

22.
2EJ



Universidad Nacional Autónoma de México
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

**CARACTERIZACION DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO
PARABOLICO CON SISTEMA MECANICO DE SEGUIMIENTO
SOLAR, PARA CALENTAMIENTO DE AGUA.**

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

presentan

TEOFILO RAMIREZ GARCIA
ERNESTO CARRASCO VARGAS

Director de la Tesis: Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez

Cuautitlán, Edo. de México

1988

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

<u>INTRODUCCION</u>	<u>1</u>
<u>GENERALIDADES</u>	<u>5</u>
<u>OBJETIVOS</u>	<u>6</u>
CAPITULO 1	
CONCEPTOS BASICOS SOBRE ENERGIA SOLAR	
1.1. FUNDAMENTOS DE RADIACION SOLAR	8
1.2. SISTEMAS DE MEDICION DE RADIACION SOLAR	16
1.3. ANGULOS SOLARES BASICOS Y DERIVADOS	24
1.4. SISTEMAS DE CAPTACION SOLAR	33
CAPITULO 2	
DISEÑO Y CONSTRUCCION	
2.1. DATOS DE CONSTRUCCION DEL DISCO SOLAR Y BASE	42
2.2. DISEÑO, CONSTRUCCION E INSTALACION DEL ABSORBEDOR	50
2.3. INSTALACION DEL COLECTOR SOLAR PARABOLICO	69
2.4. DATOS FINALES DEL COLECTOR SOLAR PARABOLICO	73
CAPITULO 3	
DESARROLLO EXPERIMENTAL	
3.1. METODO DE OBTENCION DE LA ENERGIA CONCENTRADA EN EL C.S. P. ASI COMO DE LA RADIACION SOLAR DIRECTA	81
3.2. REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS	86
3.3. LECTURAS DE PARAMETROS RELACIONADOS CON LA ABSORCION DE ENERGIA EN EL SERPENTIN	100
CAPITULO 4	
ANALISIS DE RESULTADOS	
4.1. BALANCE DE ENERGIA EN EL SERPENTIN	103
4.2. PROMEDIO POR LECTURAS DE LA RADIACION DIRECTA	106
4.3. OBTENCION DE LA EFICIENCIA	107
4.4. TABLA DE RESULTADOS	108
<u>CONCLUSIONES</u>	<u>109</u>
<u>NOMENCLATURA</u>	<u>111</u>
<u>TABLAS</u>	<u>112</u>
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	<u>117</u>

I N T R O D U C C I O N

Diariamente, a cada hora, a cada instante, desde el -- cosmos, llegan a la tierra torrentes de energía solar.

La naturaleza viva asimila sólo una ínfima parte de es- ta energía. Pero esta ínfima parte es suficiente para que so- bre la tierra exista vida y poder abastecer todos los orga- nismos.

Comprender y aprovechar sabiamente los procesos que oc- urren diariamente en la naturaleza significa, en perspecti- va, poder solucionar una serie de problemas, entre ellos el- alimentario y el energético. Cabe destacar que el camino que conduce al aprovechamiento de energía ecológicamente pura -- presenta varios problemas por resolver.

El problema del empleo industrial de la energía solar- resulta algo complicado. Aunque la energía solar que llega - a la tierra sobrepasa en miles de veces la demanda de la hu- manidad, su intensidad no es grande y varía con la estación- del año y las horas del día.

Para lograr una captación económica y eficiente, se -- han desarrollado una serie de modelos experimentales y a par- tir de ellos se han pretendido mejorarlos cada vez más.

Uno de estos modelos es, por ejemplo: " El colector so- lar parabólico".

En forma muy general, un colector solar es un dispositi- vo que transforma la energía solar en calor para transfe-- rirlo a un fluido apropiado.

Los colectores solares pueden dividirse en tres clases que son: Captadores planos, concentradores de enfoque que siguen al sol y concentradores estacionarios.

Los captadores planos son los más sencillos, pudiéndose obtener temperaturas que van de algunos grados arriba de la temperatura ambiente hasta otras del orden de 100° C.

El tipo de colectores que nos interesan son aquellos que aumentan la intensidad solar sobre una superficie absorbente, la cual recibe solamente el flujo solar debido a su abertura y que llevan por nombre concentradores. La concentración de la radiación solar se logra mediante dispositivos ópticos que reflejan o refractan ésta de manera que concentran el flujo de incidencia sobre un absorbedor de área menor que la de abertura.

Se reducen pérdidas térmicas ya que el área de el absorbedor es menor, lográndose en esta forma temperaturas más altas y siendo ésta la principal ventaja de un concentrador sobre un colector plano ya que el flujo de energía es mayor por unidad de superficie.

Los concentradores son dispositivos en los que se obtiene alta densidad de energía sobre un absorbedor de radiación concentrada, suficiente para lograr temperaturas mayores de 100° C., pudiéndose llegar hasta 3800° C. Para lograr altas concentraciones (arriba de 100) se requieren mecanismos muy precisos para seguir el movimiento virtual del sol.

Una aplicación importante de concentradores en países desarrollados o en vías de desarrollo sería en los procesos industriales, por ejemplo, se conoce que las necesidades de calentamiento en dichos procesos, operando a temperaturas menores de 100° C. es sólo de un 5%, correspondiendo el restan-

te a mayores temperaturas, por lo que un impacto significativo del empleo de la energía solar en este sector sería con captadores de enfoque.

Aunque ahora no se necesite el aprovechamiento de la energía solar a gran escala, es una alternativa muy interesante para necesidades locales modestas. Se puede contar con ella siempre que se necesite, como un suministro seguro e inextinguible.

Toda la demanda de agua caliente de un hospital se puede satisfacer mediante la energía solar que incide en su cubierta. El tejado de una casa, si actúa como colector de energía puede suministrar electricidad para un telar o un torno, la cubierta de un granero puede proveer de electricidad a una bomba capaz de regar diez hectáreas de tierra. Las posibilidades de estas aplicaciones locales son infinitas.

Por esta razón, el objetivo fundamental de este trabajo es la caracterización de un concentrador solar parabólico cuya utilidad práctica a simple vista, es el calentamiento de agua.

Para poder llevar a cabo esta caracterización, o en otras palabras, el cálculo de su eficiencia térmica, debemos atravesar por una serie de pasos que definan claramente la forma en que fue diseñado, construido y sometido a pruebas y mediciones dicho colector.

Es importante destacar que el resultado de este trabajo determinará realmente el uso práctico que se le pueda aplicar al colector mencionado pues independientemente del diseño, se espera que al final de la construcción e instalación existan el menor número de pérdidas térmicas.

El colector solar estará instalado en el campo 4 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la U.N.A.M. en el sector de laboratorios de la carrera de I.M.E. y está -- construido de acuerdo a las posibilidades materiales existentes.

GENERALIDADES

Entre 1969 y 1972, apoyados por miles de científicos e ingenieros en la tierra, doce astronautas exploraron la superficie de la luna. Con sus trajes espaciales estaban protegidos de la falta de atmósfera y del calor letal del medio lunar. Permanecieron allí varios días, hicieron observaciones científicas e instalaron instrumentos para explorar el interior de este cuerpo celeste. Reunieron cientos de kilos de rocas y suelo lunar con lo cual se inició el primer intento de descubrir el origen y la historia geológica de nuestro mundo.

Uno de los más emocionantes resultados del programa Apolo es que, al ir a la luna, también se han podido recoger muestras de materia solar. Desde que se formó la luna su suelo ha atrapado miles de millones de toneladas de estos átomos que proyecta el sol, los cuales son de alta energía, y dejan rastros permanentes cuando chocan con otras partículas en el suelo lunar. Una de las mayores sorpresas fue descubrir que el suelo lunar conserva material emitido por el sol en el pasado, con esto se tiene la oportunidad insólita de estudiar el antiguo comportamiento del sol.

Lo que se ha aprendido hasta ahora del sol es tranquilizante: sus propiedades químicas no muestran cambios desde hace varios cientos de miles de años; las muestras de material lunar revelan que el sol en el pasado reciente se ha comportado de manera muy semejante a como lo hace actualmente; esto permite ser optimista respecto a que el sol seguirá siendo el mismo durante un futuro previsible.

OBJETIVOS

- Relacionarse de una manera general con conceptos básicos sobre energía solar.
- Asentar datos de construcción en general y medidas finales de la parábola y base, partes fundamentales de un concentrador solar parabólico(C.S.P.).
- Diseñar, construir, instalar y probar un absorbedor -- adecuado a el concentrador solar parabólico.
- Instalar el C.S.P. en un lugar adecuado para pruebas.
- Instalar los instrumentos de medición que sean necesarios para llevar a cabo una evaluación termodinámica - del sistema.
- Realizar las mediciones necesarias que describan su - comportamiento.
- Procesar las lecturas obtenidas en un balance de energía.
- Determinar su comportamiento termodinámico.
- Realizar los cálculos de las ecuaciones resultantes, - para así encontrar la eficiencia del C.S.P.
- Describir las conclusiones finales.

CAPITULO 1**CONCEPTOS BASICOS SOBRE ENERGIA SOLAR**

1.1.- FUNDAMENTOS DE RADIACION SOLAR.

El sol es una estrella que tiene una masa 334 000 veces mayor que la de la tierra. La radiación que fluye incesantemente del sol hacia el espacio es el combustible para todos los procesos que se desarrollan en la tierra, ya sean seres vivos o inanimados.

Las reacciones nucleares, origen de la radiación solar se producen en un núcleo central, que quizás ocupe solamente un tres por ciento de su volumen. El material circundante, de un espesor de 500 000 Km, modifica profundamente la radiación liberada, que comenzó en forma de radiación gamma. Todas las radiaciones electromagnéticas tienen un carácter análogo, diferenciándose sólo en la longitud de onda.

La radiación gamma tiene la longitud de onda más pequeña que se conoce del orden de una cienmillonésima de milímetro.

En la actualidad se comprende mejor como se producen las acciones recíprocas entre la radiación y la materia, si suponemos que la radiación existe en forma de partículas discretas, llamadas "fotones", cada uno de los cuales lleva una cantidad fija de energía o "cuanto".

Unos ocho minutos después de abandonar la superficie del sol, su radiación, transmitiéndose aproximadamente a una velocidad de 300 000 kilómetros por segundo, alcanza la órbita de la tierra recorriendo una distancia aproximada de 150 millones de kilómetros, que es el radio medio, pero la energía producida por el sol es tan grande que la intensidad por unidad de superficie, incluso a esta distancia es aproximadamente 1 300 wattios por metro cuadrado.

Aunque la tierra intercepta solamente una fracción minúscula de energía solar, la que incide en la alta atmósfera durante un período dado es equivalente a decenas de miles de veces las necesidades actuales de energía para todo el mundo durante ese período. Sin embargo, no toda esta energía llega a la superficie de la tierra debido a una serie de complejas interacciones con la atmósfera, como se muestra en la figura 1.1.1.

En los niveles más altos, por encima de los 25 Kms. de superficie, se desarrolla un proceso en el que se elimina -- prácticamente la radiación ultravioleta.

Los fotones con longitud de onda dentro del espectro visible e infrarrojo, interaccionan con las moléculas gaseosas y partículas de polvo del aire sin poder producir la rotura del enlace. Por el contrario, lo que hacen es difundirse en todas direcciones, de manera más o menos uniforme, de modo que parte de la radiación regresa de nuevo al espacio.

Las pequeñas gotas de agua que se encuentran en el -- aire también hacen que se disperse fuertemente la radiación y, cuando su concentración es grande, como en las nubes densas, la dispersión múltiple puede hacer que hasta un 80% de los fotones incidentes vuelvan al espacio.

Como la cantidad media de nubes en la tierra ocupa alrededor del 50% de superficie, éste es un mecanismo importante para la disminución de la energía solar.

Otra barrera importante que se interpone en los rayos incidentes es la absorción real que se produce en las moléculas de vapor de agua, dióxido de carbono y otros elementos.

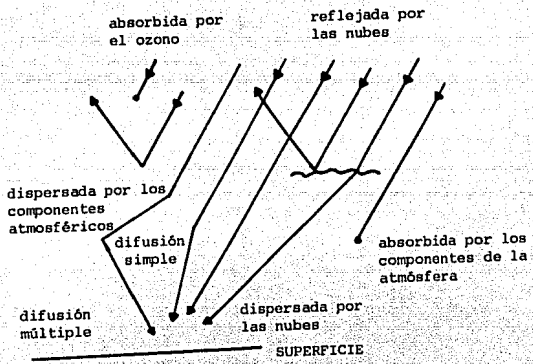


FIGURA 1.1.1.- INTERACCION DE LA RADIACION SOLAR CON LA ATMOSFERA.

Estas interacciones con la atmósfera reducen la intensidad de la radiación solar en la superficie de la tierra a poco más de la mitad de su intensidad en la alta atmósfera. Además, producen variaciones en la distribución espectral de la energía, por absorción, y en la dirección en la que la energía llega a la superficie, por difusión. Estos efectos dependen de la composición local de la atmósfera, variando de forma muy significativa de un lugar a otro. La contaminación en las proximidades de los centros de población, el alto contenido de vapor de agua cerca de la costa, y la variabilidad de la cubierta nubosa, son factores que dificultan la predicción de las intensidades energéticas. El factor más importante es seguramente la longitud del camino que recorre la radiación solar a través de la atmósfera hasta llegar a un lugar concreto. Esto determina, sobre todo las pérdidas por difusión y absorción.

En general, la tierra recibe permanentemente una radiación solar de 173 billones de watts, el 30% de esta radiación se refleja en las capas altas de la atmósfera y regresa al espacio, 47% se convierte en calor y el 23% interviene en la evaporación del agua, proceso que representa indirectamente el origen de la energía hidráulica. Una parte de la radiación se transforma en energía mecánica (vientos, olas, corrientes, etc.), energía que puede ser aprovechada mediante centrales eléctricas.

A pesar de su estructura tan compleja, es suficiente para aplicaciones en ingeniería considerar que el sol se comporta como un cuerpo negro a una temperatura efectiva de 5.762°K .

La constante solar (I_{cs}) se define como la cantidad de energía por unidad de tiempo que recibe del sol una superficie de área unitaria perpendicular a la radiación, en el espacio, y a la distancia media del sol a la tierra.

Se han realizado numerosas mediciones directas e indirectas de la constante solar. El valor normal propuesto por Thekaekara y Brummond es de $1\ 353\ \text{W}/\text{m}^2$ ó equivalentes.

En la figura 1.1.2. se muestra esquemáticamente la geometría de la relación sol-tierra.

El espectro de emisión de los radiadores de cuerpo negro se determina por su temperatura. El espectro de la radiación solar fuera de la atmósfera corresponde entonces casi a la emisión de un cuerpo negro a $6\ 000^\circ\text{K}$. Es un espectro continuo desde aproximadamente $200\ \text{nm}$ (nanómetro = $10^{-9}\ \text{m}$) ultravioleta, a $300\ \text{nm}$ infrarrojo, con un máximo aproximadamente a $500\ \text{nm}$. La absorción atmosférica es en cierta medida selectiva, cambiando no sólo la cantidad, sino también la composición espectral de la radiación recibida. La figura 1.1.3. muestra los dos espectros en relación con la totalidad del espectro de radiación electromagnética.

La radiación electromagnética (como la luz) muestra características dobles que son explicables en términos de teorías corpusculares y ondulares. El contenido en energía de la radiación se determina por su longitud de onda.

Las longitudes de onda más cortas representan un mayor grado de energía. Más tarde se demostrará que la totalidad de la radiación solar puede convertirse en calor, pero únicamente los componentes de onda corta y gran energía podrán producir un efecto fotoeléctrico.

La radiación térmica, es energía en forma de ondas electromagnéticas que emite un cuerpo a temperatura alta. La distribución espectral de la radiación térmica es continua y varía con la temperatura: cuando ésta es baja, la energía

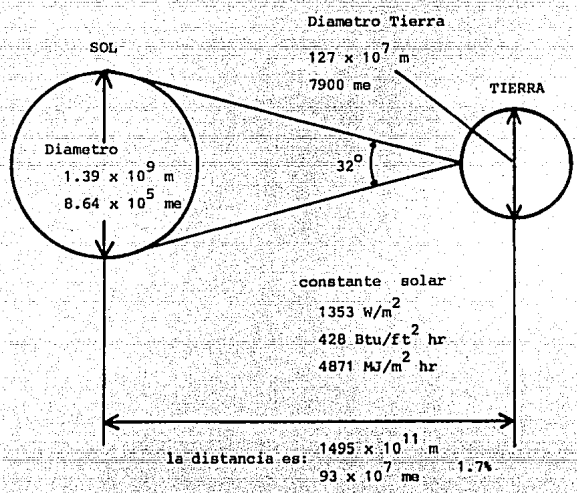


FIGURA 1.1.2.- RELACION SOL-TIERRA

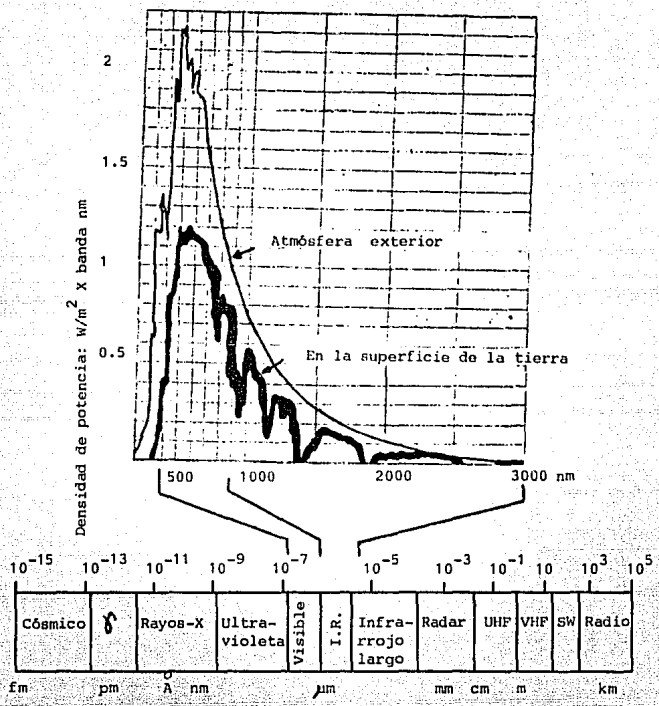


FIGURA 1.1.3.- ESPECTRO DE LA RADIACION SOLAR EN RELACION CON EL ESPECTRO ELECTRO-MAGNETICO TOTAL.

se emite como radiación infrarroja: a temperatura superior - de 500°C el espectro corresponde a la luz visible, es decir, la distribución de la energía ha sufrido un desplazamiento: a $3\ 000^{\circ}\text{C}$, temperatura del filamento de una lámpara incandescente, el cuerpo emite radiaciones de corta longitud de onda y adquiere color rojo blanco. Para interpretar correctamente - las gráficas que representan el poder emisor de un cuerpo en función de la longitud de onda, es necesario recurrir a la - mecánica cuántica.

Existen tres importantes leyes para la emisión de radiación del cuerpo negro:

1a.- Ley de Stefan-Boltzman: (Establece para un cuerpo negro)

$$E_b = \sigma T^4$$

donde: T = temperatura absoluta en $^{\circ}\text{R}$.

$$\sigma = (0.1713)(10^{-8}) \text{ BTU}/(\text{hr})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{R}^4)$$

2a.- La ley de Planck establece que para un cuerpo negro:

$$E_{b\lambda} = C_1 \lambda^{-5} / e^{C_2/\lambda T} - 1$$

donde: $E_{b\lambda}$ = potencia emisiva monocromática de un cuerpo negro (BTU/hr.pie².M)

$$C_1 = (1.19 \times 10^8) \text{ BTU.M}^4 / \text{hr.pie}^2$$

$$C_2 = 25\ 900 \text{ M}^{\circ}\text{R}$$

λ = longitud de onda

T = temperatura absoluta en $^{\circ}\text{R}$

3a.- Ley del desplazamiento de Wien que puede derivarse de la ecuación anterior y establece que el producto de la longitud de onda para la cual la potencia emisiva monocromática es máxima y la temperatura absoluta es una constante.

$$\lambda_{\text{máx}} T = C_3 \quad \text{donde: } C_3 = 5\ 216 \text{ M}^{\circ}\text{R}$$

1.2.- SISTEMAS DE MEDICION DE RADIACION SOLAR.

Existen distintos instrumentos para medir la radiación solar. Todos ellos la convierten a otra forma de energía, dando como resultado una media o lectura proporcional a la intensidad de la radiación.

El piranómetro utilizado para medir la radiación global es un instrumento que determina la radiación solar total sobre un plano horizontal. La radiación global, es la suma de la radiación solar directa con la radiación solar difusa, siendo la primera la energía que llega a la superficie de la tierra en forma directa, de toda la que es recibida en los límites de la atmósfera, pues una gran parte se refleja al espacio exterior, y la difusa es dispersada hacia abajo, principalmente por las nubes, y en todas direcciones por el polvo, vapor de agua y bióxido de carbono.

El piranómetro utilizado para medir la radiación global es mostrado en las figuras 1.2.1.a. y 1.2.1.b.

El piranógrafo, instrumento utilizado para también, la medición de la radiación global, consta de una tira bimetalíca, una tira blanca y una negra. La tira oscura sufre una expansión al exponerse a la radiación, como resultado de los cambios de temperatura y su expansión y contracción es transferida mecánicamente a una plumilla, la cual registra el valor de la radiación sobre un tambor mecánico giratorio. La tira blanca está por lo general aislada de la radiación solar. El tiempo de respuesta de estos instrumentos por lo general es de 10 a 15 minutos y es apropiado sólo para registros de medición global total diaria.

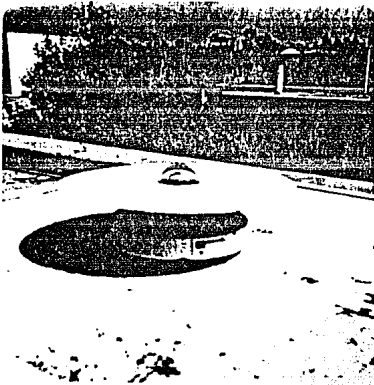


FIGURA 1.2.1.a.- PIRANOMETRO.

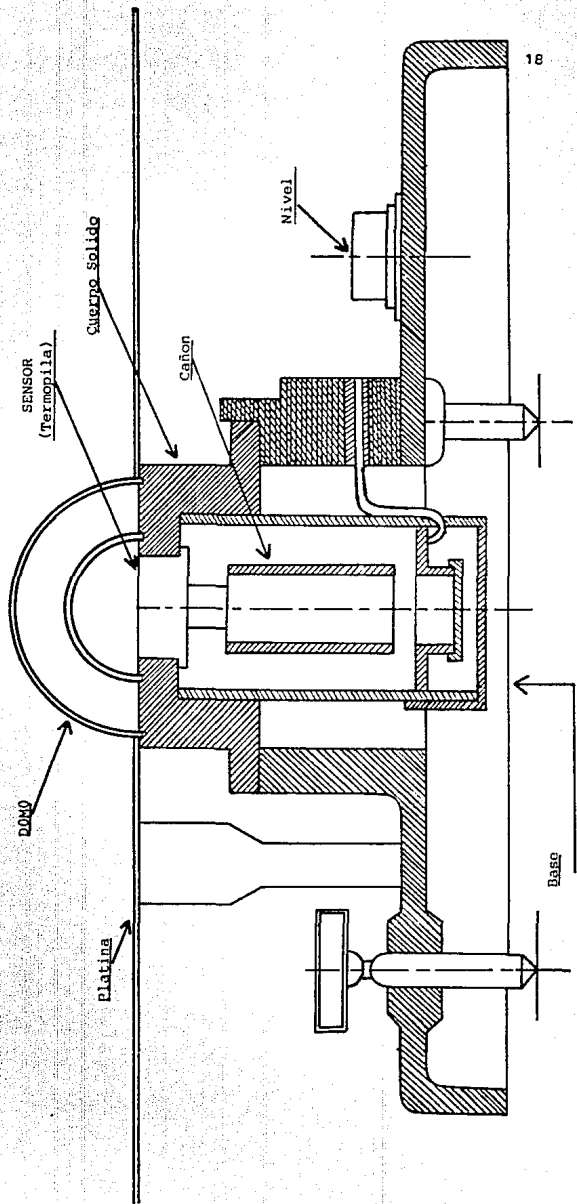


FIGURA 1.2.1.b.- PIRANOMETRO, SECCION TRANSVERSAL.

Para medir la radiación solar difusa se emplea un piranómetro como el empleado para la radiación global pero con la diferencia de que este instrumento va montado sobre un dispositivo para discriminar la radiación directa. Este dispositivo consta en general de una base donde va fijado el piranómetro, y de un aro metálico, cuyo propósito es eliminar la componente de radiación directa.

Las dimensiones del aro metálico como son su radio y su ancho, dependen de las dimensiones de la sombra que va a proyectar sobre el sensor. (ver figura 1.2.2.)

Al instrumento para medir la radiación atmosférica se le conoce como radiómetro. Este instrumento se parece mucho al piranómetro en su parte externa, pero difiere de él en que el radiómetro tiene el domo plateado. Este domo se emplea para discriminar el paso de la luz visible y dejar sólo el paso a la radiación atmosférica. (ver figura 1.2.3.)

Los instrumentos de radiación global, atmosférica y difusa deben estar nivelados para asegurar que se está registrando la radiación en el plano horizontal. Para el registro de la radiación difusa se debe colocar la guía del dispositivo en la latitud del lugar de observación, posteriormente la punta de esta guía debe estar orientada en dirección norte-sur astronómico para obtener la sombra sobre el sensor durante cada día.

Para el registro de insolación se emplea en general un heliógrafo del tipo Campbell-Stokes. (ver figura 1.2.4.)

Este instrumento consiste fundamentalmente de una esfera de vidrio sólido y pulido de 10 centímetros de diámetro.

FIGURA 1.2.2.- PIRANOMETRO, CON MONTURA SOLIDA PARA REGISTRAR LA RADIACION DIFUSA.

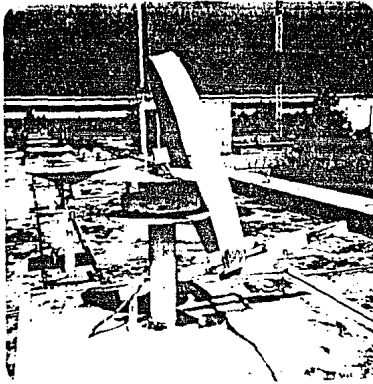
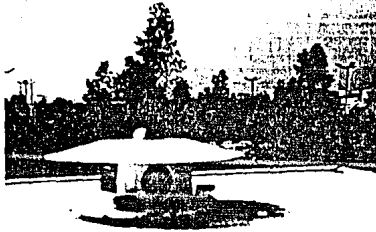


FIGURA 1.2.3.- RADIOMETRO, INSTRUMENTO PARA MEDIR LA RADIACION ATMOSFERICA.



aproximadamente, su eje debe orientarse en la dirección norte-sur astronómico.

Esta esfera actúa como una lente y la imagen enfocada se mueve a lo largo de una tira especial, graduada en horas y medias horas. Esta graduación está referida al tiempo solar verdadero y registra las horas de insolación durante el día. Este instrumento como los demás debe estar nivelado y colocado en la latitud del lugar de observación.

Para la observación y registro de la radiación solar directa se emplea el instrumento conocido como pirheliómetro el cual consta de una base sólida unida a un cilindro hueco en cuyo interior se encuentra el sensor. La base tiene un movimiento azimutal y un movimiento angular sobre el plano horizontal.

El cilindro hueco consta en general de un revólver que comúnmente tiene de tres a cuatro filtros, además de una mirilla que sirve para apuntar el instrumento al sol, y un termómetro que se utiliza para conocer la temperatura del instrumento, ya que la medida de la observación de radiación debe compensarse por temperatura.

El sensor del pirheliómetro es una termopila en forma de oblea y sus terminales se hayan en la parte posterior del cilindro. (ver figuras 1.2.5. y 1.2.6.)

Este tipo de instrumento es el que utilizaremos en — nuestro estudio pues la radiación solar directa es la que utiliza el C.S.P. para su funcionamiento.

FIGURA 1.2.4.- HELIOGRAFO TIPO CAMPBELL-STOKES.

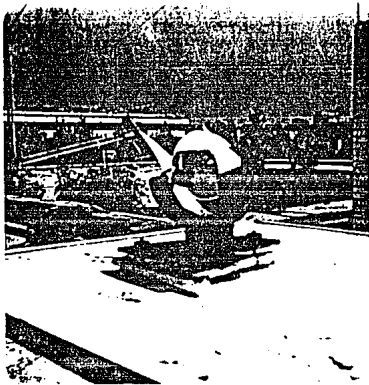


FIGURA 1.2.5.- PIRHELIOMETRO, INSTRUMENTO UTILIZADO PARA MEDIR LA RADIACION DIRECTA.

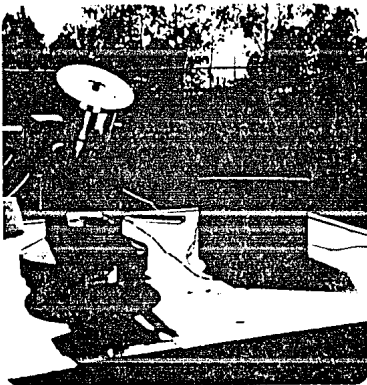
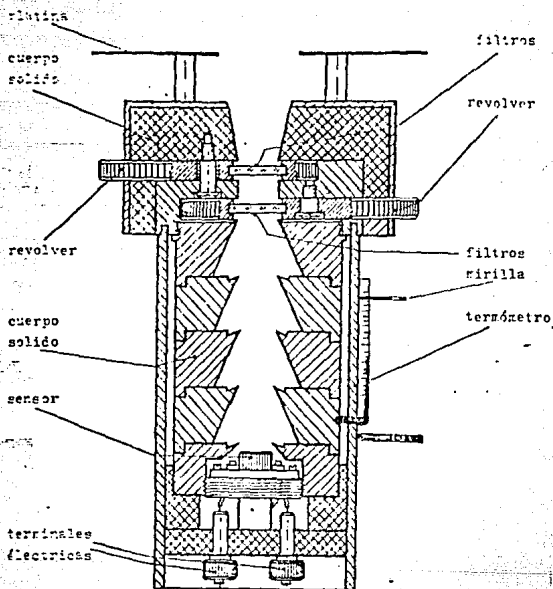


FIGURA 1.2.6.- ESQUEMA DEL PIRHELIOMETRO QUE SE EMPLEA
PARA MEDIR LA RADIACION DIRECTA.



1.3.- ANGULOS SOLARES BASICOS Y DERIVADOS.

Las características más importantes del complicado movimiento de la tierra son su translación alrededor del sol - una vez al año y su rotación una vez al día.

Aunque la órbita de la tierra es, hablando con precisión, una elipse, su excentricidad es tan pequeña que apenas se puede distinguir de un círculo. El radio medio tiene alrededor de 150 millones de kilómetros, lo cual define la unidad de distancia. En astronomía, las variaciones máximas con respecto a este valor a lo largo del año, sólo representa el 1.5%.

Esta variación no es apreciable y no tiene influencia significativa en las estaciones. Estas se deben a la inclinación del eje de rotación, el cual no es perpendicular al plano de la órbita. La inclinación con respecto a este plano es de 66.5° aproximadamente, y al no haber fuerzas que actúen sobre él, el eje está orientado en una dirección fija en el espacio*.

Si se observa la figura 1.3.1. se verá que esto produce variaciones sustanciales en el día con respecto a la noche a lo largo del año al moverse la tierra alrededor de su órbita.

* Esta dirección cambia de hecho lentamente, debido a una variación cíclica del eje de rotación, con un período de -- 26.000 años.

En un punto del hemisferio norte el día más largo se producirá en el SOLSTICIO DE VERANO, que en la actualidad se produce el 22 de junio, cuando el extremo norte del eje se dirige hacia el sol, y el período de noche más larga en el SOLSTICIO DE INVIERNO, el 22 de diciembre, cuando el eje se aparta al máximo del sol.

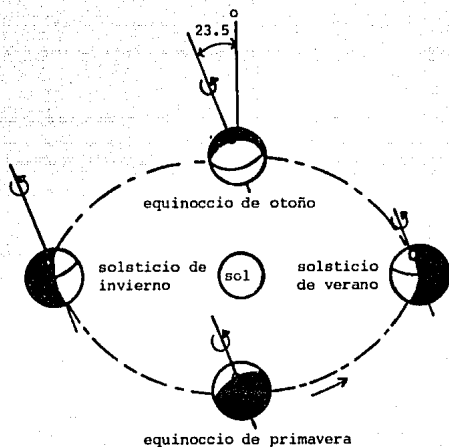


FIGURA 1.3.1...- MOVIMIENTO DE LA TIERRA EN RELACION AL SOL.

Los dos puntos neutros que se producen entre estos dos períodos, cuando el eje de la tierra es perpendicular a la línea que une a la tierra con el sol, son los EQUINOCCIOS, que se producen el 21 de marzo y el 23 de septiembre. En estas fechas, el día y la noche tienen igual duración.

La posición de un punto P sobre la superficie de la tierra se conoce en cualquier instante con respecto a los rayos del sol si se conocen: la latitud L, el ángulo horario H del punto y la declinación del sol δ . Estos ángulos fundamentales se ilustran en la figura 1.3.2.

El punto P representa a un lugar en el hemisferio norte.

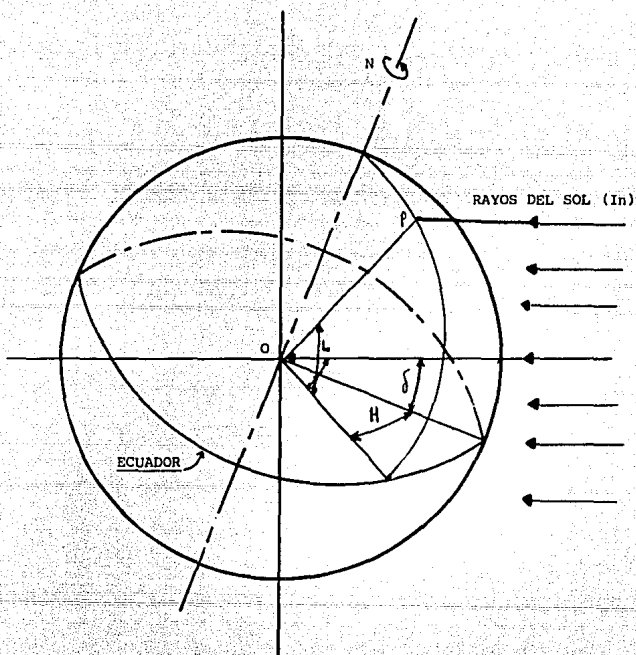
La latitud L es la distancia angular del punto P (norte o sur) al Ecuador. Es el ángulo entre la línea OP y el plano ecuatorial. El punto O representa el centro de la tierra.

El ángulo horario H es el ángulo medido sobre el plano ecuatorial de la tierra entre la proyección de OP y la proyección de la línea que une el centro del sol con el centro de la tierra. En el mediodía solar, el ángulo horario es cero. El ángulo horario expresa el tiempo del día con respecto al mediodía solar. Una hora de tiempo está representada por:

$$360 / 24 = 15^\circ \text{ de ángulo horario.}$$

La declinación del sol δ es la distancia angular de los rayos del sol (norte o sur) al Ecuador. Es el ángulo entre una línea trazada desde el centro del sol al centro de la tierra y la proyección de esta línea sobre el plano ecuatorial de la tierra en dirección meridional.

FIGURA 1.3.2.- LATITUD, ANGULO HORARIO Y DECLINACION DEL SOL. (ANGULOS SOLARES BASICOS).



En los equinoccios, la declinación es cero, de forma que el sol sale y se pone exactamente en la línea este-oeste. La declinación solar en otras épocas del año se obtiene mejor por medio de tablas, aunque para la mayoría de los casos es posible hacer un cálculo aproximado. Si la época del año la medimos en días N a partir del 1o. de Enero, la declinación es aproximadamente:

$$\delta = 23.45 \text{ sen}((360 \cdot (284 + N) / 365))$$

Además de los tres ángulos básicos: latitud, horario y declinación del sol, tienen utilidad otros ángulos en cálculos de radiación solar. Tales ángulos incluyen al cenit ψ , el de altitud β , y el azimut γ , para una superficie de una orientación particular se pueden definir el ángulo de incidencia θ y el ángulo azimut sol-pared α . Todos éstos ángulos adicionales pueden ser expresados en función de los tres ángulos básicos.

El ángulo cenit ψ es el ángulo entre los rayos solares y una línea perpendicular al plano horizontal en P (extensión OP).

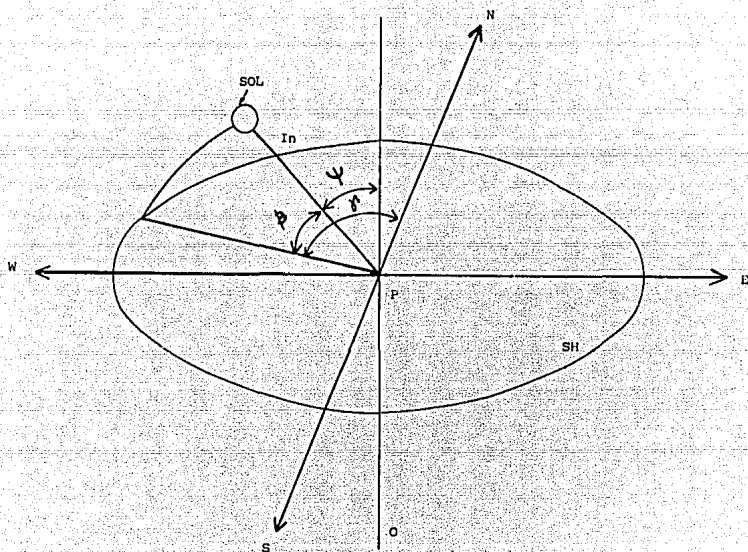
El ángulo de altitud β es el ángulo en un plano vertical entre los rayos solares y la proyección de los rayos solares sobre el plano horizontal. Se deduce que $\beta + \psi = \pi/2$.

El ángulo azimut γ es el ángulo en el plano horizontal medido entre el norte y la proyección horizontal de los rayos del sol. (ver figura 1.3.3.) Así entonces:

$\cos \psi = \cos L \cdot \cos H \cdot \cos \delta + \sin L \cdot \sin \delta$
 puesto que: $\beta = \pi/2$, podemos escribir:

$$\sin \beta = \cos L \cdot \cos H \cdot \cos \delta + \sin L \cdot \sin \delta$$

FIGURA 1.3.3.- DEFINICION DEL CENIT SOLAR Y DE LOS
ANGULOS DE ALTITUD Y AZIMUT.



El ángulo de azimut lo podemos obtener de acuerdo a la siguiente ecuación :

$$\cos \gamma = \sec \beta (\cos L \cdot \sin \delta - \cos \delta \cdot \sin L \cdot \cos H)$$

o bien:

$$\sin \gamma = \sec \beta \cdot \cos \delta \cdot \sin H$$

El mediodía solar, $H = 0$ y $\gamma = \pi$ si $L > \delta$ y $\gamma = 0$ si $L < \delta$.

En el caso de $L = \delta$ es indefinida para $H = 0$.

Deducimos que:

$$\beta_{\text{mediodía}} = \sqrt{2} \cdot |(L - \delta)|$$

donde $|(L - \delta)|$ es el valor absoluto de $(L - \delta)$. Esta ecuación permite una determinación rápida de la máxima altitud diaria del sol en un lugar dado.

Se dispone de tablas de valores calculados de la altitud del sol y el azimut, y de cartas que dan soluciones menos exactas.

En los cálculos que impliquen superficies no horizontales es conveniente expresar la posición del sol relativa a la superficie en función del ángulo de incidencia.

El ángulo de incidencia del sol θ es el ángulo entre los rayos del sol y la normal a una superficie inclinada. Está asociado a una posición definida de la superficie.

El azimut sol-pared α es el ángulo medido en un plano horizontal entre la normal a la superficie vertical y la proyección horizontal de los rayos del sol, o sea, α está asociado con una posición definida de la pared vertical y puede ser determinado a partir del azimut del sol. (ver fig.1.3.4.)

Así, para una superficie inclinada:

$$\cos \theta = \cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot \cos \psi + \sin \beta \cdot \sin \psi$$

si la superficie es vertical : ($\psi = 0$)

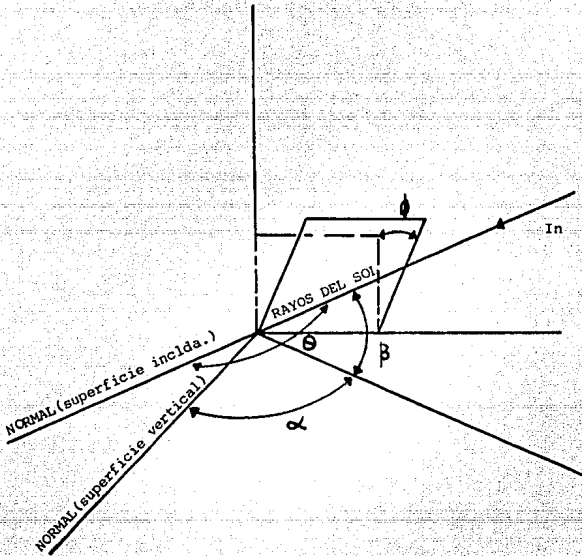
$$\cos \theta = \cos \beta \cdot \cos \alpha$$

si la superficie es horizontal: ($\psi = \pi/2$)

$$\cos \theta = \sin \beta = \cos \psi$$

O sea, que para una superficie horizontal, el ángulo de incidencia es igual al ángulo del cenit.

FIGURA 1.3.4.- RELACION DE LOS RAYOS SOLARES CON UNA SUPERFICIE INCLINADA. ANGULOS θ Y α .



1.4.- SISTEMAS DE CAPTACION SOLAR.

Existen actualmente en el mundo muchísimas formas para captar y aprovechar la energía solar. Podemos distinguir dentro de estos sistemas algunos de fácil diseño y que se encuentran funcionando en diversos lugares, algunos otros que se están analizando perspectivas para su utilización y otros que se tienen en fase de experimentación.

Comenzaremos por los colectores planos, los cuales encuentran múltiples aplicaciones en distintos procesos de conversión de energía solar. Aún cuando están limitados a temperaturas de operación inferiores a 100°C aproximadamente.

Son varios los parámetros más importantes en el diseño de un colector solar. Todos éstos tienen mayor o menor importancia en el diseño, de acuerdo con el tipo de aplicación - fototérmica a la que va a destinarse. Así, los niveles de temperatura que debe alcanzar el fluido de trabajo en el colector son sustancialmente distintos si se trata de calentamiento de agua para una piscina o alberca, o para consumo doméstico, de la calefacción o enfriamiento de un edificio, de el bombeo de agua mediante un sistema de ciclo Rankine, etc.

Las partes más importantes de un colector plano típico se muestran esquemáticamente en la figura 1.4.1.

Como puede observarse en el diagrama de la figura citada, la energía solar atraviesa una o varias cubiertas para luego quedar en la placa de absorción. El calor es posteriormente transferido por conducción hacia los tubos, llegando eventualmente por convección hacia el fluido de trabajo (agua, aire, etc.).

El aislante en la parte inferior y los lados del colector sirve para disminuir las pérdidas de calor de la placa de absorción hacia el ambiente. Todo el conjunto se encuentra dentro de una caja que puede ser metálica, de plástico o de algún otro material.

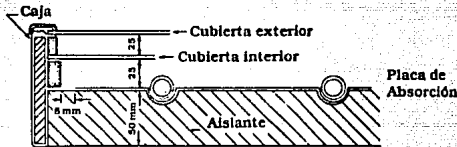


FIGURA 1.4.1.- CORTE TRANSVERSAL DE UN COLECTOR PLANO CON DOS CUBIERTAS DE VIDRIO.

La energía solar que incide sobre la superficie de la tierra es de baja intensidad. En consecuencia, para lograr relativamente altas temperaturas en un sistema se hace necesario incrementar la densidad de la energía solar a través de concentradores.

Debe apuntarse que en la mayoría de ellos recurre a una gran superficie reflejante o refractante en donde se capta la energía, y de ahí se dirige la radiación hacia el receptor, que incluye el absorbedor.

Existe una variedad muy grande de concentradores. Sin embargo, prácticamente todos ellos pueden clasificarse como de enfoque y fijos. Los primeros, aunque permiten concentrar la radiación e incrementar la temperatura de operación del sistema de manera muy significativa, deben orientarse continuamente con gran exactitud para seguir al sol y dirigir de manera precisa la radiación directa hacia el receptor. Por otra parte, el acabado de las superficies que constituyen el sistema óptico no sólo debe ser de alta calidad, sino que debe mantener sus cualidades por largos periodos sin ser deteriorados por el polvo, la lluvia, la oxidación, etc.

Los concentradores fijos, por otra parte, sólo permiten incrementar moderadamente la intensidad de la radiación solar.

Una alta razón de concentración puede lograrse por medio de los sistemas que emplean " lentes fresnel ", los cuales combinan las ventajas de un conjunto de lentes en una sola unidad. Cada segmento de la lente fresnel concentra mediante refracción la radiación incidente en un receptor posicionado centralmente. Como se observa en el esquema de la figura 1.4.2, los concentradores con lentes fresnel lineales pueden colocarse en hileras, requiriéndose sólo un seguimiento unidimensional del sol.

La figura 1.4.3. muestra esquemáticamente un concentrador de tipo parabólico, el cual permite alcanzar razones de concentración muy altas. En todos los concentradores de enfoque es de suma importancia que el disco solar sea enfocado por el sistema óptico sobre el absorbedor.

Un concentrador con reflector estacionario y absorbe -

FIGURA 1.4.2.(a).-LENTES FRESNEL.

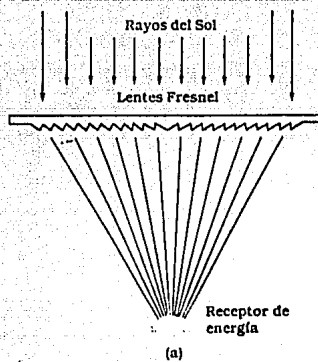


FIGURA 1.4.2.(b).- DISEÑO DE UN CONCENTRADOR LINEAL.

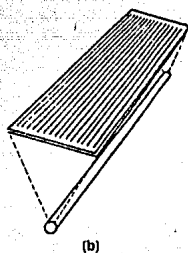
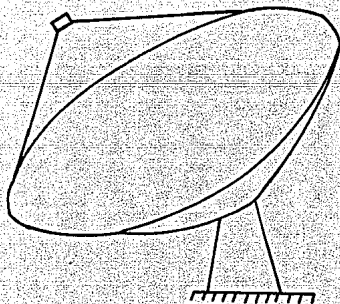


FIGURA 1.4.3.- CONCENTRADOR TIPO PARABOLICO.



dor móvil, mostrado esquemáticamente en la figura 1.4.4, consiste en un segmento de espejo esférico colocado en posición estática dirigida hacia el sol. El absorbedor lineal sigue la imagen solar con un mecanismo de giro alrededor del centro de curvatura del reflector.

Un ejemplo de un tipo de concentrador fijo puede ser el concentrador parabólico compuesto, los cuales son de particular relevancia al considerar que un gran porcentaje del calor requerido en procesos industriales, comerciales y domésticos requiere de temperaturas relativamente bajas.

El concentrador parabólico compuesto (CPC), también conocido como colector de Winston, se muestra en el esquema de la figura 1.4.5.

Este tipo de concentrador optimiza el ángulo de aceptación en términos de la razón de concentración, al máximo valor teórico permitido por la termodinámica. Esto ofrece tres ventajas muy importantes :

1. Permite la operación del concentrador por extensos períodos de tiempo sin necesidad de ajuste en su orientación
2. Permite el empleo de superficies reflejantes no muy precisas.
3. Permite la captación y concentración de una porción de la radiación difusa.

Las primeras dos ventajas deben ayudar a reducir los costos de manufactura del concentrador. Por otra parte, la tercera es importante especialmente en áreas metropolitanas o industriales, en donde la contaminación de la atmósfera causa dispersión de la radiación solar, reduciendo por ende la fracción directa de ésta.

FIGURA 1.4.4.- CONCENTRADOR CON REFLECTOR ESTACIONARIO Y ABSORBEDOR MOVIL.

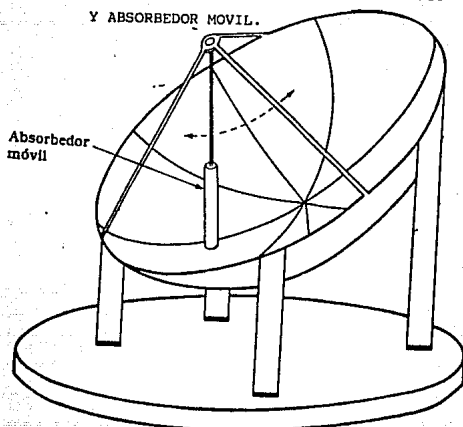
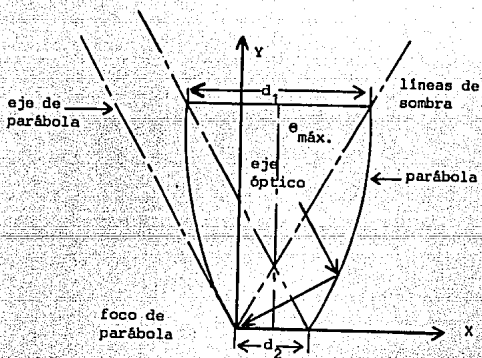


FIGURA 1.4.5.- DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN CONCENTRADOR PARABOLICO COMPUESTO.



La figura 1.4.6. muestra esquemáticamente un concentra
dor tubular en donde el fluido de trabajo circula por un con
ducto en forma de U. En este concentrador pueden lograrse -
 idealmente razones de concentración desde $2/$ hasta 2 .

Sin embargo, este diseño presenta algunas dificultades
 en su manufactura, dado que el receptor usualmente es metáli
co y el sello vidrio-metal para conservar el vacío en el sig
tema no es fácil de lograr.

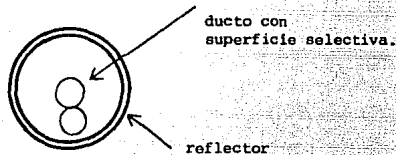


FIGURA 1.4.6.- CONCENTRADOR
 TUBULAR AL VACIO.

Un estanque común y corriente es capaz de captar una -
 gran cantidad de energía solar a través del año. Sin embargo
 la temperatura del agua permanece por debajo de la del am --
 biente, debido a que el calentamiento provoca una circula --
 ción convectiva que transporta la energía absorbida hacia la
 superficie, en donde a su vez se dispersa rápidamente.

El fenómeno que ocurre en los estanques solares es ex-
 plicable al considerar que la distribución vertical no uni -
 forme de sal en el lago o estanque evita la convección. Es -
 decir, el aumento en densidad por las sales disueltas, con -
 tarresta el efecto de la dilatación térmica debido a la ab-
 sorción local de calor.

En consecuencia, el gradiente de densidad permite que se desarrolle un gradiente de temperatura, positivo hacia abajo, y además estable. Por otra parte, dado que el agua no es un buen conductor de calor, y es además opaca a la radiación - infrarroja - con y sin sales disueltas - el gradiente de salinidad permite que la fracción visible y ultravioleta de la radiación solar penetre hasta las regiones más profundas del agua.

En un estanque solar se distinguen tres regiones distintas, aunque difusas : una capa de agua pura en la superficie, una intermedia en donde ocurren los gradientes de densidad, y una convectiva en el fondo. Esta última puede constituir un sistema de almacenamiento de energía, dado que se encuentra aislada de la atmósfera por el gradiente de densidad.

Estos modelos de sistemas de captación de la energía solar, son algunos únicamente. No queremos abordar más, debido a que sería muy extenso este punto y no es tan necesario, puesto que se trata de familiarizarse someramente con este tipo de sistemas y nada más.

CAPITULO 2**DISEÑO Y CONSTRUCCION**

2.1.- DATOS DE CONSTRUCCION DEL DISCO SOLAR Y BASE.

El concentrador de energía solar es diseñado de modo que el tamaño final es mínimo, ya que las dimensiones del concentrador determinan en forma definitiva el costo.

El diseño de un C.S.P. cualesquiera que sean sus dimensiones da como resultado un problema complejo que depende de una serie de factores de carácter técnico-económico, del análisis de ellos se desprende que para efectuar la mejor selección del mismo, es necesario prefijar los factores y variables que más lo afectan.

Para nuestro caso el colector construido en su forma más simple resultará el más conveniente, seleccionaremos uno formado de una sola pieza en virtud de ser más económico, montado en forma similar al de un reflector antiaéreo, careciendo de espejo auxiliar o heliostato por lo que tendrá que seguir al sol en su movimiento aparente al encontrarse en operación, efectuando dicho movimiento en su forma más simple, es decir manualmente.

Los C.S.P. son accionados normalmente por un sistema de guía automático constituido por celdas fotoeléctricas y de instrumentos eléctricos y electrónicos que originan un incremento en el costo.

Deben también ser prefijadas ciertas características y condiciones que dependen del uso pretendido en el aparato, algunas de ellas serán supuestas en forma racional al ser aplicadas a las condiciones del lugar donde será instalado, ya que al tratar de obtener el valor real que les correspon-

de, implicaría un periodo largo de tiempo, de cierto número de aparatos e instrumentos de medida necesarios para tal investigación y de personal calificado para completar dicho estudio, decidiendo suponer aquellos valores que así lo requieran en forma aproximada, de acuerdo con los datos obtenidos por algunos investigadores en instalaciones ya efectuadas.

Desde el punto de vista de la ingeniería, el tamaño y perfil del espejo parabólico es considerado como una función de las siguientes variables independientes:

1. Diámetro del punto caliente: " d "
2. Relación de concentración actual: " Ca "
3. Factor de horno: " F "

Aquí el diámetro del punto caliente " d " será una de las variables prefijadas, según instalaciones efectuadas varía de .635 a 12.7 centímetros, observándose que los costos de los C.S.P. varían proporcionalmente a los diámetros de mancha deseada. En lo que se refiere a la relación de concentración tiene también variaciones, pero con relación a las máximas temperaturas obtenibles, el ángulo a la orilla y el factor de horno.

No hay que olvidar que las áreas del paraboloide y por tanto los costos se incrementan muy rápidamente con los incrementos de las relaciones de concentración y de los diámetros del " punto caliente ".

Pruebas realizadas han demostrado que cuando se incrementa la relación de concentración y el diámetro de la "mancha" simultáneamente, las áreas del paraboloide se incrementan muy rápidamente no correspondiendo tal aumento a un incremento en la temperatura alcanzada la que sólo varía algunos grados, observándose que las áreas del paraboloide y por tanto los costos se incrementan muy rápidamente.

Este factor económico debe ser tomado muy en cuenta en el diseño de hornos que deban reunir ciertas características de operación haciéndose notar que las porciones cercanas a la orilla del paraboloide son relativamente menos eficientes en la concentración con relación a las que se encuentran cercanas al vértice. En diversas pruebas realizadas se han observado que el 70% de la máxima relación de concentración obtenible puede ser lograda con el 25% del área máxima del espejo y que para poder obtener el 90% de la concentración máxima se requiere doblar el área hasta en un 50%, de ahí que un C.S.P. con un ángulo de 70 grados en la orilla representa aproximadamente el máximo en la práctica.

El reflector parabólico puede caracterizarse por el ángulo de orilla o de borde " k ". (ver figura 2.1.1.)

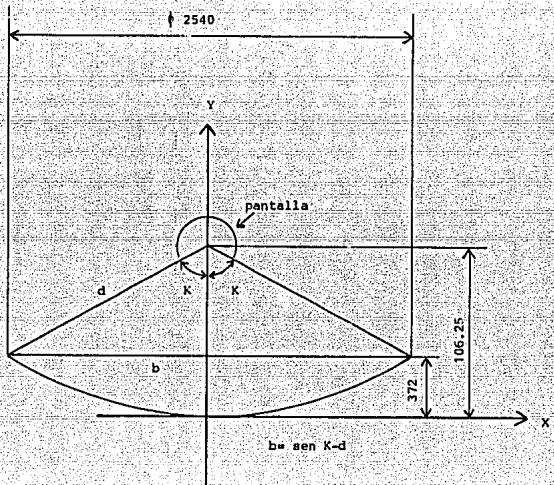
En cuanto a los materiales que en si constituyen al C.S.P. fueron elegidos como fibra de vidrio para la constitución física de la parábola cubierta de un material reflectante llamado Mylar y que realizará el papel de espejo reflectante.

Estos materiales fueron elegidos tomando en cuenta su bajo costo y además sus propiedades de resistencia para trabajar en exteriores.

Las mayores ventajas que se pueden obtener de los materiales plásticos se basan en su capacidad de fabricación de láminas muy delgadas.

El plástico transparente se puede conseguir en espesores mínimos que oscilan desde los .006 mm a los .24 mm.

FIGURA.- 2.1.1.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN - U.N.A.M.

ESCALA 1 : 23

ACOTACIONES: mm

FECHA

REV. ING. SANCHEZ



GEOMETRIA DE LA PARABOLA

DIB. CARRASCO V.

DISEÑO C.S.P.

DIB. RAMIREZ G.

La mayoría de ellos se deterioran con facilidad al ponerse en contacto con la luz solar y los factores climáticos pero últimamente se han descubierto y experimentado plásticos nuevos con propiedades tan aceptables que los hacen competitivos con el vidrio, llegando a reducir el costo de los aparatos solares a más de la mitad de su valor.

Entre estos últimos hay que mencionar por su resistencia y economía el plástico Mylar-W, fabricado por la casa - Dupont. Consta de un revestimiento que absorbe los rayos ultravioletas y le proporciona una vida media muy próxima a - los cinco años. Para muy parecidos índices de refracción se consigue en el Mylar-W una gran resistencia a la tracción, - propiedad de gran importancia para todo material, pero sobre todo para el plástico, cuyo mayor enemigo a tener en cuenta es el viento, con las consiguientes tensiones que produce.

Otras propiedades ventajosas con respecto al vidrio, - además de la economía es su facilidad de limpieza del polvo y la rápida formación de láminas acuosas.

Para la construcción de colectores focales o espejos - reflectantes se utilizan plásticos aluminizados, es decir, - recubiertos de una película que refleja las radiaciones solares concentrando el calor en un determinado punto(foco).

Existen metales que bien pulidos y trabajados proporcionan una buena reflectividad solar.

El cobre es un buen reflector, pero fácilmente oxidable; a la plata le ocurre lo mismo al empañarse rápidamente por el sulfuro de hidrógeno atmosférico, oscureciéndose y disminuyendo su poder reflectante.

El acero, níquel y cromo no poseen un elevado índice, aunque son superiores a los anteriormente mencionados, pero el que en realidad cumple mejor con todas las propiedades reflectantes es una lámina fina de óxido de aluminio Al_2O_3 bien pulida.

Actualmente se fabrica el Mylar aluminizado que consta de una capa de óxido de aluminio recubriendo una de sus caras, con lo que se tiene un poder reflectante superior al 70 por 100. También se emplea un finísimo papel de aluminio para recubrir las superficies planas (espejos, helióstatos) ó parabólicas.

En el cuadro 2.1.2. hemos representado los gráficos de los coeficientes de transmisión de los principales plásticos actualmente en el mercado.

El coeficiente de transmisión es función de la longitud de onda de la radiación: el Tedlar (0.05 mm) y el Mylar (0.13 mm) son muy aceptables para invernaderos y colectores solares, pues aunque pierden radiaciones infrarrojas lo compensan con su transparencia, duración y resistencia.

	Mylar W*	Tedlar 40	Polistirena
Espesor en mm.	0,125	0,010	0,020
Densidad g/cc.	1,39	1,38	0,91
Índice de refracción	1,64	1,45	1,5
Resistencia a tracción (kg/cm^2 a $25^{\circ}C$)	1.680	560	140
Elongación (% a $25^{\circ}C$)	100	250	500
Tensión de rotura g/mil $25^{\circ}C$	33	180	300
Coefficiente de dilatación lineal ...	25×10^{-6}	24×10^{-6}	300×10^{-6}

* Datos tomados de Farrington Daniels.

CUADRO 2.1.2.- PROPIEDADES DEL PLASTICO MYLAR
Y OTRAS PELICULAS PLASTICAS .

FIGURA 2.3.1.- DIAGRAMAS DE LOS DIFERENTES PLASTICOS.

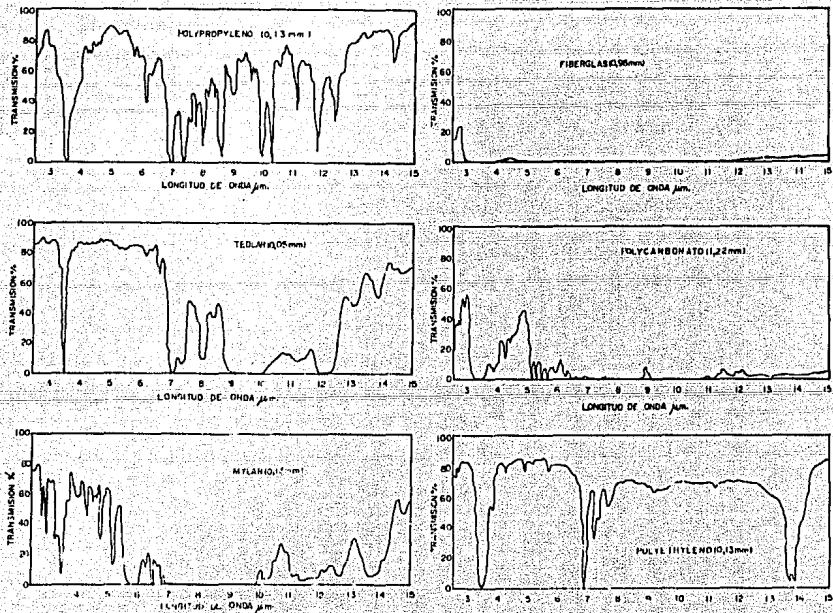
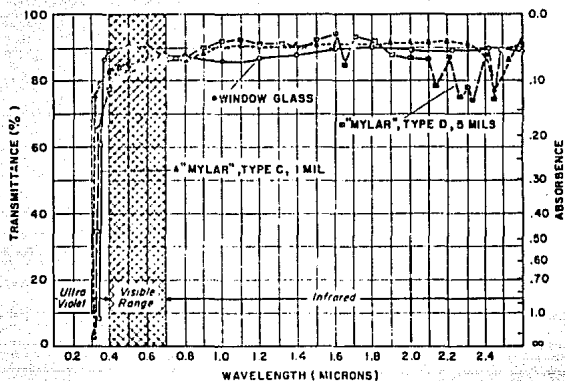


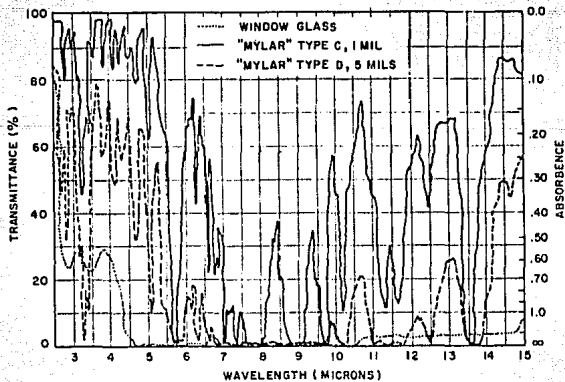
FIGURA 2.1.4.- PROPIEDADES OPTICAS DEL MYLAR(BAJO RANGO).



*Du Pont registered trademark

NOTE: 1 micron = 10,000 Angstroms = 0.001 mm.

FIGURA 2.1.5.- PROPIEDADES OPTICAS DEL MYLAR(ALTO RANGO).



Las dimensiones básicas son:

Diámetro del espejo concentrador: 2.508 m

Distancia focal teórica: 106.25 cm.

Angulo en el borde de la orilla: 61°

La parábola se encuentra unida y apoyada a una base rectangular construida con la unión de ángulos de acero que permiten el movimiento de la parábola en forma lineal de un extremo a otro que podría ser el movimiento virtual del sol de este a oeste, y también permite otro movimiento lineal perpendicular al anterior que bien podría ser norte-sur y vice que definitivamente ayudará a seguir el movimiento del sol a lo largo del año.

Las dimensiones que corresponden a cada una de las partes constitutivas tales como espesores, tolerancias, dimensiones exteriores, separaciones y en general la proporción de ellas se basan puramente en la práctica y en la experiencia adquirida en el diseño de partes similares. Es decir, las bases, placas de apoyo, flechas, trinquetes, soportes, etc, no requieren cálculos detallados sino más bien un buen sentido de la proporción, por lo tanto no se indican cálculos al respecto.

2.2.- DISEÑO, CONSTRUCCION E INSTALACION DEL ABSORBEDOR.

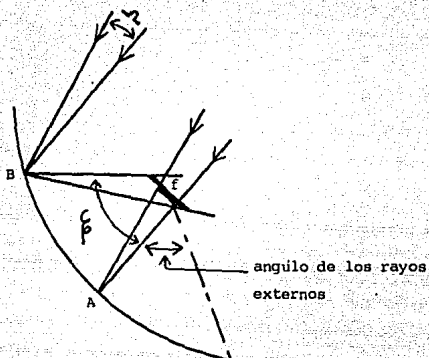
Un reflector parabólico de construcción perfecta, expuesto a la radiación de rayos paralelos, los concentra todos en el foco. En este caso, el factor de convergencia sería infinitamente grande. Aunque tenga la apariencia de poder lograr algo difícil de creer - una temperatura de equilibrio infinita en el foco - tiene que haber alguna imperfección que impida esto en la práctica. La razón estriba en que los rayos del sol no son exactamente paralelos.

Nosotros percibimos los rayos como provenientes de un disco cuya anchura subtende un ángulo de 32 minutos de arco o de 0.0093 radianes, que es la relación del diámetro del sol con la distancia que le separa de nosotros; a este ángulo le llamamos α . Este hecho no tiene gran importancia para el reflector de espejo plano, pero sin embargo significa un límite al factor de convergencia de la parábola. El resultado es que la energía incide dentro de una zona alrededor del foco y no exactamente en él.

En la figura 2.2.1. se muestran las trayectorias de los rayos provenientes de los bordes opuestos del sol que inciden en el espejo en dos puntos, A y B. Los rayos reflejados en el centro del espejo A regresan siguiendo caminos recíprocos, de forma que en el foco f, producen una imagen del sol de anchura $2f \tan \alpha/2$, que al ser α un ángulo muy pequeño resulta aproximadamente $f\alpha$. (Es decir que para una distancia focal de dos metros, la imagen tiene aproximadamente dos centímetros de ancho).

Los rayos reflejados en otras partes del espejo, como los que pasan por B, tienen mayor longitud que recorrer antes

FIGURA 2.2.1.- CONCENTRACION DE LA RADIACION SOLAR
CON ESPEJO PARABOLICO.



de llegar a f y su divergencia será mayor. No sólo forman una imagen más grande, sino que ésta se forma en un plano inclinado un ángulo ξ con respecto al plano focal. En el propio plano focal la imagen sería elíptica. El efecto global que se produce en el foco es una combinación de múltiples elipses, todas mayores que la parte central formada por los rayos reflejados en A . Si el disco solar tuviese un brillo uniforme, la intensidad sería uniforme en esta zona central, pero decreciendo rápidamente a medida que nos alejamos de ella. Podemos ver fácilmente que la contribución correspondiente a los rayos reflejados en una zona dada en otras partes del espejo, es cada vez menor a medida que aumenta el ángulo ξ .

Ahora, tomando como referencia el hecho de que los rayos solares deben concentrarse en un punto, y que este punto del que se hace mención se encuentra en el foco de la parábola se procederá a calcularse en base a la teoría básica que en este caso es la geometría analítica (capítulo: Parábola).

Debido al tamaño finito del sol y a imperfecciones en la construcción de espejos, el foco en sistemas de este tipo no es puntual, pero para cuestiones de diseño debe considerarse así.

Conociendo el lugar donde se encuentra se partirá para por medio de pruebas, conocer el área de concentración solar.

Para encontrar el foco teórico de la parábola nos ayudemos en la ecuación fundamental:

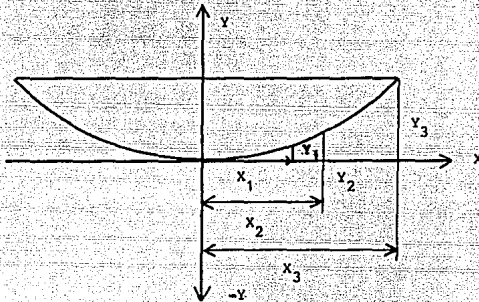
$$y^2 = 4 f x$$

- donde y es un eje de referencia vertical y que pasa por el centro de la parábola.
- x es un eje de referencia horizontal que pasa por el centro de la parábola también.
- f es la distancia a la que se encuentra el foco de la parábola a partir del centro y sobre el eje y.

Conociendo las medidas de la parábola, será relativamente sencillo encontrar el foco, pues tomando como referencia las coordenadas de las distancias más alejadas sobre los ejes x & y, que serían precisamente estas medidas y sustituyéndolas en la ecuación fundamental nos dará el valor de f mencionado ya con anterioridad.

Cálculos para encontrar el foco teórico, del disco solar que ya se encontraba construido, de acuerdo a las medidas fundamentales siguientes: (x_3, y_3)

FIGURA 2.2.2.



$$y^2 = 4 f x \quad (2.a.)$$

$$\text{de ahí que : } f = y^2/4x \quad (2.b.)$$

midiendo:

$$(x_1, y_1) = (7.8, 57.7) \text{ cm}$$

$$(x_2, y_2) = (20.5, 93.4) \text{ cm}$$

$$(x_3, y_3) = (37.2, 125.4) \text{ cm}$$

de la ecuación 2.b. :

$$f_1 = (57.7)^2/4(7.8) = 106.7 \text{ cm}$$

$$f_2 = (93.4)^2/4(20.5) = 106.38 \text{ cm}$$

$$f_3 = (125.4)^2/4(37.2) = 105.67 \text{ cm}$$

$$f \text{ promedio} = f = 106.25 \text{ cm}$$

Tamaño de los brazos y ángulo respecto a la horizontal:

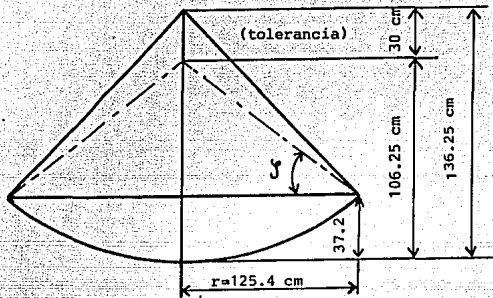


FIGURA 2.2.3.- MEDIDAS APROXIMADAS DE LA ALTURA A LA QUE DEBEN IR LOS BRAZOS. LA DISTANCIA FOCAL TEORICA CON TOLERANCIA- SUPONIENDO EL TAMAÑO DEL ABSORBEDOR ES:
 $106.25 \text{ cm} + 30 \text{ cm} = 136.25 \text{ cm}$

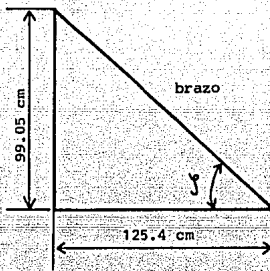


FIGURA 2.2.4.- TAMAÑO APROXIMADO DEL BRAZO E INCLINACION γ .

De la figura 2.2.4. :

$$\text{brazo} = \sqrt{(99.05)^2 + (125.4)^2}$$

$$\text{brazo} = 159.8 \text{ cm}$$

con: $\tan \xi = \text{cateto opuesto/cateto adyacente}$

$$\xi = \tan^{-1} (99.05/125.4)$$

$$\xi = 38.3^\circ$$

En base a la construcción de los brazos (que son tres), con tubería hueca galvanizada, y su respectiva colocación por medio de brasitos en forma de " L ", de acero y atornillados a la parábola mientras que soldados del otro extremo a un cilindro hueco de una pulgada de diámetro interior. - Este último será el punto de apoyo del absorbedor -, se midió el foco real de la parábola tomando como referencia una lámina móvil a lo largo del foco la cual muestra también el área óptima de concentración de los rayos reflejantes. (ver fig.2.2.5.)

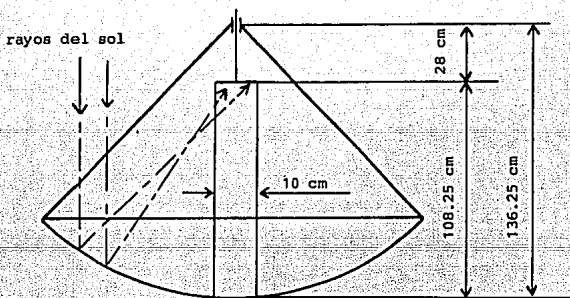


FIGURA 2.2.5.- RESULTADO DE LAS PRUEBAS PARA ENCONTRAR LA MEDIDA DEL FOCO REAL Y LA DISTANCIA-DESDE LA BASE DE LA PARABOLA.

Por lo tanto, vemos que el diámetro del área óptima es aproximadamente de 10 cm, entonces, para un mejor aprovechamiento damos una tolerancia quedando:

Diámetro del absorbedor: $d_a = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$

Diámetro del absorbedor con cubierta aislante: $d = 0.20 \text{ m}$

Y la distancia al foco real es:

$136.25 \text{ cm} - 28 \text{ cm} = 108.25 \text{ cm}$

Área de aprovechamiento del colector:

si $r_c = 125.4 \text{ cm}$, entonces: $d_c = 2.5008 \text{ m}$

Área del colector - Área del absorbedor c/cub. = A aprovechable

$$A_{\text{aprov.}} = \pi d_c^2/4 - \pi d^2/4 = \pi (2.5008)^2/4 - \pi (0.20)^2/4$$

$$A_{\text{aprov.}} = 4.88 \text{ m}^2$$

En base a datos experimentales (tablas), la radiación incidente producida por los rayos solares son dependientes de la declinación y de la latitud del lugar donde se instalará el colector. Si echamos un vistazo a los mapas de las figuras 2.2.6, veremos que el promedio de radiación diaria en la zona centro de México es aproximadamente 0.2 Kw/m^2 , pero durante todo el día, o sea, durante 24 horas; Si consideramos las horas únicamente, en las que existe el mayor porcentaje de radiación, o sea durante el día, el promedio de radiación subirá como en tres veces. Para cuestiones de diseño, se debe sobredimensionar, o en otras palabras, considerar la más óptima radiación. Por ello, para nuestro trabajo quedará con un valor de 0.9 Kw/m^2 .

A este valor se le llama incidencia normal de la radiación directa y se simboliza con la letra I. Este valor lo calcularemos más adelante con la mayor precisión posible para la co-rrecta caracterización del C.S.P, por el momento, para el cálculo del tamaño del serpentín que llevará en su interior el -absorbedor, no hace falta tanta exactitud y tomaremos teóricamente ese valor.

Para mayor comprensión de los mapas de la figura 2.2.6. debemos señalar que el dato de radiación global diaria marcado, se encuentra en las siguientes unidades: $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{día}$. Debemos por lo tanto, cambiar el dato a unidades más fácilmente manejables, así, por ejemplo para el mes de Enero:

$$\frac{400 \text{ cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ K cal}}{1000 \text{ cal}} \cdot \frac{100^2 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2}. \text{ Entonces,}$$

reduciendo:

$$\frac{400 \text{ K cal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \cdot \frac{10}{24} \cdot \frac{\text{Kw} \cdot \text{h}}{860 \text{ K cal}} = 0.193 \text{ Kw/m}^2.$$

Haciendo el mismo tipo de cálculo, pero tomando los datos diferentes de cada mes, tenemos que para:

Enero: 0.193 Kw/m^2

Julio: 0.218 Kw/m^2

Febrero: 0.218 Kw/m^2

Agosto: 0.218 Kw/m^2

Marzo: 0.242 Kw/m^2

Septiembre: 0.193 Kw/m^2

Abril: 0.242 Kw/m^2

Octubre: 0.193 Kw/m^2

Mayo: 0.242 Kw/m^2

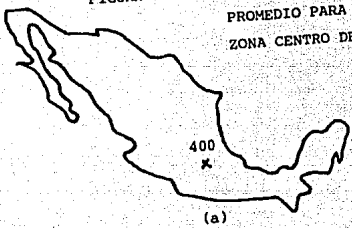
Noviembre: 0.193 Kw/m^2

Junio: 0.207 Kw/m^2

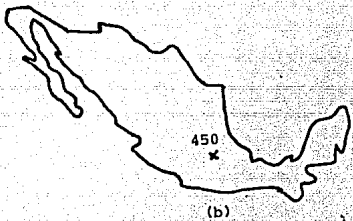
Diciembre: 0.169 Kw/m^2

FIGURA 2.2.6.- RADIACION GLOBAL DIARIA
PROMEDIO PARA CADA MES,
ZONA CENTRO DE MEXICO.

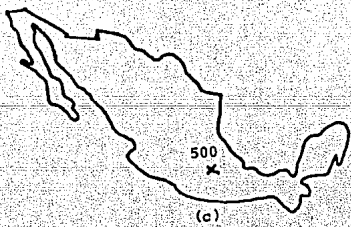
ENERO



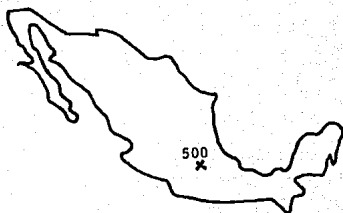
FEBRERO



MARZO

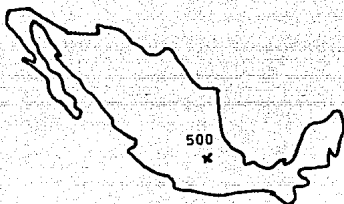


ABRIL
■■■■■



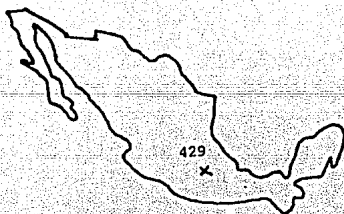
(d)

MAYO
■■■■■



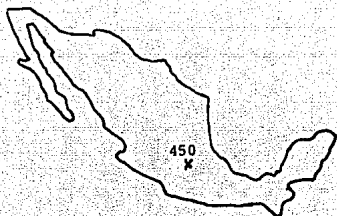
(e)

JUNIO
■■■■■



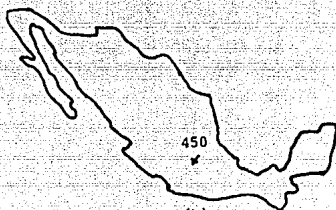
(f)

JULIO
=====



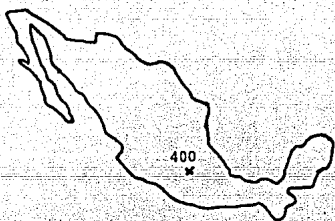
(g)

AGOSTO
=====



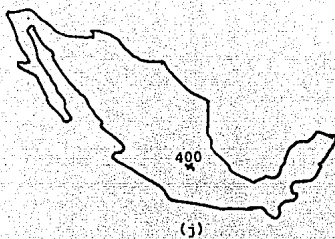
(h)

SEPTIEMBRE
=====

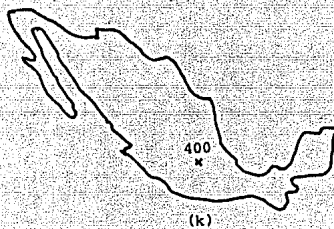


(i)

OCTUBRE
■■■■■■■■■■



NOVIEMBRE
■■■■■■■■■■



DICIEMBRE
■■■■■■■■■■

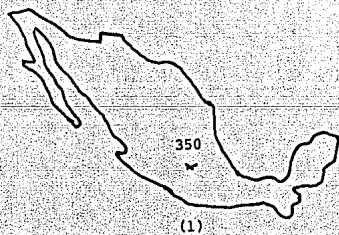
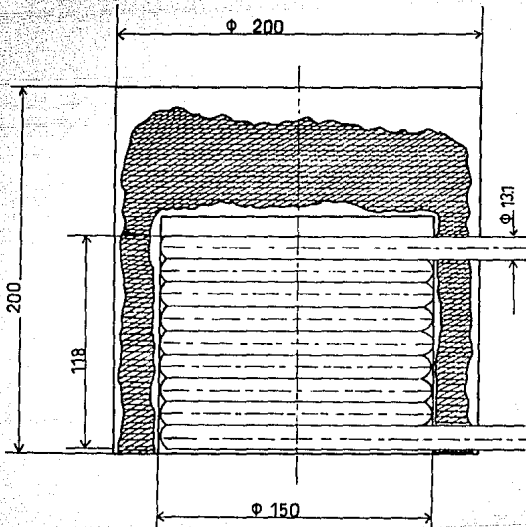


FIGURA 2.2.7.- EN ESTE MOMENTO, LA POTENCIA APROVECHABLE DEL-
COLECTOR (FLUJO CALORIFICO) ES:

$$Q = 4.88 \text{ m}^2 \cdot 0.9 \text{ Kw/m}^2 = 4.932 \text{ Kw}$$

EL ABSORBEDOR QUE LLEVARA EL CONCENTRADOR ES -
DE LA FORMA Y CON LAS CARACTERISTICAS SIGUIENTES:



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUITLAN

ESCALA 1:2

ACOTACIONES mm

FECHA:

REV. SÁNCHEZ G.



ABSORBEDOR CON SERPENTIN PARA

DIB. CARRASCO V.

DISEÑO C.S.P.

EL CONCENTRADOR PARABOLICO

DIB. RAMÍRES G.

Para disponernos a la construcción, requerimos primeramente del cálculo real de área aprovechable de energía solar con que contará el absorbedor que será del tipo del de la figura 2.2.7. por cuestión principalmente de facilidad de construcción.

Hay que hacer notar que este serpentín no será el caso de un serpentín al cual le está llegando energía por todas partes como sería el caso de uno sumergido en un fluido a temperatura constante, sino que realmente la energía llega en forma proyectada a la pared interna visible del serpentín.

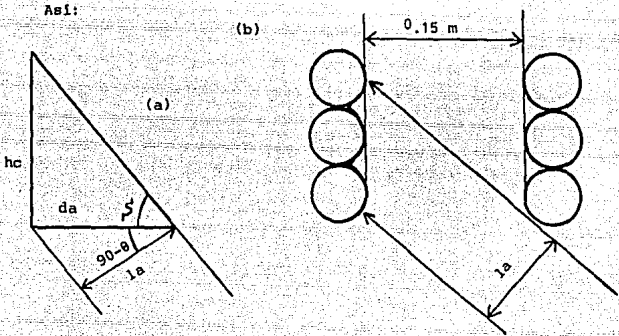


FIGURA 2.2.8.a.- FORMA EN QUE LLEGAN LOS RAYOS SOLARES

CON: hc = altura del cilindro

da = diámetro del absorbedor

la = longitud aprovechable

ξ = ángulo formado entre una horizontal y los rayos solares

2.2.8.b.- AREA QUE ABARCAN LOS RAYOS SOLARES - DENTRO DEL SERPENTIN.

Por lo tanto:

Si $d_a = 0.15$ m y $h_c = 0.20$ m , calcularemos ξ :

$$\operatorname{tg} \xi = h_c/d_a$$

$$\xi = \operatorname{ang} \tan (0.20/0.15) = 53.13^\circ$$

$(90 - \xi) = \xi' = 90 - 53.13 = 36.86^\circ$, con este valor de ξ' , la es:

$$\cos \xi' = l_a/d_a$$

$$l_a = d_a \cos \xi'$$

$$l_a = 0.15 \cos 36.86^\circ$$

$$l_a = 0.12$$
 m

ahora el área de absorción es:

$$A_a = \pi \cdot d_a \cdot l_a$$

$$A_a = 3.1416 \cdot 0.15 \text{ m} \cdot 0.12 \text{ m}$$

$$A_a = 0.56549 \text{ m}^2$$

Para cuestiones de cálculo posterior, requerimos saber qué porcentaje del Área total representa esta área de absorción.

Para calcular el área total:

si d exterior del tubo = $d_e = 0.0131$ m

d interior del tubo = $d_i = 0.0104$ m

y el $d_a = 0.15$ m tomando el d_i , entonces el área interna total es: $A_{it} = \pi \cdot 0.15 \text{ m} \cdot 0.20 \text{ m} = 0.094248 \text{ m}^2$

y:

$$0.0131 \text{ m} - 0.0104 \text{ m} = 0.0027 \text{ m} \cdot 2 = 0.0054 \text{ m}$$

entonces el diámetro de absorción exterior sería:

$$d_{ae} = 0.15 \text{ m} + 0.0054 \text{ m} = 0.1554 \text{ m}$$

ahora entonces el área externa total es:

$$A_{et} = \pi \cdot 0.1554 \text{ m} \cdot 0.20 \text{ m} = 0.097641 \text{ m}^2$$

Ya con esto, podemos deducir que el área total es aproximadamente:

$$A = 0.094248 + 0.097641 = 0.191889 \text{ m}^2$$

Ahora, si el área total $A = 100\%$, entonces $A_a = ?$,
con una simple regla de tres:

$$0.191889 = 100\%$$

$$0.056549 = 29.5\% \text{ del área total, o lo que es lo mismo:}$$

$$A_a = 0.295 A \dots\dots (\text{área aprox. real de absorción})$$

Para conocer el número de vueltas que debe llevar el serpentín se deben realizar una serie de cálculos que se relacionen directamente con los datos que conocemos, y éstos son: La potencia aprovechable del colector, el porcentaje de área de absorción y el fluido que es agua entrando a una temperatura ambiente.

Para ello utilizaremos ecuaciones de transferencia de calor, como la que sigue:

$$Q = h A (T_{\text{tubo}} - T_{\text{agua}})$$

donde Q = Potencia aprovechable del colector ó el flujo calorífico.

h = coeficiente de transferencia de calor.

A = área de transferencia de calor

T = temperaturas respectivas.

Del área de transferencia de calor, la cual es igual a $\pi \cdot d \cdot l$, deduciremos la longitud l del tubo y con ello el número de vueltas que deba llevar dicho serpentín.

Desconocemos el coeficiente de transferencia de calor h , y para encontrarlo llevaremos a cabo el procedimiento correspondiente de transferencia de calor por convección en tubos y para serpentines en particular.

Tenemos:

$$T_{\text{agua}} = T_1 = 20^{\circ}\text{C} \text{ (temperatura ambiente)}$$

$$T_{\text{tubo}} = T_2 = 50^{\circ}\text{C} \text{ (ésta temperatura se desconoce hasta el momento de realizar pruebas. Es supuesta)}$$

$$\Delta T = 30^{\circ}\text{C} \text{ (diferencia de temperatura ó delta de temperatura)}$$

$$T_m = 35^{\circ}\text{C} \text{ (temperatura media)}$$

$$\text{Con } T_m = 35^{\circ}\text{C} :$$

$$\text{Densidad del agua} = \rho = 993.95 \text{ Kg/m}^3$$

$$C_p \text{ del agua} = 4.174 \text{ KJ/Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda = 62.65 \times 10^{-2} \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\nu = 0.732 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (viscosidad cinemática)}$$

$$Pr = 4.865 \text{ (número de Prandtl)}$$

$$Pr_w = 3.54 \text{ (número de Prandtl a la temperatura del tubo)}$$

Todos los datos referentes al agua a temperatura fueron tomados de la tabla no. 4 (sección tablas).

$$\text{De: } \dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{m} = \text{flujo másico} = \dot{Q} / C_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{4.392 \text{ Kw} \times \text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}{4.174 \text{ KJ} (30^{\circ}\text{C})} \times \frac{\text{KJ}}{\text{s} \times \text{Kw}}$$

$$\dot{m} = 0.0351 \text{ Kg/s}$$

$$\dot{v} = \text{flujo volumétrico ó gasto volumétrico} = \dot{m} / \rho$$

$$\dot{v} = \frac{0.0351 \text{ Kg/s}}{993.95 \text{ Kg/m}^3} = 3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

el \dot{v} es también igual a $V \cdot A$, donde: V = velocidad del fluido
 A = Área donde circula

$$V = \dot{v} / A = \frac{3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi d_i^2 / 4} = \frac{3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi (0.0104 \text{ m})^2 / 4} = 4.12 \times 10^{-1} \text{ m/s}$$

el número de Reynolds es:

$$Re = V \cdot d_i / \nu = 4.12 \times 10^{-1} \text{ m/s} (0.0104 \text{ m}) / 0.732 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = 5853.75$$

ahora se calcula el número de Nussel:

$$Nu = 0.021 Re^{0.8} Pr^{0.43} (Pr/Pr_w)^{0.25}$$

sustituyendo:

$$Nu = 0.021(5853.75)^{0.8} (4.865)^{0.43} (4.865/3.54)^{0.25}$$

$$Nu = 46.358$$

$$\text{ahora de: } Nu = h \cdot di / \quad h = Nu \cdot /di$$

$$\text{entonces } h = 46.358(62.65 \times 10^{-2}) / 0.0104 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h = 2792.672 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Factor de corrección para serpentines:

$$ER = 1 + 1.77(d \text{ tubo}/r \text{ serpentín})$$

$$ER = 1 + 1.77(0.0104 \text{ m}/0.075 \text{ m}) = 1.245$$

con su factor de corrección, el coeficiente de transferencia de calor para este serpentín será:

$$h' = 2792.672 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 1.245 = 3476.876 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

regresando a la ecuación de transferencia:

$$Q = h' \cdot A \cdot DT \quad \text{donde } A = 0.295 \cdot di \cdot l$$

y como buscamos la longitud del tubo, entonces:

$$l = 4392 \text{ W} / 0.295 \cdot di \cdot h' \cdot DT \cdot (3.1416)$$

$$l = 4392 \text{ W} / 0.295(0.0104 \text{ m}) \cdot (3476.876 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \cdot (30^\circ\text{C}) \cdot (3.1416)$$

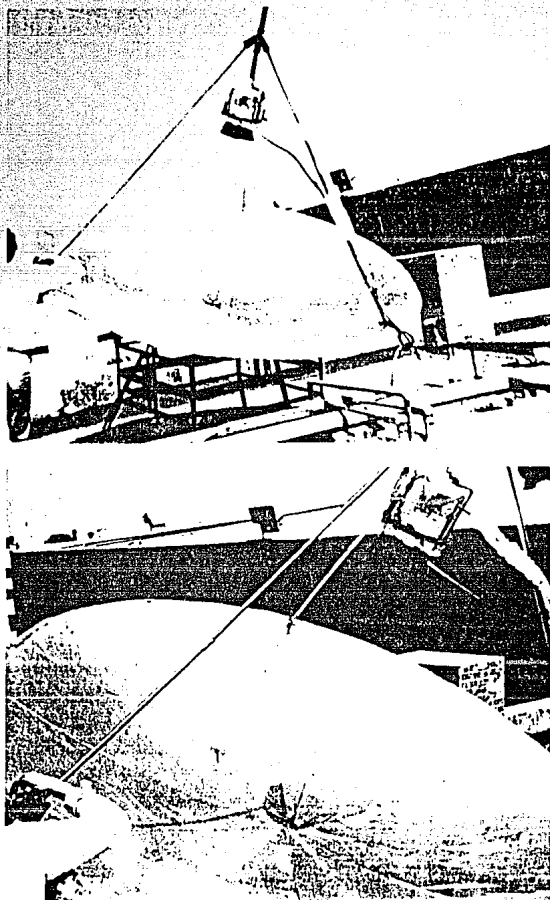
$$l = 4 \text{ metros aproximadamente. } = 4.3 \text{ m}$$

Ahora el número de vueltas será esta longitud entre por el diámetro del serpentín. O sea:

$$4.3 \text{ m} / 3.1416 \cdot (0.15 \text{ m})$$

por lo tanto el número de vueltas en el serpentín es aproximadamente de 9 vueltas.

FIGURA 2.2.9.- DISCO SOLAR, BASE Y ABSORBEDOR INSTALADO.
FOTOGRAFÍAS.



2.3.- INSTALACION DEL COLECTOR SOLAR PARABOLICO.

Para realizar la instalación del colector solar parabólico hubo de buscarse un lugar plano, despejado para la completa captación del sol pero dentro de lo permisible cubierto del aire que pudiera provocar su deterioro prematuro.

Se considera también que el movimiento de declinación que la tierra sufre a lo largo del año va del norte al sur y viceversa pero en base al norte astronómico, y para encontrar éste deben de realizarse una serie de pruebas para determinar a cuántos grados de desviación con respecto al norte magnético se encuentra.

La dirección u orientación de una línea se determina por el ángulo horizontal entre ésta y una línea de referencia, generalmente la meridiana, que puede ser la línea magnética norte-sur, o la meridiana verdadera, determinada sobre el horizonte por el círculo meridiano que pasa por los polos celestes.

La aguja magnética de una brújula proporciona un medio para establecer la meridiana de referencia. Pero como la dirección de las fuerzas magnéticas es variable en los diversos puntos de la tierra, y una aguja de brújula es sensible a atracciones locales, su uso no es confiable.

Una dirección norte-sur verdadera se puede obtener mediante observaciones del sol o de las estrellas (o bien, a partir de coordenadas conocidas de dos puntos) cuando la localización de las estaciones ha de ser fijada permanentemente.

Se puede disponer ahora de aditamentos giroscópicos de orientación (apuntadores al norte) que se montan en un teodolito de precisión.

Es posible establecer la posición de la meridiana por el método de la sombra de una pérdiga vertical, sin más equipo adicional que un simple cordón. En la figura 2.3.1. los puntos A, B, C, D, E y F marcan las posiciones del extremo de la sombra proyectada por un poste vertical (como el de la línea telefónica) a intervalos de unos treinta minutos, durante el periodo de las 9 AM y las 3 PM, (ó a las 15 hrs.) se traza una curva regular por las marcas. Con el poste como centro y un radio apropiado, se traza un arco de círculo que dé dos intersecciones con la curva de la sombra. La línea que va desde el centro del poste hasta m, el punto medio de las dos intersecciones con la curva de la sombra, es aproximadamente la meridiana.

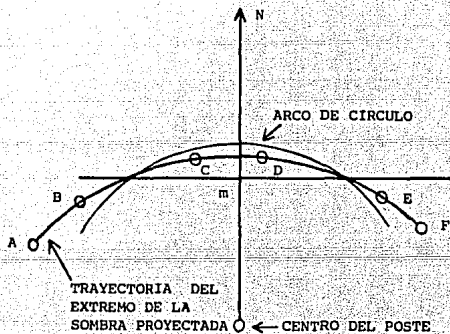


FIGURA 2.3.1.- DETERMINACION DE LA MERIDIANA POR EL METODO DE LA SOMBRA.

Otro método llamado de alturas iguales del sol requiere un tránsito ó teodolito, pero el procedimiento es semejante en principio al de la sombra.

La polar en culminación muestra el movimiento circumpolar a parente de la estrella polar (Polaris), como se observa desde la tierra, con sus pasos (o tránsitos) superior o inferior por el meridiano y sus alejamientos de éste. La estrella se mueve en sentido directo (o contrario al del reloj) alrededor del polo norte (donde la prolongación del eje de la tierra toca a la esfera celeste), pero dos veces al día pasa por el plano vertical que contiene el eje, según puede ver un observador cualquiera del hemisferio septentrional. El punto en el límite más alto de su recorrido se llama culminación superior (C.S.), y el punto en el límite más bajo es su culminación inferior (C.I.). En los puntos llamados de elongación al este (E.E.) y elongación al oeste (E.W.) la polar tiene sus alejamientos máximos respecto del meridiano.

Si un observador en el punto O visa la polar en el preciso momento de su culminación superior o inferior (correspondiente a la longitud geográfica), sólo necesita deprimir el anteojo y situar una estaca x para obtener la línea norte-sur verdadera.

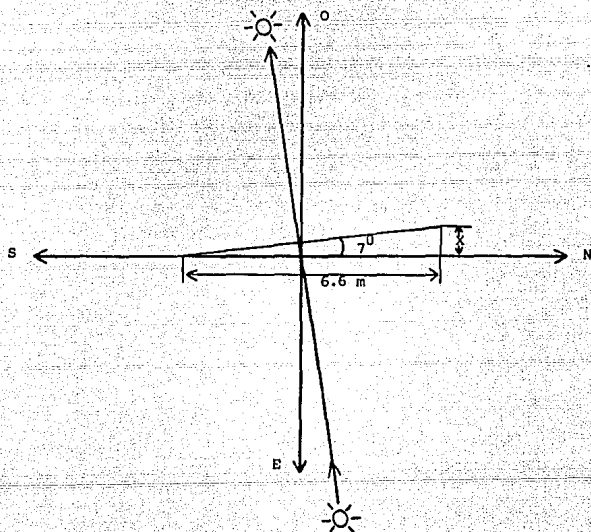
Nosotros, tomando como base pruebas semejantes realizadas con anterioridad por personas de la carrera de Ingeniería Agrícola que se imparte en la F.E.S.C., U.N.A.M., nos percatamos que el norte astronómico en Cuautitlán de R.R. a una latitud de 19.5° se encuentra desviado 7 grados, en dirección hacia el poniente con respecto al norte magnético. Conociendo esto, realizamos un cálculo sencillo para instalar sobre una línea norte-sur verdadera el colector solar parabólico. (ver la figura 2.3.2.)

FIGURA 2.3.2.- NORTE MAGNETICO Y NORTE ASTRONOMICO .
 LINEA SOBRE LA CUAL QUEDA INSTALADO
 EL C.S.P.

$$\tan 7^{\circ} = x/6.6 \text{ m}$$

$$x = 6.6 \tan 7^{\circ}$$

$$x = \underline{\underline{0.8103 \text{ m}}}$$



2.4.- DATOS FINALES DEL COLECTOR SOLAR PARABOLICO.

FIGURA 2.4.1.- COLECTOR SOLAR PARABOLICO INSTALADO FINALMENTE Y LISTO PARA LLEVAR A CABO LAS PRUEBAS DE SU EFICIENCIA.

(a) Checando centrado del absorbedor, fugas y correcta colocación de los instrumentos de medición.

(b) Pirheliómetro, amperímetro y hojas de registro, así como un radio marcando cada minuto de hora para llevar a cabo cada medición en un tiempo razonable.

(c) Esperando únicamente condición climatológica propicia durante un tiempo mínimo de 5 minutos para cada serie de lecturas.

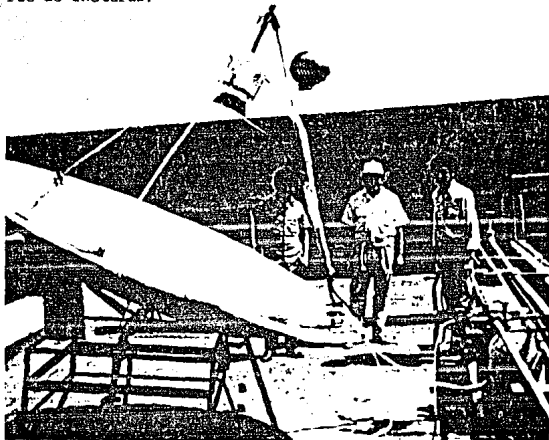


FIGURA 2.4.1.(a)

FIGURA 2.4.1.(b)

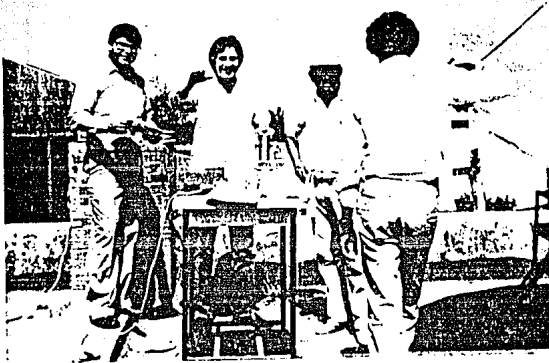
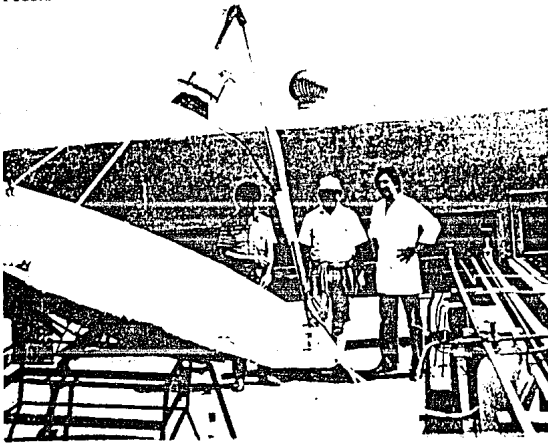
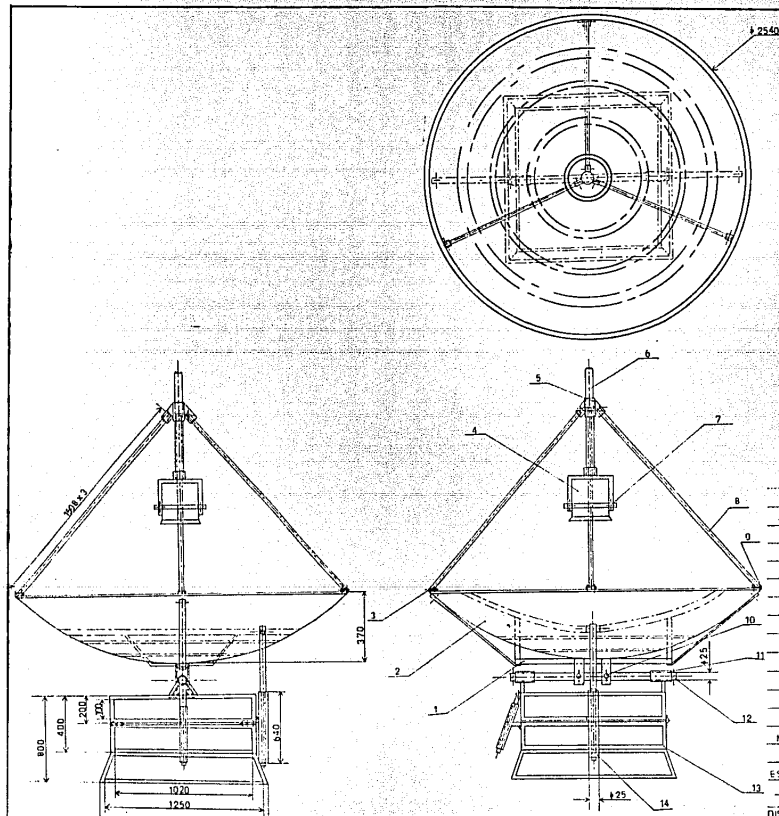



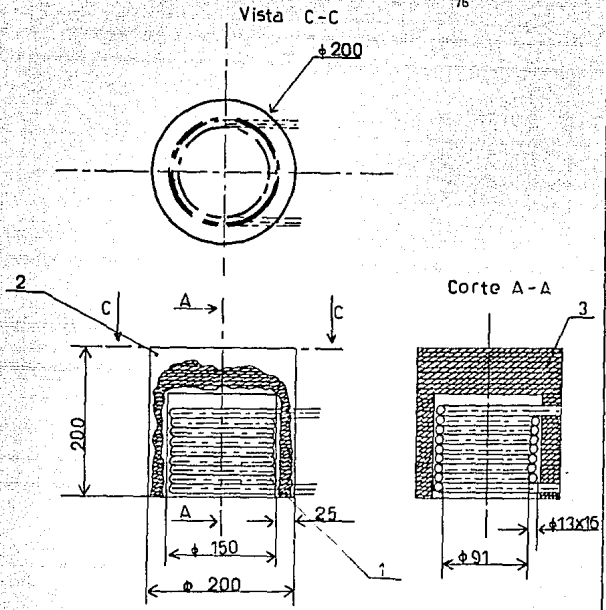
FIGURA 2.4.1.(c)

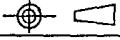


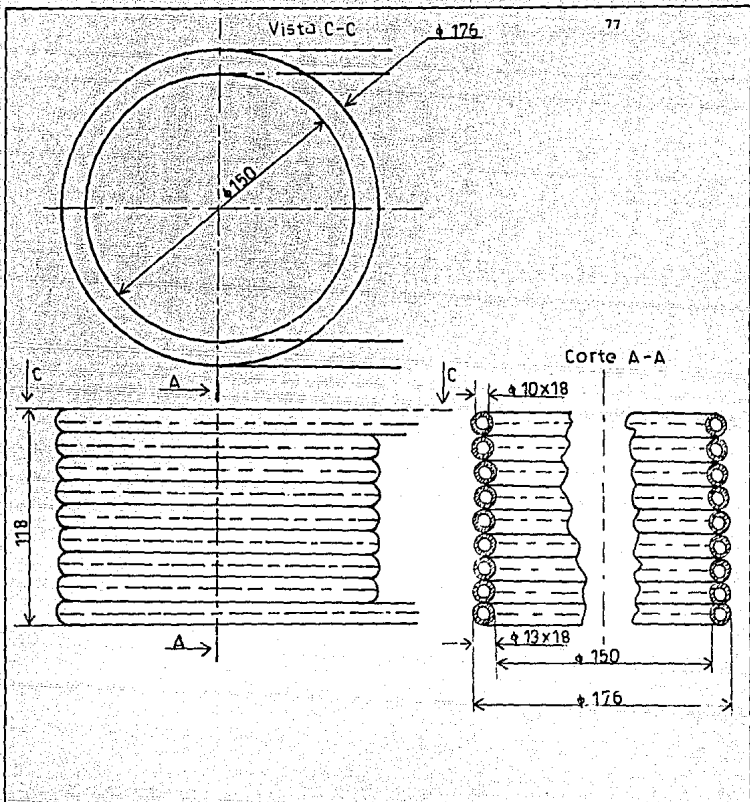


14	2	brazos con tornillos sin fin	ACERO SAE 1014	ver dibujos de definicion
13	1	base del sosten de la Parabol	ACERO SAE 1014	
12	1	tubo ojo de la Parabol	ACERO SAE 1014	
11	2	cilindros nuevos empacados	ACERO SAE 1014	
10	2	tornillos con tuercas fijacion de	ACERO SAE 1414	
9	10	tornillos con tuercas fijacion de	ACERO SAE 1414	
8	3	tubos del tripie	LAMINA NEGRA	
7	1	sosten del ojo (boga)	ACERO SAE 1014	
6	1	tubo del sosten del giratorio	ACERO SAE 1014	
5	1	base de union del sistema	ACERO SAE 1014	
4	1	dispositivo con soporte	ALUMINIO, COBRE Y FIBRA DE VIDRIO	ver dibujos de definicion
3	3	bases del tripie con la Parabol	ACERO SAE 1014	
2	1	Parabol	FIBRA DE VIDRIO	
1	1	base de la Parabol (estructura interna)	ACERO SAE 1014	



Nº Cantidad Designacion Material Observaciones
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES QUIMICA - UNAM
 ESCALA 1:10 ACOTACIONES mm FECHA REV. ING. SANCHEZ
 DIBUJO DE CONJUNTO DEL DIB. CARRASCO V.
 DISEÑO P. C. P. COLECTOR SOLAR PARABOLICO DIB. RAMIREZ G.



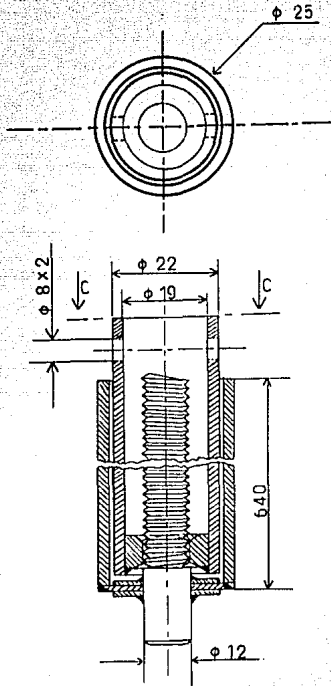
3	1	Fibra de Vidrio	Fibra de Vidrio	
2	1	Hoja de Aluminio	Aluminio	
1	1	Serpentin	Cobre	
N ^o	Cantidad	Designación	Material	Observaciones
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				
ESCALA 1:5	ACOTACIONES: mm	FECHA	REV. ING. SANCHEZ	
	ABSORBEDOR CON SERPENTIN		DIB. CARRASCO V.	
DISEÑO C.S.P.			DIB. RAMIREZ G.	





FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

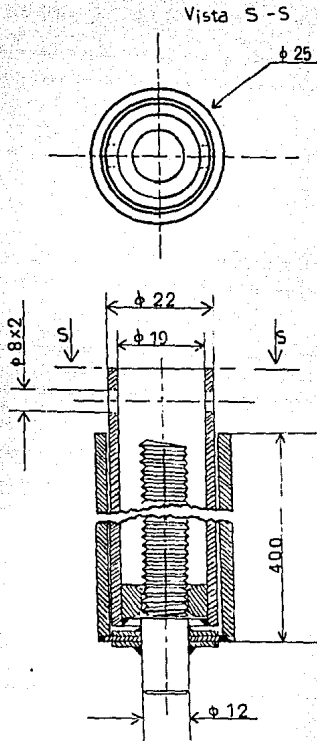
ESCALA 1:2	ACOTACIONES: mm	FECHA	REV. ING. SANCHEZ
 	SERPENTIN DE COBRE		DIB. CARRASCO V.
DISEÑO C.S.P.			DIB. RAMIREZ G.

Vista C - C





FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

ESCALA 1:1	ACOTACIONES: mm	FECHA	REV. ING. SÁNCHEZ
 	BRAZO CON TORNILLO SIN FIN QUE DA MOVIMIENTO A LA PARABOLA PARA DIRECCIÓN ESTE-OESTE		DIB. CARRASCO V. DIB. RAMÍREZ G.
DISEÑO C.S.P.			



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

ESCALA	1:1	ACOTACIONES: mm	FECHA	REV. ING. SANCHEZ
		BRAZO CON TORNILLO SIN FIN QUE DA MOVIMIENTO A LA PARABOLA		DIB. CARRASCO V.
DISEÑO	C.S.P.	PARA DIRECCION NORTE-SUR		DIB. RAMIREZ G.

CAPITULO 3**DESARROLLO EXPERIMENTAL**

3.1.- METODO DE OBTENCION DE LA ENERGIA CONCENTRADA EN EL C.S.P. ASI COMO DE LA RADIACION SOLAR DIRECTA.

Una vez colocado el C.S.P. en un lugar fijo, probamos los dos tipos de movimientos de que consta, por un medio mecánico. El primero, que debe variarse de acuerdo a la declinación de la tierra y que depende del día en que va a realizarse el estudio, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\delta = 23.45 \text{ sen } (360 \cdot (284+N)/365) \quad (3.1.a.)$$

Donde N es el número del día, en el año que se realizará el estudio.

El segundo, que es el que provoca el seguimiento del movimiento del sol durante el día y que viene determinado directamente con el ángulo horario.

Ahora, el paso siguiente consiste en colocar unos termómetros a la entrada y a la salida para obtener el valor de estas temperaturas que nos ayudarán a los cálculos de cualquier estudio al colector.

También deberá de colocarse un recipiente a la descarga del fluido a circular para poder así, y auxiliándonos de un cronómetro calcular el flujo volumétrico que está pasando.

Todos estos instrumentos y auxiliares van instalados -- podemos decir, directamente en el colector. Pues bien, mencionamos en el capítulo anterior que para el tipo de colector -- que vamos a estudiar debemos observar la radiación directa -- con un instrumento llamado pirheliómetro, el cual se conecta independientemente del colector pero debe estar funcionando -- en el mismo momento del estudio y para su correcta utiliza --

ción hay que seguir una técnica, que es la que a continuación sigue :

Se coloca el instrumento sobre una base sólida, procediendo a nivelar el instrumento, una vez realizado esto se mueve el cilindro con el tornillo del azimut en dirección al sol, posteriormente con el tornillo angular se ajusta el cilindro donde está el sensor, de modo que al observar por la mirilla se vea un punto centrado, con lo cual se asegura que el rayo del sol está incidiendo en el sensor.

Para iniciar la observación se gira el revólver del instrumento de izquierda a derecha hasta sentir el tope del revólver, aquí se observa un punto blanco al frente del revólver, el cual indica que se está observando la radiación directa. La salida del voltaje del sensor se lee en general con un galvanómetro o con un multímetro y está dada en milivolts.

El valor obtenido de la radiación directa en milivolts se anota en una hoja de registro de observaciones (fig.3.1.1.) indicada con el nombre de "abierto", después de esta lectura se lee la temperatura del aparato y se anota en el renglón denominado "temperatura del aparato".

Si los objetivos específicos requieren trabajar con los filtros del pirheliómetro, que es nuestro caso, entonces se repite la rutina que se empleó para la observación de radiación directa, girando el revólver de izquierda a derecha, observando cada vez que se llegue al tope y registrando el valor de la temperatura del instrumento cada vez que se observe con cada filtro.

Una vez obtenido el valor de la radiación directa, este se procesa con la siguiente fórmula :

$$I = L / K(1 - 0.002(T - 20)) \quad (3.1.b.)$$

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTITLAN

" RADIACION SOLAR "

L.I.M.E. 1

No. de aparato _____

No. de galvanómetro _____

FIGURA 3.1.1 - REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS.
 PARA SU CORRECTO LLENADO OBSERVAR LA TABLA # 3.

FECHA		HORA		ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA		LECTURA No.*
		INICIAL	FINAL													
																LECTURAS DEL APARATO
																TEMPERATURA DEL APARATO
																OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
-/-				N:	C1:				Cm:		Ch:	dd:		ff:		
TT:	HR:			PPP:	V1:		V2:		V3:		V4:		*****			
FECHA		HORA		ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA		LECTURA No.*
		INICIAL	FINAL													
																LECTURAS DEL APARATO
																TEMPERATURA DEL APARATO
																OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
-/-				N:	C1:				Cm:		Ch:	dd:		ff:		
TT:	HR:			PPP:	V1:		V2:		V3:		V4:		*****			

donde L es la lectura en milivolts, K es la constante del aparato y se da en unidades compatibles, en $V \cdot m^2/W$ y T es la temperatura del aparato en grados celcius. Con esto obtenemos el valor de la incidencia normal de la radiación directa.

Realizada ya la observación, se procede a registrar los parámetros meteorológicos de apoyo a nuestra observación como son :

La nubosidad (N , C_1 , C_m , C_h), la dirección y la velocidad del viento (dd , ff), la visibilidad (V_1 , V_2 , V_3 , V_4), la temperatura al abrigo (TT), la presión (PPP) y la humedad relativa (HR).

Antamos en primer lugar el total de nubosidad (N) en decimos, en el lugar de observación. A continuación se anota la cantidad de nubes bajas en el lugar (C_1) en decimos con la clasificación usual, no la de los meteorólogos. En seguida se cuantifica la cantidad de nubes medias en el lugar (C_m) con la misma clasificación y se termina la clasificación de nubosidad cuantificando la cantidad de nubes altas en el lugar (C_h). (ver clasificación en la sección de tablas, tabla no.3) el renglón se termina con la observación de la dirección (dd) del viento que puede ser cualquiera de los puntos cardinales y su velocidad (ff) en m/s.

Las nubes bajas se distinguen por ser gruesas, con su base casi horizontal y con su parte superior en forma de cúpula con protuberancias semejantes a capas de algodón. Pueden ser amorfas de color gris oscuro, transportadas muy fácilmente por los vientos. Las nubes medias son velos estriados de color más o menos gris o azulado. Son opacas y pueden ocultar enteramente al sol, por lo menos en ciertas partes de la capa se presentan también como manchas compuestas de masas globulares o rodillos, ordenados con regularidad de color blanco o

gris con partes más oscuras en filas o en ondas siguiendo una o más direcciones. Las nubes altas se forman siempre de cristales de hielo y su carácter transparente depende del grado de separación de los cristales. Son velos delgados blanquicos que no borran el contorno del sol, a veces forman halos, también se ordenan en grupos o líneas más frecuentes en ondas parecidas a las arenas de las playas.

El último renglón se inicia anotando la temperatura al abrigo (TT) y la humedad relativa (HR) tomada de un termohigrógrafo o un higroteógrafo el cual debe estar instalado en una caseta meteorológica adecuadamente orientada.

Una vez registrada la temperatura y la humedad relativa se toma la presión atmosférica (PPP) en milibares (mb), la cual se lee en un barómetro o altímetro. Después se procede a registrar la visibilidad del primer cuadrante (V1) se refiere a la visibilidad noreste (NE), la del segundo cuadrante (V2) a la visibilidad sureste (SE), la del tercer cuadrante (V3) a la suroeste (SO) y la del cuarto cuadrante (V4) a la noroeste.

3.2.- REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS.

Estas lecturas fueron llevadas a cabo el día 3 de Mayo de 1988 a partir de las 12 hrs, y terminándolas a las 14 hrs.

Para poder realizar la tabla de datos correspondientes a nuestro estudio, debemos definir primeramente los parámetros que requerimos y a continuación, como paso siguiente -- asentarlos en forma ordenada.

En primer lugar requerimos del dato de la incidencia normal de la radiación directa (I), el cual para su obtención se debe de realizar un promedio de los valores anotados en la tabla de registro de observaciones actinométricas que incluyen los valores obtenidos de radiación directa, temperatura registrada del aparato y constante del aparato medidor que depende de su calibración.

Los valores obtenidos de " I " el día mencionado son -- los de las tablas de registro de las páginas siguientes.

El valor de la declinación solar para este día es:

$$\text{De la tabla \# 2: } \delta = 15^{\circ} 39' = 15.65^{\circ}$$

Para mayor exactitud, utilizamos la ecuación 3.1.a.:

$\delta = 23.45(\sin(360(284+123)/365)) = 15.5^{\circ}$, entonces -- con respecto a la horizontal, la trayectoria solar para este día es de 4° .

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTITLAN

No. de aparato _____

" RADIACION SOLAR "

No. de galvanómetro _____

L.I.M.E. 1

FECHA	HORA												LECTURA No. * 1
	INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	FINAL	
3/V/88	12:10	15.1	13	8.5	10.8	0	15.2	13.2	8.6	10.8	0	12:12	LECTURAS DEL APARATO
		31	31	31.5	31.5	31.5	31.5	32	32	32	32		TEMPERATURA DEL APARATO
-φ-/ H		N: 0	C1: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: 0		ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5 mm Hg		V1: 3HK	V2: 2 HK		V3: 3 HK	V4: 5 HK		*****			
FECHA	HORA												LECTURA No. * 2
	INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	FINAL	
3/V/88	12:15	15.3	13.2	8.6	10.8	0	15.4	13.3	8.5	10.8	0	12:17	LECTURAS DEL APARATO
		32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5		TEMPERATURA DEL APARATO
-φ-/ H		N: 0	C1: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: NO		ff: 6+1		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5 mm Hg		V1: 3 HK	V2: 2 HK		V3: 3 HK	V4: 5 HK		*****			

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTITLAN

No. de aparato _____

" RADIACION SOLAR "

No. de galvanómetro _____

L.I.M.E. 1

FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No.* 3 *
3/V/88	12:20	15	13	8.4	10.5	0	15	13	8.4	10.5	0	12:22	LECTURAS DEL APARATO
		33	33	33	33	33	33	33	33	33	33		TEMPERATURA DEL APARATO
-φ-/ H		N: 0	C1: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: NO		ff: 6+1		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5			V1: 3 HK	V2: 2 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK	*****		
FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No.* 4 *
3/V/88	12:25	15	13.1	8.5	10.8	0	15.1	13	8.4	9.3	0	12:27	LECTURAS DEL APARATO
		33	33	33	33	33	33	33	33	33	33		TEMPERATURA DEL APARATO
-φ-/ H		N: 0	C1: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: 0		ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5			V1: 3 HK	V2: 2 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK	*****		

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTITLAN

No. de aparato _____

" RADIACION SOLAR "

No. de galvanómetro _____

L.I.M.E. 1

FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No.* 5 *
3/V/88	12:30	14.6	12.5	8	10.1	0	14.3	12.2	8.1	10.2	0	12:32	LECTURAS DEL APARATO
		33	33	33	33	33	33	33	33	33	33		TEMPERATURA DEL APARATO
φ-/	H	N: 0	C1: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: 0	ff: 0			OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5		V1: 3 HK	V2: 2 HK		V3: 3 HK	V4: 5 HK		*****			
FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No.* 6 *
3/V/88	12:35 * 1/2 día solar	14.5	12.6	8.3	10.3	0	14.7	12.5	8.3	10.4	0	12:37	LECTURAS DEL APARATO
		33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5		TEMPERATURA DEL APARATO
φ-/	H	N: 0	C1: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: 0	ff: 0			OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5		V1: 3 HK	V2: 2 HK		V3: 3 HK	V4: 5 HK		*****			

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTITLAN

No. de aparato _____

" RADIACION SOLAR "

No. de galvanómetro _____

L.I.M.E. 1

FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No.* 7 *
3/V/88	12:40	14.9	12.7	8.4	10.5	0	14.9	12.9	8.4	10.7	0	12:42	LECTURAS DEL APARATO
		34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		TEMPERATURA DEL APARATO
-/-/ H		N: 0	Cl: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: NO	ff: 6+1		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS	
TT: *	HR: *	PPP: 586.5		V1: 3 HK	V2: 2 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK		*****		
FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No.* 8 *
3/V/88	12:45	15.1	12.9	8.4	10.6	0	15	12.9	8.5	10.6	0	12:48	LECTURAS DEL APARATO
		34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		TEMPERATURA DEL APARATO
-/-/ H		N: 0	Cl: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: 0	ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS	
TT: *	HR: *	PPP: 586.5		V1: 3 HK	V2: 2 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK		*****		

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTILAN

No. de aparato _____

" RADIACION SOLAR "

No. de galvanómetro _____

L.I.M.E. 1

FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No. * 9 *
3/V/88	12:50	15.2	13	8.6	10.8	0	15.3	13	8.5	10.6	0	12:52	LECTURAS DEL APARATO
		34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		TEMPERATURA DEL APARATO
φ-/	H	N: 0	C1: 0			Cm: 0	Ch: 0		dd: 0	ff: 0			OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5		V1: 3 HK	V2: 2 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK	*****			
FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No. * 10 *
3/V/88	12:55	14.5	12.2	8.2	10.3	0	14.6	12.4	8.2	10.2	0	12:57	LECTURAS DEL APARATO
		34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		TEMPERATURA DEL APARATO
φ-/	H	N: 0	C1: 0			Cm: 0	Ch: 0		dd: NO	ff: 6+1			OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5		V1: 3 HK	V2: 2 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK	*****			

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTITLAN

No. de aparato _____

" RADIACION SOLAR "

No. de galvanómetro _____

L.I.M.E. 1

FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No.* 11 *
3/V/88	13:00	14.4	12.3	8.2	10.3	0	14.4	12.3	8.2	10.4	0	13:02	LECTURAS DEL APARATO
		34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		TEMPERATURA DEL APARATO
-φ- / H		N: 0	C1: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: 0		ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5			V1: 3 HK	V2: 2 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK		*****	
FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No.* 12 *
3/V/88	13:05	13.9	12	8.1	10	0	13.7	11.9	8	10	0	13:07	LECTURAS DEL APARATO
		34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		TEMPERATURA DEL APARATO
-φ- / H		N: 0	C1: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: NO		ff: 6+1		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5			V1: 3 HK	V2: 2 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK		*****	

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTITLAN

No. de aparato _____

" RADIACION SOLAR "

No. de galvanómetro _____

L.I.M.E. 1

FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No. * 13 *
3/v/88	13:10	14.4	12.5	8.2	10.4	0	14.7	12.5	8.2	10.3	0	13:12	LECTURAS DEL APARATO
		34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	35	35	35	35	35		TEMPERATURA DEL APARATO
φ-/	H	N: 0	C1: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: 0		ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5		V1: 3 HK		V2: 2 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK		*****	
FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No. * 14 *
3/v/88	13:15	14.3	12.2	8.1	10.1	0	13.9	12	7.9	9.8	0	13:17	LECTURAS DEL APARATO
		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35		TEMPERATURA DEL APARATO
φ-/	H	N: 0	C1: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: 0		ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5		V1: 3 HK		V2: 2 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK		*****	

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTITLAN

No. de aparato _____

" RADIACION SOLAR "

No. de galvanómetro _____

L.I.M.E. 1

FECHA	HORA						HORA						LECTURA No.* 15 *
	INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	FINAL	
3/v/88	13:20	13.9	12	8	10	0	13.9	12	7.9	9.9	0	13:22	LECTURAS DEL APARATO
		35	35	35	35	35	35	35	35	35.5	35.5		TEMPERATURA DEL APARATO
-φ-/ H		N: 0	Cl: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: 0		ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *		PPP: 586.5		V1: 3 HK		V2: 2 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK		*****
FECHA	HORA						HORA						LECTURA No.* 16 *
	INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	FINAL	
3/v/88	13:25	13.3	11.4	7.8	9.6	0	13.3	11.6	7.8	9.7	0	13:27	LECTURAS DEL APARATO
		35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5		TEMPERATURA DEL APARATO
-φ-/ H		N: 0	Cl: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: 0		ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *		PPP: 586.5		V1: 3 HK		V2: 2 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK		*****

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTITLAN

No. de aparato _____

" RADIACION SOLAR "

No. de galvanómetro _____

L.I.M.E. 1

FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	HORA FINAL	LECTURA No. * 17 *
3/v/88	13:30	13.6	11.7	7.8	9.8	0	13.6	11.7	7.8	9.7	0	13:32	LECTURAS DEL APARATO
		35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5		35.5
φ-/	H	N: 0	C1: 0			Cm: 0		Ch: 0		dd: 0	ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5			V1: 2 HK	V2: 3 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK		*****	
FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	HORA FINAL	LECTURA No. * 18 *
3/v/88	13:35	13.3	11.6	7.8	9.8	0	13.7	11.9	7.8	9.9	0	13:37	LECTURAS DEL APARATO
		35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5		35.5
φ-/	H	N: 0	C1: 0			Cm: 0		Ch: 0		dd: 0	ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5			V1: 2 HK	V2: 3 HK		V3: 3 HK		V4: 5 HK		*****	

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTITLAN

No. de aparato _____

" RADIACION SOLAR "

No. de galvanómetro _____

L.I.M.E. 1

FECHA	HORA												LECTURA No.* 19*
	INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	FINAL	
3/v/88	13:40	13.9	12.1	8	10	0	14	12.1	8	10	0	13:42	LECTURAS DEL APARATO
		35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	36	36		TEMPERATURA DEL APARATO
φ-/	H	N: 0	Cl: 0			Cm: 0			Ch: 0	dd: 0	ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5			V1: 3 HK		V2: 3 HK		V3: 3 HK		V4: 6 HK		*****
FECHA	HORA												LECTURA No.* 20*
	INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	FINAL	
3/v/88	13:45	14	12.1	8	10	0	14	12.2	8	10.1	0	13:47	LECTURAS DEL APARATO
		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36		TEMPERATURA DEL APARATO
φ-/	H	N: 0	Cl: 0			Cm: 0			Ch: 0	dd: 0	ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5			V1: 3 HK		V2: 3 HK		V3: 3 HK		V4: 6 HK		*****

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTITLAN

No. de aparato _____

" RADIACION SOLAR "

No. de galvanómetro _____

L.I.M.E. 1

FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No. * 21*
3/v/88	13:50	14	12.1	8.2	10	0	13.9	12	8	9.9	0	13:52	LECTURAS DEL APARATO
		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36		TEMPERATURA DEL APARATO
φ-/	H	N: 0	Cl: 0			Cm: 0		Ch: 0		dd: 0		ff: 0	OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5		V1: 3 HK		V2: 3 HK		V3: 3 HK		V4: 6 HK		*****	
FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	ABIERTO	RG2	OG1	RGB	0	HORA FINAL	LECTURA No. * 22 *
3/v/88	13:55	13.7	11.9	8	9.9	0	13.7	11.8	7.9	9.8	0	13:57	LECTURAS DEL APARATO
		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36		TEMPERATURA DEL APARATO
φ-/	H	N: 0	Cl: 0			Cm: 0		Ch: 0		dd: 0		ff: 0	OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS
TT: *	HR: *	PPP: 586.5		V1: 3 HK		V2: 3 HK		V3: 3 HK		V4: 6 HK		*****	

REGISTRO DE OBSERVACIONES ACTINOMETRICAS

F.E.S. - CUAUTITLAN

" RADIACION SOLAR "

No. de aparato _____

No. de galvanómetro _____

L.I.M.E. 1

FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	HORA FINAL	LECTURA No. * 23 *
3/v/BB	14:00	13.8	11.9	7.9	9.9	0	13.9	12	7.9	9.9	0	14:02	LECTURAS DEL APARATO
		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36		TEMPERATURA DEL APARATO
φ-/	H	N: 0	Cl: 0			Cm: 0		Ch: 0	dd: 0	ff: 0		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS	
TT:	*	HR: *	PPP: 586.5		V1: 3 HK	V2: 3 HK	V3: 3 HK	V4: 6 HK		*****			
FECHA	HORA INICIAL	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	ABIERTO	RG2	OG1	RG8	0	HORA FINAL	LECTURA No. *
													LECTURAS DEL APARATO
													TEMPERATURA DEL APARATO
φ-/		N:	Cl:			Cm:		Ch:	dd:	ff:		OBSERVACIONES METEORO - LOGICAS	
TT:		HR:	PPP:	V1:	V2:	V3:	V4:	*****					

Con respecto a las tablas anteriores y para complementar datos que nos ayuden a realizar los cálculos de la radiación solar incidente, anotamos la constante K del aparato en unidades compatibles:

$$K = 21.11 \mu\text{V} \cdot \text{m}^2/\text{W}$$

Esto se obtuvo de datos registrados en el Instituto de Geofísica, U.N.A.M., y de acuerdo al número de aparato, en este caso es el registrado como Kipp 97, y tiene esa constante.

El valor de la constante puede quedar también de la forma:

$$K = 0.0211 \text{ mV} \cdot \text{m}^2/\text{W}$$

3.3.- LECTURAS DE PARAMETROS RELACIONADOS CON LA ABSORCION DE ENERGIA EN EL SERPENTIN.

El siguiente parámetro que representa una gran importancia para nuestro estudio es el de la absorción de energía en el serpentín el cual depende de un promedio de una serie de lecturas llevadas a cabo al mismo tiempo que las que se requieren para la obtención del primer parámetro y que son las temperaturas de entrada y salida del fluido utilizado, el valor del flujo volumétrico que depende del tiempo y de la cantidad de litros por la unidad anterior.

Se realizaron un total de 23 lecturas en un día, en un lapso de tiempo de 2 horas, de las 12:00 hrs. a las 14:00hrs. y con un lapso de tiempo entre lecturas de aproximadamente -- 5 minutos.

A partir de esta prueba se obtendrán los resultados -- que delimiten en forma, buena parte de la caracterización de nuestro colector solar parabólico.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN - U.N.A.M.

LECTURA	FECHA	HORA	T1(°C)	T2(°C)	L (litros)	t(seg.)
1	3.v.88	12:10	22	50	1	61.4
2	3.v.88	12:15	22	44	1	60.4
3	3.v.88	12:20	22	43	1	58
4	3.v.88	12:25	22	43	1	58.4
5	3.v.88	12:30	22	43	1	66.2
6	3.v.88	12:35	22	43	1	65.2
7	3.v.88	12:40	22	48	1	85.2
8	3.v.88	12:45	22	47	1	85.2
9	3.v.88	12:50	22	47	1	83.2
10	3.v.88	12:55	22	54	1	97
11	3.v.88	13:00	22	49	1	64.3
12	3.v.88	13:05	22	46	1	63.8
13	3.v.88	13:10	22	46	1	64
14	3.v.88	13:15	22	47	1	65
15	3.v.88	13:20	21	47	1	64.8
16	3.v.88	13:25	21	46	1	65.2
17	3.v.88	13:30	20	45	1	65.4
18	3.v.88	13:35	18	44	1	72
19	3.v.88	13:40	19	45	1	65.4
20	3.v.88	13:45	20	46	1	68.2
21	3.v.88	13:50	19	46	1	68.6
22	3.v.88	13:55	19	46	1	65.4
23	3.v.88	14:00	19	46	1	68

CAPITULO 4

ANALISIS DE RESULTADOS

4.1.- BALANCE DE ENERGIA EN EL SERPENTIN.

Tomando como referencia los valores anotados en la tabla de datos de la página 101 procederemos a realizar los correspondientes cálculos para obtener los valores de absorción de energía en el serpentín y que se representarán por medio del calor absorbido, en cada lectura.

$$\dot{Q} = \text{Flujo calorífico (Kw)}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p DT \text{ (revisar teoría de serpentín, pág.56)}$$

$$\dot{m} = \text{flujo másico} = \dot{v} \cdot \rho$$

$$\dot{v} = \text{flujo volumétrico}$$

$$\dot{v} = \text{unidades de volumen por unidad de tiempo}$$

ρ y C_p son propiedades del fluido y dependen de éste y de la temperatura a la que se encuentra actuando.

$$\dot{q} = \dot{Q} / A = \text{Flujo calorífico específico por unidad de área. (Kw / m}^2 \text{)}$$

Anotaremos la secuencia de cálculos tomando como ejemplo el de la lectura número 1 y para evitar la excesiva repetición, organizaremos éstos en una tabla general de cálculos.

De la lectura # 1 :

$$\dot{v} = \frac{1 \text{ l.} \cdot 1 \text{ m}^3}{1000 \cdot 1.614 \text{ s}} = 1.629 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T \text{ promedio} = (T_1 + T_2) / 2 = (22 + 50) / 2 = 38.5^\circ\text{C}$$

$$\text{de la tabla \# 4 : } \rho = 992.2 \text{ Kg/m}^3 \quad DT = (50 - 22) = 28^\circ\text{C}$$

$$C_p = 4.174 \text{ KJ/Kg-}^\circ\text{C} \quad 1 \text{ KJ/s} = 1 \text{ Kw}$$

$$\dot{m} = \dot{v} \cdot \rho = 1.629 \times 10^{-5} (992.2) = 1.616 \times 10^{-2} \text{ Kg/s}$$

$$\dot{Q}_1 = \dot{m} C_p DT = 1.616 \times 10^{-2} (4.174) (28) = 1.888 \text{ Kw}$$

$$\text{por metro cuadrado: } \dot{q} = 1.888 \text{ Kw} / 4.88 \text{ m}^2 = 0.387 \text{ Kw/m}^2$$

LECTURA	ϕ (m ³ /seg)	(T1+T2)/2°C	DT (°C)	ρ (Kg/m ³)	Cp(KJ/Kg.°C)	\dot{m} (Kg/seg.)	\dot{Q} (Kw)	\dot{q} (Kw/m ²)
1	1.629X10 ⁻⁵	38.5	28	992.2	4.174	1.616X10 ⁻²	1.888	0.3871
2	1.656X10 ⁻⁵	33	22	995.7	4.174	1.648X10 ⁻²	1.514	0.3103
3	1.724X10 ⁻⁵	32.5	21	995.7	4.174	1.716X10 ⁻²	1.504	0.3083
4	1.712X10 ⁻⁵	32.5	21	995.7	4.174	1.704X10 ⁻²	1.494	0.3062
5	1.511X10 ⁻⁵	32.5	21	995.7	4.174	1.504X10 ⁻²	1.318	0.2702
6	1.534X10 ⁻⁵	32.5	21	995.7	4.174	1.527X10 ⁻²	1.338	0.2743
7	1.174X10 ⁻⁵	35	26	993.95	4.174	1.166X10 ⁻²	1.266	0.2595
8	1.174X10 ⁻⁵	34.5	25	995.7	4.174	1.168X10 ⁻²	1.762	0.3611
9	1.202X10 ⁻⁵	34.5	25	995.7	4.174	1.196X10 ⁻²	1.248	0.2559
10	1.031X10 ⁻⁵	38	32	992.2	4.174	1.022X10 ⁻²	1.366	0.2799
11	1.555X10 ⁻⁵	35.5	27	992.2	4.174	1.542X10 ⁻²	1.738	0.3563
12	1.567X10 ⁻⁵	34	24	995.7	4.174	1.56 X10 ⁻²	1.563	0.3202
13	1.563X10 ⁻⁵	34	24	995.7	4.174	1.556X10 ⁻²	1.559	0.3194
14	1.538X10 ⁻⁵	34.5	25	995.7	4.174	1.531X10 ⁻²	1.598	0.3274
15	1.543X10 ⁻⁵	34	26	995.7	4.174	1.536X10 ⁻²	1.667	0.3416
16	1.534X10 ⁻⁵	33.5	25	995.7	4.174	1.527X10 ⁻²	1.593	0.3266
17	1.529X10 ⁻⁵	32.5	25	995.7	4.174	1.522X10 ⁻²	1.588	0.3255
18	1.389X10 ⁻⁵	31	26	995.7	4.174	1.383X10 ⁻²	1.500	0.3075
19	1.529X10 ⁻⁵	32	26	995.7	4.174	1.522X10 ⁻²	1.652	0.3385
20	1.466X10 ⁻⁵	33	26	995.7	4.174	1.459X10 ⁻²	1.584	0.3246
21	1.458X10 ⁻⁵	32.5	27	995.7	4.174	1.451X10 ⁻²	1.636	0.3352
22	1.529X10 ⁻⁵	32.5	27	995.7	4.174	1.522X10 ⁻²	1.715	0.3515
23	1.471X10 ⁻⁵	32.5	27	995.7	4.174	1.464X10 ⁻²	1.650	0.3382

Los datos referentes a la densidad y el C_p se obtuvieron con referencia a la temperatura del agua, que es en este caso el fluido de trabajo, de la tabla # 4 (sección tablas).

4.2.-PROMEDIO POR LECTURAS DE LA RADIACION DIRECTA.

Para su obtención, lleva nuevamente una secuencia repetitiva, por lo cual daremos el mismo tratamiento que en el punto 4.1., mostraremos como se obtiene el promedio por lecturas de la radiación directa para la lectura #1 y a continuación enlistaremos los 23 valores finales de " I " .
Estos valores se obtuvieron el 3 de Mayo de 1988:

De la lectura no.1 : $15.1+13+8.5+10.8 = 47.4/4 = 11.85$ mV

$15.2+13.2+8.6+10.8 = 47.8/4 = 11.95$ mV

Entonces el promedio de la lectura #1 del aparato es:

$$(11.85 + 11.95) / 2 = 11.9 \text{ mV}$$

el promedio de temperatura del aparato es:

$$31+31+31.5+31.5+31.5+31.5+32+32+32+32 = 31.6^{\circ}\text{C}$$

procesada en la fórmula 3.1.b. ya en unidades compatibles:

$$I_1 = 11.9 / 0.0211(1 - 0.002(31.6-20))$$

$$I_1 = 577.376 \text{ W/m}^2$$

Bien, ahora en W/m^2 :

$I_1 = 577.376$	$I_9 = 579.008$	$I_{17} = 523.943$
$I_2 = 582.695$	$I_{10} = 552.191$	$I_{18} = 524.555$
$I_3 = 570.52$	$I_{11} = 551.582$	$I_{19} = 538.616$
$I_4 = 564.438$	$I_{12} = 533.906$	$I_{20} = 541.008$
$I_5 = 547.407$	$I_{13} = 556.707$	$I_{21} = 536.113$
$I_6 = 557.712$	$I_{14} = 539.283$	$I_{22} = 530.604$
$I_7 = 569.257$	$I_{15} = 535.007$	$I_{23} = 533.664$
$I_8 = 572.914$	$I_{16} = 516.607$	

4.3.- OBTENCION DE LA EFICIENCIA.

Para obtener el valor de la eficiencia del C.S.P. en cada una de las mediciones tomadas, hay que realizar una razón entre el calor absorbido por metro cuadrado en el serpentín y la incidencia normal de radiación directa "I" por metro cuadrado en el colector.

Así con :

$$\begin{aligned} \dot{q}_1/I_1 &= 0.3871/0.577376 \times 100 = 67.027\% \\ \dot{q}_2/I_2 &= 0.31028/0.582695 \times 100 = 53.249\% \\ \dot{q}_3/I_3 &= 0.3083/0.57052 \times 100 = 54.0384\% \\ \dot{q}_4/I_4 &= 0.3062/0.564438 \times 100 = 54.248\% \\ \dot{q}_5/I_5 &= 0.2702/0.547407 \times 100 = 49.3599\% \\ \dot{q}_6/I_6 &= 0.27435/0.557712 \times 100 = 49.192\% \\ \dot{q}_7/I_7 &= 0.2595/0.569257 \times 100 = 45.5857\% \\ \dot{q}_8/I_8 &= 0.36116/0.572914 \times 100 = 63.039\% \\ \dot{q}_9/I_9 &= 0.2559/0.579008 \times 100 = 44.1962\% \\ \dot{q}_{10}/I_{10} &= 0.27998/0.552191 \times 100 = 50.7\% \\ \dot{q}_{11}/I_{11} &= 0.3563/0.551582 \times 100 = 64.596\% \\ \dot{q}_{12}/I_{12} &= 0.32028/0.5339067 \times 100 = 59.988\% \\ \dot{q}_{13}/I_{13} &= 0.31947/0.556707 \times 100 = 57.385\% \\ \dot{q}_{14}/I_{14} &= 0.32746/0.539283 \times 100 = 60.7213\% \\ \dot{q}_{15}/I_{15} &= 0.34166/0.5350075 \times 100 = 63.86\% \\ \dot{q}_{16}/I_{16} &= 0.3266/0.516607 \times 100 = 63.22\% \\ \dot{q}_{17}/I_{17} &= 0.32554/0.5239437 \times 100 = 62.1326\% \\ \dot{q}_{18}/I_{18} &= 0.30756/0.524555 \times 100 = 58.6325\% \\ \dot{q}_{19}/I_{19} &= 0.33856/0.538316 \times 100 = 62.85739\% \\ \dot{q}_{20}/I_{20} &= 0.324614/0.541008 \times 100 = 60.0017\% \\ \dot{q}_{21}/I_{21} &= 0.33526/0.536113 \times 100 = 62.535\% \\ \dot{q}_{22}/I_{22} &= 0.35158/0.5306049 \times 100 = 66.26\% \\ \dot{q}_{23}/I_{23} &= 0.33824/0.5336649 \times 100 = 63.3824\% \end{aligned}$$

Estos son los valores de la eficiencia del C.S.P.

4.4.- TABLA DE RESULTADOS.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN - U.N.A.M. - LIME 1

TABLA DE RESULTADOS .

LECTURA	FECHA	HORA	I (Kw/m ²)	G (Kw/m ²)	η (%)
1	3.v.88	12:10	.577376	.3871	67.027
2	3.v.88	12:15	.285695	.31028	53.249
3	3.v.88	12:20	.57052	.3083	54.0384
4	3.v.88	12:25	.564438	.3062	54.248
5	3.v.88	12:30	.547407	.2702	49.3599
6	3.v.88	12:35	.557712	.27435	46.1920
7	3.v.88	12:40	.569257	.2595	45.5857
8	3.v.88	12:45	.572914	.36116	63.039
9	3.v.88	12:50	.579008	.2559	44.1962
10	3.v.88	12:55	.552191	.27998	50.7
11	3.v.88	13:00	.551582	.3563	64.596
12	3.v.88	13:05	.5339067	.32028	59.988
13	3.v.88	13:10	.556707	.31947	57.385
14	3.v.88	13:15	.539283	.32746	60.7213
15	3.v.88	13:20	.5350075	.34166	63.86
16	3.v.88	13:25	.516607	.3266	63.22
17	3.v.88	13:30	.5239437	.32554	62.13263
18	3.v.88	13:35	.524555	.30756	58.63255
19	3.v.88	13:40	.538616	.33856	62.85739
20	3.v.88	13:45	.5410089	.3246149	60.0017
21	3.v.88	13:50	.536113	.33526	62.535
22	3.v.88	13:55	.5306049	.35158	66.26
23	3.v.88	14:00	.5336649	.3382498	63.3824

CONCLUSIONES

Las conclusiones generales del trabajo, que están basadas en la experiencia obtenida en el desarrollo de éste son:

1. Este tipo de concentradores ofrece la perspectiva de alcanzar en ellos temperaturas de operación que no han sido logradas en otros aparatos.

2. Eliminan el fenómeno de contaminación a alta temperatura causada por los vapores de los materiales que en sí constituyen al colector o por ataque químico del recipiente.

3. Poseen alta flexibilidad para estudios de investigación.

4. Dentro del proceso de fabricación, una parte muy laboriosa y que requiere de mucho cuidado es la fabricación de la parábola en fibra de vidrio. En este caso al aplicar el catalizador para dar la forma final al modelo, tardó en secar y la base que es la reflejante, tuvo algunos escurrimientos lo cual provocó rugosidades en el material y con ésto pérdidas de tipo óptico. Este defecto en la fabricación de alguna manera se corrigió con una capa de estireno de calibre 20, reduciendo en algo las mencionadas pérdidas.

5. Primeramente utilizamos una ventana, colocada a partir del foco de la parábola hacia afuera (ver figura 2.2.9.), la cual tenía la función de aprovechar aquellos rayos solares incidentes en la orilla de la parábola, pero resultó contraproducente pues en un momento determinado impedía la entrada-

de muchos rayos incidentes y finalmente optamos por quitarla y únicamente dejar bien centrado el absorbedor y en el mejor punto de aprovechamiento solar.

6. Se debe tener el máximo cuidado para evitar pérdidas de calor no sólo en el absorbedor, también a la descarga para evitar rerradiación. También si se permite un gradiente muy alto entonces puede haber muchas pérdidas, por ello hay que aislar muy bien.

7. Por lo que respecta al proceso de fabricación podemos concluir que se requiere de sumo cuidado para todas las partes pues cada pequeño error es manifestado grandemente en el funcionamiento.

8. Apesar que los resultados obtenidos de la radiación solar directa fueron un poco bajos debido a que existía bastante humedad en el ambiente, la eficiencia experimental del C.S.P. es aceptable.

9. La toma de datos de los parámetros necesarios para la realización del ensayo fueron efectuados en un día al azar que coincidieran, no necesariamente las condiciones climatológicas propicias, sino la obtención conjunta de todos los aparatos de medición necesarios para el desarrollo de éste. Esta situación posiblemente fue un factor determinante para evitar que la eficiencia experimental del C.S.P. fuera mayor aún.

10. Deben corregirse algunos detalles en el C.S.P., para ello se debe invertir en él, vale la pena pues este tipo de aparatos experimentales no existen muchos y pueden adecuarse muy buenas prácticas a todos los niveles en él.

NOMENCLATURA

A	área, área transversal de flujo
d	diámetro de tubo
E	ecuación del tiempo
g	aceleración gravitacional
h	coeficiente de transferencia de calor
I	intensidad de radiación solar
l	longitud de tubo
m	flujo de masa
N	día del año
p	presión
q	flujo de calor por unidad de área
Q	calor, cantidad de energía
r	radio
T	temperatura
t	tiempo
v	velocidad
x	distancia
y	distancia
L	latitud
γ	azimut
δ	declinación
η	eficiencia
λ	longitud de onda
ν	viscosidad cinemática
ρ	densidad
H	ángulo horario
Nu	número de Nusselt
Pr	número de Prandlt
Re	número de Reynolds
C.S.P. concentrador solar parabólico	

T A B L A S

TABLA 1

MAXIMAS TEMPERATURAS REGISTRADAS EN HORNPIS SOLARES.

LOCALIZACION DEL HORNO	DIAMETRO DEL CONCENTRADOR EN METROS	ANGULO EXTERIOR DEL CONCENTRA - DOR	TEMPERATURA EN GRADOS - KELVIN
Montlouis, Francia	10.670	41	3.270
Argelia	8.414	36.5	3.270
Japón	1.981	75	2.370
Pordham,N.Y.	1.524	60	3.610
zconvair,Calif.	3.040	-	3.290
Colegio de Arizona	1.524	-	3.300

TABLA 2

ANGULOS DE DECLINACION DIARIA DEL SOL.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
01	-23°05'	-17°24'	-07°37'	04°30'	15°03'	22°02'	23°07'	18°02'	08°19'	-03°09'	-14°24'	-21°47'
02	-23°00'	-17°07'	-07°14'	04°54'	15°21'	22°10'	23°03'	17°47'	07°57'	-03°32'	-14°43'	-21°56'
03	-22°55'	-16°50'	-06°51'	05°17'	15°39'	22°18'	22°58'	17°32'	07°35'	-03°55'	-15°02'	-22°05'
04	-22°49'	-16°33'	-06°28'	05°40'	15°56'	22°25'	22°53'	17°18'	07°13'	-04°19'	-15°21'	-22°14'
05	-22°43'	-16°15'	-06°05'	06°02'	16°14'	22°32'	22°48'	17°00'	06°51'	-04°42'	-15°39'	-22°21'
06	-22°37'	-15°57'	-05°42'	06°25'	16°31'	22°39'	22°42'	16°44'	06°29'	-05°05'	-15°57'	-22°29'
07	-22°30'	-15°38'	-05°19'	06°48'	16°47'	22°45'	22°36'	16°27'	06°06'	-05°28'	-16°15'	-22°36'
08	-22°23'	-15°20'	-04°55'	07°10'	17°04'	22°50'	22°29'	16°10'	05°44'	-05°51'	-16°33'	-22°42'
09	-22°15'	-15°01'	-04°32'	07°33'	17°20'	22°55'	22°22'	15°53'	05°21'	-06°14'	-16°50'	-22°49'
10	-22°07'	-14°42'	-04°08'	07°55'	17°36'	23°00'	22°15'	15°36'	04°59'	-06°36'	-17°07'	-22°54'
11	-21°58'	-14°22'	-03°45'	08°17'	17°51'	23°05'	22°07'	15°18'	04°36'	-06°59'	-17°24'	-22°59'
12	-21°49'	-14°03'	-03°21'	08°39'	18°07'	23°06'	21°59'	15°00'	04°13'	-07°22'	-17°40'	-23°04'
13	-21°39'	-13°43'	-02°58'	09°01'	18°22'	23°12'	21°51'	14°42'	03°50'	-07°44'	-17°56'	-23°09'
14	-21°29'	-13°23'	-02°34'	09°22'	18°36'	23°16'	21°42'	14°24'	03°27'	-08°07'	-18°12'	-23°12'
15	-21°19'	-13°03'	-02°10'	09°44'	18°51'	23°18'	21°32'	14°05'	03°04'	-08°29'	-18°28'	-23°16'
16	-21°08'	-12°42'	-01°47'	10°05'	19°05'	23°21'	21°23'	13°48'	02°41'	-08°51'	-18°43'	-23°19'
17	-20°57'	-12°22'	-01°23'	10°27'	19°18'	23°23'	21°13'	13°27'	02°18'	-09°13'	-18°58'	-23°21'
18	-20°45'	-12°01'	-00°59'	10°48'	19°32'	23°24'	21°03'	13°08'	01°54'	-09°35'	-19°12'	-23°23'
19	-20°33'	-11°40'	-00°35'	11°08'	19°45'	23°25'	20°52'	12°48'	01°31'	-09°57'	-19°26'	-23°25'
20	-20°21'	-11°18'	-00°12'	11°29'	19°58'	23°28'	20°41'	12°29'	01°08'	-10°18'	-19°40'	-23°26'
21	-20°08'	-10°57'	00°12'	11°50'	20°10'	23°28'	20°29'	12°09'	00°45'	-10°40'	-19°54'	-23°26'
22	-19°55'	-10°35'	00°36'	12°10'	20°22'	23°26'	20°18'	11°49'	00°21'	-11°01'	-20°07'	-23°26'
23	-19°42'	-10°13'	00°59'	12°30'	20°34'	23°26'	20°06'	11°29'	-00°02'	-11°22'	-20°19'	-23°26'
24	-19°29'	-09°52'	01°23'	12°50'	20°45'	23°25'	19°53'	11°08'	-00°26'	-11°43'	-20°32'	-23°25'
25	-19°13'	-09°29'	01°47'	13°10'	20°56'	23°24'	19°41'	10°48'	-00°49'	-12°04'	-20°44'	-23°24'
26	-18°59'	-09°07'	02°10'	13°29'	21°07'	23°22'	19°27'	10°27'	-01°12'	-12°25'	-20°55'	-23°22'
27	-18°44'	-08°45'	02°34'	13°48'	21°17'	23°20'	19°14'	10°06'	-01°36'	-12°45'	-21°07'	-23°20'
28	-18°29'	-08°22'	02°57'	14°07'	21°27'	23°17'	19°00'	09°45'	-01°59'	-13°05'	-21°17'	-23°17'
29	-18°13'	-08°00'	03°21'	14°26'	21°36'	23°14'	18°46'	09°24'	-02°22'	-13°25'	-21°28'	-23°14'
30	-17°57'	-	03°44'	14°45'	21°45'	23°11'	18°32'	09°02'	-02°46'	-13°45'	-21°38'	-23°10'
31	17°41'	-	04°07'	-	21°54'	-	18°17'	08°41'	-	-14°05'	-	-23°06'

TABLA 3

SIMBOLOGIA

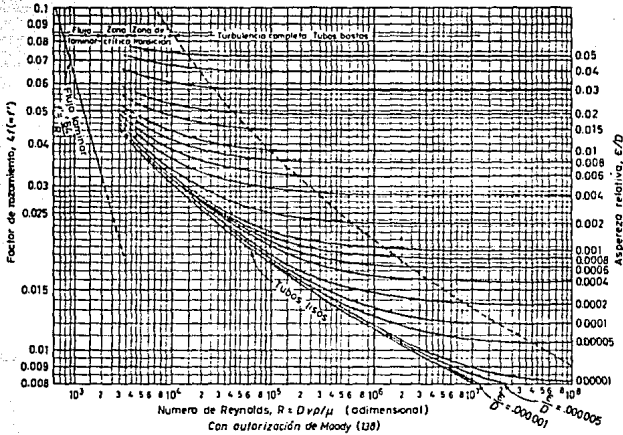
- H = Bruma
- K = Humo industrial
- F = Niebla
- B.D. = Polvo levantado de la tierra (tolvanera)
- G = Viento
- ☉ = Sol
- ☁ = Nublado
- ☁_{1/2} = 1/2 nublado
- ☁_T = Nublado total
- ☉/H = Sol con bruma
- M = Cantidad de nubes
- HP = Humedad relativa

TABLA 4 : PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA.

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\rho_s \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\rho_s - \rho \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\rho_s - \rho \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\frac{\Delta \rho}{\rho} \cdot 10^4$ W/(m ² ·°C)	$\alpha \cdot 10^4$ m ² /s	$\mu \cdot 10^6$ Pa·s	$\nu \cdot 10^6$ m ² /s	$\beta \cdot 10^{-5}$ K ⁻¹	$\alpha \cdot 10^{-5} \text{N/m}$	γ
0	1,013	999,9	0	4,212	55,1	13,1	1738	1,739	-0,63	756,4	13,67
10	-1,013	999,7	42,01	4,191	57,4	13,7	1299	1,395	-0,70	741,6	9,52
20	1,013	998,2	83,91	4,153	59,9	14,3	1001	1,006	-1,82	726,9	7,02
30	1,013	995,7	125,7	4,174	61,8	14,9	801,5	0,805	-3,21	712,2	5,12
40	1,013	992,2	167,5	4,174	63,5	15,3	653,3	0,659	-3,87	696,5	4,31
50	1,013	988,1	209,3	4,174	64,8	15,7	549,4	0,556	-4,49	676,9	3,51
60	1,013	983,2	251,1	4,179	65,9	16,0	469,9	0,478	-5,11	662,2	3,08
70	1,013	977,8	293	4,187	66,8	16,3	406,1	0,415	-5,70	643,5	2,55
80	1,013	971,8	335,0	4,195	67,4	16,6	355,1	0,365	-6,32	625,7	2,21
90	1,013	965,3	377,0	4,203	68,0	16,8	314,9	0,320	-6,95	607,2	1,95
100	1,013	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	-7,52	588,6	1,75
110	1,013	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	-8,03	569,0	1,60
120	1,08	943,1	503,7	4,250	68,6	17,1	237,4	0,252	-8,64	548,4	1,47
130	2,70	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	-9,19	526,8	1,35
140	3,61	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	-9,72	507,2	1,26
150	4,76	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	185,4	0,203	-10,3	486,6	1,17
160	6,18	907,4	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	-10,7	469,0	1,10
170	7,92	897,3	719,3	4,389	67,9	17,3	162,5	0,181	-11,3	443,4	1,05
180	10,03	886,9	763,3	4,447	67,4	17,2	153,0	0,173	-11,9	423,8	1,00
190	12,55	876,9	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	-12,6	400,2	0,96
200	15,55	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	-13,3	376,7	0,93
210	19,05	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	-14,1	351,1	0,91
220	23,20	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	-14,8	331,6	0,89
230	27,98	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	-15,9	310,0	0,88
240	33,48	813,6	1037,5	4,756	62,8	16,2	114,8	0,141	-16,5	285,5	0,87
250	39,78	799,0	1085,7	4,844	61,8	15,9	109,9	0,137	-18,1	263,9	0,86
260	46,91	781,0	1135,1	4,949	60,5	15,6	105,9	0,135	-19,7	237,4	0,87
270	55,05	767,9	1185,3	5,070	59,0	15,1	102,0	0,133	-21,6	214,3	0,88
280	64,19	750,7	1236,8	5,200	57,4	14,6	98,1	0,131	-23,7	191,3	0,90
290	74,45	732,3	1299,0	5,485	55,8	13,9	94,2	0,129	-26,2	168,7	0,93
300	85,92	712,5	1374,9	5,734	54,0	13,2	91,2	0,128	-29,2	141,2	0,97
310	98,70	691,1	1462,2	6,071	52,3	12,5	88,3	0,128	-32,9	123,7	1,01
320	112,90	667,1	1462,1	6,574	50,6	11,5	85,3	0,128	-38,2	94,10	1,05
330	128,65	640,2	1526,2	7,241	48,4	10,4	81,4	0,127	-43,3	70,71	1,09
340	146,08	610,1	1571,8	8,165	45,7	9,17	77,5	0,127	-51,4	56,20	1,09
350	165,37	574,4	1671,4	9,501	43,0	7,88	72,6	0,126	-66,8	34,16	1,06
360	186,74	528,8	1761,5	13,984	39,5	5,36	66,7	0,126	-109	20,21	2,31
370	210,83	450,5	1892,5	40,321	33,7	1,86	56,9	0,126	-261	1,769	6,79

TABLA 5

NUMERO DE REYNOLDS.
ESCALA DE FLUJOS.



Factores de rozamiento para flujo no compresible. La ordenada es $4f$, porque el diagrama fue originalmente construido para un factor de rozamiento definido, f' , que es igual a $4f$. Los valores útiles de ϵ son: tubo catrizado, 0.00015 mm (o bien, 0.000 005 pies); tubo comercial de acero, 0.0458 mm (o bien, 0.0015 pies); de fundición, 0.26 mm (o bien, 0.00085 pies); de hierro galvanizado, 0.15 mm (o bien, 0.0005 pies); de hormigón, 0.3 a 3 mm (o bien, 0.001 a 0.01 pie).

BIBLIOGRAFIA

- A. Mota, INTERCOMPARACION DE SENSORES ACTINOMETRICOS, Instituto de Geofísica, serie azul no. 9 UNAM, México, 1983.
- Anderson, Bruce N., SOLAR ENERGY, Mc Graw Hill Book, - New York, 1977.
- Cornwell, Keith, TRANSFERENCIA DE CALOR, Limusa, Méxi-
co, 1981.
- Duffie, John, A., SOLAR ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES, John Wiley & Sons, New York, 1980.
- Faires, Virgil Moring, TERMODINAMICA, UTEHA, 2a.ed., - México, 1982.
- Halacy, D., UNA NUEVA ERA DE LA ENERGIA SOLAR, Plaza-
& Janes, Buenos Aires, 1966.
- Holman, Jack Phillip, TRANSFERENCIA DE CALOR, Compa-
ñía Editorial Continental, México, 1977.
- Jarlan, Henri, LE SOLEIL ET SON RAYONNEMENT, Presses-
Universitaires de France, 2a. ed, Paris, 1950.
- Lucas, Ted, COMO USAR LA ENERGIA SOLAR, Victor Leru, -
Buenos Aires, 1981.
- Mancilla, Urbán Mario, IMPORTANCIA DEL APROVECHAMIENT-
O DE LA ENERGIA SOLAR, Tesis UNAM, México, 1961.

- Manrique, José A., ENERGIA SOLAR: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES FOTOTERMICAS, Harla, México, 1984.
- Martínez, Gómez Héctor, DISEÑO DE UN HORNO EXPERIMENTAL DE ENERGIA SOLAR PARA INVESTIGACIONES DE LABORATORIO, Tesis, IPN, México, 1963.
- Michels, Tim, SOLAR ENERGY UTILIZATION, Van Nostrand - Reinhold Company, New York, 1979.
- Rau, Hans, ENERGIA SOLAR, Marcombo, Barcelona, 1980.
- Robinson, N., SOLAR RADIATION, Elsevier Pub. Co., 1966.
- Russell, C. Brinker, TOPOGRAFIA MODERNA, Harla, 6a. ed., México, 1982.
- Sánchez, José Antonio, APUNTES DE LA MATERIA: APROVECHAMIENTO DE ENERGIA SOLAR, FESC-UNAM, México, 1986.
- Severns, ENERGIA MEDIANTE VAPOR, AIRE Y GASES, Reverté, 1979.
- Smith, Alexander Guudy, RADIOEXPLORACION DEL SOL, Reverté, México, 1969.
- Szokolay, S.U., ENERGIA SOLAR Y EDIFICACION, Blume, 22ava. ed., Barcelona, 1979.
- Threlkeld, James L., INGENIERIA DEL AMBITO TERMICO, Prentice Hall, Bogotá, 1973.
- Welty, James R., TRANSFERENCIA DE CALOR APLICADA A LA INGENIERIA, Limusa, México, 1981.
- Zemansky, Mark Waldo, CALOR Y TERMODINAMICA, Mc Graw - Hill, México, 1985.