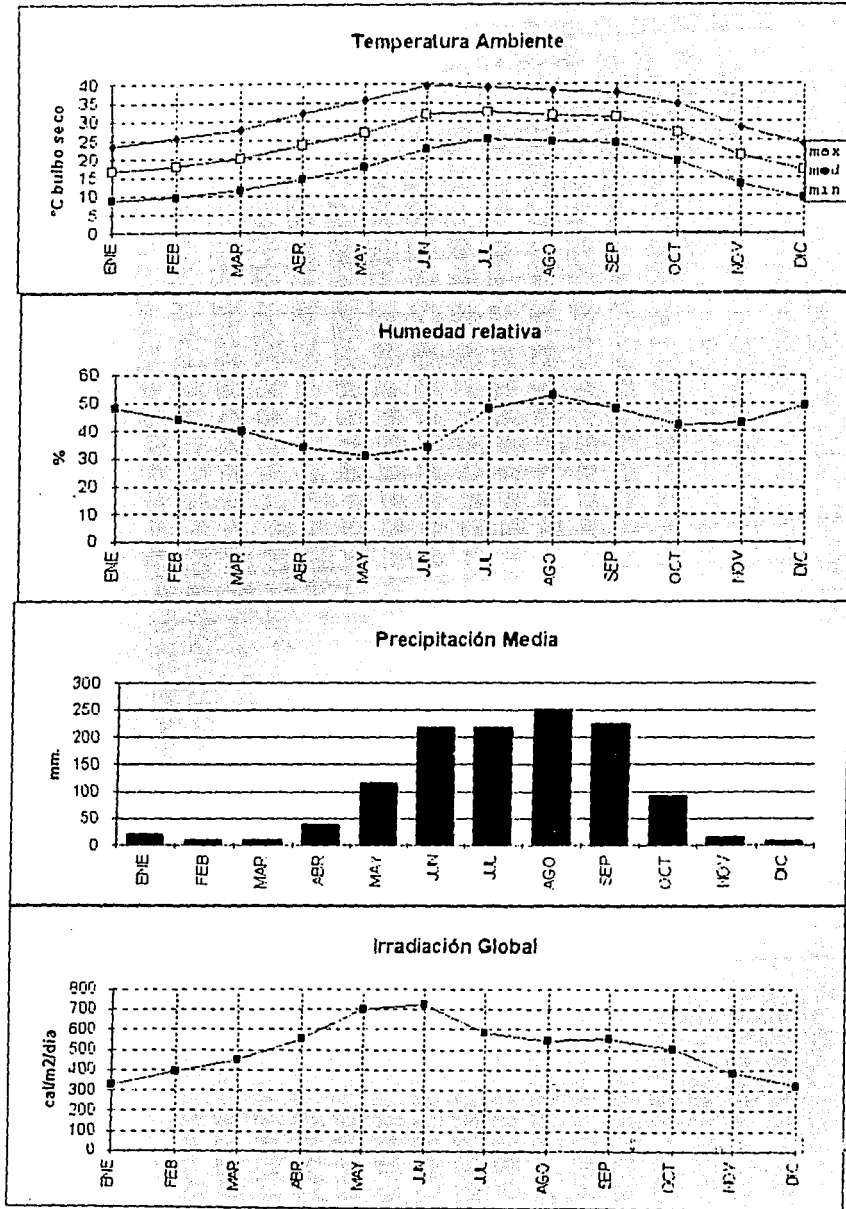
En la época de clima frío se pueden registrar temperaturas de hasta  $-1.2^{\circ}\text{C}$ . siendo la mínima promedio de  $16.8^{\circ}\text{C}$ . en el periodo de noviembre a febrero en el que la radiación fluctúa entre 18,200 a 20,500 KJ/m<sup>2</sup> día.

En un día típico de la época fría del año, la temperatura más baja se da alrededor de las siete de la mañana y es aproximadamente de  $9^{\circ}\text{C}$ . A esta misma hora la humedad relativa es la más alta del día, la temperatura más alta se da alrededor de las cuatro de la tarde al igual que la humedad relativa más baja. A lo largo del día la temperatura varía cerca de  $15^{\circ}\text{C}$ .

## **3. Descripción general del clima en época calurosa, día típico del mes.**

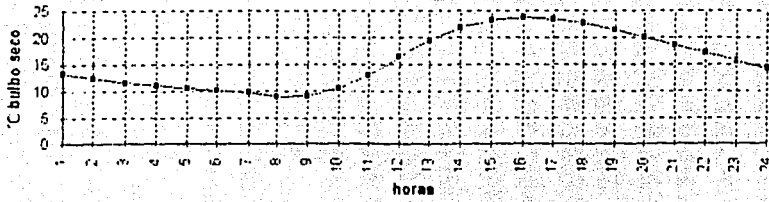
La época de clima caluroso más acentuado es de junio a septiembre, en esta época la temperatura oscila entre los  $32$  y  $39^{\circ}\text{C}$ . con una humedad relativa de alrededor de 34 a 53%.

## E. DATOS CLIMATICOS

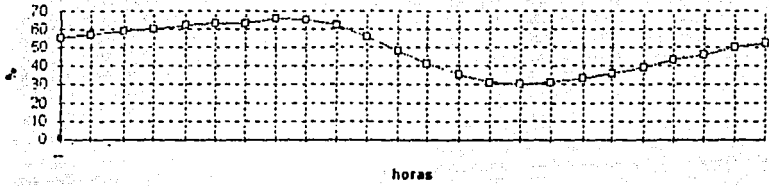


FALLA DE ORIGEN

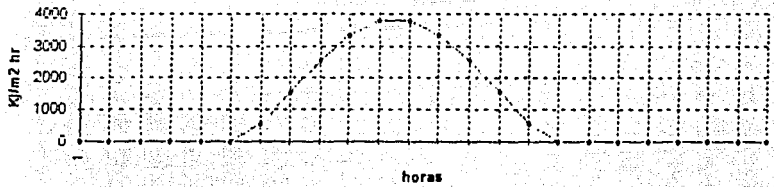
6 de enero temperatura ambiente



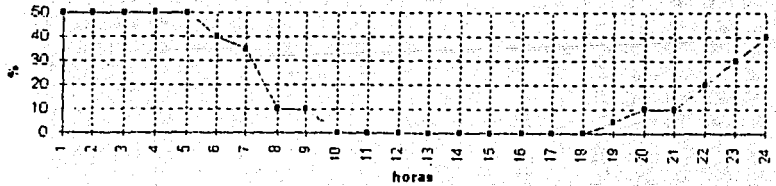
Humedad relativa



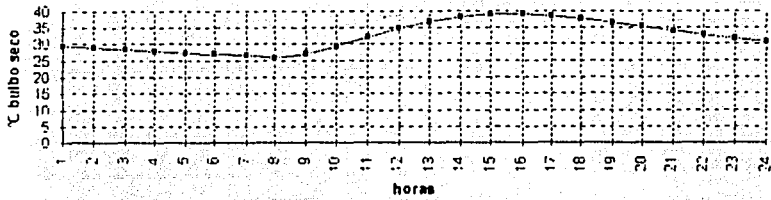
Irradiación



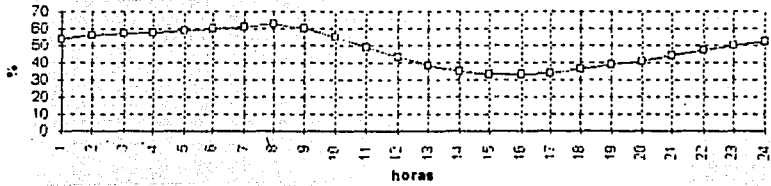
Nubosidad



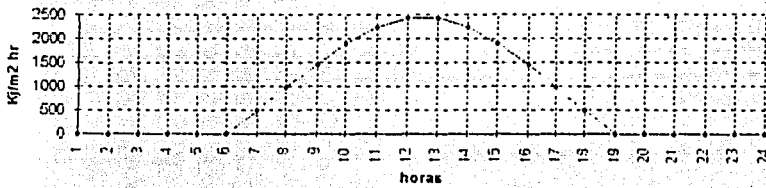
### 3 de Julio temperatura ambiente



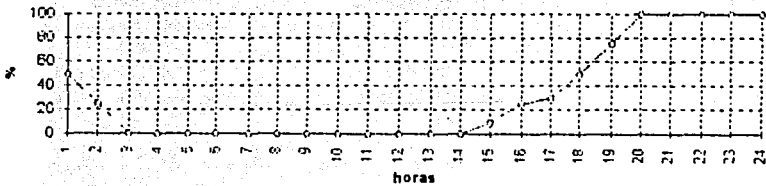
### Humedad relativa



### Irradiación

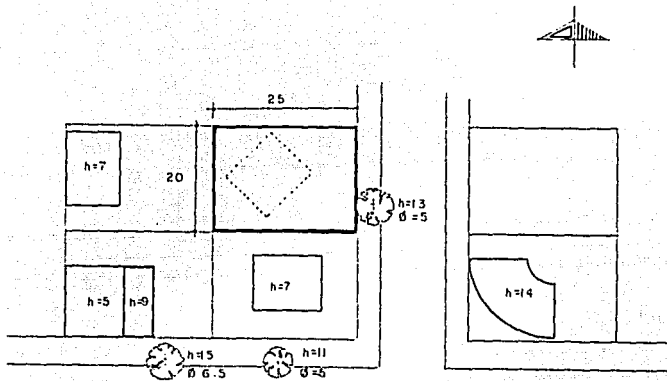


### Nubosidad



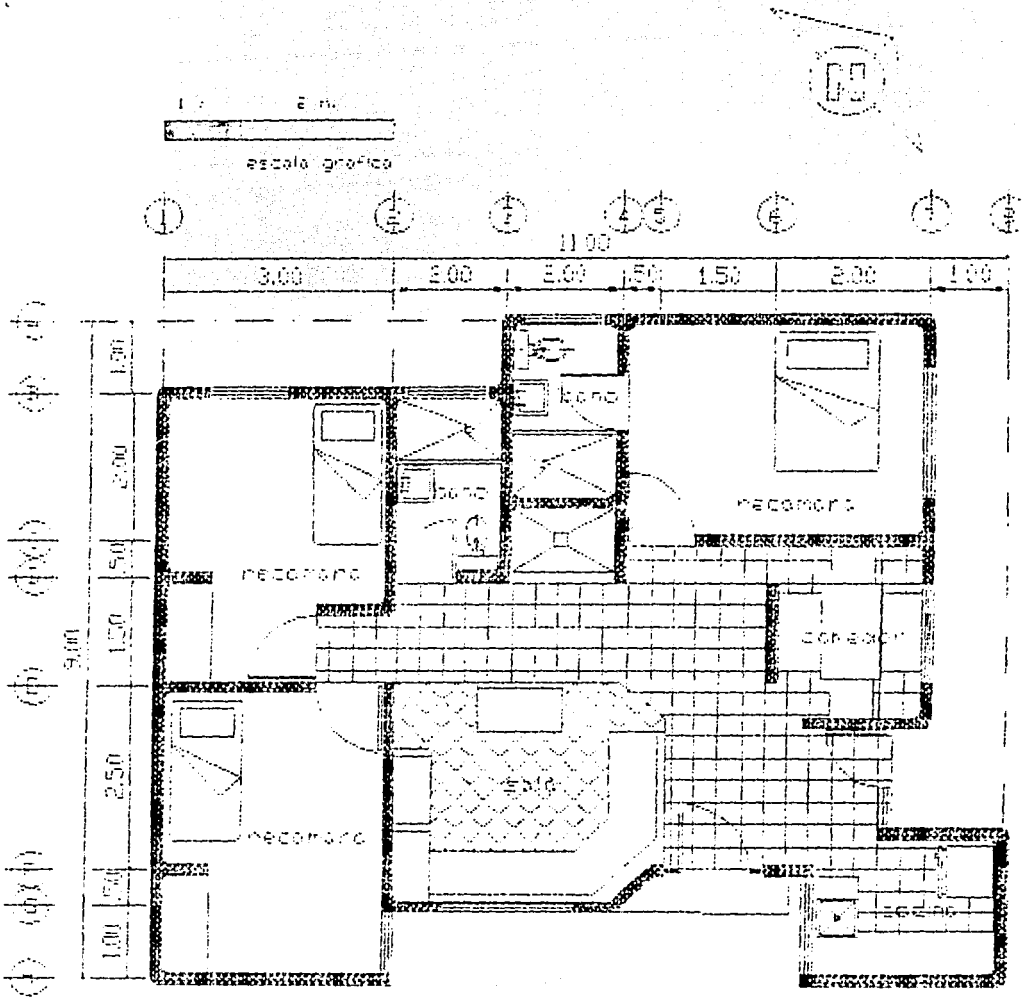
## F. TOPOGRAFIA.

El terreno en el que se ubica la construcción se encuentra orientado de este a oeste, ocupa una área de 500 m<sup>2</sup>; teniendo de fondo 25 m. y de frente 20 m; la pendiente que presenta es de alrededor de 7%; los edificios colindantes tienen alturas entre los 5 y los 9 m; los árboles cercanos son de tipo perennifolios y su altura varía entre 11 y 15 m.



PLANTA DE CONJUNTO

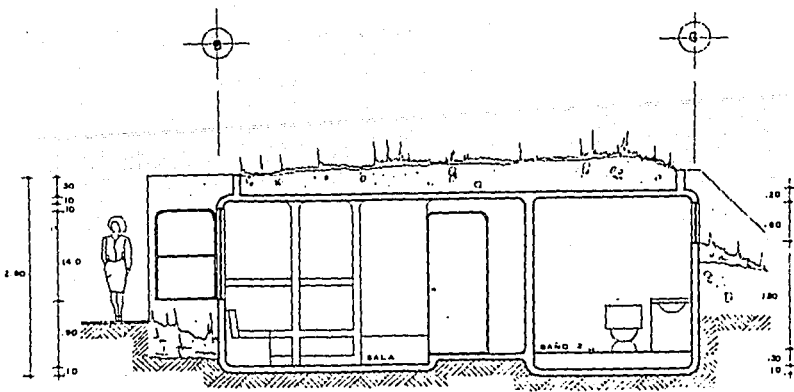
# G. PROYECTO ARQUITECTONICO.



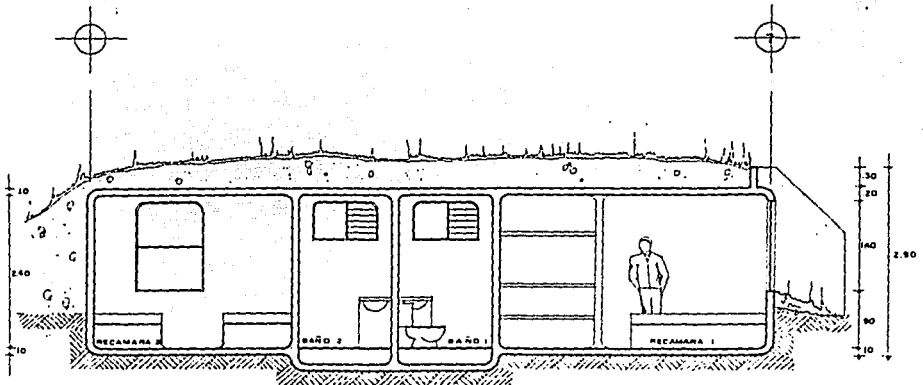
PLANTA ARQUITECTONICA

FALLA DE ORIGEN

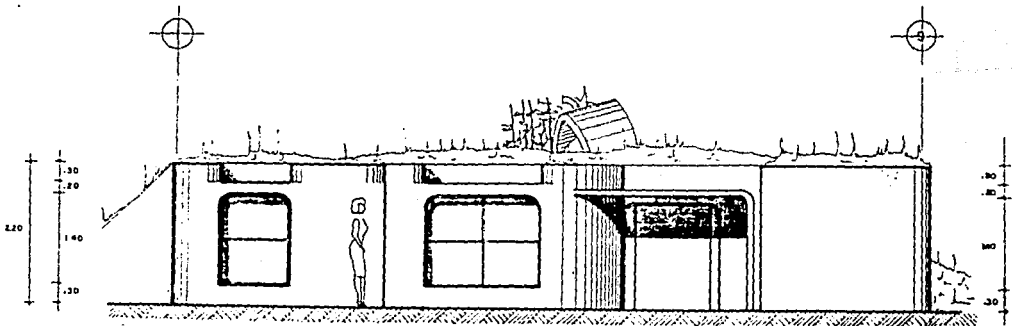




CORTE A-A'



CORTE B-B'



FACHADA PRINCIPAL

FALLA DE ORIGEN

## **H. GRAFICAS SOLARES**

Las gráficas solares son representaciones esquemáticas del movimiento aparente del Sol y se utilizan como elementos para analizar la incidencia de la radiación solar sobre un lugar o un objeto determinado y poder planear un aprovechamiento óptimo de ésta.

### **1. GRAFICA SOLAR EQUIDISTANTE.**

La gráfica solar equidistante es la proyección de la trayectoria aparente del Sol sobre un plano visto desde arriba, en el que se indica el azimut y altitud del mismo.

### **2. GRAFICA SOLAR CILINDRICA.**

En la gráfica solar cilíndrica se representa la trayectoria del sol sobre una sección de cilindro, con el centro del arco que lo determina orientado hacia el sur, determinando los extremos del arco el este y el oeste, en este plano se representa la intersección del mismo con una línea imaginaria que iría del Sol al punto del observador que estaría de frente al sur.

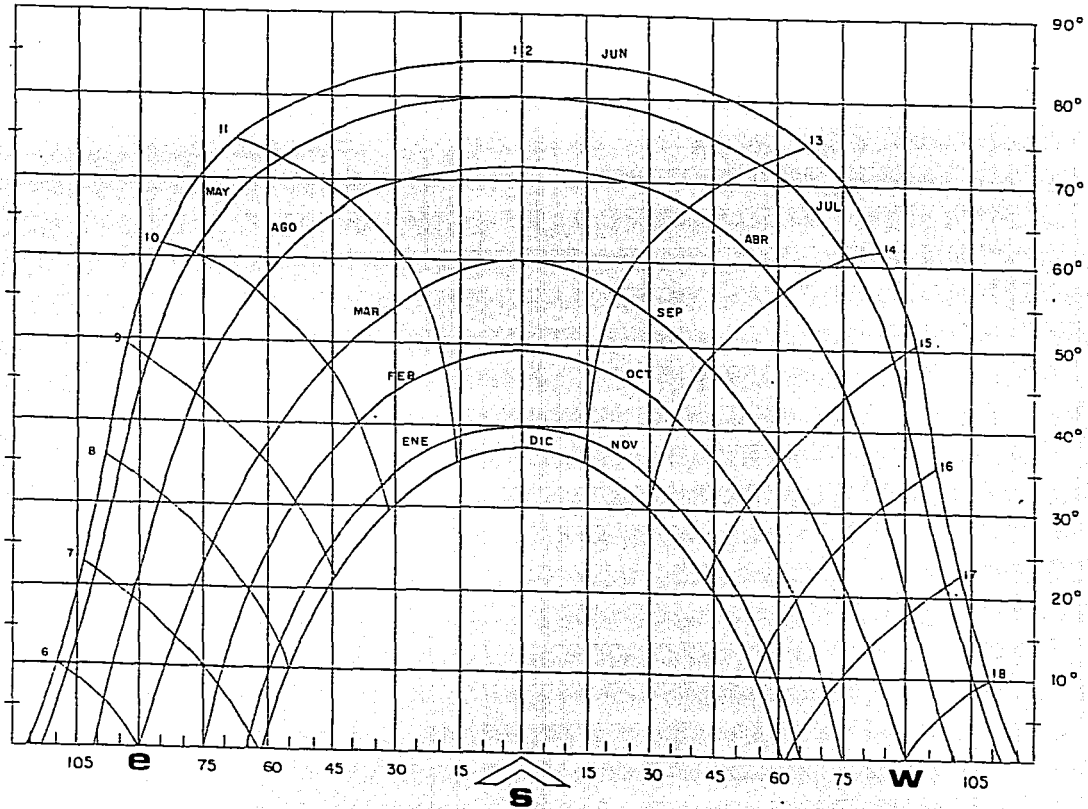
### **3. GRAFICA SOLAR GNOMICA.**

La gráfica solar gnomónica es la representación de la sombra que proyectaría la punta de un poste (gnomon) sobre un plano horizontal en un día determinado de cada mes a lo largo del día.

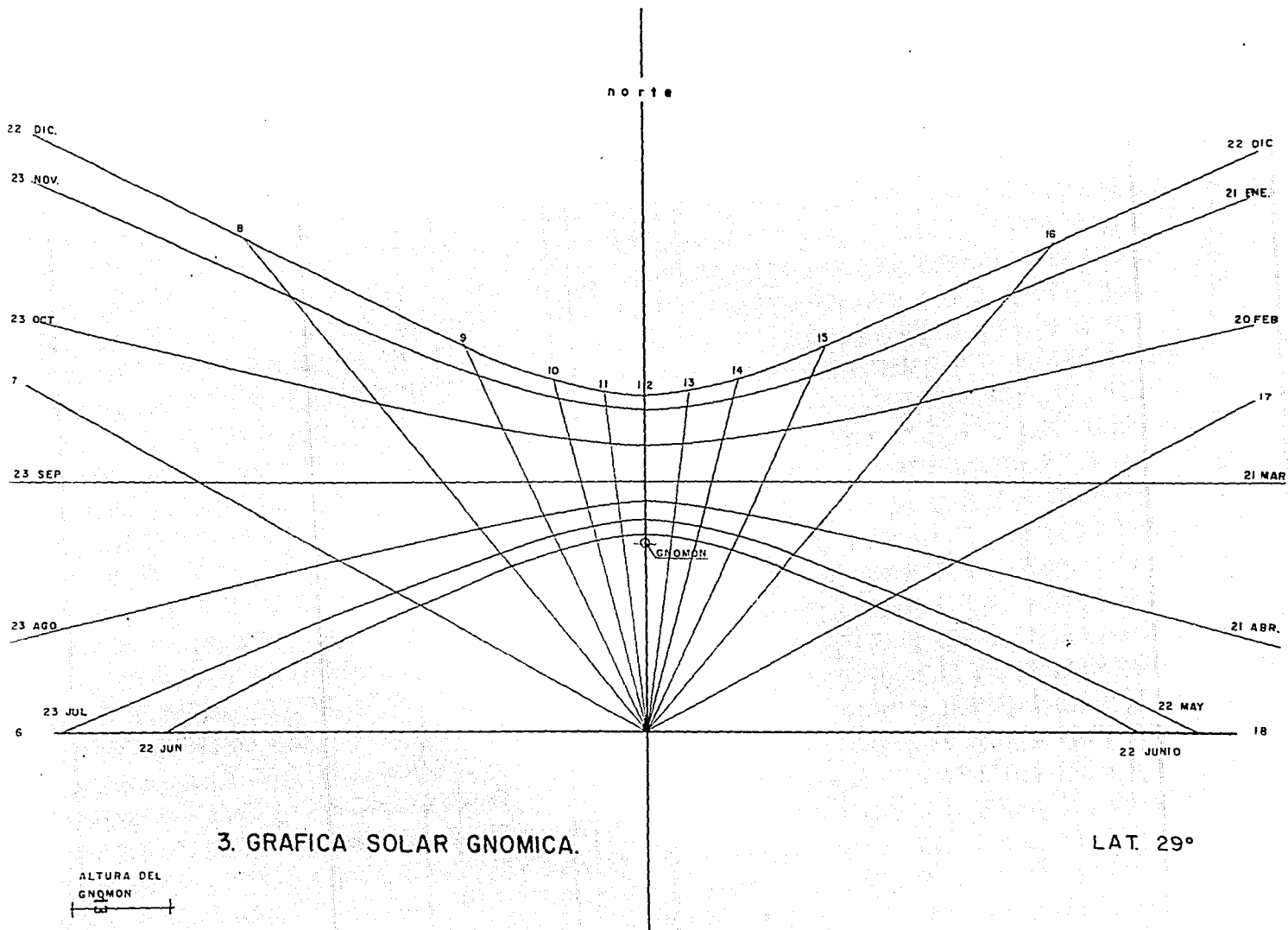


LAT. 29° 20'

DIAS 21 DE MES

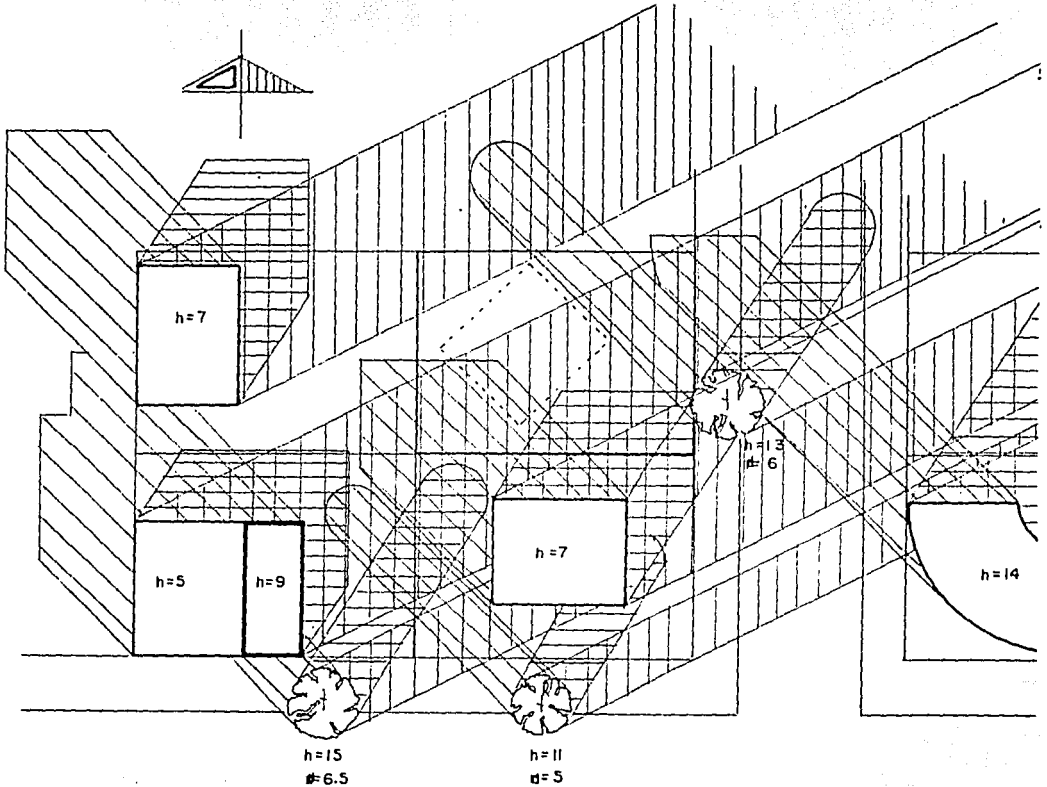


2. GRAFICA SOLAR CILINDRICA.



## I. ANALISIS SOLAR EXTERIOR DEL TERRENO.

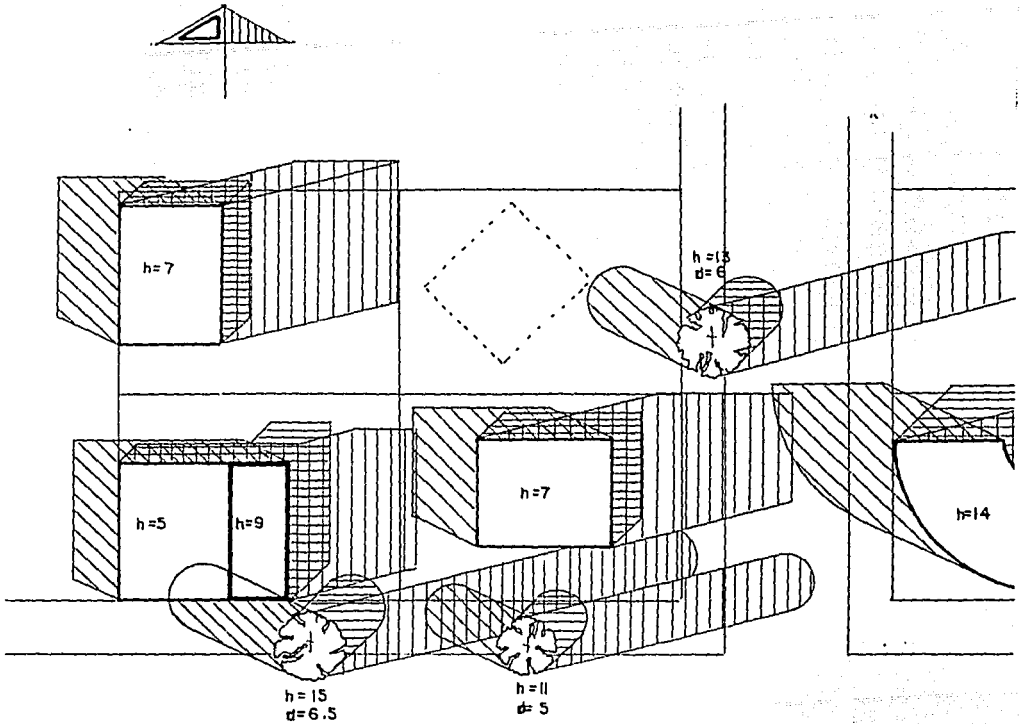
El objetivo de este análisis es conocer el sombreado que se producirá sobre la vivienda, por elementos cercanos al terreno como casas, árboles, etc., para decidir si es posible cambiar la ubicación de la misma ó proponer la colocación de elementos que proporcionen sombra de acuerdo con lo requerimientos de cada uno de los espacios, dependiendo de su uso y de su horario.



ANALISIS SOLAR EXTERIOR

6 DE ENERO





## ANALISIS SOLAR EXTERIOR

3 DE JUNIO

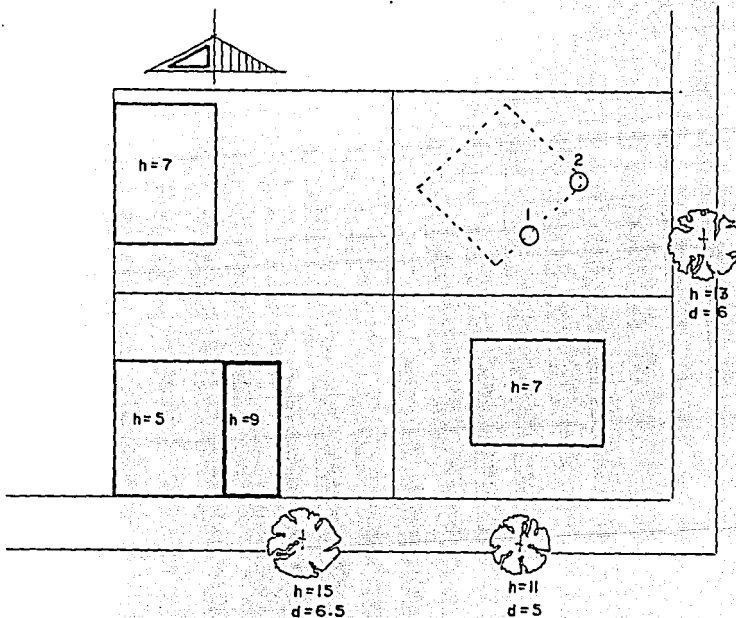


De acuerdo con el análisis, el sombreado no favorece el grado de confort al interior de la vivienda ya que en invierno se proyectan sombras sobre la misma lo que provoca que la ganancia de calor sea mínima cuando más se necesita, y en verano la proyección de sombras es mínima, permitiendo una excesiva ganancia de calor en la vivienda, por lo que el empleo de estrategias pasivas de heliodiseño, así como una óptima ubicación de la construcción en el predio, orientación de ventanas, etc., serán necesarias.

## J. ANALISIS SOLAR INTERIOR

El objetivo del análisis solar interior es determinar durante qué épocas del año y en qué horario se proyectarán las sombras de objetos circundantes sobre un punto determinado, en este caso se eligieron como puntos de análisis dos ventanas, que se considera que pueden tener un soleamiento conveniente, por lo que se requiere saber de una manera más aproximada cuál será el soleamiento sobre éstas, ya que lo que se requiere en este proyecto es tener ganancias de calor mínimas.

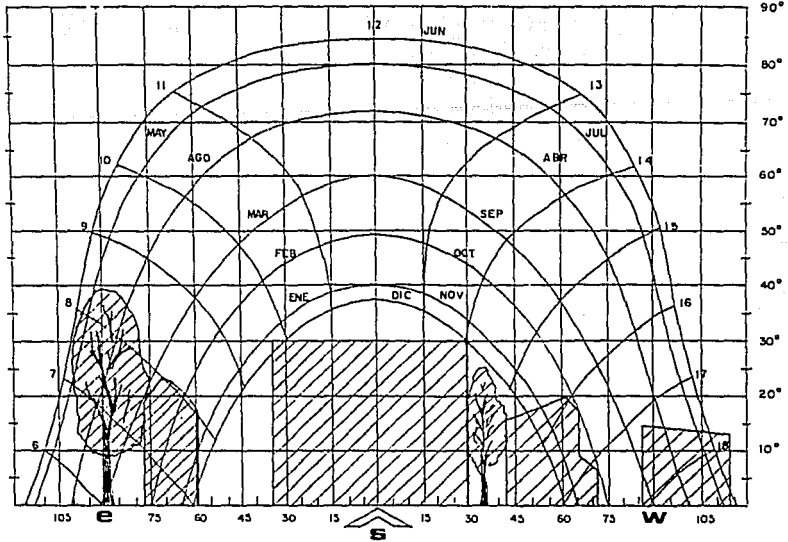
Siendo las ventanas elementos que pueden permitir el paso de la radiación solar, incrementando con esto la cantidad de calor en el interior de un espacio, es importante saber si algún elemento obstruirá la radiación solar o no, y en su caso colocar algún partesol, cambiar de lugar u orientación la ventana, quitar el obstáculo, etc., dependiendo de las necesidades de cada espacio.



LOCALIZACION DE VENTANAS  
ANALISIS SOLAR INTERIOR

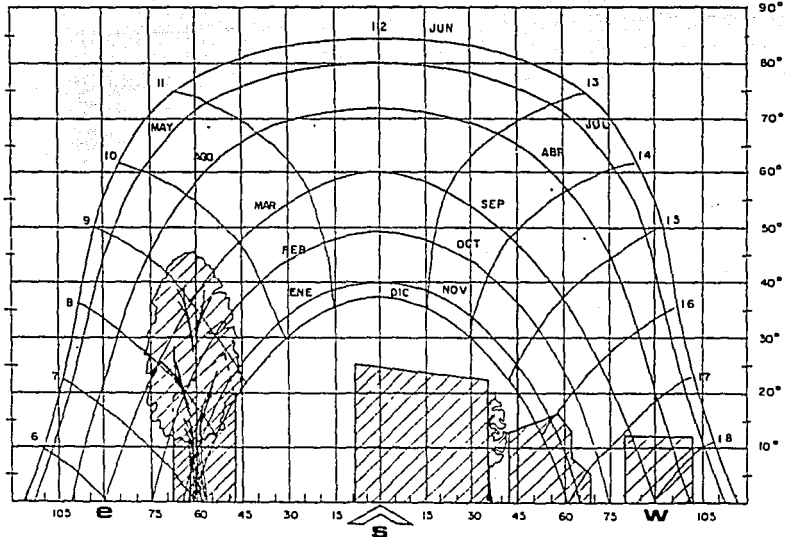


DIAS 21 DE MES



ANALISIS SOLAR INTERIOR 1

DIAS 21 DE MES

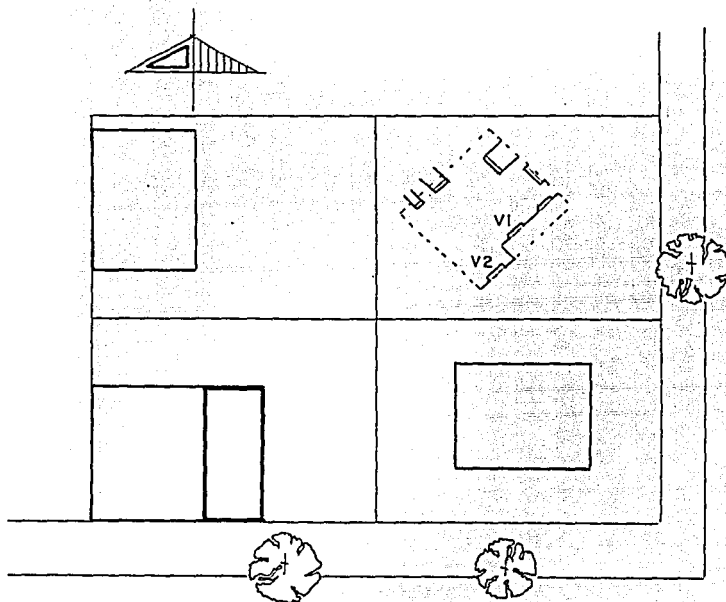


ANALISIS SOLAR INTERIOR 2

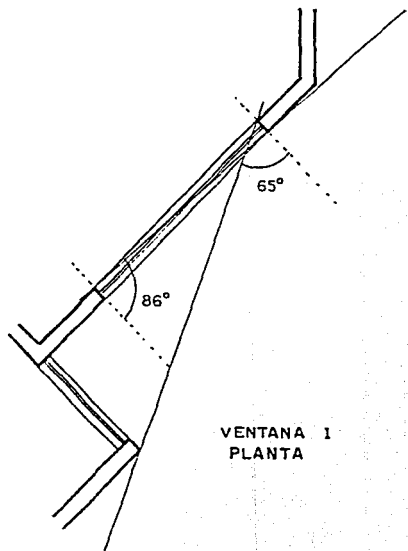
Se observó que las sombras se proyectarán principalmente en horarios en que la radiación solar es baja, entre las 11 y las 14 horas, incidirá en las dos ventanas analizadas, lo que nos indica que se deberán implementar estrategias para evitar dicha radiación.

## K. MASCARILLA DE SOMBRAS.

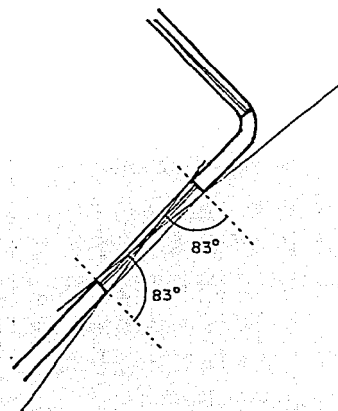
La mascarilla de sombras es una gráfica determinada por la forma y orientación de una ventana, que se superpone a una gráfica solar cilíndrica para saber en qué épocas del año y a qué horas la radiación solar penetrará a través de la ventana. Este elemento de análisis se utiliza para determinar la forma y orientación de una ventana o para proponer su cambio, dependiendo de los requerimientos de soleamiento del espacio arquitectónico.



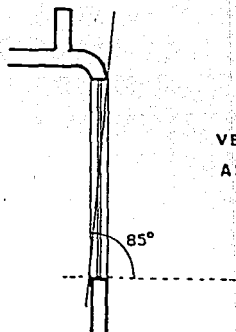
UBICACION DE VENTANAS  
MASCARILLA DE SOMBRAS



VENTANA 1  
PLANTA

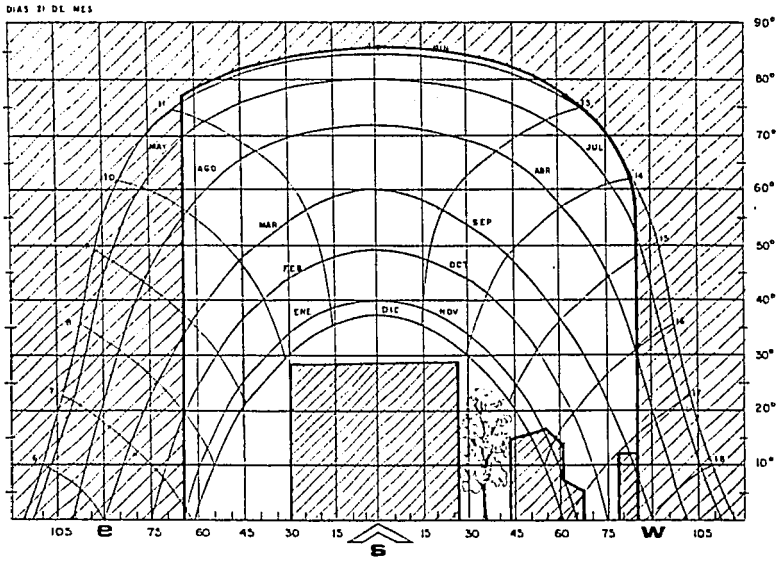


VENTANA 2  
PLANTA

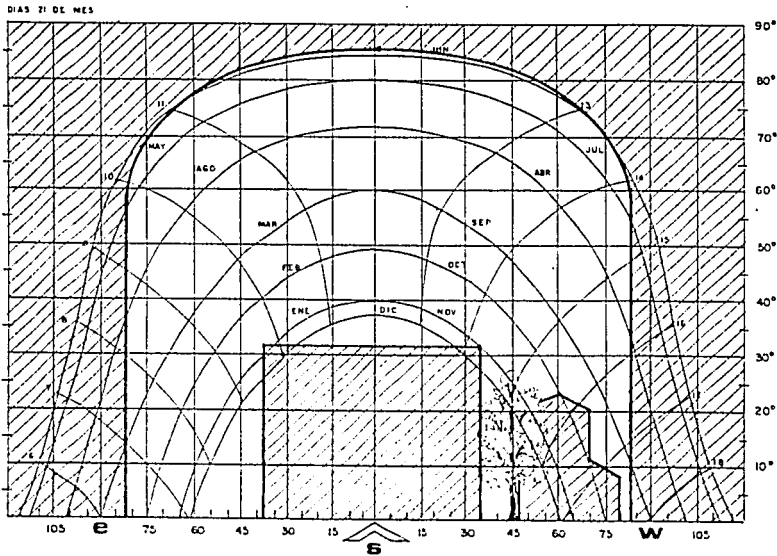


VENTANA 1 y 2  
ALZADO

DETALLES DE VENTANAS PARA  
MASCARILLAS DE SOMBRAS



MASCARILLA VENTANA 1



MASCARILLA VENTANA 2

En este caso, se llegó a la conclusión de que las dos ventanas analizadas recibirán demasiado soleamiento, ya que lo que se busca en este proyecto es tener la menor cantidad de ganancias por radiación. Estas ventanas están muy expuestas a la radiación solar gran parte del día, lo cual indica que es necesario proveerlas de protección.

FALLA DE ORIGEN

## L. ANALISIS TERMICO INICIAL.

El análisis se realiza utilizando un modelo matemático para simular las condiciones ambientales exteriores, el comportamiento térmico de la construcción y el ambiente interior de ésta, para saber de una manera aproximada si las condiciones ambientales interiores estarán dentro o fuera de los rangos de confort y así contar con bases para planear estrategias que las mejoren en el caso de que no sean adecuadas. Esta simulación se calculará con datos climáticos de los días 3 de julio y 6 de enero, elegidos como días de diseño por presentar condiciones extremas.

### CALCULO DE DIFERENCIAL TERMICO. EPOCA CALUROS 3 DE JULIO

HORA	TEMPERATURA EXTERIOR (°C)	TEMPERATUR A INTERIOR (°C)	DIRERENCIAL TERMICO (D) (K)
24:00	30.6	29	1.6
2:00	28.9	29	-1.0
4:00	27.7	29	-1.3
6:00	26.9	29	-2.1
8:00	25.7	29	-3.3
10:00	29.3	29	.03
12:00	34.8	29	5.8
14:00	38.3	29	9.3
16:00	39.6	29	10.6
18:00	37.6	29	8.6
20:00	35.2	29	6.2
22:00	32.8	29	3.8

### ZONA 1 GANANCIAS DE CALOR POR CONDUCCION.

ELEMENTO	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANFERENCIA DE CALOR (U) (W/m <sup>2</sup> )	AREA (m <sup>2</sup> )	U x A (W/K)
Ventana suroeste	3.97	1.4	5.7
Ventana noreste	3.97	3.1	12.4
Ventana noroeste	3.97	3.9	15.5
Muro sureste	.68	3.2	2.2
Muro suroeste	.68	21.7	14.8
Muro noreste	.68	1.8	1.2
Muro noroeste	.68	3.0	2.0
Muro este-sureste	.26	2.7	0.7
Muro este-noreste	.26	3.2	.8
Techo	.26	43.5	11.3
Pérdida perimetral	1.61	27.0	43.5
Total 114.4 W = 0.11 KW/K			

### GANANCIAS DE CALOR POR CONVECCION.

Volúmen de aire de la zona analizada  
 Número de cambios de aire por hora  
 Ventilación necesaria  
 Pérdidas de calor por ventilación

$V_a = 104.4 \text{ m}^3$   
 $N = 1$   
 $V_e = 0.029 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_v = 1300 \times 0.029$

**$Q_v = 0.029 \text{ KW/K}$**

### GANANCIAS INTERNAS DE CALOR.

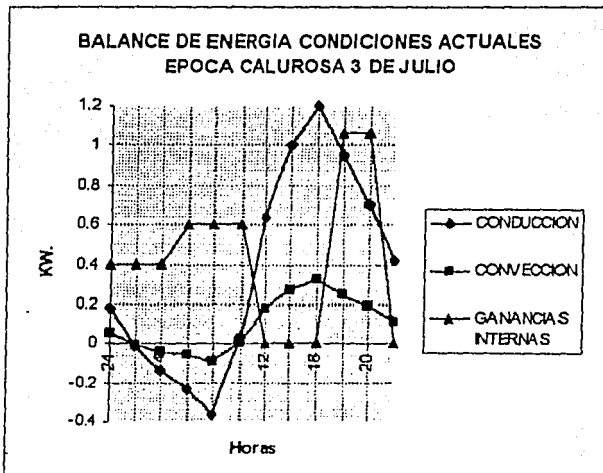
Personas ( 100 W/persona )  
 Iluminación ( 10 W/m<sup>2</sup> )  
 Aparatos eléctricos ( 5 W/m<sup>2</sup> )

4 ( 100 W ) = 0.4 KW  
 43.5 ( 10 W ) = 0.435 KW  
 43.5 ( 5 W ) = 0.22 KW

**Total 1.06 KW**

### BALANCE DE ENERGIA, CONDICIONES ACTUALES, EPOCA CALUROSA

HORAS	24	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
CONDUCCION	.18	-.011	-.14	-.23	-.36	.03	.64	1.0	1.2	.95	0.7	.42
CONVECCION	.05	-.003	-.04	-.06	-.09	.01	.174	0.27	0.32	0.25	0.78	.11
GANANCIAS INTERNAS										1.06	1.06	
SUMA ( KW )	.63	.39	.22	.31	.15	.64	.81	1.27	1.5	2.3	2.5	.53
GAN. D CALOR ( KW - HR )	1.06	1.26	.78	.44	.62	.30	1.28	1.62	2.54	3.0	4.6	5.0
GAN. ACUM. (MJ)	.53	1.16	1.55	1.17	2.1	2.25	2.9	3.71	4.98	7.5	9.8	12.3



ZONA 2  
GANANCIAS DE CALOR POR CONDUCCION.

ELEMENTO	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANFERENCIA DE CALOR (U) (W/m <sup>2</sup> )	AREA (m <sup>2</sup> )	U x A (W/K)
Ventana sureste	3.97	2.3	9.3
Ventana suroeste	3.97	2.0	7.7
Ventana noreste	3.97	3.3	12.9
Tragaluz	3.97	0.8	3.2
Muro este	.68	1.7	7.4
Muro sureste	.68	10.7	14.8
Muro suroeste	.68	1.4	0.9
Muro noreste	.68	7.4	5.0
Muro noroeste	.68	3.8	2.6
Muro este-sureste	.26	3.6	0.9
Muro este-noreste	.26	1.8	0.5
Techo	.26	34.4	9.0
Total 60.4 W = 0.06 KW/K			

GANANCIAS DE CALOR POR CONVECCION.

Volúmen de aire de la zona analizada  
Número de cambios de aire por hora  
Ventilación necesaria  
Pérdidas de calor por ventilación

$V_a = 84.6 \text{ m}^3$   
 $N = 1$   
 $V_e = 0.023 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_v = 1300 \times 0.023$

**$Q_v = 0.03 \text{ KW/K}$**

GANANCIAS INTERNAS DE CALOR.

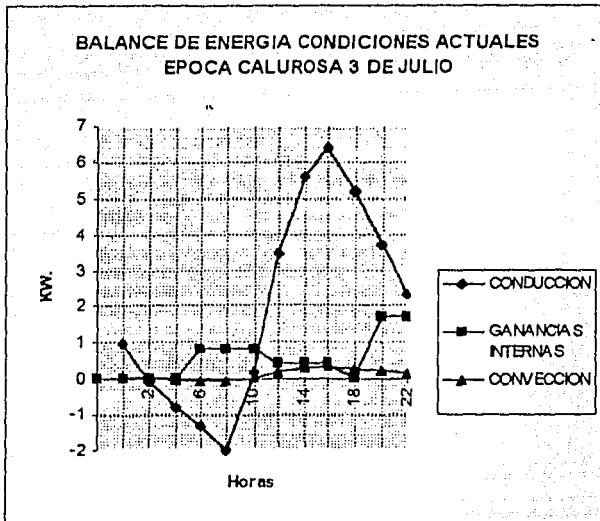
Personas ( 100 W/persona )  
Iluminación ( 10 W/m<sup>2</sup> )  
Aparatos eléctricos ( 5 W/ m<sup>2</sup> )

4 ( 100 W ) = 0.4 KW  
85 ( 10 W ) = 0.85 KW  
85 ( 5 W ) = 0.425 KW

**Total 1.7 KW**

BALANCE DE ENERGIA, CONDICIONES ACTUALES  
EPOCA CALUROSA

HORAS	24	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
CONDUCCION	.96	-.06	-.78	-1.3	-2.0	.18	3.48	5.6	6.4	5.2	3.7	2.3
CONVECCION	.05	-.003	-.04	-.06	-.01	.01	.174	0.28	0.32	0.26	0.19	.114
GANANCIAS INTERNAS				0.8	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4		1.7	1.7
SUMA ( KW )	1.01	-.063	-.82	-.5	-3.2	0.99	4.05	6.2	7.12	5.46	5.6	4.1
GANANCIAS DE CALOR ( KW - HR )	8.2	2.02	-.13	-1.6	-1.0	-6.4	1.98	8.1	12.6	14.2	11.0	11.2
GANANCIAS ACUMULADAS ( MJ )	9.2	11.5	11.3	9.5	8.4	1.2	3.4	12.5	26.5	46.5	55.0	67.5



Las ganancias de calor en el primer día de diseño, 3 de julio, son altas por lo que se proponen las siguientes estrategias para mejorar las condiciones interiores.

- a. Reducir el área de ventanas con orientación sur, sureste y suroeste para tener menores ganancias de calor por radiación y conducción.
- b. Cubrir los muros con vegetación y aumentar su rugosidad para disminuir las ganancias por radiación y convección. Las plantas absorberán parte de la radiación y el calor del aire, mismas que disiparán como calor latente por evaporación.
- c. Bajar la temperatura del aire necesario para ventilar por higiene mediante un cubo de ventilación que se espera reduzca la temperatura del aire que circule a través de él 7°C, el cual se describe más adelante.
- d. Inducir el viento mediante un embudo formado por plantas para tener un mayor flujo y se refresque el aire.
- e. Disminuir el uso de aparatos eléctricos que produzcan calor, durante las horas de temperaturas más elevadas, que son de 11 a 17 horas.



## LL. ANALISIS TERMICO CORREGIDO.

El objetivo es saber en qué grado han ayudado las estrategias propuestas a la disminución de las ganancias de calor, esto se hace con el mismo modelo matemático utilizado en el análisis térmico inicial, pero modificando los datos que se refieren a las características de algunos de los elementos de la vivienda y de otros que se han añadido, como el cubo de ventilación.

### CALCULO DE DIFERENCIAL TERMICO.

EPOCA CALUROSA  
3 DE JULIO

HORA	TEMPERATURA EXTERIOR (°C)	TEMPERATURA A INTERIOR (°C)	DIFERENCIAL TERMICO (D) (K)
24:00	30.6	29	1.6
2:00	28.9	29	-1.0
4:00	27.7	29	-1.3
6:00	26.9	29	-2.1
8:00	25.7	29	-3.3
10:00	29.3	29	.03
12:00	34.8	29	5.8
14:00	38.3	29	9.3
16:00	39.6	29	10.6
18:00	37.6	29	8.6
20:00	35.2	29	6.2
22:00	32.8	29	3.8

### ZONA 1

### PERDIDAS DE CALOR POR CONDUCCION.

ELEMENTO	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (U) (W/m <sup>2</sup> )	AREA (m <sup>2</sup> )	U x A (W/K)
Ventana suroeste	3.97	1.4	5.7
Ventana noreste	3.97	2.5	9.9
Ventana noroeste	3.97	3.9	15.5
Muro sureste	.50	3.2	1.6
Muro suroeste	.50	21.7	10.9
Muro noreste	.50	1.8	.9
Muro noroeste	.50	3.0	1.5
Muro este-sureste	.26	2.7	0.7
Muro este-noreste	.26	3.2	.8
Techo	.26	16.5	4.3
Pérdida perimetral	1.61	27.0	43.5
Total 100.8 W = 0.10KW/K			

**GANANCIAS DE CALOR POR CONVECCION.**

Volúmen de aire de la zona analizada  
 Número de cambios de aire por hora  
 Ventilación necesaria  
 Pérdidas de calor por ventilación

$V_a = 104.4 \text{ m}^3$   
 $N = 1$   
 $V_e = 0.029 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_v = 1300 \times 0.029$

**$Q_v = 0.029 \text{ KW/K}$**

**GANANCIAS INTERNAS DE CALOR.**

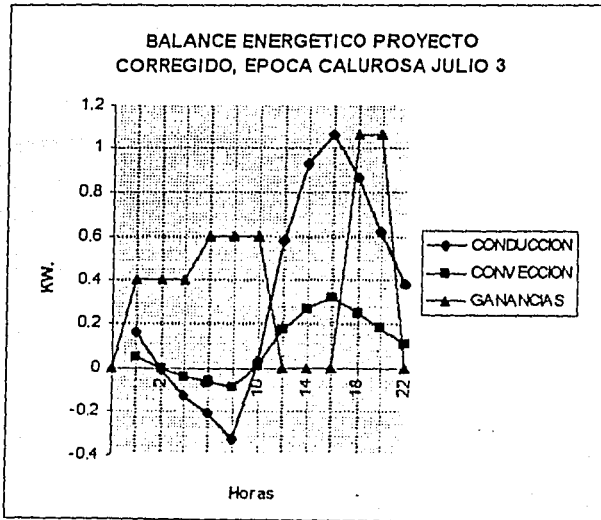
Personas ( 100 W/persona )  
 Iluminación ( 10 W/m<sup>2</sup> )  
 Aparatos eléctricos ( 5 W/m<sup>2</sup> )

4 ( 100 W ) = 0.4 KW  
 43.5 ( 10 W ) = 0.435 KW  
 43.5 ( 5 W ) = 0.22 KW

**Total 1.06 KW**

**BALANCE DE ENERGIA, ANALISIS CORREGIDO  
 EPOCA CALUROSA**

HORAS	24	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
CONDUCCION	0.16	-.01	-.13	-.21	-.33	0.03	0.58	0.93	1.06	0.86	0.62	0.38
CONVECCION	.05	-.003	-.04	-.06	-.09	.01	.174	0.27	0.32	0.25	0.78	.11
GAN. INT.	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6				1.06	1.06	
SUMA ( KW )	0.61	0.39	0.23	0.33	-.63	0.64	0.75	1.2	1.38	2.17	2.46	0.49
GAN. (KW/HR)	0.98	1.22	0.78	0.46	0.66	-1.3	1.28	1.5	2.4	2.76	4.34	4.92
GAN. ACUM. ( MJ )	0.5	1.1	1.5	1.7	2.0	1.4	2.0	2.7	3.9	5.2	7.2	9.6



ZONA 2

GANANCIAS DE CALOR POR CONDUCCION.

ELEMENTO	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (U) (W/m <sup>2</sup> )	AREA (m <sup>2</sup> )	U x A (W/K)
Ventana sureste	3.97	2.0	7.9
Ventana suroeste	3.97	1.5	6.0
Ventana noreste	3.97	2.5	9.9
Tragaluz	3.97	0.8	3.2
Muro este	.68	1.7	1.1
Muro sureste	.50	10.7	5.3
Muro suroeste	.50	1.4	0.7
Muro noreste	.50	7.4	3.7
Muro noroeste	.50	3.8	1.9
Muro este-sureste	.26	3.6	0.9
Muro este-noreste	.26	1.8	0.5
Techo	.26	34.4	9.0
Total 50.1 W = 0.05 KW/K			

GANANCIAS DE CALOR POR CONVECCION.

Volúmen de aire de la zona analizada  
 Número de cambios de aire por hora  
 Ventilación necesaria  
 Pérdidas de calor por ventilación

Va = 84.6 m<sup>3</sup>  
 N = 1  
 Ve = 0.023 m<sup>3</sup>/s  
 Qv = 1300 x 0.023

Qv = 0.03 KW/K

GANANCIAS INTERNAS DE CALOR.

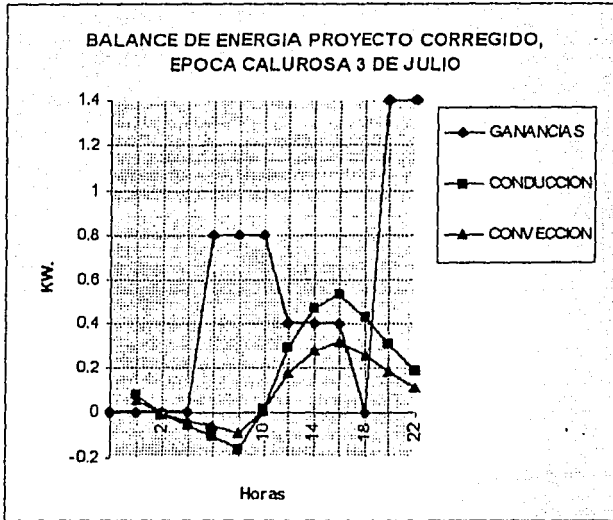
Personas ( 100 W/persona )  
 Iluminación ( 10 W/m<sup>2</sup> )  
 Aparatos eléctricos ( 5 W/ m<sup>2</sup> )

4 ( 100 W ) = 0.4 KW  
 85 ( 10 W ) = 0.85 KW  
 85 ( 2 W ) = 0.17 KW

Total 1.4 KW

BALANCE DE ENERGIA, ANALISIS CORREGIDO  
 EPOCA CALUROSA

HORAS	24	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
CONDUCCION	0.08	-0.05	-0.06	-0.10	-0.16	0.015	0.29	0.465	0.53	0.43	0.31	0.19
CONVECCION	.05	-0.03	-0.04	-0.06	-0.01	.01	.174	0.28	0.32	0.26	0.19	.114
GANANCIAS INTERNAS				0.8	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4		1.4	1.4
SUMA ( KW )	0.13	-0.08	-1.0	0.64	-1.3	0.8	0.9	1.1	1.2	.69	1.9	1.7
GANANCIAS DE CALOR ( KW · HR )	3.4	0.26	-0.2	-2.0	1.28	2.6	1.6	1.8	2.2	2.4	1.38	3.8
GANANCIAS ACUMULADAS ( MJ )	1.3	1.4	-0.0	-0.76	-0.27	0.72	1.3	2.0	2.8	3.7	4.2	5.6



Al reducir las áreas de ventanas expuestas a la radiación solar y el coeficiente de transferencia de calor de los muros con soleamiento, mediante el sombreado con vegetación y el enterramiento, se logró de acuerdo al modelo matemático reducir las ganancias de calor en un grado considerable.

## M. ANALISIS DE VENTILACION NATURAL.

El análisis de ventilación nos permite conocer el tiempo necesario para reducir la temperatura de un espacio un número determinado de grados con un flujo de aire dado, el flujo de aire depende del área de entrada, el área de salida, la relación entre éstas y el ángulo de incidencia del viento sobre la ventana.

La cantidad de calor que puede ceder una edificación hacia el aire que circula por su interior, depende de la diferencia de temperatura entre ésta y el aire, de el calor específico de los materiales y su volumen.

### Datos

-Velocidad del viento	$v=3.1 \text{ m/s}$
-Temperatura interior	$T_i=29^\circ\text{C}$
-Temperatura exterior	$T_e=32.55^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}$ por
enfriamiento en cubo de vent.	
-Area de muros	$A_m=147.93 \text{ m}^2.$
-Espesor de muros	$L=0.10 \text{ m}.$
-Angulo de incidencia de el viento en la ventana	$i_n=0^\circ$

Material	Calor específico kJ/(kg C)	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Calor específico volumétrico KJ/(m <sup>3</sup> C)
Muros	$C_{pm}=0.837$	$d_m=2400$	$C_{pvm}=C_{pm} \times d_m$
Aire	$C_{pa}=1.0$	$d_a=1.2$	$C_{pva}=C_{pa} \times d_a$

$$q_m = C_{pvm} \times A_m \times L \quad q_m = 2.972 \times 10^4$$

$$a = C_{pva} \times (T_i - T_e) \quad q_a = 7.74$$

Ventilación necesaria

$$V_n = \frac{q_m}{q_a}$$

$$V_n = 3.839 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ de aire.}$$

$$A_e = 1.5 \text{ m}^2$$

área de entrada

$$\frac{A_s}{A_e} = 2$$

$$n = 760$$

$$A_s = 3.0 \text{ m}^2$$

área de salida

$$A_e$$

$$V=v \times \cos(\text{in}) \quad v=3.1 \text{ m/seg.} \quad Vc=v \times 3.6 \quad Vc=11.16 \text{ Km/hr.}$$

$$Va=Ae \times N \times Vc \quad Va=1.272 \times 10^4 \quad G=\frac{Va}{Vn} \quad G=3.314$$

$$\frac{T_i - T_e}{G} = 1.946 \quad \text{hcras necesarias para enfriarse}$$

En las zonas de calor seco como Hermosillo, se recomienda tener un mínimo de ventilación para evitar que el aire caliente exterior aumente la temperatura del interior.

En este caso se propone que el aire antes de entrar en la vivienda sea enfriado poniéndolo en contacto con agua, la cual tiene un calor específico alto, es decir, puede absorber calor con facilidad aumentando poco su temperatura.

## N. PROPUESTA DE COLOR EN ACABADOS.

El color de los acabados en un espacio tiene varias implicaciones, como la absorción y reflexión de la radiación de onda corta en forma de calor, los estados de ánimo y sensaciones de frescura y calidez que puede inducir, la reflectividad de la luz, etc.

Estos han sido los aspectos que se han considerado para proponer los colores en los pisos, plafones y muros de los espacios de la vivienda. Además las características físicas de los colorantes son importantes, ya que de ellas depende la durabilidad del color elegido.

TABLA DE CARACTERISTICAS DE PINTURAS PROPUESTAS

Numero	Nombre Comercial	Reflectividad	Resistencia	Composición
1	Blanco marfil	.903	10	-Blanco -Bióxido de titanio -Sombra tostada -Oxido de hierro
2	Azul cielo	.724	10	-Blanco -Bióxido de titanio -Azul
3	Naranja	.57	10	-Ftalocianina cúprica -Blanco -Bióxido de titanio -Naranja -Sulfuro de cadmio

Espacio	Color en plafon	Color en muros	Color en piso
Recamaras	1	1	2
Baños	1	1	3
Cocina	1	1	3
Comedor	1	1	2
Pasillos	1	1	1

## Ñ. ANALISIS DE ILUMINACION NATURAL.

Este análisis nos indica el nivel de iluminación en distintos puntos de una habitación, esto es particularmente importante en espacios en los que la actividad a realizar requiere de un nivel especial de iluminación.

Dicho análisis puede realizarse con el método de Factor de Iluminación Natural (FIN), que de acuerdo al siguiente ejercicio nos da resultados muy similares a los que se obtienen realizando la medición directamente en el espacio en este caso una recámara.

### METODO DEL FACTOR DE ILUMINACION NATURAL ESPACIO: RECAMARA CON VENTANA AL NOROESTE

W := 1.2 ANCHO DE LA VENTANA

H := 1.3 ALTURA DE LA VENTANA

Av := W·H AREA DE LA VENTANA

R := 0.903 REFLECTIVIDAD DE MUROS  
(MARFIL) AREA DE PISOS

Ap := 4.3

DISTANCIAS

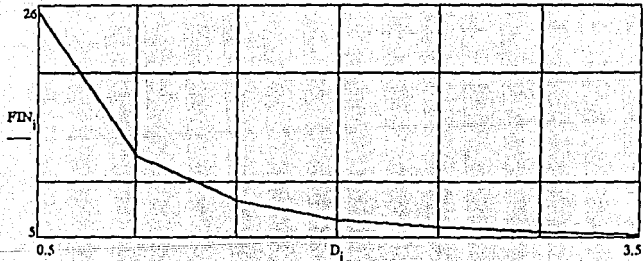
D<sub>i</sub> :=

0.509
1
1.5
2
2.5
3
3.5

$$FIN_i := \left[ \frac{10 \cdot W \cdot H^2}{D_i \cdot [(D_i)^2 + H^2]} \right] + \left[ \frac{4 \cdot Av \cdot R}{Ap \cdot (1 - R)} \right]$$

FIN<sub>i</sub>

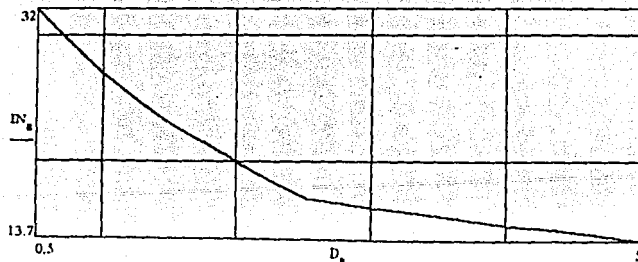
25.283
12.38
8.272
6.623
5.862
5.473
5.256



### METODO DE MEDICIONES DIRECTAS CON FOTOMETRO ESPACIO: RECAMARA CON VENTANA AL NOROESTE

D<sub>e</sub> := IN<sub>e</sub> :=

0.5	32	MEDIDO
1	27	INTERPOL
1.5	23	INT.
2	20	INT.
2.5	17	INT.
3	16.3	INT.
3.5	15.6	INT.
4	15	INT.
4.5	14.4	INT.
5	13.7	MED





## O. ESTRATEGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR

### 1. Planteamiento de las estrategias de diseño térmico.

De acuerdo con los datos climatológicos del lugar y el análisis que de ellos se hizo, las soluciones arquitectónicas para cada una de las características del clima, topografía y tipo de usuario, para todas estas determinantes en su conjunto serán las siguientes:

#### Radiación solar alta.

En lo que se refiere a los cerramientos opacos (muros y techos) se orientarán con una desviación de  $45^\circ$  con respecto al eje norte-sur, con el propósito de que la incidencia de los rayos del Sol, en todas las horas del día, a lo largo de todo el año y particularmente en las horas de mayor radiación (12 a 14 horas), sea lo más lejano a la normal (perpendicular) posible.

Además se procurará que la inercia térmica que proporcionen estos cerramientos sea tal que el calor acumulado se libere hacia el interior durante la noche para proporcionar una ganancia térmica que contribuya a mantener una temperatura de entre  $22$  y  $28^\circ\text{C}$ , pensando que dicha ganancia de calor se mantenga hasta el comienzo del nuevo ciclo en el que se tendrán nuevas ganancias del exterior por radiación y por la ventilación sanitaria.

Otra de las estrategias será ubicar los cerramientos opacos en los que se tenga demasiada radiación ó cualquier tipo de ganancias del exterior por radiación y por la ventilación sanitaria.

En el caso de los cerramientos transparentes (ventanas) se orientarán de manera que la radiación solar directa que incida sobre éstos sea mínima, o preferentemente sólo se tenga en las horas en que la temperatura interior tienda a estar por debajo de los rangos de comodidad ( $22^\circ\text{C}$ ); además se planeará para que en estas mismas horas (24 a 6 horas), los vientos no incidan sobre dichos cerramientos, ya que debido a su baja inercia térmica, las pérdidas por convección pueden ser significativas negativamente.

Los cerramientos transparentes se ubicarán alejados del nivel del piso o en posición en que el calor emitido por las áreas exteriores no entre por éstos.

La vivienda estará semienterrada con el objeto de aprovechar la inercia térmica de la tierra para así evitar que la variación de la temperatura sea considerablemente alta y mantener la temperatura interior en los rangos de comodidad, otra de las ventajas de este sistema es el enfriamiento por evaporación debido a la humedad de la tierra.

### **Humedad relativa baja.**

La humedad relativa baja, la temperatura del aire alta y la velocidad del viento baja pueden provocar que se tengan ganancias de calor importantes, si la ventilación fuera alta por lo que se tendrá ventilación mínima y procurando que la que se tenga se tome de masas de aire que estén a la sombra, o que pasen por áreas con vegetación, o tengan contacto con masas de agua para que disminuya su temperatura por convección.

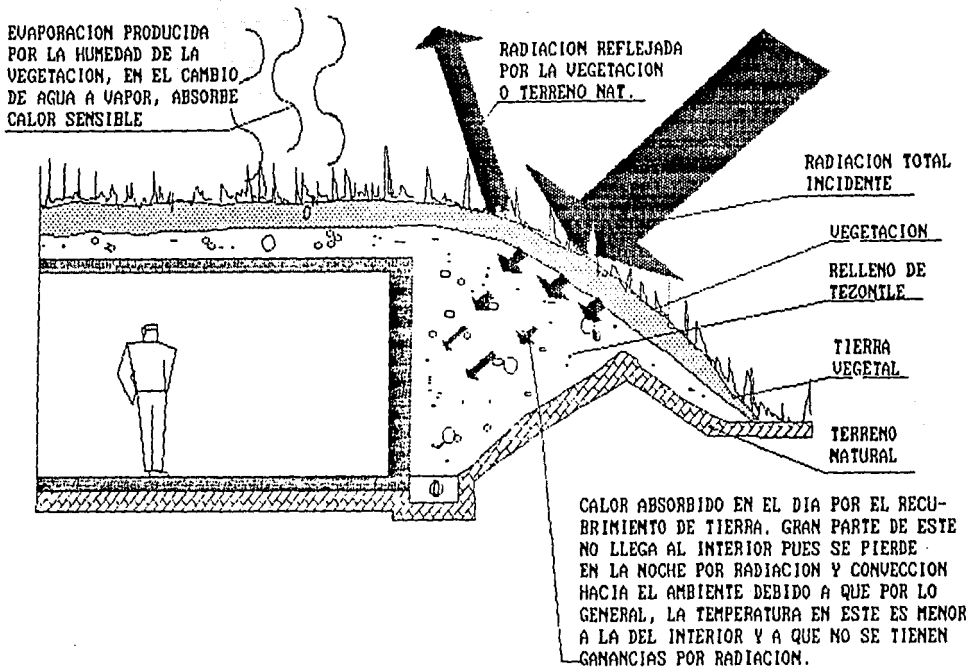
Se propondrá que la vegetación sea abundante para reducir el calentamiento del terreno que cubrirá en parte a la vivienda y el de las áreas cercanas, debido a que en gran parte del año la radiación solar es alta, se propone el sembrado de árboles de tipo perennifolio en las cercanías de la construcción para que proporcionen sombra a la misma.

## 2. ESTRATEGIAS PASIVAS.

### 2.1. Construcción semienterrada.

Esta estrategia consiste en cubrir con tierra muros y techos, en su totalidad o en un amplio porcentaje con el propósito de disminuir el intercambio térmico entre el exterior y el interior de la vivienda. En este proyecto se decidió utilizar esta estrategia debido a las altas temperaturas ambiente que se tienen en la mayor parte del año en Hermosillo.

En el siguiente esquema se describirá el comportamiento del intercambio térmico en este tipo de construcción.



## 2.2. Orientación de la vivienda.

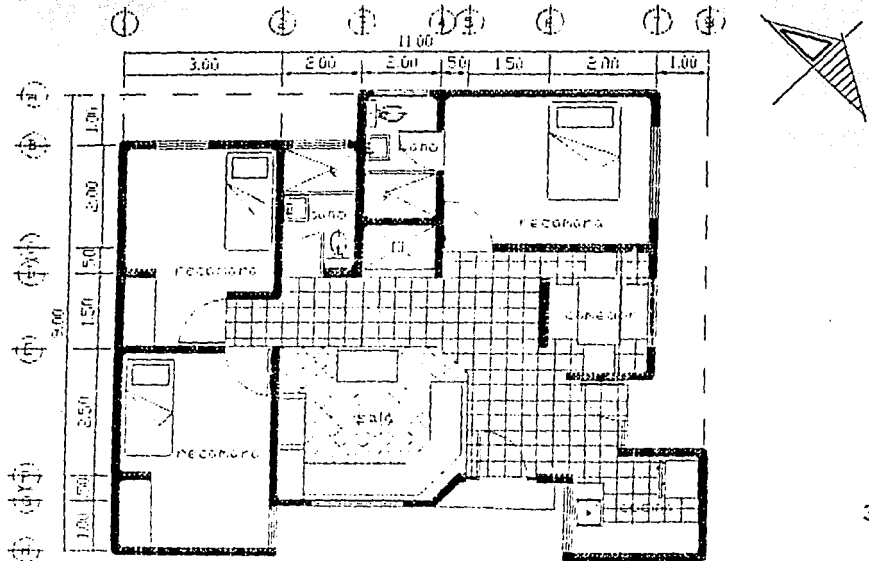
La orientación de la construcción es de  $45^\circ$  con respecto al sur, con la intención de que la incidencia de la radiación solar sobre los muros no sea directa (normal) a los planos de éstos, a ninguna hora del día. Otra de las intenciones es que los volúmenes de la construcción provean de sombra a la misma la mayor cantidad de tiempo posible.

Los muros con orientación sudoeste están completamente enterrados ya que de no ser así tendrían ganancias altas de calor por radiación a las horas de mayor temperatura ambiente en el día.

Las ventanas orientadas al noroeste están provistas de partesoles que además tienen la función de muros de contención de tierras, estas protecciones contra los rayos del Sol son necesarias en las últimas horas de soleamiento en la época de verano.

La entrada por el patio de servicio y la ventana del comedor orientadas al noreste tienen protecciones similares a las anteriormente descritas, la ventana de una de las recámaras con la misma orientación, no tiene protección debido a que la radiación que pueda recibir es baja y por poco tiempo además de que puede contribuir a dar una temperatura de confort en las primeras horas del día.

Las ventanas de la fachada sudeste son sombreadas antes del medio día por árboles que se plantarán con este propósito y después del medio día por las sombras proyectadas por la misma construcción.



PLANTA ARQUITECTONICA

### 2.3. Partesol en un domo (tragaluz)

El objetivo de este partesol es permitir la incidencia de la radiación solar sobre el domo solamente en el invierno, evitar esta incidencia en la época de verano a lo largo de todo el día, por lo que el partesol tendrá una inclinación determinada para que la superficie exterior de éste forme un ángulo recto con la altitud solar media en el verano.

MES	DIA PROMEDIO	ALTITUD SOLAR		
JUNIO	11	83.75	83.75	
JULIO	17	81.85	+ 74.07	
AGOSTO	16	74.07	157.82 / 2 = 78.91	ALTITUD SOLAR PROMEDIO EN EL VERANO = 79

ANGULO DE INCLINACION DEL PARA-SOL

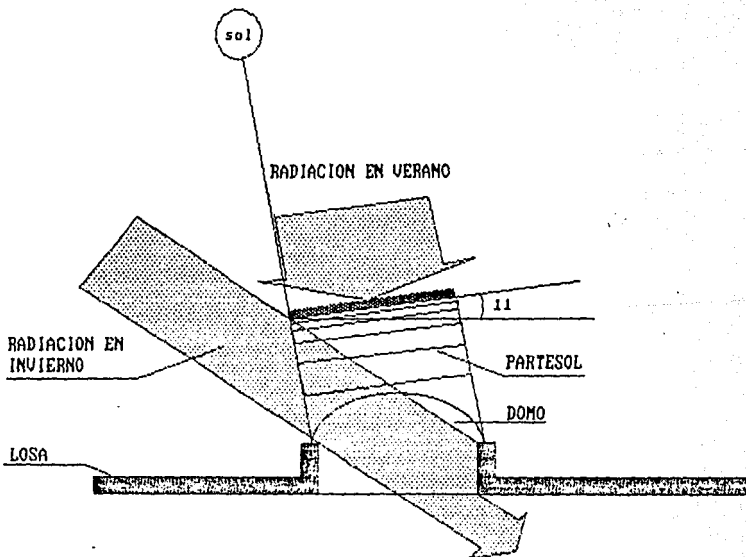
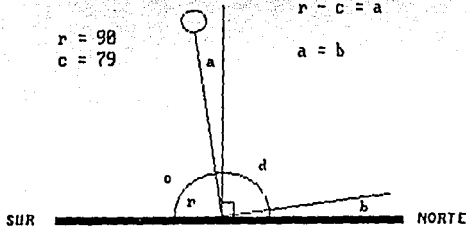
$$98 - 79 = 11$$

$$r = 98$$

$$c = 79$$

$$r - c = a$$

$$a = b$$

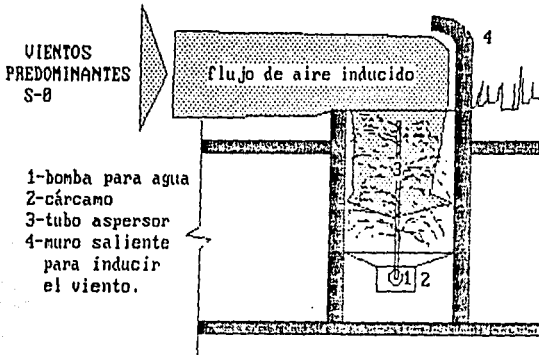


## 2.4. Cubo de ventilación con enfriamiento por convección- evaporación.

En este cubo se usará ventilación inducida mediante barreras de arbustos y un muro colocados en los costados de este y en la dirección opuesta a la dirección del viento, los vientos predominantes en esta localidad provienen en el verano del sudoeste con una velocidad entre 6.48 y 11.16 km/hr.

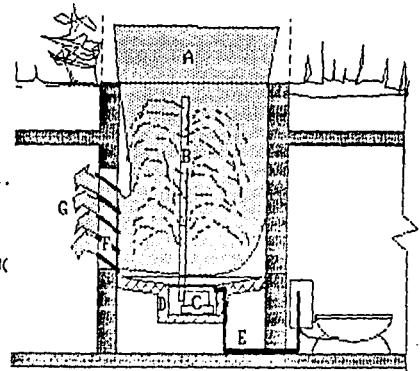
Por tener esta localidad un clima cálido seco, la ventilación que se proveerá será solamente por higiene, esto para tener una ganancia mínima de calor por ventilación (convección).

El aire introducido a la edificación se preenfriará en el cubo por medio de un aspersor de agua para que ésta, al tener contacto con el aire tome parte de el calor de éste. Una parte del agua se evaporará y la restante se enviará mediante un rebosadero a las cajas de los inodoros, para evitar manejar un gran volumen de agua o de lo contrario, que un volumen pequeño iguale en poco tiempo su temperatura con la del aire ambiente y disminuya su capacidad de absorber calor .



CORTE A - A'

- A- aire a Tamb.
- B- aspersor
- C- bomba
- D- cárcamo
- E- tubería a WC
- F- ventilas móviles
- G- aire frío



CORTE B - B'

### **3. ESTRATEGIA ACTIVA.**

#### **3.1. Objetivos.**

Diseñar un sistema de aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua, decidiendo las características más adecuadas de los colectores solares para el uso en particular y obtener el número de colectores necesarios y dimensión del tanque de almacenamiento.

#### **3.2. Tipo de sistema.**

El uso del sistema será calentamiento de agua para uso doméstico, el cual obtendrá la energía necesaria de la radiación solar mediante colectores planos, suministrando el total de la energía para este fin.

#### **3.3. Elementos del sistema.**

1. Colectores solares planos.
2. Termotanque.

#### **3.4. Especificaciones.**

1. Colectores solares planos.
  - a. 1 cubierta de vidrio claro de 4 mm. de espesor.
  - b. Dimensiones: largo 2 m. ancho 1 m.
  - c. Aislante térmico: espuma de poliuretano, espesor 0.05 m; conductividad térmica  $k = .045 \text{ w/m k}$ .
  - d. Placa absorbente:
    - cobre conductividad térmica  $k = 385 \text{ w/m k}$ , espesor .0003 m.
    - separación entre ductos .10 m.
    - diámetro interior .0114 m.
    - diámetro exterior .0127 m.

#### **3.5. Orientación.**

La orientación será de 0 grados con respecto al sur y la inclinación de 25.0 grados, con el propósito de tener la mayor captación a lo largo de todo el año.

#### **3.6. Protección anticongelante.**

Se colocará un interruptor eléctrico con un termostato calibrado para que al descender la temperatura del agua de los colectores a 6 grados, se encienda una bomba que haga circular agua caliente del termotanque hacia los colectores.

CIUDAD: HERMOSILLO, SONORA.

LATTUD:  $\phi := 29.33\text{-deg}$  N

INCLINACION DEL COLECTOR:  $\epsilon := 25\text{-deg}$

RADIACION SOLAR GLOBAL DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO HORIZONTAL:

DIAS REPRESENTATIVOS  
DEL AÑO (KLEIN)

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

$n_i :=$			$H_i :=$
17	ENERO 17	ENERO 17	16200
47	FEBRERO 16	FEBRERO 16	20500
75	MARZO 16	MARZO 16	23300
105	ABRIL 15	ABRIL 15	25800
135	MAYO 15	MAYO 15	26100
162	JUNIO 11	JUNIO 11	24300
198	JULIO 17	JULIO 17	21300
228	AGOSTO 14	AGOSTO 14	20800
258	SEPTIEMBRE 15	SEPTIEMBRE 15	22600
288	OCTUBRE 15	OCTUBRE 15	21200
318	NOVIEMBRE 14	NOVIEMBRE 14	18200
344	DICIEMBRE 10	DICIEMBRE 10	20200

CALCULO DE LA RADIACION EXTRATERRESTRE ( $H_0$ ):

CONSTANTE SOLAR:  $I_{cs} := 4921.2 \text{ KJ / m}^2 \text{ hr}$  (1367 W /m2)

$$\text{DECLINACION: } \Gamma_i := 2 \cdot \pi \cdot \frac{(n_i) - 1}{365}$$

$$\begin{aligned} \delta_i := & 0.006918 - 0.399912 \cdot \cos(\Gamma_i) + 0.070257 \cdot \sin(\Gamma_i) \dots \\ & + 0.006758 \cdot \cos(2 \cdot \Gamma_i) + 0.000907 \cdot \sin(2 \cdot \Gamma_i) \dots \\ & + 0.002697 \cdot \cos(3 \cdot \Gamma_i) + 0.00148 \cdot \sin(3 \cdot \Gamma_i) \end{aligned}$$

$$\text{ANGULO HORARIO } \omega_{s_i} := \text{acos}(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta_i))$$



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

En donde:

$H_0$  = Radiación extraterrestre diaria (KJ / m<sup>2</sup> día).

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

$\omega_s$  = ángulo horario en el ocaso (rad).

$\delta$  = Declinación correspondiente al día más representativo del mes (rad).

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

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

KJ / m<sup>2</sup> día

$H_0$

ene	21669.081
feb	26514.207
mar	32020.125
abr	36947.35
may	39951.412
jun	41036.117
jul	40465.339
ago	38194.285
sep	34120.44
oct	28639.264
nov	23246.96
dic	20439.195

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

$$HT = KT \cdot H_0 \cdot R$$

En donde:

$$KT_i := \frac{H_i}{H_0}$$

KT = Razón entre H /  $H_0$  (factor de claridad):

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

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

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

Ahora, utilizando la ecuación de LIU y JORDAN determinaremos "R".  
Previamente asignaremos valores a las variables y determinaremos R<sub>b</sub>, que es la razón entre H<sub>b</sub> y H<sub>bt</sub>.

H<sub>b</sub> = Radiación Directa Diaria Promedio Mensual sobre un plano inclinado.

H<sub>bt</sub> = Radiación Directa Diaria Promedio Mensual sobre un plano horizontal.

R<sub>b</sub> = Razón entre H<sub>b</sub> / H<sub>bt</sub> (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 (rad).

$s = 0.436$

$\omega s$  = ángulo horario en el ocaso referido al plano horizontal (rad).

$\omega's_i$  = ángulo horario en el ocaso referido al plano inclinado (rad).

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

$\omega's_i := \arccos(-\tan(\phi - s) \cdot \tan(\delta_i))$  y de  $\omega s$  .....

$\omega's_i := \text{if}(|\omega's_i| < |\omega s|, \omega's_i, \omega s)$

$\omega s_i$ deg	$\omega's_i$ deg	$\omega's_i$ deg
77.608	88.343	77.608
82.78	89.03	82.78
88.852	89.845	88.852
95.384	90.724	88.852
100.946	91.466	90.724
103.824	91.845	91.466
102.684	91.696	91.845
98.047	91.081	91.696
91.881	90.253	91.081
85.346	89.373	90.253
79.455	88.587	85.346
76.311	88.172	79.455
		76.311

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

$$Rb_i = \frac{\cos(\phi - s) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \sin(\omega's_i) + \omega's_i \cdot \sin(\phi - s) \cdot \sin(\delta_i)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \sin(\omega s_i) + \omega s_i \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\delta_i)}$$

$$R_i = \left(1 - \frac{Hd_i}{H_i}\right) \cdot Rb_i + \frac{Hd_i}{H_i} \cdot \frac{1 + \cos(s)}{2} + \rho \cdot \frac{(1 - \cos(s))}{2}$$

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 ( $H_T$ ):

$$H_T := K_T \cdot H_o \cdot R_f$$

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

$$H_b := H_i - H_d$$

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

$$H_b := H_{bt} \cdot R_b$$

DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR DIFUSA DIARIA PROMEDIO  
MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO ( $H_{Td}$ ):

$$H_{Td} := H_T - H_b$$

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

PLANO HORIZONTAL.

	II GLOBAL	IIdi DIRECTA	IId DIFUSA	$\frac{\phi}{deg} = 29.33$
	II	IIdi	IId	
ene	16200	13412.409	2787.591	
feb	20500	17500.245	2999.755	
mar	23300	18853.536	4446.464	
abr	25800	20209.144	5590.856	
may	26100	19491.453	6608.547	
jun	24300	17022.618	7277.382	
jul	21300	13855.986	7444.014	
ago	20800	13825.118	6974.882	
sep	22600	17038.499	5561.501	
oct	21200	17402.45	3797.55	
nov	18200	15725.288	2474.712	
dic	20200	23992.082	3792.082	

PLANO INCLINAD: (al sur)

$\frac{\delta}{deg} = 25$

	IIIT GLOBAL	IIdi DIRECTA	IId DIFUSA	$\frac{\phi}{deg} = 29.33$
	IIIT	IIdi	IId	
ene	23773.305	20964.521	2808.785	
feb	26947.573	23896.275	3051.297	
mar	26618.749	22162.282	4456.467	
abr	26039.097	20468.426	5570.672	
may	24165.499	17622	6543.499	
jun	21740.076	14575.94	7164.137	
jul	19413.267	12118.412	7294.856	
ago	20085.387	13242.371	6843.016	
sep	24164.641	18651.93	5512.71	
oct	26099.209	22280.932	3818.277	
nov	25930.36	23401.059	2529.302	
dic	35417.188	38842.368	3425.18	

RESULTADOS DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS EN EL CALCULO

DECLINACION (grados)      FACTOR DE CLARIDAD (adimensional)

	$\delta_i$ deg	$KT_i$	$R_i$	$Rb_i$
ene	20.904	0.748	1.467	1.563
feb	12.609	0.773	1.315	1.365
mar	-2.042	0.728	1.142	1.175
abr	9.481	0.698	1.009	1.013
may	18.674	0.653	0.926	0.904
jun	23.038	0.592	0.895	0.856
jul	21.346	0.526	0.911	0.875
ago	13.989	0.545	0.966	0.958
sep	3.343	0.662	1.069	1.095
oct	-8.218	0.74	1.231	1.28
nov	18.041	0.783	1.425	1.488
dic	22.841	0.988	1.753	1.619

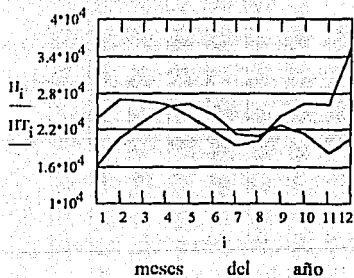
COMPARACION GRAFICA DE RADIACION INCIDENTE SOBRE PLANOS HORIZONTAL E INCLINADO (KJ / m2 día)

$H_i$	$HT_i$
16200	23773.305
20500	26947.573
23300	26618.749
25800	26039.097
26100	24165.499
24300	21740.076
21300	19413.267
20800	20085.387
22600	24164.641
21200	26099.209
18200	25930.36
20200	35417.188

$\frac{s}{deg} = 25$

$\frac{\phi}{deg} = 29.33$

Plano Horizontal  
Plano Inclinado



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

$$Hh = H \cdot RG$$

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 (rad).

$\omega_k$ :=
82.5-deg
67.5-deg
52.5-deg
37.5-deg
22.5-deg
7.5-deg

$$a_1 = 0.409 + 0.5016 \cdot \sin(\omega_{s_1} - 1.047)$$

$$b_1 = 0.6609 - 0.4767 \cdot \sin(\omega_{s_1} - 1.047)$$

$$RGenc_k := \frac{\pi}{T} \cdot (a_1 + b_1 \cdot \cos(\omega_k)) \cdot \frac{\cos(\omega_k) - \cos(\omega_{s_1})}{\sin(\omega_{s_1}) - \omega_{s_1} \cdot \cos(\omega_{s_1})}$$

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

$$Hdn = Hd \cdot RD$$

$$RDenc_k := \frac{\pi}{T} \cdot \frac{\cos(\omega_k) - \cos(\omega_{s_1})}{\sin(\omega_{s_1}) - (\omega_{s_1}) \cdot \cos(\omega_{s_1})}$$

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

$\phi = 29.33$   
deg

ENERO	(Hh) GLOBAL	(Hdn) DIFUSA	(Hb) DIRECTA
	Hhene <sub>k</sub>	Hdnene <sub>k</sub>	Hbene <sub>k</sub>
	0	0	0
6 a 7 y 17 a 18	394.112	89.405	304.707
7 a 8 y 16 a 17	1066.492	209.654	856.838
8 a 9 y 15 a 16	1736.54	307.838	1428.703
9 a 10 y 14 a 15	2276.017	377.264	1898.754
10 a 11 y 13 a 14	2576.644	413.201	2163.442

FEBRERO	(Hh) GLOBAL	(Hdn) DIFUSA	(Hb) DIRECTA
	Hhfeb <sub>k</sub>	Hdnfeb <sub>k</sub>	Hbfeb <sub>k</sub>
	10.669	2.346	8.323
6 a 7 y 17 a 18	668.431	124.512	543.919
7 a 8 y 16 a 17	1428.644	234.043	1194.6
8 a 9 y 15 a 16	2168.885	323.475	1845.41
9 a 10 y 14 a 15	2757.17	386.713	2370.457
10 a 11 y 13 a 14	3082.793	419.447	2663.346

MARZO	(Hh) GLOBAL	(Hdn) DIFUSA	(Hb) DIRECTA
	Hhmar <sub>k</sub>	Hdnmar <sub>k</sub>	Hbmar <sub>k</sub>
	246.076	66.387	179.688
6 a 7 y 17 a 18	931.672	217.89	713.782
7 a 8 y 16 a 17	1693	353.724	1339.276
8 a 9 y 15 a 16	2417.437	464.632	1952.805
9 a 10 y 14 a 15	2985.477	543.055	2442.422
10 a 11 y 13 a 14	3297.669	583.65	2714.019

ABRIL	(Hh) GLOBAL	(Hdn) DIFUSA	(Hb) DIRECTA
	Hhabr <sub>k</sub>	Hdnabr <sub>k</sub>	Hbabr <sub>k</sub>
	493.223	142.554	350.669
6 a 7 y 17 a 18	1183.13	302.773	880.357
7 a 8 y 16 a 17	1923.67	446.422	1477.248
8 a 9 y 15 a 16	2613.846	563.71	2050.136
9 a 10 y 14 a 15	3148.281	646.646	2501.635
10 a 11 y 13 a 14	3440.025	689.576	2750.449

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

$$\frac{\phi}{\text{deg}} = 29.33$$

MAYO	(Hh) GLOBAL	(Hdn) DIFUSA	(Hb) DIRECTA
	Hhmay <sub>k</sub>	Hdnmay <sub>k</sub>	Hbmay <sub>k</sub>
6 a 7 y 17 a 18	651.382	210.564	440.817
7 a 8 y 16 a 17	1294.556	376.271	918.285
8 a 9 y 15 a 16	1968.981	524.839	1444.142
9 a 10 y 14 a 15	2588.197	646.145	1942.052
10 a 11 y 13 a 14	3063.244	731.921	2331.323
11 a 12 y 12 a 13	3321.25	776.322	2544.928

JUNIO	(Hh) GLOBAL	(Hdn) DIFUSA	(Hb) DIRECTA
	Hhjun <sub>k</sub>	Hdnjun <sub>k</sub>	Hbjun <sub>k</sub>
6 a 7 y 17 a 18	669.274	250.678	418.596
7 a 8 y 16 a 17	1243.506	421.765	821.741
8 a 9 y 15 a 16	1839.364	575.157	1264.207
9 a 10 y 14 a 15	2382.684	700.402	1682.282
10 a 11 y 13 a 14	2797.69	788.963	2008.727
11 a 12 y 12 a 13	3022.541	834.806	2187.736

JULIO	(Hh) GLOBAL	(Hdn) DIFUSA	(Hb) DIRECTA
	Hhjul <sub>k</sub>	Hdnjul <sub>k</sub>	Hbjul <sub>k</sub>
6 a 7 y 17 a 18	565.536	249.173	316.363
7 a 8 y 16 a 17	1077.281	428.637	648.644
8 a 9 y 15 a 16	1610.442	589.54	1020.902
9 a 10 y 14 a 15	2097.892	720.917	1376.975
10 a 11 y 13 a 14	2470.854	813.814	1657.039
11 a 12 y 12 a 13	2673.116	861.902	1811.214

AGOSTO	(Hh) GLOBAL	(Hdn) DIFUSA	(Hb) DIRECTA
	Hhago <sub>k</sub>	Hdnago <sub>k</sub>	Hbago <sub>k</sub>
6 a 7 y 17 a 18	458.857	200.841	258.016
7 a 8 y 16 a 17	993.698	388.061	605.637
8 a 9 y 15 a 16	1561.087	555.918	1005.17
9 a 10 y 14 a 15	2085.965	692.972	1392.993
10 a 11 y 13 a 14	2490.536	789.885	1700.651
11 a 12 y 12 a 13	2710.834	840.05	1870.784



DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL HORARIA  $\frac{s}{deg} = 25$   
 PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO (Hht)  
 (para un plano inclinado hacia el sur)

$$Hht = Hh \cdot R$$

DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR DIFUSA HORARIA  $\frac{s}{deg} = 25$   
 PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO (Hdht)  
 (para un plano inclinado hacia el sur)

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

donde:

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

DETERMINACION DE LA RADIACION SOLAR DIRECTA HORARIA  $\frac{s}{deg} = 25$   
 PROMEDIO MENSUAL SOBRE UN PLANO INCLINADO (Hbn)  
 (para un plano inclinado hacia el sur)

$$Hbn = Hht - Hdht$$

$$Hhtenc_k := Henc \cdot RGenck \cdot R_k$$

$$Hdhtenc_k := Henc \cdot \left( \frac{1 + \cos(s)}{2} \cdot \frac{Hd_k \cdot RDenc_k}{Henc} \right) + \text{ALBEDO}$$

$$Hbnenc_k := Hhtenc_k \dots \\ + \cdot Hdhtenc_k$$

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

LATITUD:  $\frac{\phi}{\text{deg}} = 29.33$

INCLINACION:  $\frac{s}{\text{deg}} = 25$

ENERO

	(Hht) GLOBAL Hhtenc <sub>k</sub>	(Hdht) DIFUSA Hdhtenc <sub>k</sub>	(Hbn) DIRECTA Hbnenc <sub>k</sub>
de 6 a 7 y de 17 a 18	0	0	0
de 7 a 8 y de 16 a 17	578.355	85.226	493.129
de 8 a 9 y de 15 a 16	1565.064	199.842	1365.222
de 9 a 10 y de 14 a 15	2548.352	293.426	2254.926
de 10 a 11 y de 13 a 14	3340.028	359.6	2980.428
de 11 a 12 y de 12 a 13	3781.194	393.854	3387.34

FEBRERO

	(Hht) GLOBAL Hhtfeb <sub>k</sub>	(Hdht) DIFUSA Hdhtfeb <sub>k</sub>	(Hbn) DIRECTA Hbnfeb <sub>k</sub>
de 6 a 7 y de 17 a 18	14.025	2.246	11.78
de 7 a 8 y de 16 a 17	878.663	118.689	759.974
de 8 a 9 y de 15 a 16	1877.975	223.089	1654.886
de 9 a 10 y de 14 a 15	2851.034	308.331	2542.703
de 10 a 11 y de 13 a 14	3624.344	368.606	3255.737
de 11 a 12 y de 12 a 13	4052.38	399.807	3652.573

MARZO

	(Hht) GLOBAL Hhtmar <sub>k</sub>	(Hdht) DIFUSA Hdhtmar <sub>k</sub>	(Hbn) DIRECTA Hbnmar <sub>k</sub>
de 6 a 7 y de 17 a 18	281.126	63.287	217.839
de 7 a 8 y de 16 a 17	1064.375	207.692	856.683
de 8 a 9 y de 15 a 16	1934.143	337.163	1596.981
de 9 a 10 y de 14 a 15	2761.766	442.875	2318.891
de 10 a 11 y de 13 a 14	3410.715	517.625	2893.091
de 11 a 12 y de 12 a 13	3767.374	556.318	3211.056

ABRIL

	(Hht) GLOBAL Hhtabr <sub>k</sub>	(Hdht) DIFUSA Hdhtabr <sub>k</sub>	(Hbn) DIRECTA Hbnabr <sub>k</sub>
de 6 a 7 y de 17 a 18	497.794	135.885	361.908
de 7 a 8 y de 16 a 17	1194.095	288.599	905.496
de 8 a 9 y de 15 a 16	1941.497	425.518	1515.979
de 9 a 10 y de 14 a 15	2638.069	537.312	2100.758
de 10 a 11 y de 13 a 14	3177.457	616.362	2561.095
de 11 a 12 y de 12 a 13	3471.905	657.282	2814.624

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

LATITUD:  $\frac{\phi}{\text{deg}} = 29.33$

INCLINACION:  $\frac{s}{\text{deg}} = 25$

MAYO	(Hht) GLOBAL	(Hdht) DIFUSA	(Hbn) DIRECTA
	Hhtmay <sub>k</sub>	Hdhtmay <sub>k</sub>	Hbnmay <sub>k</sub>
de 6 a 7 y de 17 a 18	603.102	200.71	402.392
de 7 a 8 y de 16 a 17	1198.605	358.653	839.952
de 8 a 9 y de 15 a 16	1823.042	500.262	1322.78
de 9 a 10 y de 14 a 15	2396.363	615.885	1780.478
de 10 a 11 y de 13 a 14	2836.2	697.643	2138.557
de 11 a 12 y de 12 a 13	3075.082	739.964	2335.119

JUNIO	(Hht) GLOBAL	(Hdht) DIFUSA	(Hbn) DIRECTA
	Hhtjun <sub>k</sub>	Hdhtjun <sub>k</sub>	Hbnjun <sub>k</sub>
de 6 a 7 y de 17 a 18	598.768	238.944	359.824
de 7 a 8 y de 16 a 17	1112.506	402.016	710.49
de 8 a 9 y de 15 a 16	1645.593	548.223	1097.37
de 9 a 10 y de 14 a 15	2131.676	667.6	1464.076
de 10 a 11 y de 13 a 14	2502.962	752.012	1750.95
de 11 a 12 y de 12 a 13	2704.127	795.708	1908.419

JULIO	(Hht) GLOBAL	(Hdht) DIFUSA	(Hbn) DIRECTA
	Hhtjul <sub>k</sub>	Hdhtjul <sub>k</sub>	Hbnjul <sub>k</sub>
de 6 a 7 y de 17 a 18	515.441	237.51	277.932
de 7 a 8 y de 16 a 17	981.856	408.566	573.29
de 8 a 9 y de 15 a 16	1467.791	561.932	905.859
de 9 a 10 y de 14 a 15	1912.063	687.154	1224.909
de 10 a 11 y de 13 a 14	2251.988	775.7	1476.288
de 11 a 12 y de 12 a 13	2436.334	821.534	1614.8

AGOSTO	(Hht) GLOBAL	(Hdht) DIFUSA	(Hbn) DIRECTA
	Hhtago <sub>k</sub>	Hdhtago <sub>k</sub>	Hbnago <sub>k</sub>
de 6 a 7 y de 17 a 18	443.092	191.442	251.65
de 7 a 8 y de 16 a 17	959.558	369.891	589.666
de 8 a 9 y de 15 a 16	1507.454	529.885	977.57
de 9 a 10 y de 14 a 15	2014.299	660.519	1353.78
de 10 a 11 y de 13 a 14	2404.97	752.891	1652.079
de 11 a 12 y de 12 a 13	2617.699	800.706	1816.993

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

LATTUD:  $\frac{\phi}{\text{deg}} = 29.33$

INCLINACION:  $\frac{s}{\text{deg}} = 25$

SEPTIEMBRE	(Hht) GLOBAL Hhtsep <sub>k</sub>	(Hdht) DIFUSA Hdhtsep <sub>k</sub>	(Hbn) DIRECTA Hbnsep <sub>k</sub>
de 6 a 7 y de 17 a 18	357.229	107.742	249.486
de 7 a 8 y de 16 a 17	1037.532	274.05	763.483
de 8 a 9 y de 15 a 16	1780.442	423.157	1357.285
de 9 a 10 y de 14 a 15	2480.253	544.902	1935.351
de 10 a 11 y de 13 a 14	3025.678	630.989	2394.689
de 11 a 12 y de 12 a 13	3324.471	675.551	2648.92

OCTUBRE	(Hht) GLOBAL Hhtoct <sub>k</sub>	(Hdht) DIFUSA Hdhtoct <sub>k</sub>	(Hbn) DIRECTA Hbnoct <sub>k</sub>
de 6 a 7 y de 17 a 18	131.648	26.725	104.924
de 7 a 8 y de 16 a 17	939.336	163.137	776.199
de 8 a 9 y de 15 a 16	1856.118	285.442	1570.676
de 9 a 10 y de 14 a 15	2739.727	385.303	2354.425
de 10 a 11 y de 13 a 14	3437.815	455.915	2981.9
de 11 a 12 y de 12 a 13	3823.017	492.467	3330.551

NOVIEMBRE	(Hht) GLOBAL Hhtnov <sub>k</sub>	(Hdht) DIFUSA Hdhtnov <sub>k</sub>	(Hbn) DIRECTA Hbnnov <sub>k</sub>
de 6 a 7 y de 17 a 18	0	0	0
de 7 a 8 y de 16 a 17	713.966	84.544	629.422
de 8 a 9 y de 15 a 16	1747.215	180.255	1566.96
de 9 a 10 y de 14 a 15	2767.978	258.402	2509.575
de 10 a 11 y de 13 a 14	3585.867	313.661	3272.206
de 11 a 12 y de 12 a 13	4040.509	342.265	3698.245

DICIEMBRE	(Hht) GLOBAL Hhtdic <sub>k</sub>	(Hdht) DIFUSA Hdhtdic <sub>k</sub>	(Hbn) DIRECTA Hbndic <sub>k</sub>
de 6 a 7 y de 17 a 18	0	76.506	-76.506
de 7 a 8 y de 16 a 17	775.211	0	775.211
de 8 a 9 y de 15 a 16	2288.454	0	2288.454
de 9 a 10 y de 14 a 15	3806.137	0	3806.137
de 10 a 11 y de 13 a 14	5032.377	0	5032.377
de 11 a 12 y de 12 a 13	5716.937	0	5716.937

### 3.8. DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR

## CALCULO DEL ANGULO DE INCIDENCIA SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA

Valores horarios en los días más representativos del mes y el plano. Es con relación a un eje normal al plano.

$\phi := 29.33\text{-deg}$  ...latitud del lugar.

$s := 25\text{-deg}$  ...ángulo de inclinación del colector.

### DECLINACION

$$\Gamma_i := 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_i - 1}{365}$$

$$\begin{aligned} \delta_i := & 0.006918 - 0.399912 \cdot \cos(\Gamma_i) \dots \\ & + 0.070257 \cdot \sin(\Gamma_i) - 0.006758 \cdot \cos(2 \cdot \Gamma_i) \dots \\ & + 0.000907 \cdot \sin(2 \cdot \Gamma_i) - 0.002697 \cdot \cos(3 \cdot \Gamma_i) + 0.00148 \cdot \sin(3 \cdot \Gamma_i) \end{aligned}$$

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

DECLINACION (rad)

ANGULO HORARIO

$\delta_i$			$\omega_i :=$
-0.365	enero 17	6 1/2	82.5-deg
-0.22	febrero 16	7 1/2	67.5-deg
-0.036	marzo 16	8 1/2	52.5-deg
0.165	abril 15	9 1/2	37.5-deg
0.326	mayo 15	10 1/2	22.5-deg
0.402	junio 11	11 1/2	7.5-deg
0.373	julio 17	12 1/2	-7.5-deg
0.244	agosto 14	13 1/2	-22.5-deg
0.058	septiembre 15	14 1/2	-37.5-deg
-0.143	octubre 15	15 1/2	-52.5-deg
-0.315	noviembre 14	16 1/2	-67.5-deg
-0.399	diciembre 10	17 1/2	-82.5-deg

Angulo de incidencia con respecto al eje normal al plano del colector  $\theta_{T_i} := \arccos(\sin(\delta_i) \cdot \sin(\phi - s) + \cos(\delta_i) \cdot \cos(\phi - s) \cdot \cos(\omega_i))$

RADIACION HORARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE EL PLANO HORIZONTAL.

(KJ / m<sup>2</sup> hr)

$\phi = 29.33$   
deg

	(Hh) GLOBAL.	(Hdn) DIFUSA	(Hb) DIRECTA
SEPTIEMBRE	Hhsep <sub>k</sub>	Hdnsep <sub>k</sub>	Hbsep <sub>k</sub>
6 a 7 y 17 a 18	334.099	113.028	221.071
7 a 8 y 16 a 17	970.353	287.509	682.844
8 a 9 y 15 a 16	1665.16	443.944	1221.215
9 a 10 y 14 a 15	2319.659	571.673	1747.985
10 a 11 y 13 a 14	2829.768	661.991	2167.776
11 a 12 y 12 a 13	3109.214	708.743	2400.47

	(Hh) GLOBAL.	(Hdn) DIFUSA	(Hb) DIRECTA
OCTUBRE	Hhoct <sub>k</sub>	Hdnoct <sub>k</sub>	Hboct <sub>k</sub>
6 a 7 y 17 a 18	106.936	28.028	78.908
7 a 8 y 16 a 17	763.009	171.145	591.863
8 a 9 y 15 a 16	1507.697	299.461	1208.236
9 a 10 y 14 a 15	2225.44	404.23	1821.21
10 a 11 y 13 a 14	2792.486	478.313	2314.173
11 a 12 y 12 a 13	3105.38	516.661	2588.72

	(Hh) GLOBAL.	(Hdn) DIFUSA	(Hb) DIRECTA
NOVIEMBRE	Hhnov <sub>k</sub>	Hdnov <sub>k</sub>	Hbnov <sub>k</sub>
6 a 7 y 17 a 18	0	0	0
7 a 8 y 16 a 17	501.118	88.69	412.429
8 a 9 y 15 a 16	1226.335	189.104	1037.231
9 a 10 y 14 a 15	1942.788	271.092	1671.696
10 a 11 y 13 a 14	2516.848	329.067	2187.781
11 a 12 y 12 a 13	2835.952	359.077	2476.876

	(Hh) GLOBAL.	(Hdn) DIFUSA	(Hb) DIRECTA
DECIEMBRE	Hhdic <sub>k</sub>	Hndic <sub>k</sub>	Hbdic <sub>k</sub>
6 a 7 y 17 a 18	0	80.256	-80.256
7 a 8 y 16 a 17	442.137	0	442.137
8 a 9 y 15 a 16	1305.207	0	1305.207
9 a 10 y 14 a 15	2170.809	0	2170.809
10 a 11 y 13 a 14	2870.189	0	2870.189
11 a 12 y 12 a 13	3260.624	0	3260.624

RESULTADOS DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS EN EL CALCULO

	DECLINACION (grados)	FACTOR DE CLARIDAD (adimensional)		
	$\delta_i$	$KT_i$	$R_i$	$Rb_i$
	deg			
ene	-20.904	0.748	1.467	1.563
feb	-12.609	0.773	1.315	1.365
mar	-2.042	0.728	1.142	1.175
abr	9.481	0.698	1.009	1.013
may	18.674	0.653	0.926	0.904
jun	23.038	0.592	0.895	0.856
jul	21.346	0.526	0.911	0.875
ago	13.989	0.545	0.966	0.958
sep	3.343	0.662	1.069	1.095
nov	-8.218	0.74	1.231	1.28
dic	-18.041	0.783	1.425	1.488
	-22.841	0.988	1.753	1.619

RG:	RGene <sub>k</sub>	RGfeb <sub>k</sub>	RGmar <sub>k</sub>	RGabr <sub>k</sub>	RGmay <sub>k</sub>	RGjun <sub>k</sub>
	0.0101	0.0005	0.0106	0.0191	0.025	0.0275
	0.0243	0.0326	0.04	0.0459	0.0496	0.0512
	0.0658	0.0697	0.0727	0.0746	0.0754	0.0757
	0.1072	0.1058	0.1038	0.1013	0.0992	0.0981
	0.1405	0.1345	0.1281	0.122	0.1174	0.1151
	0.1591	0.1504	0.1415	0.1333	0.1273	0.1244
	RGjul <sub>k</sub>	RGago <sub>k</sub>	RGsep <sub>k</sub>	RGoct <sub>k</sub>	RGnov <sub>k</sub>	RGdic <sub>k</sub>
	0.0266	0.0221	0.0148	0.005	-0.006	-0.0131
	0.0506	0.0478	0.0429	0.036	0.0275	0.0219
	0.0756	0.0751	0.0737	0.0711	0.0674	0.0646
	0.0985	0.1003	0.1026	0.105	0.1067	0.1075
	0.116	0.1197	0.1252	0.1317	0.1383	0.1421
	0.1255	0.1303	0.1376	0.1465	0.1558	0.1614
RD:	RDene <sub>k</sub>	RDfeb <sub>k</sub>	RDmar <sub>k</sub>	RDabr <sub>k</sub>	RDmay <sub>k</sub>	RDjun <sub>k</sub>
	-0.016	0.0008	0.0149	0.0255	0.0319	0.0344
	0.0321	0.0415	0.049	0.0542	0.0569	0.058
	0.0752	0.078	0.0796	0.0798	0.0794	0.079
	0.1104	0.1078	0.1045	0.1008	0.0978	0.0962
	0.1353	0.1289	0.1221	0.1157	0.1108	0.1084
	0.1482	0.1398	0.1313	0.1233	0.1175	0.1147
	RDjul <sub>k</sub>	RDago <sub>k</sub>	RDsep <sub>k</sub>	RDoct <sub>k</sub>	RDnov <sub>k</sub>	RDdic <sub>k</sub>
	0.0335	0.0288	0.0203	0.0074	-0.0094	-0.0212
	0.0576	0.0556	0.0517	0.0451	0.0358	0.0291
	0.0792	0.0797	0.0798	0.0789	0.0764	0.0742
	0.0968	0.0994	0.1028	0.1064	0.1095	0.111
	0.1093	0.1132	0.119	0.126	0.133	0.137
	0.1158	0.1204	0.1274	0.1361	0.1451	0.1505



## ANALISIS OPTICO

REFLEXION:

RELACION DE FRESNEL:

$i$  = 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.                     $n = 1$

$O_2$  = ángulo de refracción.

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

REFLEXION CUANDO EL ANGULO DE INCIDENCIA NO ES NORMAL  
( $O_1$  dif. de 0):

$$I_{\rho enc_i} := \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\sin(\theta_{2enc_i} - \theta_{1enc_i})^2}{\sin(\theta_{2enc_i} + \theta_{1enc_i})^2} + \frac{\tan(\theta_{2enc_i} - \theta_{1enc_i})^2}{\tan(\theta_{2enc_i} + \theta_{1enc_i})^2} \right)$$

Componentes polarizadas:

$$CP1_{enc_i} := \left( \frac{\sin(\theta_{2enc_i} - \theta_{1enc_i})^2}{\sin(\theta_{2enc_i} + \theta_{1enc_i})^2} \right)$$

$$CP2_{enc_i} := \left( \frac{\tan(\theta_{2enc_i} - \theta_{1enc_i})^2}{\tan(\theta_{2enc_i} + \theta_{1enc_i})^2} \right)$$

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

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin O_2}{\sin O_1} \quad \frac{n_1}{n_2} = 0.655 \quad \dots\dots\dots(2)$$

REFLEXION CUANDO EL ANGULO DE INCIDENCIA ES NORMAL  
( $O_1 = 0$ ):

$$I_{\rho 0} = \frac{I_r}{I_o} \quad \dots \text{o también:} \quad I_{\rho 0} = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad \dots(3)$$

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

## TRANSMISION

TRANSMISION A TRAVES DE UNA SOLA CUBIERTA DE VIDRIO  
CONSIDERANDO SOLO REFLEXION (NO ABSORCION) ( $\tau_1$ ):

$$\tau_{1enc_i} := \frac{1 - \rho_{enc_i}}{1 + \rho_{enc_i}} \quad \dots\dots(4)$$

TRANSMISION A TRAVES DE "n" CUBIERTAS DE VIDRIO  
CONSIDERANDO SOLO REFLEXION (NO ABSORCION) ( $\tau_n$ ):

A incidencia normal: Número de cubiertas:  $n = 1$

$$\tau_{n0} := \frac{1 - \rho_0}{1 + (2 \cdot n - 1) \cdot \rho_0} \quad \tau_{n0} = 0.917 \quad \dots\dots(5)$$

A incidencia diferente de 0:

$$\tau_{nCP1enc_i} := \frac{1 - CP1enc_i}{1 + (2 \cdot n - 1) \cdot CP1enc_i} \quad \tau_{nCP2enc_i} := \frac{1 - CP2enc_i}{1 + (2 \cdot n - 1) \cdot CP2enc_i}$$

RADIACION TRANSMITIDA SIN CONSIDERAR  
ABSORCION:

$$\tau_{menc_i} := 0.5 \cdot (\tau_{nCP1enc_i} + \tau_{nCP2enc_i})$$

TRANSMISION A TRAVES DE "n" CUBIERTAS CONSIDERANDO  
ABSORCION ( $\tau_a$ ):

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

k = 0.1 / cm

n = 1

L = 0.4 cm

...coeficiente de extinción.

...número de cubiertas.

...ánótese el espesor del vidrio.

$$\tau_{aenc_i} := e^{-n \cdot k \cdot \frac{L}{\cos(\theta_{2enc_i})}} \quad \dots\dots(6)$$

## TRANSMISION TOTAL

Considerando ambos fenómenos, absorción y reflexión:

$$\tau_{enc_i} = \tau_{enc_i} \cdot \tau_{enc_i} \dots (7)$$

## 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:	$\rho_{d4} := 0.32$

$\alpha$ = absorptancia 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 selectiva:

$\rho_d = \rho_{d1}$	$\rho_d := \rho_{d1}$
$\alpha_1 := 0.95$	$\alpha_2 := 0.83$

**SUPERFICIE SELECTIVA**

**NEGRO MATE COMERCIAL**

$$\tau_{\alpha} \tau_{enc_i} = \frac{\tau_{enc_i} \cdot \alpha_1}{1 - (1 - \alpha_1) \cdot \rho_d}$$

$$\tau_{\alpha} \tau_{enc_i} = \frac{\tau_{enc_i} \cdot \alpha_2}{1 - (1 - \alpha_2) \cdot \rho_d}$$

## PRODUCTO TRANSMITANCIA - ABSORTANCIA EFECTIVO.

El valor de "a" puede ser cualquiera de los siguientes dependiendo de el numero de cubiertas y de la emisividad de la placa.

NEGRO MATE COMERCIAL			SUPERFICIE SELECTIVA	
$\epsilon = 0.95$			$\epsilon = 0.10$	
$\tau_{\text{aef1}}$	$a_1 := 0.27$	1 cubierta	$a_{01} := 0.13$	$\tau_{\text{aef1}}$
$\tau_{\text{aef2}}$	$a_{21} := 0.15$ $a_{22} := 0.62$	2 cubiertas	$a_{021} := 0.09$ $a_{022} := 0.40$	$\tau_{\text{aef2}}$
$\tau_{\text{aef3}}$	$a_{31} := 0.14$ $a_{32} := 0.45$ $a_{33} := 0.75$	3 cubiertas	$a_{031} := 0.06$ $a_{032} := 0.31$ $a_{033} := 0.53$	$\tau_{\text{aef3}}$

$\tau_{\text{aene}_i} := \tau_{\text{aene}_i}$  (superficie selectiva)

$$\tau_{\text{aef1ene}_i} := \tau_{\text{aene}_i} + (1 - \tau_{\text{aene}_i}) \cdot a_{01} \cdot (\tau_{\text{aene}_i})^{1-1} \quad (1 \text{ cubierta})$$

$$\tau_{\text{aef2ene}_i} := \tau_{\text{aene}_i} + (1 - \tau_{\text{aene}_i}) \cdot a_{21} \cdot (\tau_{\text{aene}_i})^{2-1} \dots + (1 - \tau_{\text{aene}_i}) \cdot a_{22} \cdot (\tau_{\text{aene}_i})^{1-1} \quad (2 \text{ cubiertas})$$

$$\tau_{\text{aef3ene}_i} := \tau_{\text{aene}_i} + (1 - \tau_{\text{aene}_i}) \cdot a_{31} \cdot (\tau_{\text{aene}_i})^{3-1} \dots + (1 - \tau_{\text{aene}_i}) \cdot a_{32} \cdot (\tau_{\text{aene}_i})^{2-1} \dots + (1 - \tau_{\text{aene}_i}) \cdot a_{33} \cdot (\tau_{\text{aene}_i})^{1-1} \quad (3 \text{ cubiertas})$$

# ANÁLISIS ÓPTICO

## TABLA DE RESULTADOS

### CONSTANTES CONSIDERADAS:

$n = 1$	...No. de cubiertas	$a_1 = 0.95$	...absortancia (superficie select)
$n_1 = 1$	...índice ref. aire	$k = 0.1$	...coeficiente de extinción
$n_2 = 1.526$	...índice ref. vidrio	$l = 0.4$	...espesor del vidrio
		$\epsilon = 0.10$	...emitancia (superficie selectiva)

	Angulo de incidencia (grados)	Transmision (reflexion y absorcion)	Transmitancia absortancia (%)	Transmitancia absortancia (%)
<b>ENERO</b>				
	$\theta_1 \text{ene}_i$	$t_{\text{ene}_i} \cdot 100$	$\tau_{2\text{ene}_i} \cdot 100$	$\tau_{\text{efl ene}_i} \cdot 100$
6 a 7 y 17 a 18	81.399	38.097	32.504	37.149
7 a 8 y 16 a 17	67.394	72.761	62.08	70.317
8 a 9 y 15 a 16	53.492	83.75	71.456	80.802
9 a 10 y 14 a 15	39.929	86.892	74.137	83.774
10 a 11 y 13 a 14	27.326	87.772	74.887	84.589
11 a 12 y 12 a 13	17.949	87.994	75.077	84.788
<b>FEBRERO</b>				
	$\theta_1 \text{feb}_i$ deg	$t_{\text{feb}_i} \cdot 100$	$\tau_{2\text{feb}_i} \cdot 100$	$\tau_{\text{efl feb}_i} \cdot 100$
6 a 7 y 17 a 18	81.714	36.892	31.476	35.995
7 a 8 y 16 a 17	67.081	73.183	62.441	70.721
8 a 9 y 15 a 16	52.456	84.146	71.794	81.178
9 a 10 y 14 a 15	37.912	87.11	74.322	83.977
10 a 11 y 13 a 14	23.66	87.884	74.983	84.691
11 a 12 y 12 a 13	10.985	88.062	75.135	84.847
<b>MARZO</b>				
	$\theta_1 \text{mar}_i$ deg	$t_{\text{mar}_i} \cdot 100$	$\tau_{2\text{mar}_i} \cdot 100$	$\tau_{\text{efl mar}_i} \cdot 100$
6 a 7 y 17 a 18	82.366	34.338	29.297	33.55
7 a 8 y 16 a 17	67.415	72.732	62.056	70.29
8 a 9 y 15 a 16	52.461	84.144	71.793	81.177
9 a 10 y 14 a 15	37.514	87.148	74.355	84.013
10 a 11 y 13 a 14	22.595	87.909	75.005	84.714
11 a 12 y 12 a 13	7.88	88.078	75.149	84.86
<b>ABRIL IL</b>				
	$\theta_1 \text{abr}_i$ deg	$t_{\text{abr}_i} \cdot 100$	$\tau_{2\text{abr}_i} \cdot 100$	$\tau_{\text{efl abr}_i} \cdot 100$
6 a 7 y 17 a 18	83.372	30.246	25.806	29.633
7 a 8 y 16 a 17	68.693	70.883	60.478	68.522
8 a 9 y 15 a 16	54.15	83.479	71.225	80.544
9 a 10 y 14 a 15	39.899	86.895	74.14	83.777
10 a 11 y 13 a 14	26.424	87.803	74.914	84.618
11 a 12 y 12 a 13	15.853	88.02	75.099	84.811

TABLA DE RESULTADOS

ANALISIS OPTICO

	ANGULO DE INCIDENCIA (grados)	TRANSMISION (reflexión y absorción)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA EFECTIVA
	(%)	(%)	(%)	(%)
MAYO	$\theta_{1may_i}$	$\tau_{1may_i} \cdot 100$	$\tau_{a2may_i} \cdot 100$	$\tau_{aef1may_i} \cdot 100$
	deg			
	84.367	26.03	22.209	25.596
6 a 7 y 17 a 18	70.348	68.173	58.166	65.931
7 a 8 y 16 a 17	56.646	82.291	70.211	79.414
8 a 9 y 15 a 16	43.602	86.377	73.697	83.29
9 a 10 y 14 a 15	32.067	87.553	74.701	84.389
10 a 11 y 13 a 14	24.323	87.866	74.968	84.675
11 a 12 y 12 a 13				
JUNIO	$\theta_{1jun_i}$	$\tau_{1jun_i} \cdot 100$	$\tau_{a2jun_i} \cdot 100$	$\tau_{aef1jun_i} \cdot 100$
	deg			
	84.892	23.743	20.258	23.406
6 a 7 y 17 a 18	71.315	66.409	56.661	64.244
7 a 8 y 16 a 17	58.144	81.44	69.486	78.604
8 a 9 y 15 a 16	45.803	85.976	73.355	82.911
9 a 10 y 14 a 15	35.227	87.343	74.522	84.195
10 a 11 y 13 a 14	28.495	87.727	74.849	84.548
11 a 12 y 12 a 13				
JULIO	$\theta_{1jul_i}$	$\tau_{1jul_i} \cdot 100$	$\tau_{a2jul_i} \cdot 100$	$\tau_{aef1jul_i} \cdot 100$
	deg			
	84.685	24.649	21.031	24.274
6 a 7 y 17 a 18	70.927	67.134	57.279	64.937
7 a 8 y 16 a 17	57.541	81.797	69.789	78.943
8 a 9 y 15 a 16	44.92	86.146	73.501	83.072
9 a 10 y 14 a 15	33.974	87.434	74.599	84.279
10 a 11 y 13 a 14	26.871	87.788	74.901	84.604
11 a 12 y 12 a 13				
AGOSTO	$\theta_{1ago_i}$	$\tau_{1ago_i} \cdot 100$	$\tau_{a2ago_i} \cdot 100$	$\tau_{aef1ago_i} \cdot 100$
	deg			
	83.84	28.283	24.131	27.753
6 a 7 y 17 a 18	69.438	69.71	59.477	67.4
7 a 8 y 16 a 17	55.255	82.985	70.804	80.075
8 a 9 y 15 a 16	41.541	86.687	73.962	83.581
9 a 10 y 14 a 15	28.985	87.706	74.831	84.53
10 a 11 y 13 a 14	19.93	87.962	75.05	84.761
11 a 12 y 12 a 13				

TABLA DE RESULTADOS

ANÁLISIS ÓPTICO

	ANGULO DE INCIDENCIA (grados)	TRANSMISION (reflexión y absorción)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA (%)	TRANSMITANCIA ABSORTANCIA EFFECTIVA (%)
	$\theta_{1sep_1}$ deg	(%) $\tau_{sep_1} \cdot 100$	$\tau_{2sep_1} \cdot 100$	$\tau_{eflsep_1} \cdot 100$
SEPTIEMBRE				
6 a 7 y 17 a 18	82.8	32.595	27.81	31.881
7 a 8 y 16 a 17	67.897	72.059	61.481	69.646
8 a 9 y 15 a 16	53.039	83.928	71.608	80.971
9 a 10 y 14 a 15	38.281	87.073	74.291	83.943
10 a 11 y 13 a 14	23.81	87.88	74.98	84.687
11 a 12 y 12 a 13	10.848	88.063	75.136	84.848
OCTUBRE				
	$\theta_{1oct_1}$ deg	$\tau_{oct_1} \cdot 100$	$\tau_{2oct_1} \cdot 100$	$\tau_{efl oct_1} \cdot 100$
6 a 7 y 17 a 18	81.952	35.969	30.689	35.112
7 a 8 y 16 a 17	67.12	73.131	62.396	70.671
8 a 9 y 15 a 16	52.275	84.212	71.85	81.24
9 a 10 y 14 a 15	37.439	87.155	74.361	84.02
10 a 11 y 13 a 14	22.663	87.908	75.003	84.712
11 a 12 y 12 a 13	8.328	88.076	75.147	84.859
NOVIEMBRE				
	$\theta_{1nov_1}$ deg	$\tau_{nov_1} \cdot 100$	$\tau_{2nov_1} \cdot 100$	$\tau_{efl nov_1} \cdot 100$
6 a 7 y 17 a 18	81.488	37.758	32.215	36.825
7 a 8 y 16 a 17	67.229	72.985	62.271	70.532
8 a 9 y 15 a 16	53.034	83.93	71.609	80.973
9 a 10 y 14 a 15	39.075	86.989	74.22	83.865
10 a 11 y 13 a 14	25.836	87.822	74.93	84.635
11 a 12 y 12 a 13	15.4	88.025	75.103	84.816
DICIEMBRE				
	$\theta_{1dic_1}$ deg	$\tau_{dic_1} \cdot 100$	$\tau_{2dic_1} \cdot 100$	$\tau_{efl dic_1} \cdot 100$
6 a 7 y 17 a 18	81.351	38.278	32.659	37.323
7 a 8 y 16 a 17	67.54	72.56	61.909	70.126
8 a 9 y 15 a 16	53.861	83.6	71.328	80.659
9 a 10 y 14 a 15	40.593	86.811	74.068	83.698
10 a 11 y 13 a 14	28.446	87.729	74.851	84.55
11 a 12 y 12 a 13	19.722	87.966	75.053	84.764

## ANALISIS TERMICO DE UN COLECTOR SOLAR PLANO

Para el análisis térmico deberá realizarse un balance de energía:

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

$Q_u$  = 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.

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

$A$  = área 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:

donde:  $Q_L = UL A (T_p - T_a)$

$T_p$  = Temperatura de la placa.

$T_a$  = Temperatura ambiente.

$Q_L$  = Pérdidas totales de calor.

$UL$  = Coeficiente Global de pérdidas de calor.

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

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

	(oC)	
	$T_{a_i} =$	
	16.6	ene
	18.1	feb
	20.1	mar
	23.7	abr
	27.2	may
	31.8	jun
	32.6	jul
	31.5	ago
	31.0	sep
	27.2	oct
	21.0	nov
	17.0	dic



PERDIDAS POR LA CARA INFERIOR DEL COLECTOR ( UB ):

Area del colector (placa absorbente):	$A = 1.85$	$m^2$
Temperatura de la placa:	$T_p = 65 + 273.15$	$K$
Espesor del aislante:	$L'' = 0.05$	$m$
Coefficiente de conductividad térmica del aislante:	$k = 0.045$	$W / m K$
$UB = \frac{k}{L''}$	$UB = 0.9$	$W / m^2 K$

$T_{c_i}$	(oC)
26	ene
27	feb
28	mar
32	abr
34	may
38	jun
39	jul
38	ago
38	sep
34	oct
29	nov
26	dic

Temperatura ambiente ( K ):  $T_{a_i} = T_{a_i} + 273.15$  K

Temperatura de cubierta (supuesta) (oC):  $T_{c_i} = T_{c_i} + 273.15$  K

PERDIDAS POR LA CARA SUPERIOR DEL COLECTOR ( UT ):

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

Coef. de convección placa-cubierta:	$h_{pc} = 3.21$	$W / m^2 K$
Coef. de radiación placa-cubierta:	$h_{rpc} = 1.153$	$W / m^2 K$
Coef. de convección cubierta-ambiente:	$h_w = 13.3$	$W / m^2 K$
Coef. de radiación cubierta-ambiente:	$h_{rcamb} = 5.699$	$W / m^2 K$

$$UT = \left( \frac{1}{h_{pc} + h_{rpc}} + \frac{1}{h_w + h_{rcamb}} \right)^{-1} \quad UT = 3.548 \quad W / m^2 K$$

COEFICIENTE GLOBAL DE PERDIDAS DE CALOR:

$$UL = UT + UB$$

$$UL = 4.448 \quad W / m^2 K$$

## DETERMINACION DE LA TEMPERATURA DE LA CUBIERTA:

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

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

de donde:	Temperatura supuesta	Temperatura calculada
	$\frac{273.15}{1}$	
	$\frac{1}{1}$	
$T_{c_i} := T_p - \frac{UT \cdot (T_p - T_{a_i})}{h_{pc} + h_{r_{pc}}}$	$T_{c_i} - \frac{1}{1}$	$T_{c_i} - 273.15$
	26	ene 26
	27	feb 27
	28	mar 28
	32	abr 32
	34	may 34
	38	jun 38
	39	jul 39
	38	ago 38
	38	sep 38
	34	oct 34
	29	nov 29
	26	dic 26

### TEMPERATURA DE CUBIERTA, PROMEDIO

ANUAL:

$$\sum_i \frac{T_{c_i}}{12} - 273.15 = 32.321 \text{ oC} \quad \text{similar a la supuesta para el cálculo de coeficientes.}$$

PERDIDAS TOTALES DE CALOR:

$$QL_i := UL \cdot A \cdot (T_p - T_{a_i})$$

	(W)
	$QL_i$
ene	398.29
feb	385.947
mar	369.488
abr	339.863
may	311.061
jun	273.207
jul	266.624
ago	275.676
sep	279.791
oct	311.061
nov	362.082
dic	394.999

## FACTORES DE DISEÑO

Habiamos determinado que:

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

También que:

$$Q_L = UL * A (T_p - T_a) \quad (1)$$

Si llamamos "S" al producto  $HR * (\tau\alpha_{ef})$ :

$$Q_u = S * A - Q_L \quad (2)$$

De 1 y 2 obtenemos la ecuación de calor útil:

$$Q_u = A (S - UL * (T_p - T_a)) \quad (3)$$

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

UL = 4.448	$\frac{W}{m^2 K}$	...coeficiente global de pérdidas de calor
D = 1.27	cm	...diámetro exterior de tubos.
Di = 1.14	cm	...diámetro interior de tubos.
W = 10	cm	...distancia @ de tubos.
m = 0.02	Kg / s	...flujo másico.
k = 385	$\frac{W}{m K}$	...coeficiente de conductividad térmica del cobre.
$\delta = 0.03$	cm	...espesor de placa.
kb = 63	$\frac{W}{m K}$	...coeficiente de conductividad térmica de la unión soldada (estaño).
b = 1.00	m	...longitud de la unión soldada.
$\Gamma = 0.003$	m	...espesor de la unión soldada.
$C_b = \frac{k_b \cdot b}{\Gamma}$		...conductancia de la unión soldada:
si $C_b = 21000$	> 33 W / m K:	...se considera una unión de buena conductancia.
o si $\frac{1}{C_b} = 0$	< 0.03 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 / m<sup>2</sup> K  
 CONVECCION FORZADA: hfi = 1500 W / m<sup>2</sup> K

En este caso: hfi = 1500 W / m<sup>2</sup> K

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

$$\text{mm} = 0.621$$

FACTOR DE ALETA:

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

$$F = 0.889$$

FACTOR DE EFICIENCIA:

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

$$F' = 0.894$$

$$L' = 1.95 \quad \text{m}$$

...largo del colector.

$$W' = 0.95 \quad \text{m}$$

...ancho del colector.

$$A = L' \cdot W'$$

...área del colector.

$$A = 1.853 \quad \text{m}^2$$

FACTOR DE REMOCION DE CALOR (FR):

$$G = \frac{m}{A} \quad \text{Kg / s m}^2 \quad G = 0.011$$

...flujo másico por unidad de superficie del colector.

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

...calor específico del agua.

$$FR = \left( G \cdot Cp \cdot \frac{1 - e^{-\frac{UL \cdot F'}{G \cdot Cp}}}{UL} \right)$$

$$FR = 0.856$$

**ESTA TESIS HA DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

DETERMINANDO "S":

	ENERO (W/m2)	FEBRERO (W/m2)	MARZO (W/m2)	ABRIL (W/m2)
	Sene <sub>j</sub>	Sfeb <sub>j</sub>	Smar <sub>j</sub>	Sabr <sub>j</sub>
6 a 7 y 17 a 18	0	1,4	26.149	40.947
7 a 8 y 16 a 17	112.871	172.429	207.776	227.192
8 a 9 y 15 a 16	351.256	423.593	436.224	434.029
9 a 10 y 14 a 15	593.118	665.233	644.467	614.068
10 a 11 y 13 a 14	784,9	852.647	802.533	746.595
11 a 12 y 12 a 13	890.636	954.471	888.384	817.849

**CALOR UTIL**

$$QU_{enej} := FR \cdot A \cdot [Sene_j - UL \cdot (Te_i - Tn_i)]$$

	ENERO (W)	FEBRERO (W)	MARZO (W)	ABRIL (W)
	QU <sub>enej</sub>	QU <sub>febj</sub>	QU <sub>marj</sub>	QU <sub>abrj</sub>
6 a 7 y 17 a 18	-35.219	-33.002	6.19	29.624
7 a 8 y 16 a 17	143.523	237,84	293.814	324.561
8 a 9 y 15 a 16	521.029	635.583	655.586	652.109
9 a 10 y 14 a 15	904.042	1018.244	985.358	937.218
10 a 11 y 13 a 14	1207.748	1315.032	1235.671	1147.089
11 a 12 y 12 a 13	1375.191	1476.281	1371.626	1259.926

**EFICIENCIA**

$$\eta_{enej} := \frac{QU_{enej}}{A \cdot HR_{febj}} \cdot 3,6$$

	(%) ENERO	(%) FEBRERO	(%) MARZO	(%) ABRIL
	$\eta_{enej} \cdot 100$	$\eta_{febj} \cdot 100$	$\eta_{marj} \cdot 100$	$\eta_{abrj} \cdot 100$
6 a 7 y 17 a 18	-489.534	-458.718	4.286	11.576
7 a 8 y 16 a 17	31.809	52.713	53.736	52.896
8 a 9 y 15 a 16	53.988	65.858	65.964	65.377
9 a 10 y 14 a 15	61.705	69,5	69.423	69.135
10 a 11 y 13 a 14	64.851	70.612	70.494	70.26
11 a 12 y 12 a 13	66.043	70.897	70.855	70.615

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

DATOS:

UL := 4.448      W / m<sup>2</sup> K      ...coeficiente global de pérdidas de calor.  
A := 1.85      m<sup>2</sup>      ...área del colector.  
FR := 0.856      ...factor de remoción de calor.

(° C)  
TEMPERATURA AMBIENTE  
T<sub>h</sub> :=

ene	16.6
feb	18.1
mar	20.12
abr	23.7
may	27.2
jun	31.8
jul	32.6
ago	31.5
sep	31.0
oct	27.2
nov	21.0
dic	17.0

T<sub>h</sub> := T<sub>h</sub> + 273.15

(° C)  
TEMPERATURA DE ENTRADA  
T<sub>e</sub> := T<sub>h</sub> + 5

ene	21.6
feb	23.1
mar	25.12
abr	28.7
may	32.2
jun	36.8
jul	37.6
ago	36.5
sep	36
oct	32.2
nov	26
dic	22

T<sub>e</sub> := T<sub>e</sub> + 273.15

IRRADIACION HORARIA, PROMEDIO MENSUAL SOBRE EL PLANO INCLINADO (HR):  
(KJ / m<sup>2</sup> hr)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
	HRenej :=	HRfeb <sub>j</sub> :=	HRmar <sub>j</sub> :=	HRabr <sub>j</sub> :=
6 a 7 y 17 a 18	0	14	281	498
7 a 8 y 16 a 17	578	878	1064	1194
8 a 9 y 15 a 16	1565	1878	1934	1941
9 a 10 y 14 a 15	2548	2851	2762	2638
10 a 11 y 13 a 14	3340	3624	3411	3177
11 a 12 y 12 a 13	3781	4052	3767	3472

PRODUCTO TRANSMITANCIA - ABSORTANCIA EFECTIVO, HORARIO, PROMEDIO MENSUAL (taef):

	ENERO (%)	FEBRERO (%)	MARZO (%)	ABRIL (%)
	taefene <sub>j</sub> :=	taeffeb <sub>j</sub> :=	taefmar <sub>j</sub> :=	taefabr <sub>j</sub> :=
6 a 7 y 17 a 18	37.1	36.0	33.5	29.6
7 a 8 y 16 a 17	70.3	70.7	70.3	68.5
8 a 9 y 15 a 16	80.8	81.2	81.2	80.5
9 a 10 y 14 a 15	83.8	84.0	84.0	83.8
10 a 11 y 13 a 14	84.6	84.7	84.7	84.6
11 a 12 y 12 a 13	84.8	84.8	84.9	84.8

DETERMINANDO "S".

	MAYO (W/ m2)	JUNIO (W/ m2)	JULIO (W/ m2)	AGOSTO (W/ m2)
	S <sub>mayj</sub>	S <sub>junj</sub>	S <sub>julj</sub>	S <sub>agoj</sub>
6 a 7 y 17 a 18	42.88	38.87	34.619	34.086
7 a 8 y 16 a 17	219.301	198.307	177.033	179.546
8 a 9 y 15 a 16	402.073	359.158	321.737	334.889
9 a 10 y 14 a 15	554.408	490.722	440.822	467.136
10 a 11 y 13 a 14	664.884	585.424	526.484	564.507
11 a 12 y 12 a 13	722.625	634.689	572.46	615.957

### CALOR UTIL

$$QU_{mayj} := FR \cdot A \cdot [S_{mayj} - UL \cdot (T_{e3} - T_{a3})]$$

	MAYO (W)	JUNIO (W)	JULIO (W)	AGOSTO (W)
	QU <sub>mayj</sub>	QU <sub>junj</sub>	QU <sub>julj</sub>	QU <sub>agoj</sub>
6 a 7 y 17 a 18	32.686	26.335	19.604	18.76
7 a 8 y 16 a 17	312.065	278.819	245.13	249.11
8 a 9 y 15 a 16	601.503	533.544	474.283	495.111
9 a 10 y 14 a 15	842.741	741.888	662.867	704.537
10 a 11 y 13 a 14	1017.692	891.858	798.521	858.734
11 a 12 y 12 a 13	1109.13	969.874	871.328	940.211

### EFICIENCIA

$$\eta_{mayj} := \frac{QU_{mayj}}{A \cdot HR_{mayj}} \cdot 3.6$$

	(%)	(%)	(%)	(%)
	MAYO $\eta_{mayj} \cdot 100$	JUNIO $\eta_{junj} \cdot 100$	JULIO $\eta_{julj} \cdot 100$	AGOSTO $\eta_{agoj} \cdot 100$
6 a 7 y 17 a 18	10.548	8.57	7.407	8.241
7 a 8 y 16 a 17	50.69	48.792	48.575	50.548
8 a 9 y 15 a 16	64.207	63.115	62.87	63.932
9 a 10 y 14 a 15	68.444	67.746	67.464	68.073
10 a 11 y 13 a 14	69.83	69.337	69.031	69.482
11 a 12 y 12 a 13	70.189	69.797	69.604	69.885

DETERMINANDO "S":

	SEPTIEMBRE (W/m2)	OCTUBRE (W/m2)	NOVIEMBRE (W/m2)	DICIEMBRE (W/m2)
	S <sub>sep</sub>	S <sub>oct</sub>	S <sub>nov</sub>	S <sub>dic</sub>
6 a 7 y 17 a 18	31.535	12.776	0	0
7 a 8 y 16 a 17	200.487	184.331	139.885	150.953
8 a 9 y 15 a 16	400.006	418.837	392.929	512.576
9 a 10 y 14 a 15	577.978	639.1	644.79	884.789
10 a 11 y 13 a 14	710.875	808.65	843.009	1181.821
11 a 12 y 12 a 13	782.987	897.343	951.757	1345.8

### CALOR UTIL

$$Q_{Usep_j} := FR \cdot A \cdot [S_{sep_j} - UL \cdot (T_{e_0} - T_{a_0})]$$

	SEPTIEMBRE (W)	OCTUBRE (W)	NOVIEMBRE (W)	DICIEMBRE (W)
	Q <sub>Usep_j</sub>	Q <sub>Uoct_j</sub>	Q <sub>Unov_j</sub>	Q <sub>Udic_j</sub>
6 a 7 y 17 a 18	14.72	14.987	35.219	35.219
7 a 8 y 16 a 17	282.271	256.687	186.302	203.83
8 a 9 y 15 a 16	598.23	628.052	587.024	776.495
9 a 10 y 14 a 15	880.066	976.859	985.871	1365.933
10 a 11 y 13 a 14	1090.522	1245.358	1299.77	1836.313
11 a 12 y 12 a 13	1204.718	1385.813	1471.983	2095.99

### EFICIENCIA

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

	(%)	(%)	(%)	(%)
	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	$\eta_{sep_j} \cdot 100$	$\eta_{oct_j} \cdot 100$	$\eta_{nov_j} \cdot 100$	$\eta_{dic_j} \cdot 100$
6 a 7 y 17 a 18	8.023	22.262	6.853 · 10 <sup>6</sup>	6.853 · 10 <sup>6</sup>
7 a 8 y 16 a 17	52.969	53.195	50.775	51.18
8 a 9 y 15 a 16	65.4	65.849	65.387	66.041
9 a 10 y 14 a 15	69.055	69.402	69.308	69.838
10 a 11 y 13 a 14	70.152	70.509	70.532	71.013
11 a 12 y 12 a 13	70.527	70.539	70.901	71.356



DETERMINACION DEL AREA DE COLECTORES NECESARIA  
Y VOLUMEN DEL TERMOTANQUE

Radiación incidente  
Global, diaria promedio  
mensual en el Plano Inclinado  
(KJ / m<sup>2</sup> día)

Calor útil promedio  
por cada colector:

Eficiencia  
promedio diario  
de los colectores con  
1.85 m<sup>2</sup> de área (%):

	HR <sub>i</sub> :=		QU <sub>i</sub> :=	$\eta_i = \frac{QU_i}{A \cdot HR_i}$	η <sub>i</sub>
ene	23773	ene	24900		0.566
feb	26947	feb	28086		0.563
mar	26618	mar	27270		0.554
abr	26039	abr	26088		0.542
may	24165	may	23478		0.525
jun	21740	jun	20628		0.513
jul	19413	jul	18414		0.513
ago	20085	ago	19584		0.527
sep	24164	sep	24408		0.546
oct	26099	oct	26940		0.558
nov	25930	nov	27168		0.566
dic	35417	dic	37650		0.575

Se dimensionará el sistema con los datos de julio, por ser el mes que presenta radiación en el plano inclinado baja y calor útil bajo en el año, considerando la temperatura ambiente mínima extrema, con lo que se asegura satisfacer la demanda de agua caliente en los demás meses.

Temperatura promedio del agua en el mes de enero. T<sub>f</sub> := 12.5

Temperatura de entrega. T<sub>e</sub> := 50.0

Calor específico del agua. C<sub>p</sub> := 4.1868

Cantidad de agua a 50°C que entregará cada colector de 1.85 m<sup>2</sup> durante el mes de julio.

$$m := \frac{QU_j}{C_p \cdot (T_e - T_f)} \quad m = 117.283 \quad \text{Kg/colector}$$

	H	θt	τ	τα	ταt	HR	S	F	F'	FR	QU	n
Hora	KJ/m2 día	grados		%	%	KJ/m2 hr.	w/m2				w	%
ENERO	16200											
6a7 - 17a18		84.6	38.1	32.5	37.1	0	0	0.889	0.894	0.856	0	0
7a8 - 16a17		70.8	72.8	62.1	70.3	578	112				143	31
8a9 - 15a16		57.3	83.8	71.5	80.8	1565	351				521	53
9a10 - 14a15		44.6	86.9	74.1	83.8	2548	593				904	61
10a11 - 13a14		33.5	87.8	74.9	84.6	3340	784				1207	64
11a12 - 12a13		26.3	88.0	75.1	84.8	3781	890				1375	66
H	θt	τ	τα <td>ταt <td>HR <td>S <td>F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td></td></td></td></td>	ταt <td>HR <td>S <td>F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td></td></td></td>	HR <td>S <td>F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td></td></td>	S <td>F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td></td>	F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td>	F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td>	FR <td>QU <td>n</td> </td>	QU <td>n</td>	n	
Hora	KJ/m2 día	grados		%	%	KJ/m2 hr.	w/m2				w	%
FEBRERO	16200											
6a7 - 17a18		83.7	36.9	31.5	36.0	14	1.4	0.889	0.894	0.856	0	0
7a8 - 16a17		69.2	73.2	62.4	70.7	878	172				237	52
8a9 - 15a16		54.8	84.1	71.8	81.2	1877	423				635	65
9a10 - 14a15		40.9	87.1	74.3	84.0	2851	665				1018	69
10a11 - 13a14		28.0	87.9	75.0	84.7	3624	852				1315	70
11a12 - 12a13		18.5	88.1	75.1	84.8	4052	954				1476	70
H	θt	τ	τα <td>ταt <td>HR <td>S <td>F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td></td></td></td></td>	ταt <td>HR <td>S <td>F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td></td></td></td>	HR <td>S <td>F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td></td></td>	S <td>F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td></td>	F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td>	F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td>	FR <td>QU <td>n</td> </td>	QU <td>n</td>	n	
Hora	KJ/m2 día	grados		%	%	KJ/m2 hr.	w/m2				w	%
MARZO	16200											
6a7 - 17a18		82.7	34.3	29.3	33.6	281	26	0.889	0.894	0.856	6	4
7a8 - 16a17		67.7	72.7	65.1	70.3	1064	207				293	53
8a9 - 15a16		52.8	84.1	71.8	81.2	1934	436				655	65
9a10 - 14a15		38.0	87.1	74.4	84.0	2761	644				985	69
10a11 - 13a14		23.4	87.9	75.0	84.7	3410	802				1235	70
11a12 - 12a13		9.8	88.1	75.1	84.9	3767	888				1371	70
H	θt	τ	τα <td>ταt <td>HR <td>S <td>F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td></td></td></td></td>	ταt <td>HR <td>S <td>F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td></td></td></td>	HR <td>S <td>F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td></td></td>	S <td>F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td></td>	F <td>F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td></td>	F' <td>FR <td>QU <td>n</td> </td></td>	FR <td>QU <td>n</td> </td>	QU <td>n</td>	n	
Hora	KJ/m2 día	grados		%	%	KJ/m2 hr.	w/m2				w	%
ABRIL	16200											
6a7 - 17a18		81.9	30.2	25.8	29.6	497	40	0.889	0.894	0.856	29	11
7a8 - 16a17		67.1	70.9	60.5	68.5	1194	227				324	52
8a9 - 15a16		52.3	83.5	71.2	80.5	1941	434				652	65
9a10 - 14a15		37.6	86.9	74.1	83.8	2638	614				937	69
10a11 - 13a14		22.9	87.8	74.9	84.6	3177	746				1147	70
11a12 - 12a13		9.1	88.0	75.1	84.8	3471	817				1259	70

Hora	H	ht	t	tu	tuL	HR	S	F	F'	FR	QU	n
	KJ/m2 dia	grados		%	%	KJ/m2 hr.	w/m2				w	%
MAYO	16200											
6a7 - 17a18		81.5	26.0	22.2	25.6	603	42	0.889	0.894	0.856	32	10
7a8 - 16a17		67.3	68.2	58.2	65.9	1198	219				312	50
8a9 - 15a16		53.2	82.3	70.2	79.4	1823	402				601	64
9a10 - 14a15		39.3	86.4	73.7	83.3	2396	554				842	68
10a11 - 13a14		26.2	87.6	74.7	84.4	2836	664				1017	69
11a12 - 12a13		16.1	87.9	75.0	84.7	3075	722				1109	70
Hora	H	ht	t	tu	tuL	HR	S	F	F'	FR	QU	n
	KJ/m2 dia	grados		%	%	KJ/m2 hr.	w/m2				w	%
JUNIO	16200											
6a7 - 17a18		81.4	23.7	20.3	23.4	598	38	0.889	0.894	0.856	26	8
7a8 - 16a17		67.6	66.4	56.7	64.2	1112	198				278	48
8a9 - 15a16		54.0	81.4	69.5	78.6	1645	359				533	63
9a10 - 14a15		40.8	86.0	73.4	82.9	2131	490				741	67
10a11 - 13a14		28.7	87.3	74.5	84.2	2502	585				891	69
11a12 - 12a13		20.1	87.7	74.8	84.5	2704	634				969	69
Hora	H	ht	t	tu	tuL	HR	S	F	F'	FR	QU	n
	KJ/m2 dia	grados		%	%	KJ/m2 hr.	w/m2				w	%
JULIO	16200											
6a7 - 17a18		81.4	24.6	21.0	24.3	515	34	0.889	0.894	0.856	19	7
7a8 - 16a17		67.5	67.1	57.3	64.9	981	177				245	48
8a9 - 15a16		53.6	81.8	69.8	78.9	1467	321				474	62
9a10 - 14a15		40.2	86.1	73.5	83.1	1912	440				662	67
10a11 - 13a14		27.7	87.4	74.6	84.3	2251	526				798	69
11a12 - 12a13		18.5	87.8	74.9	84.6	2436	572				871	69
Hora	H	ht	t	tu	tuL	HR	S	F	F'	FR	QU	n
	KJ/m2 dia	grados		%	%	KJ/m2 hr.	w/m2				w	%
AGOSTO	16200											
6a7 - 17a18		81.7	28.3	24.1	27.8	443	34	0.889	0.894	0.856	18	8
7a8 - 16a17		67.1	69.7	59.5	67.4	959	179				249	50
8a9 - 15a16		52.6	83.0	70.8	80.1	1507	334				495	63
9a10 - 14a15		38.2	86.7	74.0	83.6	2014	467				704	68
10a11 - 13a14		24.2	87.7	74.8	84.5	2404	564				858	69
11a12 - 12a13		12.2	88.0	75.1	84.8	2617	615				940	69

	H	t <sub>r</sub>	t	t <sub>u</sub>	t <sub>u,r</sub>	HR	S	F	F'	FR	QU	n
Hora	KJ/m2 dia	grados		%	%	KJ/m2 hr.	w/m2				w	%
SEPTIEMBRE	16200											
6a7 - 17a18		82.3	32.6	27.8	31.9	249	31	0.889	0.894	0.856	14	8
7a8 - 16a17		67.3	72.1	61.5	69.6	763	200				282	52
8a9 - 15a16		52.4	83.9	71.6	81.0	1357	400				598	65
9a10 - 14a15		37.4	87.1	74.3	83.9	1935	577				880	69
10a11 - 13a14		22.5	87.9	75.0	84.7	2394	710				1090	70
11a12 - 12a13		7.5	88.1	75.1	84.8	2648	782				1204	70
	H	t <sub>r</sub>	t	t <sub>u</sub>	t <sub>u,r</sub>	HR	S	F	F'	FR	QU	n
Hora	KJ/m2 dia	grados		%	%	KJ/m2 hr.	w/m2				w	%
OCTUBRE	16200											
6a7 - 17a18		83.2	36.0	30.7	35.1	104	12	0.889	0.894	0.856	0	0
7a8 - 16a17		68.5	73.1	62.4	70.7	776	184				256	53
8a9 - 15a16		53.8	84.2	71.9	81.2	1570	418				628	65
9a10 - 14a15		39.5	87.2	74.4	84.0	2354	639				976	69
10a11 - 13a14		25.7	87.9	75.0	84.7	2981	808				1245	70
11a12 - 12a13		14.6	88.1	75.1	84.9	3330	897				1385	70
	H	t <sub>r</sub>	t	t <sub>u</sub>	t <sub>u,r</sub>	HR	S	F	F'	FR	QU	n
Hora	KJ/m2 dia	grados		%	%	KJ/m2 hr.	w/m2				w	%
NOVIEMBRE	16200											
6a7 - 17a18		84.2	37.8	32.2	36.8	0	0	0.889	0.894	0.856	0	0
7a8 - 16a17		70.2	73.0	62.3	70.5	629	139				186	50
8a9 - 15a16		56.4	83.9	71.6	81.0	1566	392				587	65
9a10 - 14a15		43.2	87.0	74.2	83.9	2059	644				985	69
10a11 - 13a14		31.5	87.8	74.9	84.6	3272	843				1299	70
11a12 - 12a13		23.6	88.0	75.1	84.8	3698	951				1471	70
	H	t <sub>r</sub>	t	t <sub>u</sub>	t <sub>u,r</sub>	HR	S	F	F'	FR	QU	n
Hora	KJ/m2 dia	grados		%	%	KJ/m2 hr.	w/m2				w	%
DICIEMBRE	16200											
6a7 - 17a18		84.8	38.3	32.7	37.3	0	0	0.889	0.894	0.856	0	0
7a8 - 16a17		71.2	72.6	61.9	70.1	775	150				203	51
8a9 - 15a16		58.0	83.6	71.3	80.7	2288	512				776	66
9a10 - 14a15		45.6	86.8	74.1	83.7	3806	884				1365	69
10a11 - 13a14		34.9	87.7	74.9	84.6	5032	1181				1836	71
11a12 - 12a13		28.1	88.0	75.1	84.8	5716	1345				2095	71

Agua caliente necesaria en un día.

Numero de habitantes	$Nh = 4$	
Consumo diario por habitante	$Cd = 65$	
Consumo total diario.	$Dtd = Nh \cdot Cd$	
Número de colectores necesario.	$Nc := \left( Nh \cdot \frac{Cd}{m} \right)$	$Nc = 2.217$

Capacidad del termotanque

Radiación incidente en el día de diseño.	$HIR := 19413$	$KJ/m^2$
Eficiencia promedio del colector.	$n := 0.513$	
Area del colector.	$A := 1.85$	$m^2$
Temperatura del agua a la entrada	$Tf := 12.5$	$^{\circ}C$
Temperatura de entrega.	$Te := 50$	$^{\circ}C$
Densidad del agua.	$p := 1.0$	
Pérdidas calorificas en el termotanque.	$p := 3.0$	$W$

Carga térmica a satisfacer durante el periodo de captación.

$$QD := Cd \cdot Nh \cdot Cp \cdot (Te - Tf) \quad QD = 4.082 \cdot 10^4 \quad KJ$$

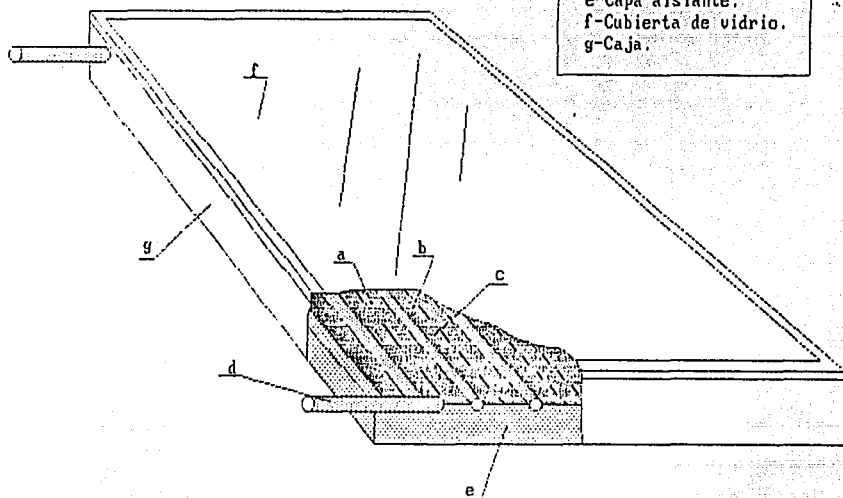
Capacidad del termotanque.

$$V = \left[ \frac{(HIR) \cdot n \cdot A \cdot (1 - p) - (QD)}{(Tf - Te) \cdot Cp \cdot p} \right] \quad V = 494.692 \quad \text{litros.}$$

# Colector Solar.

## ELEMENTOS DEL COLECTOR.

- a-Superficie selectiva.
- b-Placa absorbente.
- c-Tubos largeros.
- d-Tubos cabezales.
- e-Capa aislante.
- f-Cubierta de vidrio.
- g-Caja.



## Sistema de calefacción de agua con energía solar

