

57
2ij



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

"CONSTRUCCION DE UN HORNO SOLAR"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N :
JOSE LUIS HERNANDEZ LOPEZ
MARCO ANTONIO MELENDEZ PADILLA

ASESOR: ING. FILIBERTO LEYVA PIÑA

TESIS CON CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.
FALLA DE ORIGEN

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

N. A. M.
DEPARTAMENTO DE EXAMENES
PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo
"Construcción de un Horno Solar"

que presenta el pasante: Meléndez Padilla Marco Antonio
con número de cuenta: 8707722-7 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx., a 18 de junio de 1996

PRESIDENTE	<u>Ing. Filiberto Leyva Piña</u>	
VOCAL	<u>Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Gloria Villanueva Aguilar</u>	
1er. SUPLENTE	<u>Ing. Eduardo Covarrubias Chávez</u>	
2do. SUPLENTE	<u>Ing. Emilio Juárez Martínez</u>	

Queremos agradecer a nuestros profesores y amigos por su valiosa colaboración y apoyo durante la realización de este trabajo.

Ing. Filiberto Leyva Piña.

Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez.

Ing. Emilio Juárez Martínez.

Ing. Enrique Cortés.

Ing. Felipe Díaz Del Castillo Rodríguez.

Ing. Marco Antonio Hernández.

Ing. Eduardo Covarrubias Chávez.

Ing. Marco Antonio Cerón.

Israel Martínez Villegas.

Felipe Lugo Ramírez.

Laura E. Hernández Reyes.

Guillermo Delgado Canchola.

Un agradecimiento especial a Eleuterio y Sergio.

Este trabajo se lo dedico a mis padres y hermanos que siempre me han apoyado y alentado ha seguir adelante.

Papá y Mamá: Quiero decirles que este trabajo es de ustedes, les doy las gracias por el gran esfuerzo que realizaron al ayudarme a concluir mi carrera.

Agradezco a mis hermanos Claudia, Mónica, Alberto y Karla, por todo el apoyo, consejos y palabras de aliento que me brindaron.

Así mismo agradezco también a mis tíos, a mis amigos y a la familia Hernández Reyes toda la ayuda que me ofrecieron.

Gracias por todo.

Marco Antonio Meléndez Padilla.

Gracias a mis padres por brindarme todo su apoyo, dedicación y comprensión a lo largo de todos mis estudios.

No existen palabras para agradecer todos los sacrificios que realizaron para la conclusión del presente trabajo.

A mi padre: Luis Hernández Alvarez.

A mi madre: Francisca López Avelar.

A mis hermanos: Humberto y Alejandro.

Gracias.

José Luis Hernández López.

CONSTRUCCION DE UN HORNO SOLAR

CAPITULOS

- 1. INTRODUCCION**
- 2. DISEÑO CONCEPTUAL**
- 3. DISEÑO DE DETALLE**
- 4. CONSTRUCCION**
- 5. APLICACIONES EN GENERAL**
- 6. CONCLUSIONES**
- 7. BIBLIOGRAFIA**

I N D I C E

1. Introducción.	
1.1 <i>El Sol.</i>	1
1.2 <i>La Tierra.</i>	4
1.3 <i>Historia de la energía solar.</i>	7
1.4 <i>Generalidades y aplicaciones de la energía solar.</i>	15
1.5 <i>Cálculo de la radiación solar.</i>	22
1.6 <i>Mapas de radiación solar en la R.M.</i>	26
1.7 <i>Ángulos solares.</i>	29
1.8 <i>Ecuaciones solares.</i>	34
2. Diseño conceptual.	
2.1 <i>Necesidad de la concentración solar.</i>	37
2.2 <i>Hornos solares.</i>	40
2.3 <i>Desarrollo de la parábola.</i>	46
2.4 <i>Paraboloide.</i>	55
2.5 <i>Parámetros de operación.</i>	57
3. Diseño de detalle.	
3.1 <i>Tipos de montaje.</i>	65
3.2 <i>Selección del montaje.</i>	71
3.3 <i>Selección del hogar.</i>	72
3.4 <i>Tipos de superficies reflejantes.</i>	75
3.5 <i>Selección del material reflejante.</i>	80
4. Construcción.	
4.1 <i>Fabricación de la base.</i>	84
4.2 <i>Fabricación del mecanismo de seguimiento.</i>	87
4.3 <i>Costo de construcción.</i>	94
4.4 <i>Instalación del horno.</i>	95
4.5 <i>Pruebas de operación.</i>	99

5. Aplicaciones en General	
5.1 Recepción de la energía solar en el hogar cóncavo.	104
5.2 Medidas físicas del horno solar	108
5.3 Aplicaciones de los hornos solares en química y metalurgia.	111
5.4 Purificación de las sustancias.	113
5.5 Operaciones físicas y químicas.	114
6. Conclusiones.	117
7. Bibliografía.	119

1. INTRODUCCION

1.1 CARACTERISTICAS Y CONSTITUCION DEL SOL

El astro que ocupa el centro de nuestro sistema planetario es el Sol. Actualmente, la teoría más aceptada sobre el origen del Sol, es la que procede de una nube compuesta principalmente de hidrógeno. En la primera fase de su desarrollo y bajo los efectos de la gravedad, esta nube de partículas de hidrógeno se densificó. En un instante, cuando la densidad de la nube fue suficiente para que se produjeran colisiones violentas entre las partículas de hidrógeno produce helio y la masa de este nuevo átomo de helio es inferior a la suma de la de los átomos iniciales de hidrógeno, ya que esta diferencia de masa se convierte en energía en el proceso de fusión. La liberación de esta energía de fusión conduce a un equilibrio entre las fuerzas expansivas y las gravitacionales contractivas. El nacimiento del sol coincidió con la primera reacción de fusión nuclear en el seno de esta nube.

El sol, fuente productora de la luz y el calor que reciben la Tierra y los demás planetas es sólo una estrella, un enorme globo incandescente y gaseoso que mide 1,391,000 km., que posee una masa de 330,000 veces la de la Tierra, la gravedad en su superficie es de 28 veces la de la Tierra y con una distancia a la Tierra de 150,000,000 km.

En su constitución se distinguen las siguientes zonas: el núcleo, que se supone constituido por gases a temperatura muy elevada de 15 a 18 millones de grados, la fotosfera o superficie del Sol, que tiene una temperatura de unos 6000 grados y presenta las manchas no son permanentes ni tienen la misma forma, siendo muy diferente el tiempo de duración. Mediante ellas se ha

determinado la duración de rotación solar, que es de 25 días; la cromósfera, que es una envolvente gaseosa de unos 10,000 km. de espesor. En ella se forman las protuberancias, que son enormes columnas de gases que llegan a alcanzar alturas de hasta 200,000 km.; la corona capa más externa formada por una atmósfera de gases rarificados. ver (Fig 1.1)

Corte del Sol

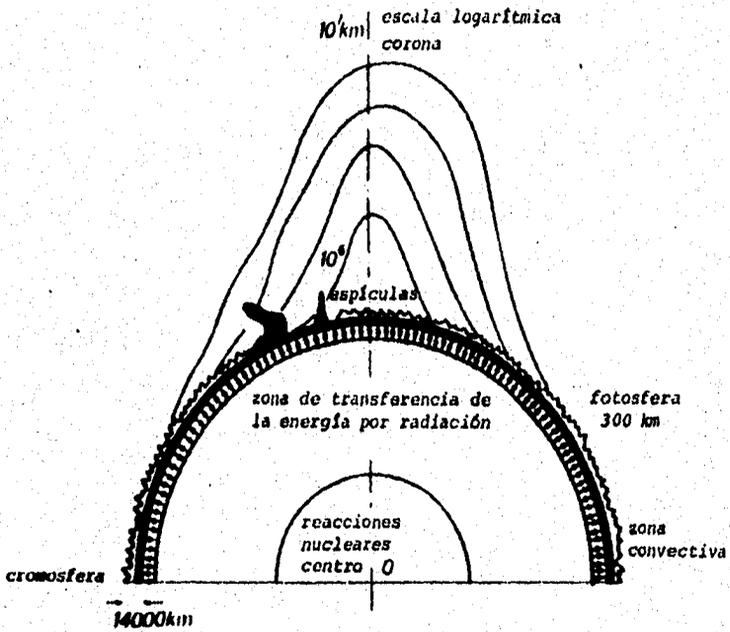


FIGURA 1.1

1.2 CARACTERISTICAS DE LA TIERRA

Nuestro planeta es de forma esférica, ligeramente achatado por los polos y ensanchado por el ecuador, tiene 6 movimientos elementales.

La órbita de la Tierra alrededor del Sol, se llama "eclíptica" (fig 1.2) porque en ella se producen los eclipses con una inclinación de 23.5 con respecto al plano del ecuador celeste. La eclíptica tiene 4 puntos importantes: verano el 21 de junio, otoño el 22 de septiembre, invierno el 21 de diciembre y la primavera el 21 de marzo. Aclaremos que las estaciones en el hemisferio norte son contrarias a las del hemisferio sur.

Se les llama solsticio al verano y al invierno, porque los días y las noches tienen diferente duración. Y se les llama equinoccio a la primavera y al otoño porque los días y las noches tienen igual duración.

Ecuador: es el círculo máximo que se encuentra a 0° de latitud y divide a la Tierra en dos hemisferios.

Trópicos: son círculos paralelos al ecuador a 23.5.

Paralelos: son círculos paralelos al ecuador, con una gran utilidad porque sobre ellos se determina la latitud. Se acostumbra trazarlos de 15 en 15 grados a partir del ecuador hasta los polos.

Meridianos: son círculos perpendiculares al ecuador. El meridiano de 0° o de Greenwich se le llama meridiano de origen y sirve para determinar las horas en el mundo.

Círculos polares: son círculos paralelos al ecuador a 66°33' (Ártico y Antártico).

Longitud: es el ángulo formado por el meridiano de Greenwich con otro meridiano cualquiera. Se inicia desde el meridiano 0° y se mide hacia el Este hasta 180° . Se mide sobre los meridianos existiendo 24 separados de 15 en 15 grados por lo que se utilizan también como usos horarios, de esta manera en México existen 3 horas diferentes que corresponden a los meridianos de 90° , 105° y 120° que pasan por el país.

Traslación: 365 días, 5 horas, 48 min y 56 seg.

Rotación: 23 horas, 56 min y 4 seg.

Radio ecuatorial: 6,378 km.

Radio polar: 6,356 km.

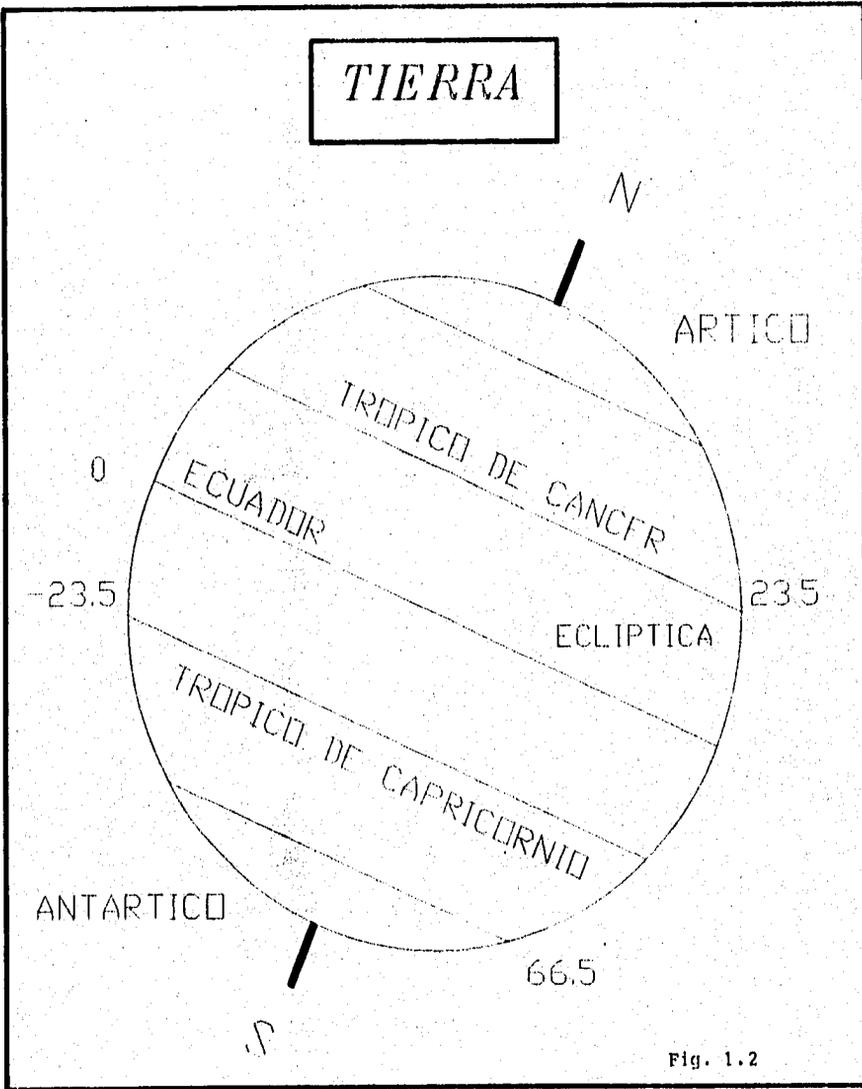


Fig. 1.2

1.3 HISTORIA DE LA ENERGIA SOLAR

Las primeras investigaciones para captar y explotar la energía solar se remontan a la antigüedad. Los egipcios descubrieron el efecto del vidrio, es decir el hecho de que un cuerpo expuesto al sol en un recipiente de vidrio se calienta más que al aire libre.

Hacia el año 100 d.c., Heron de Alejandria construyó un dispositivo para bombear agua con ayuda de la radiación solar. Arquimides incendió, una flota romana en Siracusa en el siglo III con ayuda de grandes espejos constituidos por pequeños espejos planos agrupados de manera de formar grandes espejos cóncavos.

Después se abandonó la energía solar hasta el siglo XVII. En 1615, Salomón de Gaus construyó una bomba solar. La fuerza motriz se obtenía de aire calentado por la radiación solar.

El famoso naturalista George Louis Leclerc (1707-1788), construyó el primero de los muchos hornos solares franceses con espejos múltiples arte que todavía brilla con excelencia en dicho país. El más grande se componía de 360 pequeños espejos planos montados por separado que enviaban la luz solar a un foco común. Utilizando un horno más pequeño, con 168 espejos planos de unos 40 cm. de área, montó una exhibición espectacular en los Jardines reales en 1747 llegando a hacer arder una pila de leña a una distancia de 80 m.

Los primeros experimentos relacionados con hornos para la preparación de alimentos fueron descritos por Nicholas de Saussure (1740-1799). Su horno se componía de bloques de vidrio separados entre si y situados en la parte superior de una superficie ennegrecida cerrada con una caja aislante. La luz solar entraba en la caja a través del vidrio y quedaba absorbida en la superficie negra. Se obtenía una temperatura de 88 grados

centígrados. Cuando se añadió a la superficie de vidrio un recubrimiento negro pudo llegarse hasta una temperatura de 160 grados.

En 1747, el astrónomo francés Jacques Cassini, del observatorio de París, construyó un lente de 112 cm de diámetro que presentó a Luis XV. Cassini pudo obtener temperaturas superiores a 1000 grados, que eran suficientes para fundir en pocos segundos una varilla de hierro y fundir la plata hasta un estado tan fluido que al derramarla sobre agua fría producía filamentos tan finos como cabellos.

Antoine Lavoisier (1743-1794), fundador de la química moderna, experimentó con hornos solares porque proporcionaban la fuente de calor más pura posible. su horno se construyó con 2 láminas curvadas de vidrio montadas en forma de lente biconvexa. El espacio entre las láminas se rellenoó con alcohol. La lente líquida tenía un diámetro de 130 cm y una distancia focal de 320 cm. La potencia de esta gran lente de líquido era insuficiente para obtener temperaturas elevadas en el foco, de modo que se colocó cerca del foco, una lente menor para hacer mucho más corta la distancia focal efectiva. Con esta lente compuesta pudo incluso fundir platino a 1760 grados.

El famoso astrónomo John Herchel construyó un dispositivo simple para su empleo práctico durante una expedición en 1837. Consistía simplemente en una caja negra enterrada en arena para conseguir su aislamiento, dotada de una doble tapa de vidrio que permitía entrar el calor del sol impidiendo que se escapase luego. Se registró una temperatura de 116 grados. El horno lo utilizaron para cocinar carne y verduras para su alimentación.

Henry Bessemer (1813-1898), famoso por su sistema de fabricación de acero, experimentó con la fusión de metales, construyendo un horno solar de 305 cm de diámetro, que contenía

muchos espejos planos pequeños. Aunque pudo llegar a procesar cobre y zinc, Bessemer pronto perdió su interés por los hornos solares y prestó su atención a otras fuentes térmicas para refinar el hierro y el acero.

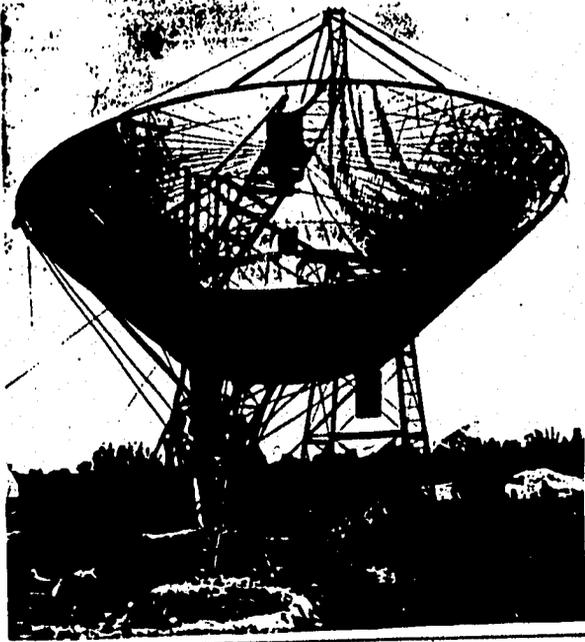
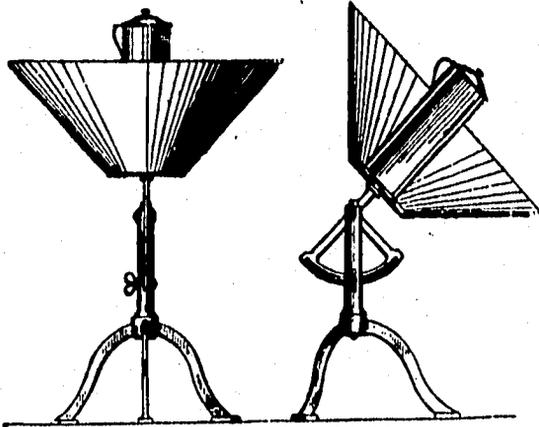
Los primeros experimentos en los que utilizó la energía solar para proporcionar calor al interior de un recinto en el que se había hecho el vacío fueron los de Stock y Hynemann en Alemania. El bulbo de vacío de vidrio, sin calentarse el mismo, transmitía la energía solar a la muestra contenida en un crisol de manganeso. Entre las muestras que se fundieron con éxito podemos citar el silicio, cobre, hierro y manganeso.

Los intentos iniciales para convertir energía solar en otras formas de energía giraron alrededor de la generación de vapor a baja presión para hacer funcionar máquinas de vapor.

August Mouchot fue el pionero de este campo construyendo y haciendo funcionar varias máquinas de vapor movidas por energía solar entre 1864 y 1878.

En 1875, Mouchot realizó un notable avance en el proyecto de colectores solares construyendo uno en forma de reflector de cono truncado. Los montajes en forma de espejos esféricos o parabólicos de sus predecesores habían enfocado toda la luz en un pequeño punto del espacio donde se colocaba la muestra o el material absorbente. El cono de Mouchot denominado en la actualidad Axicon, enfocaba la luz uniformemente a lo largo del eje del cono de modo que como superficie absorbente de energía podía utilizarse un tubo, la temperatura máxima alcanzable era mucho menor. (Fig 1.3)

Fig. 1.3



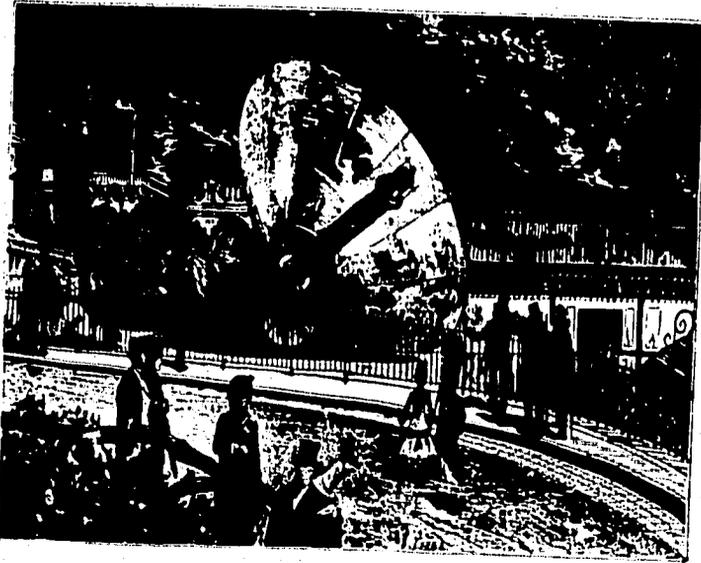
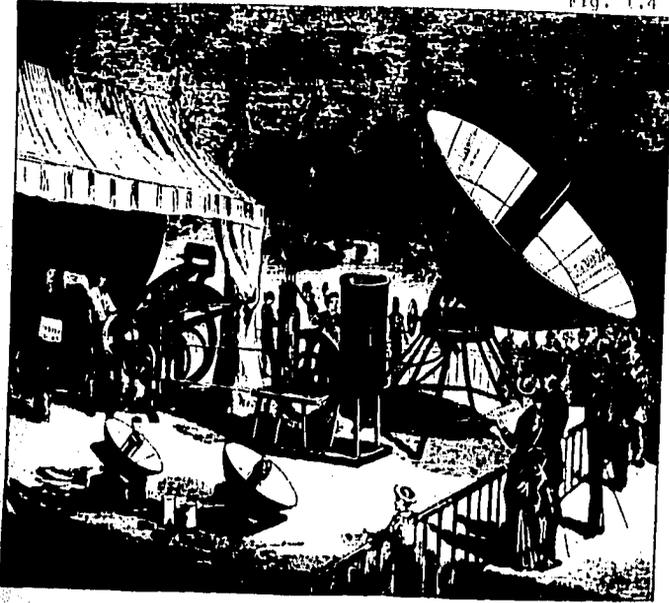
Abel Pifre fue un contemporáneo de Mouchot que también construyó motores solares. En la exposición de París de 1878, Pifre exhibió una de sus máquinas solares haciendo funcionar una prensa de imprenta. (Fig1.4)

No puede quedar completa ninguna historia sobre la energía solar sin hablar de la Solar Motor Company de Boston. La creación a principios del siglo XX representó un esfuerzo concreto para producir una máquina solar que tuviese éxito comercial y se adaptase a las necesidades de energía en las regiones desérticas en desarrollo entonces en California-Arizona.

Se hicieron esfuerzos para construir dispositivos capaces de orientarse automáticamente hacia el sol a fin de mejorar el rendimiento y de alargar el periodo de utilización de las máquinas; pero los dispositivos eran pesados, muy complicados y por consiguiente muy costosos. Sólo los servomecanismos permitieron mucho más tarde resolver el problema de manera costeable para las grandes instalaciones. Por eso es que los sistemas de concentración fueron poco numerosos. Una instalación poco conocida, pero interesante, fue el gran espejo parabólico de 80 m cuadrados, construido por el padre Himalaya, que pudo verse en Saint Louis (E.U.A.) en 1904. Este espejo se componía de 8000 pequeños espejos y la concentración era comparable a la de los hornos solares actuales.

Con la excepción de G. Abbot quien, en la Conferencia Internacional de la Energía en 1963, presentó una máquina de vapor de 0.5 C.V. con un hervidor tipo flash, durante los años siguientes no hubo manifestación alguna sobre desarrollos de la energía solar. La razón hay que buscarla en el hecho de que los aparatos descritos anteriormente no podían competir con la energía producida por los combustibles fósiles cuyo precios disminuían cada vez más. Fue a partir de 1950 cuando las aplicaciones de la energía solar comenzaron tímidamente a desarrollarse.

Fig. 1.4



Hace 40 años la Universidad de Yale comenzó sus estudios fundamentales sobre la calefacción de las casas los colectores planos y las posibilidades de fotoquímica. Las investigaciones se iniciaron también en la desaparecida Unión Soviética bajo la dirección de V. A. Baum y en Nueva Delhi (India).

A partir de 1950 aproximadamente, se celebran regularmente simposiums sobre la utilización de la energía solar. Fue a partir de 1973, durante la crisis de la energía, cuando se continuaron numerosos trabajos de investigación en Helioteonia. Tenemos la esperanza de que entre la multitud de los ensayos realizados y de la abundancia de los estudios teóricos emprendidos surgirán algunos sistemas fiables, pero poco costosos y de buen rendimiento capaces de competir económicamente con las máquinas existentes que utilizan energías clásicas. (Fig 1.5)

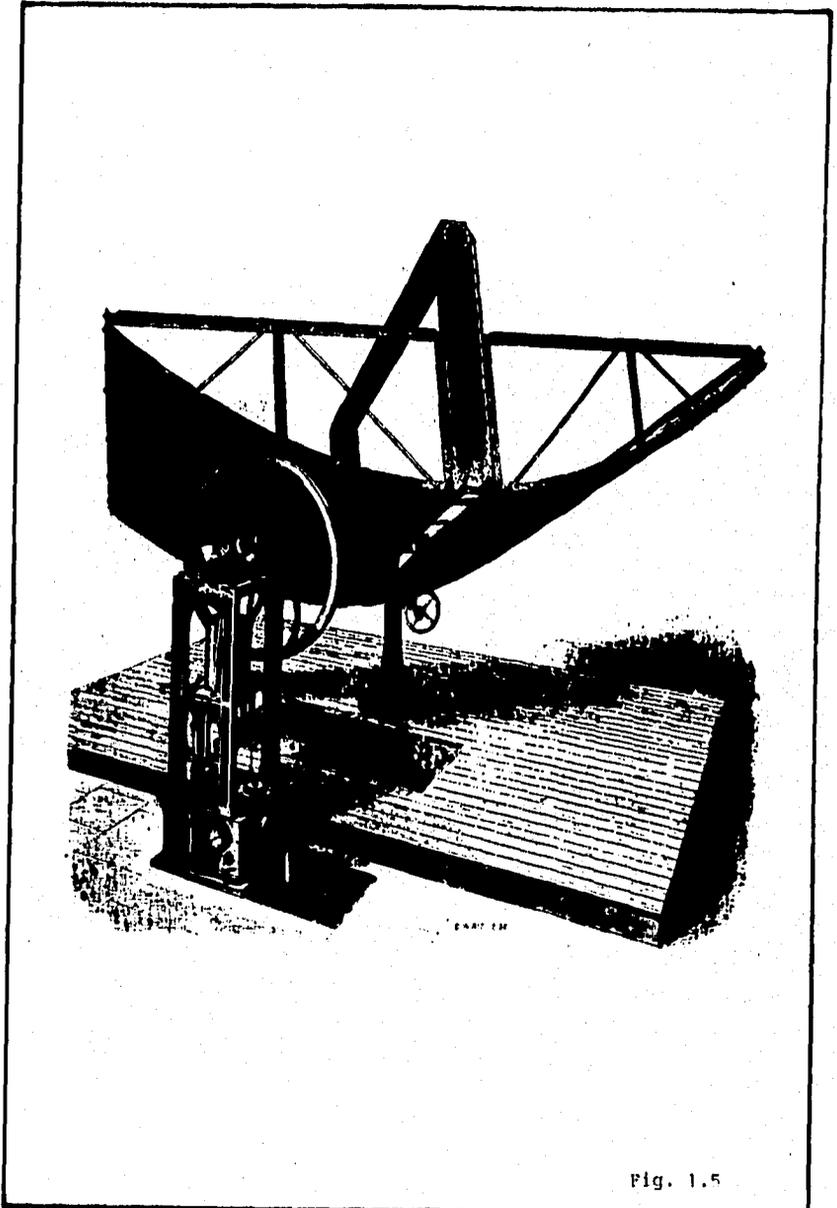


Fig. 1.5

1.4 GENERALIDADES Y APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR

El origen de la gigantesca cantidad de energía que del sol emana, ha originado muchos debates e investigaciones por parte de los hombres de ciencia y astrónomos que se han dedicado a su estudio, sin embargo investigaciones recientes efectuadas indican que toda su energía proviene de una serie de reacciones termonucleares que se efectúan en cadena allí en las profundidades del sol a presiones y temperaturas que escapan a nuestro conocimiento, tales reacciones análogas a las de la bomba de hidrógeno, transforman el hidrógeno solar en helio, existiendo en él una super abundancia de estos elementos con relación a los de otro tipo, lo que ha sido demostrado por el uso del espectroscopio.

En el sol cada segundo se convierten en energía bruta alrededor de 4 millones de toneladas de materia, abriéndose paso la energía emitida producto de las reacciones, hacia la superficie del sol centenares de kilómetros más arriba y extendiéndose por el espacio exterior en forma de luz, calor y otras radiaciones.

Los candentes gases suben entonces a la superficie y forman burbujas con radios que varían de 320 a 1600 kilómetros, siendo lanzados también chorros de gases luminosos a alturas aproximadas a los 150,000 kilómetros.

De las radiaciones a nosotros enviadas por el sol, el ojo humano percibe una limitada banda de radiaciones, entre ellas las de la luz, existiendo en el espectro solar otras con distinta longitud de onda; de la fotosfera nos llega la luz en forma de rayos que se filtran a través de la atmósfera terrestre, siendo interceptados por la humedad de ella y produciéndose una refracción que constituye una radiación difundida, también de la fotosfera nos alcanzan rayos infrarojos que el ser humano siente

en forma de calor. De la corona solar nos llegan radiaciones con longitudes de onda mayores, es decir, ondas radioeléctricas y en orden descendente de longitud de onda llegan rayos ultravioleta y rayos X, que serían mortíferos de no ser absorbidos en su mayor parte por las moléculas de ozono y la atmósfera a una altura de 25 kilómetros.

Así en virtud de la distancia existente de la Tierra al Sol y de las pérdidas inevitables de energía ya descritas en nuestra atmósfera, la intensidad de calor y de luz que nos llega es mucho menor a la real, debido principalmente al debilitamiento sufrido por los rayos del sol a todo lo largo de su trayectoria, efecto causado principalmente por la disipación y absorción de la energía radiante en las moléculas de aire, polvo, vapor de agua, ozono, etc.; la refracción de la radiación directa ocasionada por estos agentes, origina que esta sea difundida volviendo al espacio exterior y regresando nuevamente a la superficie de la tierra bajo la forma de una radiación del cielo, ambas radiaciones, la directa y la difundida tienen como principal inconveniente el ser intermitentes, es decir disminuyen notablemente en intensidad principalmente por efecto de las nubes, es lógico que para una superficie determinada la radiación que la alcanza será igual a la suma de la radiación directa y la radiación difundida.

La energía incidente sobre la superficie de la tierra y su distribución espectral dependen también de la situación geográfica del lugar y de las condiciones climatológicas; para un lugar determinado la energía solar recibida cambia todos los días en el transcurso del año dependiendo del ángulo de incidencia de los rayos, es decir de la altura del disco solar. Para conocer todas esas características, se acostumbra seguir métodos experimentales con diversos aparatos de medida, los que pueden ser celdas fotoeléctricas o bolómetros, efectuándose un registro día con día durante un número determinado de años y bajo diferentes condiciones atmosféricas, en la ciudad de México, esto es realizado en el observatorio nacional de Tacubaya en donde

existen registros que nos indican una gran cantidad de variables, tal información nos permite obtener una estadística de los promedios observados.

Con este método es posible obtener valores muy exactos de la radiación solar que se recibe sobre un lugar determinado de la superficie de la Tierra, sirviendo también para la obtención de las características físicas y químicas de la atmósfera. Tales investigaciones requieren aparatos muy costosos y de cierto número de personas capacitadas, lo que hace difícil la realización de nuevas investigaciones.

En nuestro caso de un horno solar la energía a recolectarse dependerá del ángulo de inclinación de la superficie colectora, de la latitud, altitud y estación así como de los usos a los cuales se destine dicho colector, como esto es de importancia en las características de operación de nuestro instrumento, pasaremos a indicar brevemente su efecto:

Efecto de las nubes sobre la intensidad de radiación solar.

Las nubes tienen un gran efecto sobre la radiación que nos llega sobre la superficie de la tierra, siendo uno de los factores más importantes a considerar para la determinación de la disponibilidad de dicha radiación, ya que cerca de un 35% de ella regresa al espacio exterior causada principalmente por las nubes, dependiendo la transmisión de radiación a través de ellas de: tipo de nube, de la trayectoria media de los rayos del sol, del grado de caída y distribución de la radiación, de su contenido de agua líquida, implicando su determinación cierta dificultad inherente a la naturaleza no homogénea de las nubes.

Es decir que sólo una pequeña fracción de la radiación total es disponible durante los días nublados, demostrando estudios realizados que existe una mayor difusión durante los meses de

invierno con relación a los del verano.

Es necesario indicar que las observaciones prácticas realizadas para un lugar determinado caen considerablemente por debajo de las relaciones calculadas para días relativamente nublados, por que con el incremento de la nebulosidad la radiación tiende a ser igual en todas direcciones es decir la relación tiende a la unidad.

Una de las desventajas de la radiación solar consiste en ser intermitente (efecto causado por las nubes como ha quedado asentado) y ser relativamente baja a su intensidad, diversas autoridades han calculado su valor, el que es cercano a $2 \cdot 0.04$ langleys/min; el langley es la unidad de medida estándar del calor solar e igual a 1 grcal/cm^2 , es decir $2 \cdot 0.04 \text{ cal/cm}^2\text{min}$ alcanzan la tierra en las capas exteriores de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos del sol, este valor tiene pequeñas variaciones que dependen de la altitud y latitud del lugar en cuestión, el valor correspondiente a la F.E.S. Cuautitlán se indicará cuando se considere el valor de la constante solar utilizada en el diseño de nuestro horno.

Por lo que la intensidad de radiación interceptada en días claros para una superficie horizontal es máxima respondiendo a pequeños cambios durante la mitad del verano, disminuyendo su cantidad durante la mitad del invierno de un 50% a un 25% del valor del verano para latitudes de 15 a 35 grados norte, deduciéndose que la cantidad de radiación incidente es muy afectada por la orientación de la superficie colectora. Es decir el ángulo apropiado de inclinación de dicha superficie es una función de la latitud y estación, notándose pequeños incrementos en la radiación obtenida para orientaciones diferentes a la horizontal durante la mitad del verano, mientras que para la mitad del invierno la ventaja parece ser definitiva para una superficie cercana a la vertical.

Así mismo, una superficie orientada al sur con su ángulo óptimo de inclinación, tendrá aproximadamente de un 5 a un 15% más de radiación incidente en días claros que en una superficie vertical para diciembre 21 a los 15 y 35 grados de latitud norte.

Este ángulo óptimo de inclinación con relación a la vertical se incrementa de diciembre a junio cuando dicha superficie se acerca a la horizontal.

Indicaremos sin embargo que la relación calculada para días claros y el porcentaje de brillo posible proveen un método para estimar la radiación solar promedio para cualquier estación, siendo tales estimaciones aplicables a valores promedios solamente, originándose grandes desviaciones para un caso en particular debido a las variaciones locales que se ven influenciadas por reflexión del suelo, condiciones atmosféricas, latitud, elevación, etc..(Fig 1.6)

Variación en la intensidad de la radiación solar con la altitud.

Estudios realizados han demostrado que la variación de la transmisión de la radiación solar con la altitud depende de la estación y de la longitud de los rayos del sol, indicándose que a bajas altitudes no existe una relación definida entre la transmisión y la elevación, las diferencias parecen una función de las condiciones locales, para entender mejor este efecto en la figura se muestra la variación de la intensidad de la radiación solar con la altitud. Las curvas indicadas para verano e invierno pueden ser utilizadas en altitudes comprendidas entre los 810 y 3048 metros sobre el nivel del mar, para los meses de diciembre 21 a junio 21; los incrementos en porcentaje por cualquier otra época del año son obtenidos aproximadamente por interpolación entre los valores dados por las ecuaciones. El porcentaje de incremento de la intensidad de la radiación solar con la altitud para las condiciones de verano e invierno están

de acuerdo al incremento sufrido por sus coeficientes respectivos de transmisión atmosférica considerando un coeficiente de masa del aire igual a 2 para invierno y 1.35 para verano, deduciéndose que el incremento de la radiación solar con la altura es de importancia, siendo ésta mayor en los meses de verano. Las curvas no muestran incremento arriba de los 330 metros sobre el nivel del mar.

Porcentaje de radiación extraterrestre

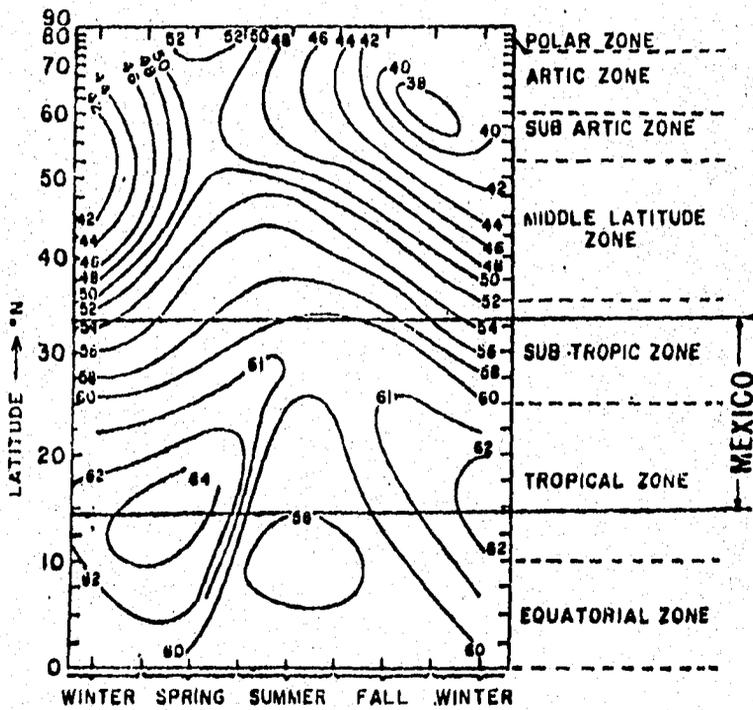


Fig. 1.6

1.5. CALCULO DE RADIACION SOLAR

La determinación de los niveles de radiación solar que recibe una superficie horizontal, en una localidad geográfica cualquiera, puede hacerse de dos maneras: midiendo con dispositivos adecuados (piranómetros y pirheliómetros) esta insolación o estimándola a partir de datos meteorológicos como las horas del sol efectivas, la nubosidad, la humedad del ambiente, etc.

METODO DE ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR

En general se puede decir que existen dos maneras indirectas para estimar la radiación solar. Un procedimiento es considerar como conocida la radiación solar extraterrestre y después determinar los efectos de la atmósfera que sobre ella produce, como son la reflexión en la superficie exterior de la atmósfera, dispersión molecular y no molecular, absorción para las partículas sólidas y líquidas, absorción por el vapor de agua y otros gases, y la reflexión y absorción por los diferentes tipos de nubes para finalmente conocer la radiación solar que se recibe en la superficie terrestre, a este grupo se le conoce comúnmente como métodos computacionales. El otro procedimiento es el de los métodos empíricos basado en estadísticas, y que para su aplicación requieren de mediciones de diversos parámetros climatológicos, como son la humedad, temperatura, nubosidad, localización geográfica y principalmente el registro de las horas del sol brillante que se ha considerado como un estimador potencial de la radiación solar por la gran cantidad de observatorios en el mundo que llevan este registro, actualmente se ha tenido cierto auge en los métodos de estimación solar a partir de las observaciones realizadas por satélites meteorológicos. (Fig 1.7 y 1.8)

La intensidad de la radiación solar que se recibe en la superficie terrestre está influenciada por una serie de factores que se pueden clasificar de la siguiente forma:

Astronómicos:

1. Espectro solar entre $.3$ y 5μ .
2. Magnitud de la constante solar.
3. Variación de la distancia entre la Tierra y el Sol.
4. Declinación solar.
5. Variación con el ángulo horario.

Geográficos:

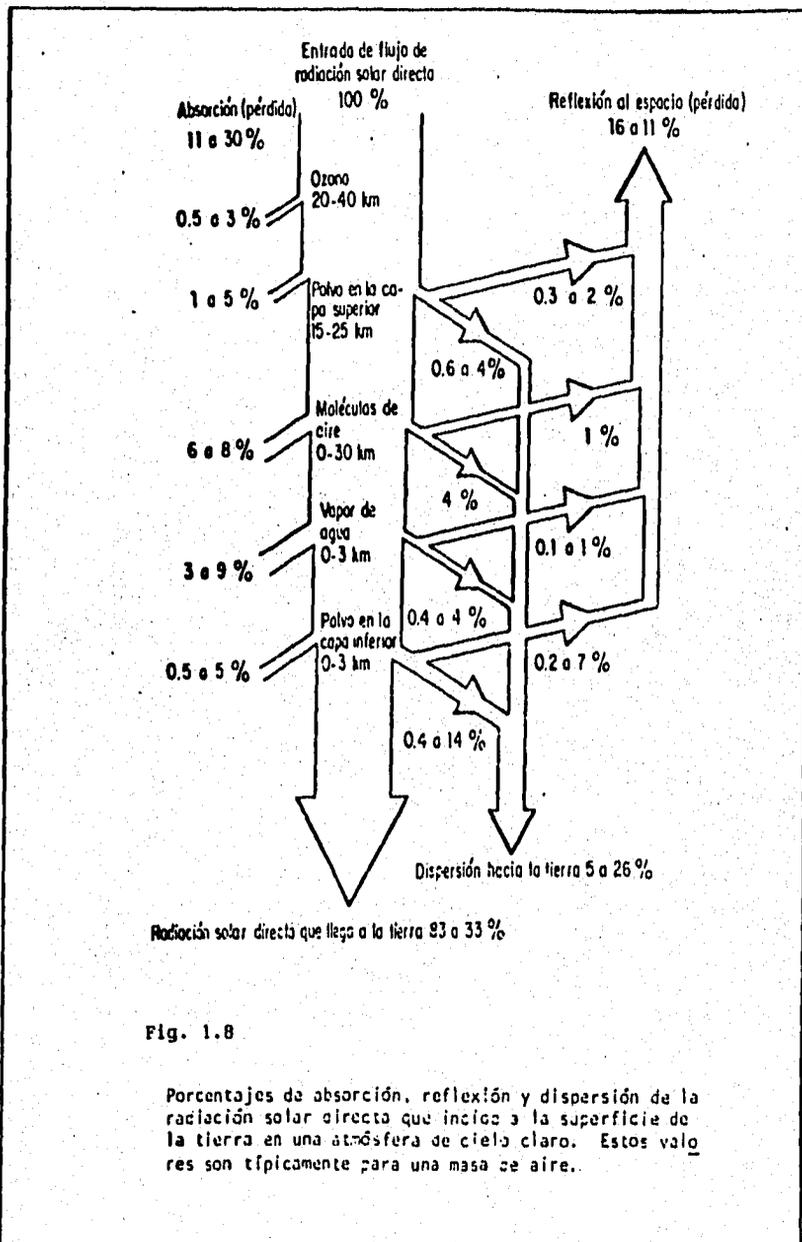
1. Latitud.
2. Longitud.
3. Altura sobre el nivel del mar.
4. Geografía de la localidad (costas, montañas, ciudades, desiertos, etc.).

Geométricos:

1. Altura solar.
2. Azimuth del Sol.
3. Inclinación del plano receptor.
4. Rumbo del plano receptor.

Físicos:

1. Contenido de agua en la atmósfera.
2. Turbidez de la atmósfera.
3. Contenido de ozono en la atmósfera.
4. Efecto de la nubosidad del cielo.
5. Efecto del albedo del suelo.



1.6. MAPAS DE RADIACION SOLAR EN LA REPUBLICA MEXICANA

El método para realizar los mapas de radiación fue empírico utilizando datos de insolación.

El método que se emplea en este trabajo es el empírico deducido por Jeevananda que obtiene la radiación global con desviaciones menores de 10%.

Además de los datos de insolación se emplean parámetros tales como latitud del lugar longitud promedio del día y número de días lluviosos en el mes, así como humedad relativa en el medio por día. Ya que todos pueden obtenerse para diferentes partes de la República (38 localidades): de 30 años para 14 localidades, para 11 localidades promedios que abarcan más de 25 años, 3 con promedios superiores a 15 años, 2 con 10 o más años y las 4 restantes con unos 7 años, se cree que el mapeo estará dentro de un $\pm 10\%$ de precisión.

La fórmula deducida por Jeevananda para estimar la radiación global total, en ly/día ($1\text{ly} = 1\text{angley} = 1\text{cal}/\text{cm}^2 = 4.186\text{j}/\text{cm}^2$) con datos medios mensuales, está dada por

$$H = K \frac{(1 + 0.8p)(1 - 0.2t)}{J_h} \quad (\text{ly/día})$$

donde

H = radiación global promedio horizontal para el periodo en cuestión (por ejemplo, mensual);

K = $(N + 1)\cos\phi$, en ly/día;

ϕ = latitud del lugar en grados;

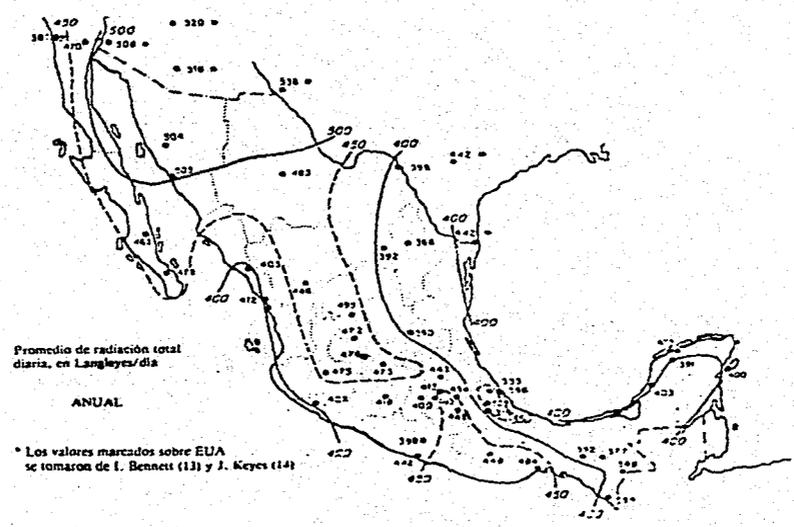
N = longitud promedio del día durante el mes;

= $.2(1 + .1\phi)$ (factor de latitud)

ij = factor de estación que depende del mes y localidad;

$j = 1$ para tierra dentro y $j = 2$ para costa.
 h = humedad relativa media por día en el mes.

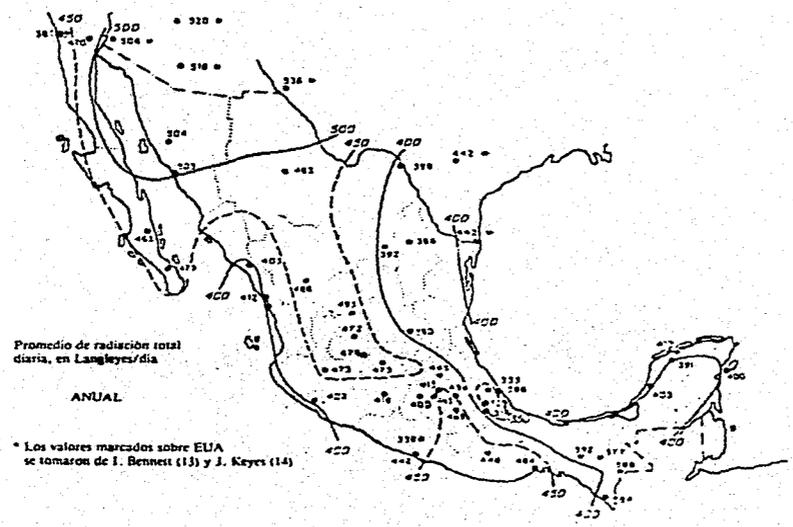
Con base en este método se realizaron mapeos mensuales en la República Mexicana con el fin de conocer la radiación solar global media diaria, ly/día, mediante datos de horas de insolación. Además, se obtuvo el mapa de radiación media anual en las mismas unidades.



Promedio de radiación total diaria, en Langley/dia

ANUAL

* Los valores marcados sobre EUA se tomaron de I. Bennett (11) y J. Keyes (14)



1.7 ANGULOS SOLARES

Declinación solar (δ). - Es el ángulo formado entre el rayo incidente y la proyección en dirección meridional del Este sobre el plano ecuatorial.

La declinación depende del día del año, y es positiva si el rayo incidente está hacia el norte del plano ecuatorial y negativa si lo es hacia el sur. En el solsticio de invierno la declinación es de -23.45 (diciembre 21), la declinación es igual a cero si nos encontramos en el equinoccio de primavera (marzo 21) o en el equinoccio de otoño (septiembre 22) en el solsticio de verano la declinación es de 23.45 (junio 21). (Fig 1.9)

Angulo horario (h). - Es el ángulo que le falta al punto P para llegar al mediodía solar o después del medio día solar al cual se encuentra.

Es un ángulo formado en el plano ecuatorial entre la proyección del vector OP sobre dicho plano (siendo O el centro de la Tierra y P un punto cualquiera sobre la superficie de la Tierra) y la proyección del rayo incidente también sobre el plano ecuatorial.

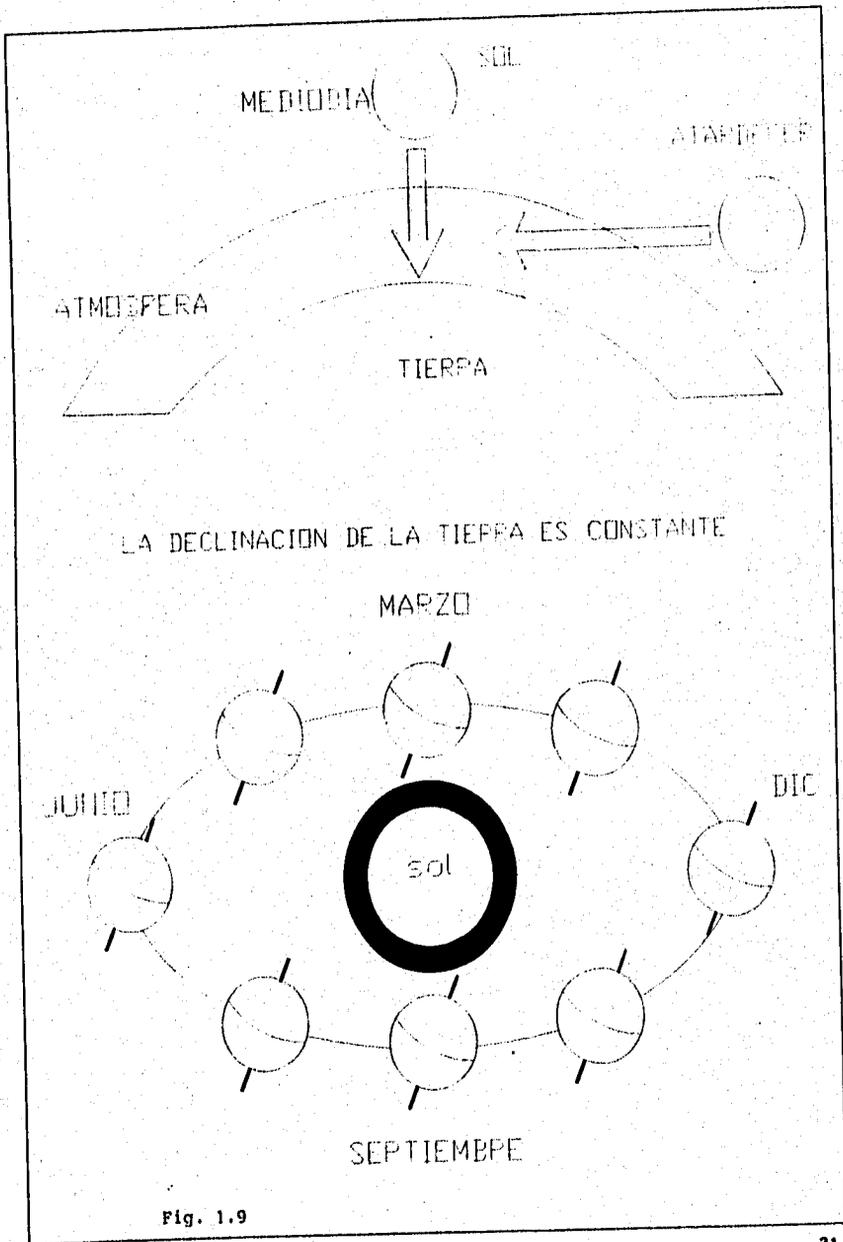
El ángulo horario puede tener un valor desde 0 hasta 180 grados.

Latitud (l). - es el ángulo formado entre el vector OP y su proyección sobre el plano ecuatorial, dicho ángulo puede tener un valor de 0 hasta 90 grados y la latitud también puede ser de Norte a Sur.

Angulo de altitud solar (θ). - Ángulo formado entre el rayo incidente y la proyección horizontal de éste. Puede tener un valor desde 0 hasta 90 grados.

Angulo de cenit (ϕ).- Ángulo formado entre el rayo incidente y la vertical a la superficie horizontal (entre I y OP) puede tener un valor desde 0 hasta 90 grados.

Angulo azimuth (τ).- está formado en la superficie horizontal, entre la proyección del rayo incidente y el vector Norte-Sur. Este ángulo puede tener un valor desde 0 hasta 180 grados. (Fig 1.10 y 1.11)



ANGULOS SOLARES

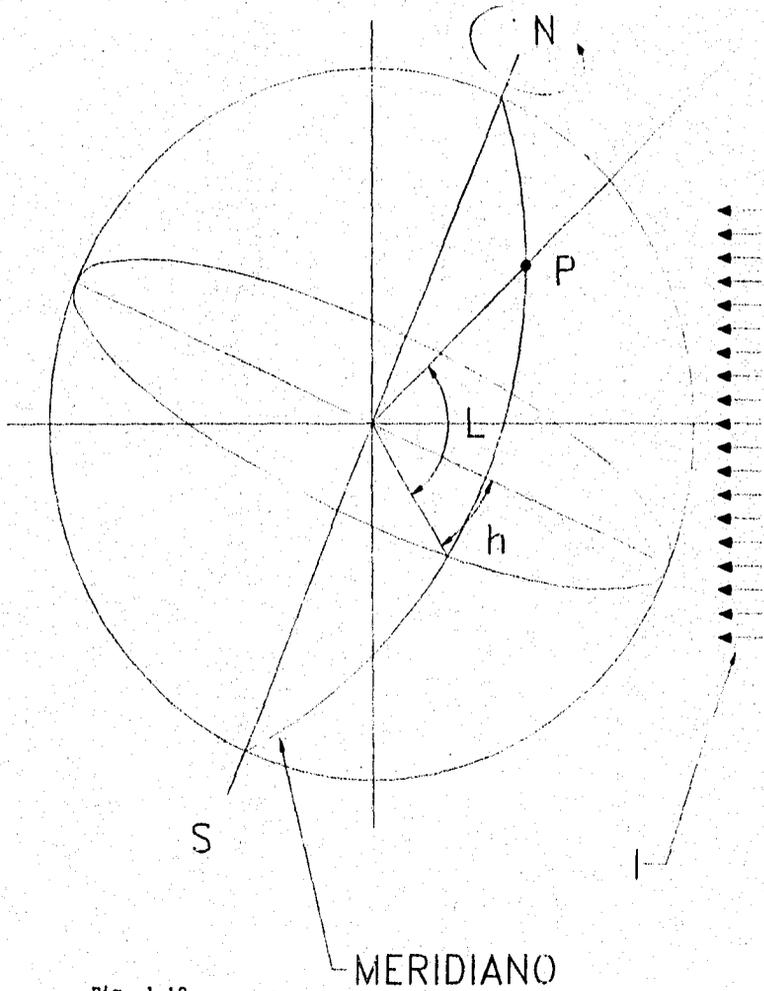
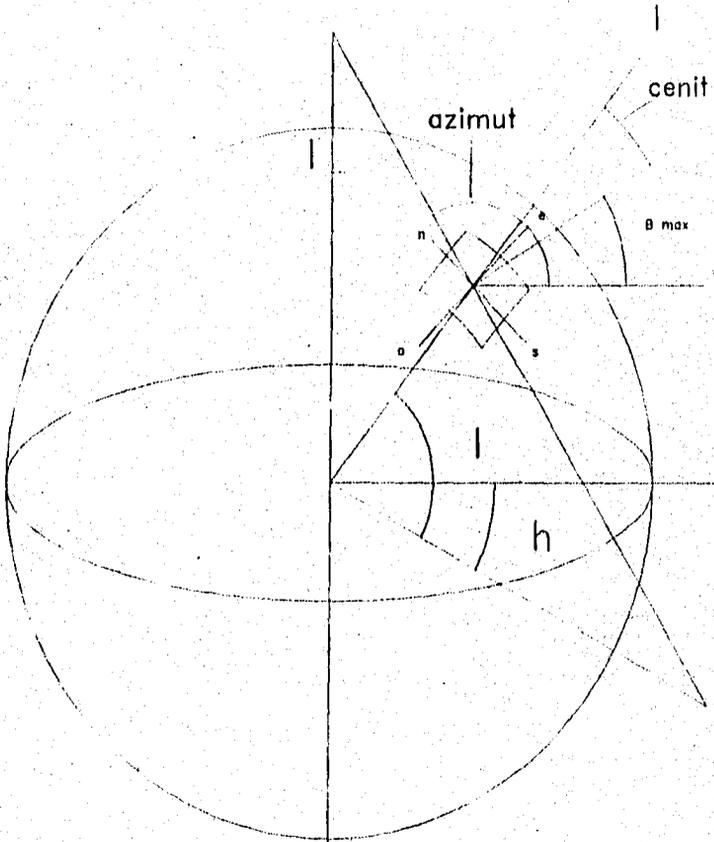


Fig. 1.10

ANGULOS SOLARES



Angulo de cenit
Angulo de azimut
Angulo de altitud solar

Fig. 1.11

1.8 ECUACIONES SOLARES

Ecuación de la declinación:

$$\delta = 23.45 \cos ((N - 172) 0.985678)$$

Altura solar:

$$\sin \beta = \cos \phi = \cos l \cos h \cos \delta + \sin l \sin \delta$$

Angulo de azimuth:

$$\cos \tau = \sec \beta (-\cos \delta \sin l \cos h + \cos l \sin \delta)$$

Hora solar:

Al orbitar la Tierra alrededor del Sol su velocidad cambia según su distancia respecto al mismo. Cuando se acerca al Sol se mueve más lentamente y cuando se aleja lo hace más rápidamente. Esta diferencia en la velocidad de la Tierra es la causante de la divergencia entre la hora solar verdadera y la hora solar media, ya que un reloj normal mide el tiempo uniformemente y no toma en cuenta esta variación de velocidad de la Tierra. Sobre el gráfico solar se obtiene la hora solar por la posición del sol sobre el horizonte para una fecha dada; el medio día solar o verdadero corresponde con la altura máxima del Sol en su paso por el meridiano del lugar. La figura (1.12) nos muestra los valores de la ecuación del tiempo o diferencia entre la hora solar y la hora terrestre (u hora solar media). La parte superior de la curva (+) nos da el adelanto de la hora solar verdadera sobre la media y la parte inferior (-) indica el retardo de la hora solar verdadera.

Para simplificar la medición del tiempo, la Tierra está dividida en 24 zonas de tiempo (segmentos longitudinales) de 15 grados cada una (en total 360 grados del círculo completo), que se extiende del polo norte al polo sur, esto corresponde a 24 horas (una hora cada 15 grados o 4 minutos por cada grado) necesarias para que la Tierra de una vuelta completa a su eje.

Para establecer la hora solar local en cualquier punto de la Tierra, partimos de la hora legal del uso horario de que se trate. Debe prestarse atención a los horarios de verano, que si existen deben corregirse con otra hora o restar para obtener la hora legal normal. Como el sol emplea 4 minutos en recorrer un grado de longitud, debe corregirse esta hecho restando 4 minutos por cada grado de longitud al Oeste del meridiano de referencia del uso horario de que se trate y añadir 4 minutos por grado de longitud al Este del mismo meridiano. Luego se realiza la corrección de la ecuación del tiempo para obtener la hora solar verdadera. (Fig 1.13).

Ecuación del tiempo:

$$TS = T \text{ oficial} - ET - LA$$

$$LA = 4 (\text{longitud local} - \text{longitud del tiempo} - \text{longitud del tiempo meridiano oficial})$$

$$ET = (.1236 \text{ sen } x - .0043 \text{ cos } x + .1538 \text{ sen } 2x + .0608 \text{ cos } 2x) \# 60.$$

$$x = 360^\circ (N - 1) / 365.242$$

Fig. 1.12

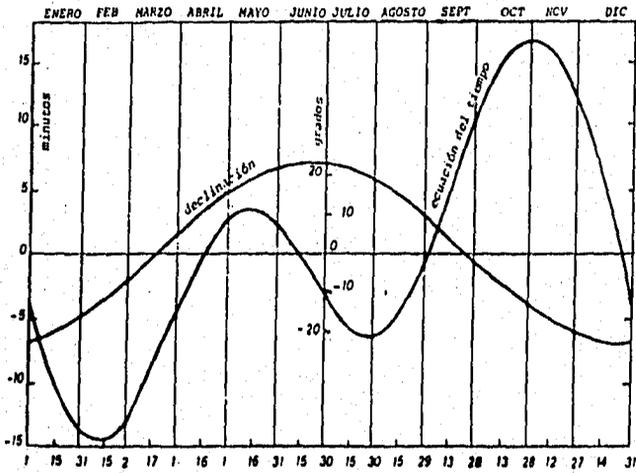
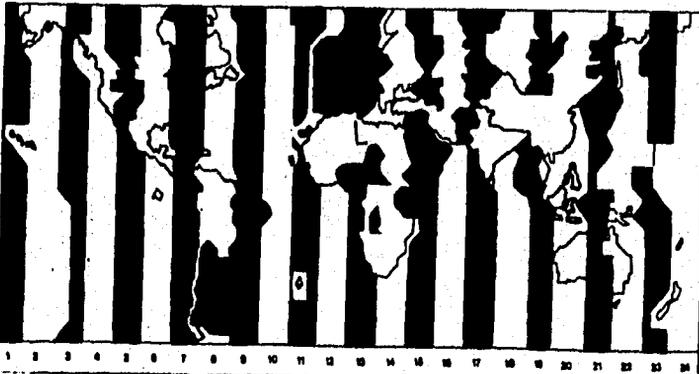


Fig. 1.13



2. DISEÑO CONCEPTUAL

2.1 NECESIDAD DE LA CONCENTRACION SOLAR

Los captadores planos no permiten en general superar los 130 grados en el nivel de la superficie absorbente. Esta temperatura poco elevada constituye un límite del rendimiento termodinámico de los sistemas que lo utilizan. Es necesario una superficie de 50 metros cuadrados por Kw, y estos captadores no están, por tanto adaptados a la producción de potencias elevadas. Para aumentar el rendimiento, es preciso elevar la temperatura de la fuente caliente y, por consiguiente, concentrar la radiación solar aceptando perder el beneficio de la radiación difusa no concentrable, porque no posee direcciones privilegiadas. A continuación se resumen las ventajas y los inconvenientes de los sistemas con concentración, en comparación con los captadores planos.

Ventajas:

1. Las superficies reflectoras necesitan menos materiales y son estructuralmente más simples que los colectores planos; el costo del metro cuadrado del intercambiador térmico es inferior con un sistema de concentración.

2. El área de absorción de un sistema de concentración es menor que el de un captador plano para la misma superficie colectora de la radiación solar (superficie específica más pequeña).

3. Como el área del absorbente es más pequeña que la de un captador plano, la densidad de energía a nivel del absorbente es superior, puesto que el fluido del calor puede trabajar a temperatura más elevada teniendo la misma superficie captadora de energía.

4. A causa de la menor superficie específica absorbente, se pueden utilizar superficies con absorción selectiva o bien aislamiento por vacío para reducir las pérdidas térmicas y aumentar el rendimiento de manera económica.

5. Los sistemas de concentración pueden utilizarse para la producción de energía eléctrica, el número de horas anuales de funcionamiento es más elevado que la de un colector plano. El sobre costo de la instalación puede amortizarse en un tiempo más corto a través de una ganancia suplementaria de energía.

6. Puesto que la temperatura alcanzada es más elevada, la cantidad de calor que puede almacenarse es más grande y en consecuencia el costo del almacenamiento es más pequeño en los sistemas concentradores que en los captadores planos.

7. Para la aplicación de calefacción y climatización, la temperatura más elevada del fluido calorífico alcanzada con los sistemas de concentración permite obtener rendimientos más elevados en un ciclo de refrigeración que con los sistemas de colectores planos; por lo tanto aquellos sistemas son más económicos.

8. En caso de que no funcione durante el invierno, es preciso menos cantidad de anticongelante en los sistemas de concentración que en los sistemas de captadores planos.

Inconvenientes:

1. Se recoge poco o nada de la totalidad de la radiación difusa.

2. En los sistemas reflectantes estacionarios, es preciso ajustar periódicamente el concentrador o el receptor térmico según la época del año. El rendimiento es más pequeño que en el

caso de los sistemas de seguimiento, que por otra parte son más costosos.

3. En los sistemas con seguimiento y caldera móvil es preciso por lo menos una conexión flexible para extraer el fluido caliente del intercambiador térmico.

4. El poder reflectante de los espejos disminuye con el tiempo y es preciso volverlos a platear o pulir.

5. Todavía existen pocas realizaciones de gran potencia con reflectores estacionarios a alta concentración y son necesarias investigaciones suplementarias para estudiar la fiabilidad y el mantenimiento de tales sistemas.

2.2 HORNOS SOLARES IMPORTANTES

Hemos visto que desde la antigüedad, se trató de concentrar la energía solar a fin de obtener temperaturas elevadas. Sin embargo, las realizaciones en vista de aplicaciones científicas, en química especialmente, o industriales tales como el tratamiento de productos refractarios, son recientes. Durante siglos no hubo necesidad de realizar temperaturas superiores a las necesarias para la metalurgia de metales usuales. Además, no se sabía realizar de manera suficientemente económica en superficies ópticas lo bastante grandes y de calidad satisfactoria para obtener un rendimiento conveniente. De modo que los hornos a concentración de energía solar quedaron como curiosidades. En nuestros días, la demanda de materiales cada vez más refractarios y cada vez más puros sigue siendo creciente. Los investigadores fueron llevados a tratar de realizar altas temperaturas sin contaminación de los materiales tratados. Se realizaron hornos eléctricos cada vez más potentes. Sin embargo, los hornos a inducción permiten fundir cuerpos muy refractarios en introducción de impurezas son sumamente costosos en cuanto a su realización y al gasto de energía eléctrica considerable que exigen. Los hornos de arco permiten temperaturas todavía más elevadas pero la introducción de los electrodos significan siempre inconvenientes para la obtención de los productos puros.

Debido a estos problemas los investigadores se han visto obligados a tratar de construir instrumentos y aparatos capaces de alcanzar altas temperaturas, esto ha sido resuelto por medio de un sistema óptico que se encarga de concentrar la radiación solar.

Los hornos solares se han desarrollado durante más de 25 años, siendo posible en ellos obtener concentraciones muy altas de energía calorífica en áreas de distribución muy pequeñas, de tal forma que la muestra irradiada puede alcanzar temperaturas

que fluctúan entre los 2400 y los 3800 grados centígrados en áreas con diámetros que varían desde .635 cm hasta más de 20 cm.

Algunos de los hornos solares construidos se mencionan a continuación:

El horno de Sendai (Japón): es un espejo construido de 10 m de diámetro y se constituye de 181 piezas, estas a su vez repartidas en 7 coronas, de aquí el tamaño de 7 tipos de elementos. Cada uno se obtuvo a partir de espejos de 10 mm de espesor. Para una formación adecuada, cada espejo se puso en un molde de forma y calentado hasta que adopte la forma del molde, el cual se había construido con polvo refractario amasado con pegamento. Después del enfriamiento los espejos se tallaron mediante una máquina; después se pulieron con un pulidor suave y se les puso aluminio en su cara anterior. El paraboloide obtenido por este procedimiento es de muy alta calidad.

El horno de Natick, se construyó en Massachusetts. Un horno que también está hecho de elementos pretallados, pero cuyo principio es diferente. No se trató de obtener un espejo cuyos elementos formen una superficie continua, sino donde cada uno actúa independientemente de los otros. Se tienen pues, que realizar espejos de abertura relativamente débil y por consiguiente que no son necesarios tallar en parábola. Esta concepción permite una construcción particularmente fácil, ya que se tiene un número de espejos elementales y son idénticos. Se obtuvieron calentando espejos sobre un molde de cerámica cóncava.

El horno de Mont - Louis (Pirineos Orientales) es el más antiguo cuyo espejo concentrados está constituido por elementos no planos. Su diámetro es de 11 m y su distancia focal de 6 m. Para este espejo, se utilizó una técnica que se volvió a usar y perfeccionar para el horno gigante de Odeillo. Aquí los espejos elementales son planos, pero son deformados mecánicamente en el

lugar. el vidrio posee en efecto una elasticidad que permite tales deformaciones. Sin embargo a fin de que las contracciones no sean excesivas, hay que multiplicar los espejos. Cada uno mide más o menos 15 cm de lado por un espesor de 1.8 mm. Están plateados en su cara posterior y protegidos por cobre y barniz. (Fig 1.14 y 1.15)

El horno de Odeillo - Font - Romeau. El conjunto es realmente gigantesco. El espejo de 54 m de diámetro se constituye de 8000 espejos elementales deformados mecánicamente. Cada espejo mide de 10 a 50 cm de lado y 4.5 mm de espesor. Para reducir las pérdidas debidas al dispositivo de deformación, este se colocó atrás del espejo. Estos espejos se fijan sobre un armazón metálico parabólico, fijado el mismo sobre la cara de un edificio de concreto. El espejo completo tiene una distancia focal de 18 m. Tiene una mancha focal de 25 cm, donde se puede lograr una temperatura del orden de 3500 grados. Es la primera realización realmente industrial de un horno solar. (Fig 1.16).

Instalación de Mont-Louis

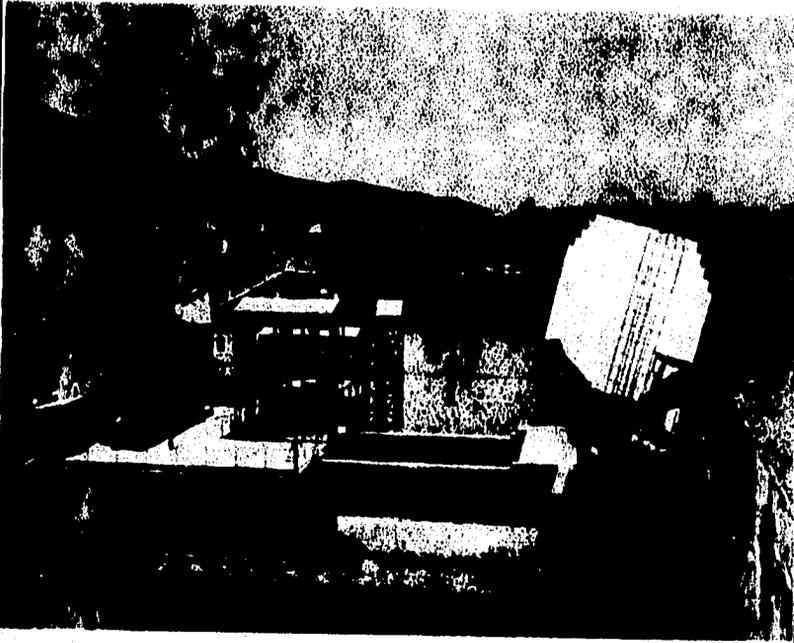


Fig. 1.14

**Instalación de Mont-Louis
(Vista Nocturna)**

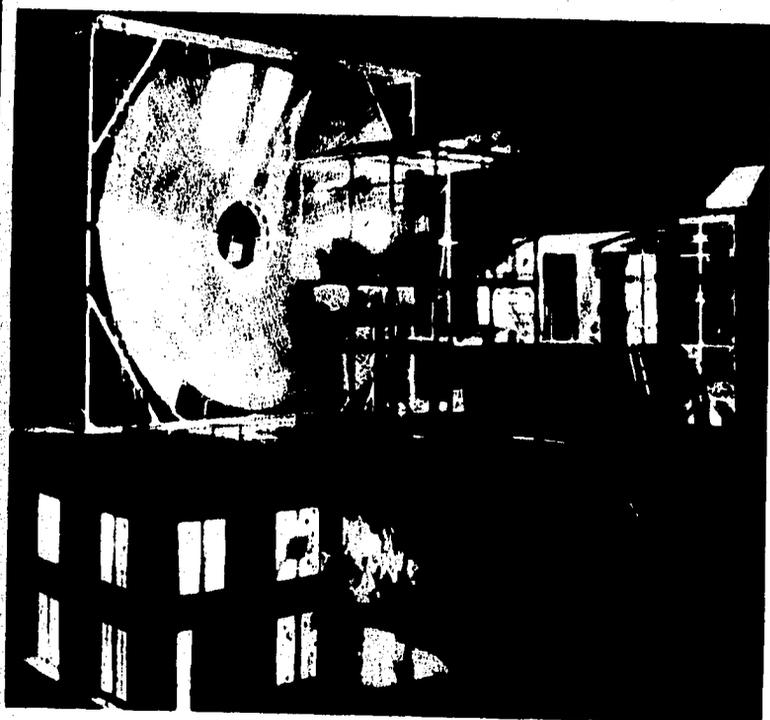


Fig. 1.15

Horno de Odeillo

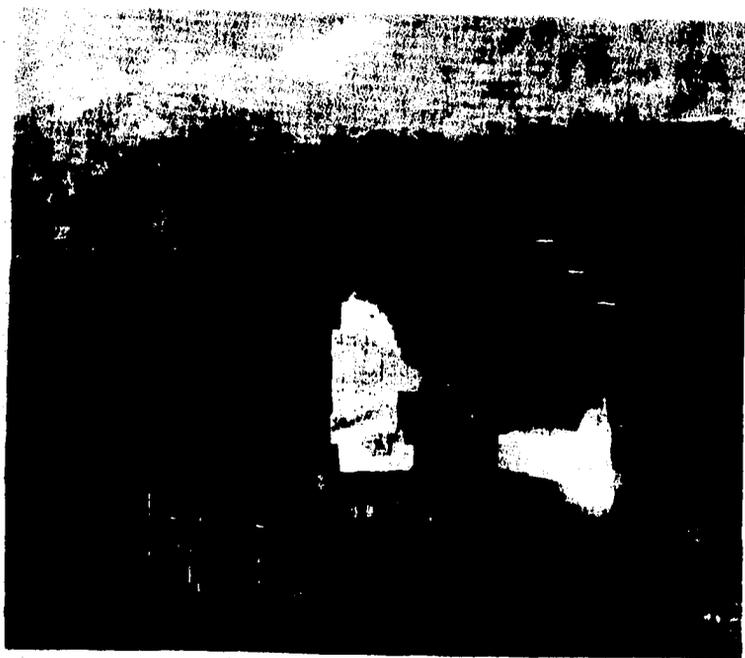


Fig. 1.16

2.3 DESARROLLO DE LA PARABOLA

PARABOLA

Definición de parábola: Es el lugar geométrico de un punto que se mueve en un plano de tal manera que su distancia a una recta fija LL' situada en el plano es siempre igual a su distancia a un punto fijo F del plano y que no pertenece a la recta. El punto fijo F se llama foco y la recta fija LL' se llama directriz de la parábola. La recta A que pasa por F y es perpendicular a LL' ; se llama eje de la parábola. Sea N el punto de intersección del eje y la directriz; el punto V punto medio del segmento NF está por definición sobre la parábola y se llama el vértice; a la recta EE' que pasa por el foco se llama cuerda focal. La cuerda focal CC' se llama lado recto.

(Fig 1.17)

PARABOLA

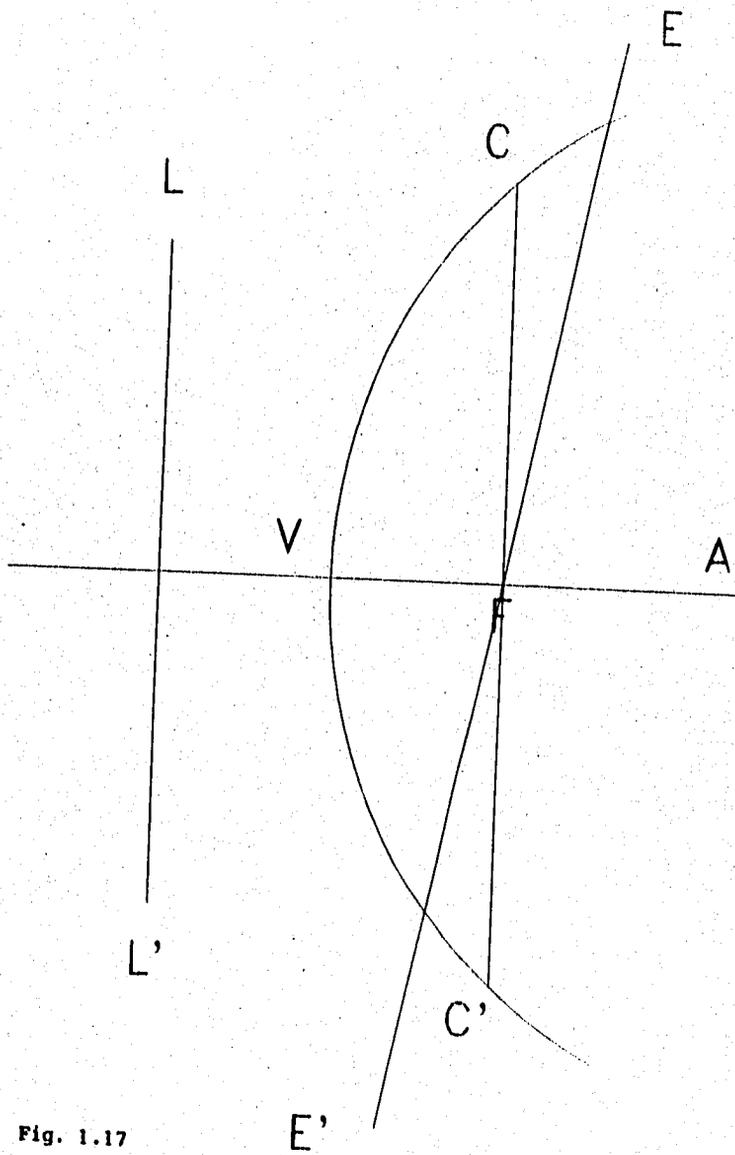


Fig. 1.17

PROPIEDADES DE LA PARABOLA

Tiene varias propiedades muy importantes, las cuales se mencionan a continuación:

1. Si P es un punto cualquiera de la parábola debe cumplir la condición de que $PF = PM$.
2. Las líneas laterales de la parábola prolongadas indefinidamente tienden a hacerse paralelas.
3. Capacidad de concentrar en un punto focal las líneas que inciden en ella, paralelas entre sí y a su eje.

(Ver Fig 1.18)

PARABOLA

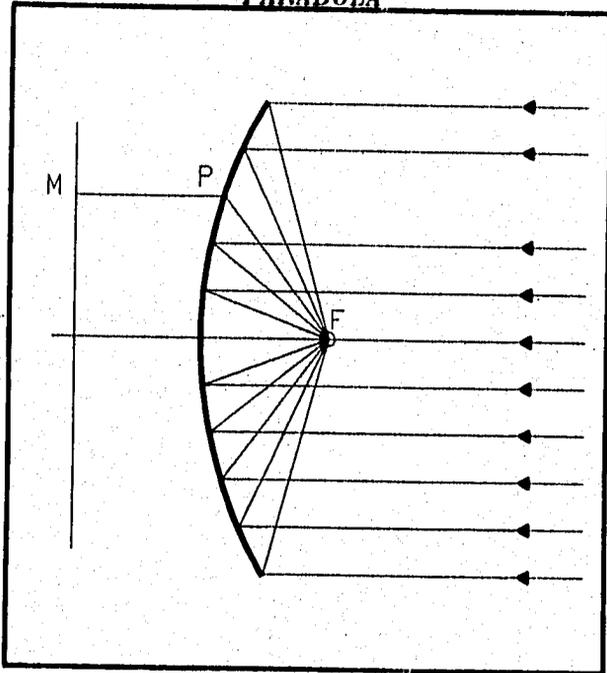


Fig. 1.18

TRAZADO DE LA PARABOLA

Para el trazado de la parábola se describen a continuación métodos muy sencillos:

METODO I:

Si se dan el vértice V y el foco F en el eje A.

Marcar el punto D de forma que $DV = VF$.

Trazar líneas perpendiculares al eje en cualquiera de los puntos 1, 2, 3, 4, etc.

Bisecionar cada uno con un arco trazado a partir de F con un radio igual a la distancia del punto en particular D (por lo tanto, bisecionar la línea 3 con el radio D3 trazado a partir de F). (Fig 1.19)

METODO II.

Si se dan el vértice V y el foco F en el eje A.

Trazar línea de V en perpendicular al eje.

Marcar cualquier punto en esta línea (1, 2, 3, etc.) y conectarla a F.

Trazar una línea de cada punto en ángulo recto sobre la línea F (por lo tanto desde el punto 5 trazar una línea en ángulo recto a 5F).

Cada una de estas líneas será una tangente de la parábola, que deberá trazarse dentro de estas tangentes, tocando cada sección en su centro. (Fig 1.20)

METODO III

Si se dan el vértice V y el eje VA, así como también la anchura BA.

Trazar CB en paralelo al eje y CV en perpendicular al eje. Dividir ambos en un número igual de secciones.

Conectar V a cada punto de CB (líneas radiales).

Interseccionar cada línea radial con paralelas trazadas a partir de los puntos correspondientes de CV.

Las intersecciones son puntos de la parábola.

Marcar el punto D en la extensión del eje, de forma que $DV = VA$.

Se une el punto D con B.

Donde DB interseca CV, marcar el punto P.

Trazar línea de P en ángulo recto a BD y esto determinará la posición del foco en el eje. (Fig 1.21)

PARABOLA

METODO I

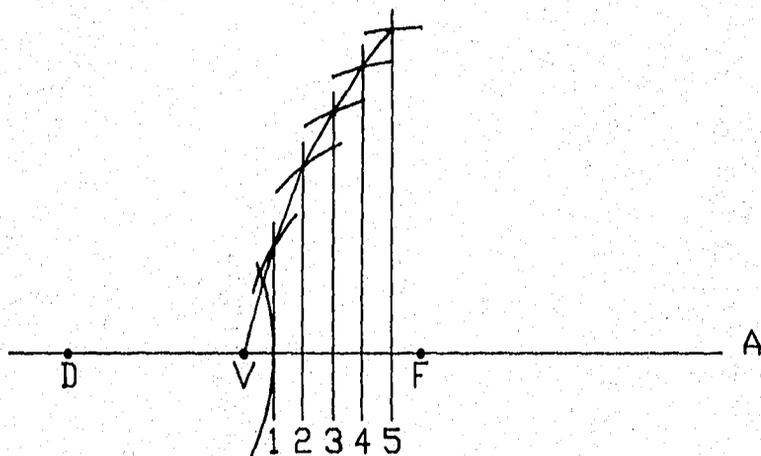


Fig. 1.19

PARABOLA

METODO II

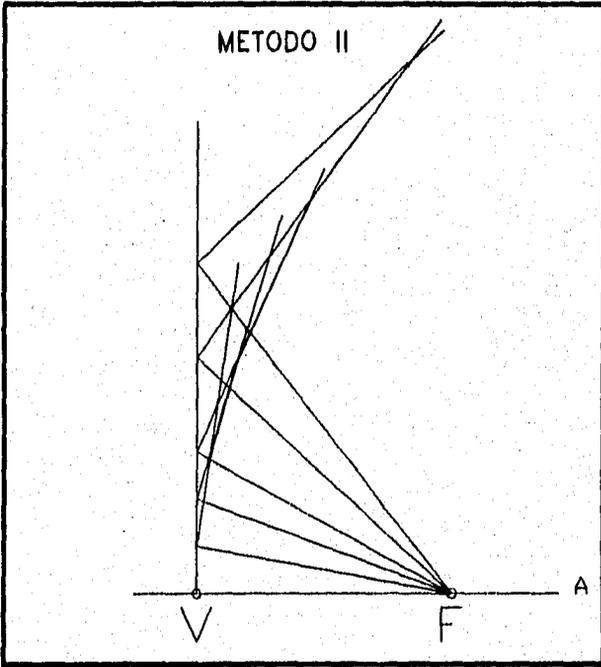
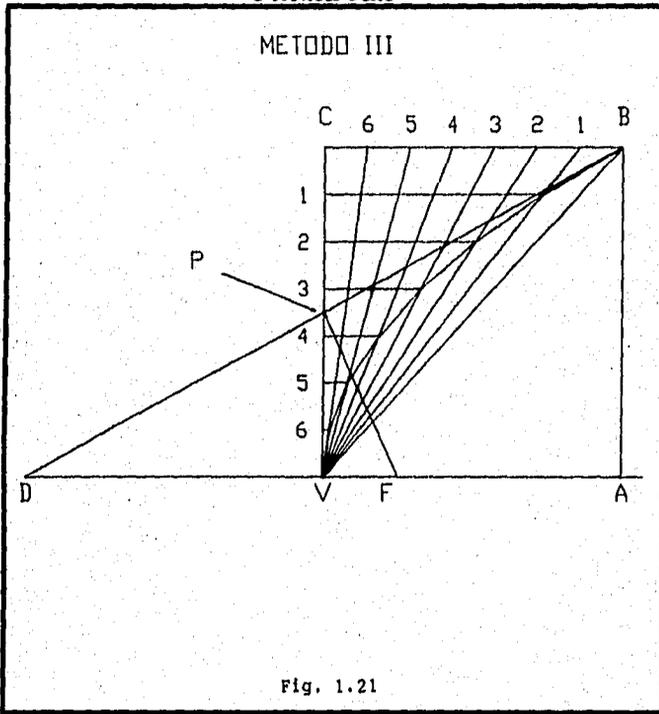


Fig. 1.20

PARABOLA

METODO III



2.4 PARABOLOIDE

El paraboloides se produce a partir de la rotación de una parábola alrededor de su eje, las medidas de nuestro paraboloides serán:

$$D = 295 \text{ cm.}$$

$$Df = 106.8 \text{ cm.}$$

$$C = 51.29 \text{ cm.}$$

(Ver Fig 1.22)

PARABOLOIDE

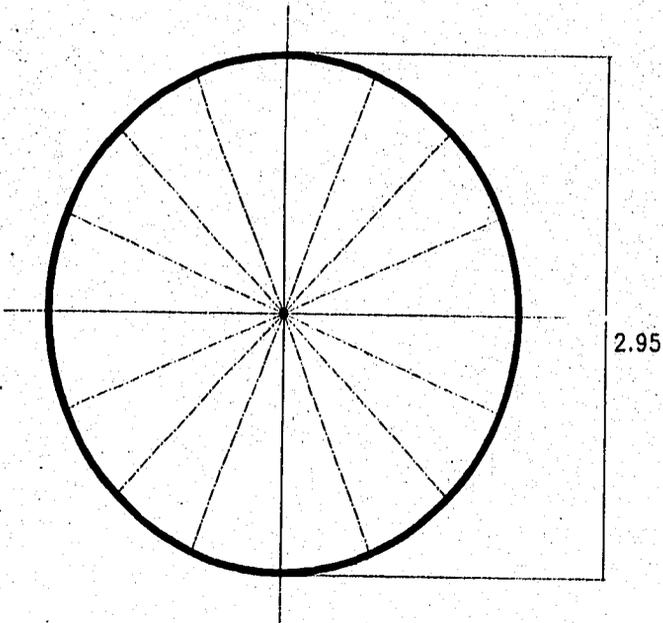


Fig. 1.22

2.5 PARAMETROS DE OPERACION

DESARROLLO DEL HORNO

Para el diseño del horno se utilizaron las dimensiones dadas anteriormente para facilitar el desarrollo y construcción del mismo.

Partiendo de estos datos, se procedió a determinar los siguientes parámetros:

- A) d_c = diámetro del punto caliente
- B) C = relación de concentración
- C) C_e = concentración efectiva
- D) T = temperatura

A) Matemáticamente el foco de la parábola es solamente un punto, pero en este caso los rayos solares que llegan al paraboloide son convergentes y al ser reflejados divergen, por lo cual el diámetro de la mancha caliente o punto caliente dependerá del diámetro del paraboloide de la longitud focal y del diámetro angular del disco del sol.

El valor del ángulo subtendido por el disco solar tiene su valor mínimo en el afelio (julio 2) cuando la tierra se encuentre más lejos del sol.

$$2\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{6.96 \times 10^8 \text{ km}}{1.522 \times 10^8 \text{ km}}$$

$$2\alpha = .52^\circ$$

Mientras que el valor máximo se encuentra en el perihelio (enero 2) que es cuando la tierra está más cerca del sol.

$$2\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{6.96 \times 10^8 \text{ km}}{1.47 \times 10^8 \text{ km}}$$

$$2\alpha = .54^\circ$$

Por lo cual se tiene un valor promedio de $2\alpha = .53^\circ$

El diámetro de la imagen del disco solar queda determinado por la siguiente ecuación:

$$d_i = 2\alpha f$$

$$d_i = .00925 \text{ rad (106 cm)}$$

$$d_i = .925 \text{ cm}$$

Se llega así a la regla siguiente: el diámetro de la imagen expresada en centímetros es aproximadamente igual a la distancia focal expresada en metros. (Fig 1.23)

En el horno solar, se intenta recuperar el máximo de energía posible en la proximidad del foco. se obtiene en el foco una mancha solar cuya parte central, muy caliente, tiene el diámetro correspondiente a la fórmula anterior, pero rodeada por una aureola de temperatura decreciente. No se recupera en la imagen de Gauss de diámetro d_i la totalidad de la energía recibida por el espejo. (Fig 1.24)

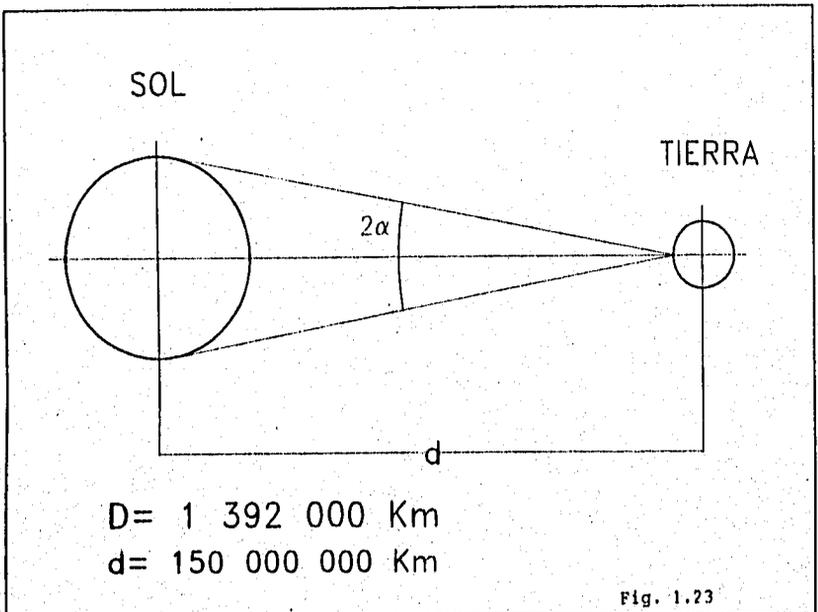


Fig. 1.23

IMAGEN DE GAUSS

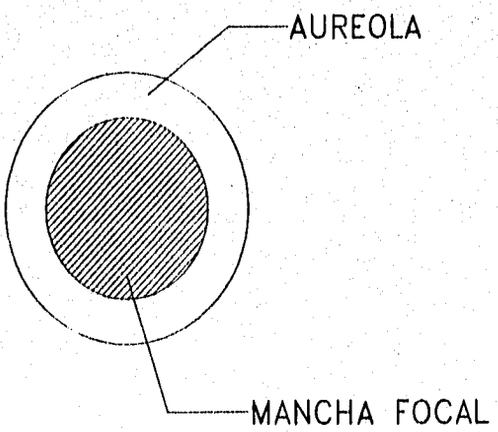


Fig. 1.24

Finalmente, el sol no tiene una luminancia uniforme; en particular, los bordes del disco son menos luminosos que el centro; resulta así que la iluminación de la imagen de Gauss no es uniforme en absoluto.

B) Para el cálculo del factor de concentración se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$C = \left(\frac{n_2}{n_1 \text{ sen } \alpha} \right)^2 = \left(\frac{1}{\text{sen } .265} \right)^2 = 46747.3$$

El factor anterior es la concentración máxima para el caso de concentrador tridimensional que posea una simetría de revolución.

$$C = \frac{4 \text{ sen}^2 \theta}{(2\alpha)^2} = \frac{4}{(.009251)^2} = 46749.45$$

El valor obtenido anteriormente es para el caso de un concentrador con ángulo de apertura máximo de 90°.

Para nuestro paraboloide el ángulo de apertura máximo estará dado por la siguiente fórmula.

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{D}{4Df} \right) = 2 \tan^{-1} \left(\frac{292 \text{ cm}}{400 \text{ cm}} \right)$$

$$\theta = 72.258^\circ$$

Partiendo de este valor calcularemos la relación de concentración para nuestro paraboloide.

$$C = \frac{4 \operatorname{sen}^2 \theta}{(2\alpha)^2} = \frac{4 \operatorname{sen}^2 (72.258^\circ)}{(.00925)^2} = 42408.24$$

Los valores anteriores corresponden a concentraciones máximas teóricas, pero en la práctica, es posible aproximarlas a los mismos sin alcanzarse nunca debido a los defectos en los dioptrios (pérdidas por reflexión, absorción y difracción). Un sistema que posee el factor de concentración máxima teórica se denomina concentrador ideal.

C) La concentración efectiva.— La teoría desarrollada supone que el espejo es perfecto y que no existe ningún obstáculo entre el Sol y el espejo, en realidad, numerosos factores disminuyen la energía disponible en el plano focal, las pérdidas se deben a la reflexión, a la absorción, a las irregularidades geométricas de la superficie del reflector a la sombra de las monturas y del soporte del horno, a las imperfecciones del reglaje, etc. Todos estos pequeños detalles adquieren una importancia considerable si se quiere una concentración elevada en general, los hornos solares se montan sobre el foco de un espejo parabólico fijo.

El cociente entre la energía efectivamente recibida y la que se calcula a partir del factor de concentración, se denomina factor de horno, la concentración efectiva es $C_e = F_c$.

El factor de horno como quedó establecido es el resultado de todas las pérdidas producidas desde el Sol hasta el horno, siendo su determinación compleja en virtud de que considera una serie de factores de transmisibilidad quedando al margen por

todas las pérdidas inevitables, su valor es dado por la ecuación $F = (n_1, n_2, n_3, \dots, n_n)$, en la que los diversos factores individuales dependen del tipo particular del horno bajo estudio y del grado deseado de exactitud de todos los elementos constitutivos del horno, es decir, considera las pérdidas por mala orientación del concentrador, pérdidas por el marco del espejo, pérdidas por imperfecciones geométricas, pérdidas de reflectividad en la superficie, pérdidas debidas al soporte de la muestra, pérdidas por transmisión de la luz al pasar por el espejo, etc.

El factor de horno puede ser muy variable según la construcción, sin embargo, aún en las mejores condiciones no puede esperarse sobrepasar $F = 0.6$ y $C_e = 20000$, debido a lo anterior fijaremos el valor del factor de horno en 0.3, con este factor de horno calcularemos la concentración efectiva.

$$C_e = FC = (0.3)(42408.24) = 12722.472$$

D) La energía recibida en el plano focal del espejo parabólico es absorbida por el cuerpo que se quiere calentar; la temperatura de este último aumenta y pierde energía por conducción y radiación.

Se puede calcular la temperatura máxima límite despreciando todas las pérdidas excepto las debidas a la radiación. La potencia recibida por unidad de superficie del horno es C_{el} . Si el horno es asimilable a un cuerpo negro, se puede admitir que resulta absorbida la totalidad de esta energía. Si el cuerpo radia únicamente por su cara delantera, la energía emitida es σT^4 (ley de Stefan) por unidad de área, se obtiene, $C_{el} = \sigma T^4$ o sea

$$C_{el} = \left(\frac{T}{64.5} \right)^4$$

$$T = \sqrt[4]{\text{Cel}, (64.5)}$$

$$T = \sqrt[4]{(12722.472)(1000\text{w/m}^2)(64.5)}$$

$$T = 3852.14^\circ\text{K}, T = 3579.1^\circ\text{C}$$

La discrepancia respecto al cuerpo negro y las pérdidas por conducción no permiten pasar de los 3800°C. (Fig 1.25)

TEMPERATURA DEL ABSORBEDOR

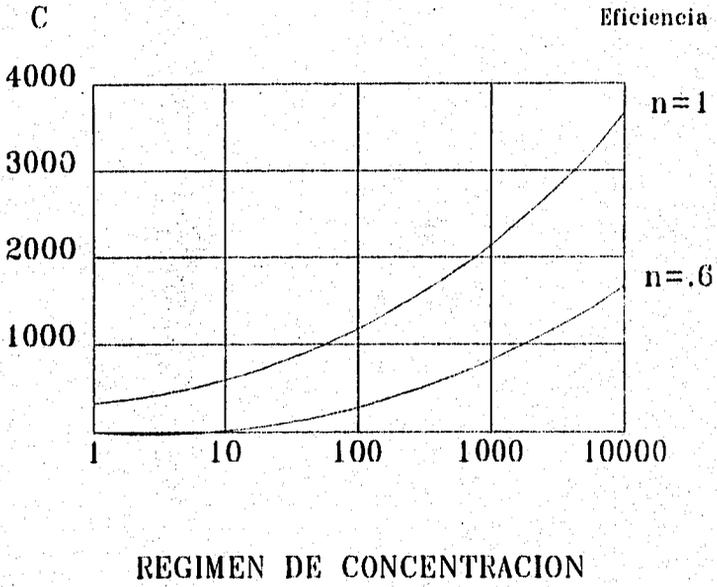


Fig. 1.25

3. DISEÑO DE DETALLE

3.1 TIPOS DE MONTAJES

El problema central en el diseño de reflectores paraboloides es el mecanismo de seguimiento; para conseguir que éste siga al sol manteniendo su plano frontal siempre normal a la dirección de los rayos solares.

En general todos los reflectores paraboloides deben cumplir con tres puntos importantes:

1. Orientación Norte-Sur
2. Angulo del eje polar; este ángulo siempre es igual a la latitud del lugar.
3. Angulo de declinación.

Se tienen principalmente dos tipos de montajes; el azimutal y el ecuatorial:

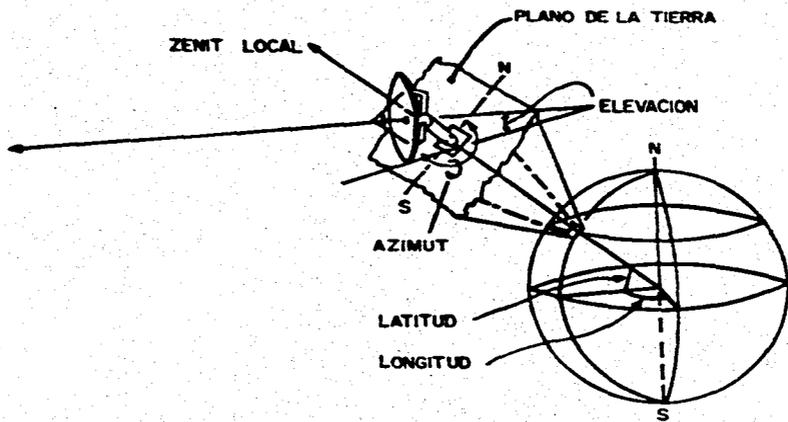
Montaje azimutal.

Implica dos movimientos distintos, la rotación sobre un eje vertical (en azimuth) y la inclinación del colector alrededor de un eje horizontal (fig. 1.26)

Montaje ecuatorial o polar.

Este garantiza una precisión máxima, el eje 1 se fija en una posición paralela al eje de la tierra, es decir, en dirección Norte-Sur, con una inclinación igual a la latitud geográfica. El giro sobre este eje da la rotación diurna (15° por hora). La declinación 2, se ajusta diariamente con el fin de que coincida con la declinación solar ($+23.25$ a -23.25) (fig. 1.27)

Fig. 1.26



Otros sistemas pueden emplear un espejo paraboloide fijo, con un espejo plano primario completamente ajustable. Este espejo plano puede estar montado ecuatorialmente (fig. 1.28) o en montaje azimutal. En el último de los casos también hay un segundo espejo plano inclinado a 45° para reflejar la radiación verticalmente hacia arriba, de forma que la superficie del reflector paraboloide esté en una posición mucho más protegida (mirando hacia abajo).

Puede montarse un panel grande consistiendo de un sistema directivo de espejos planos, en el que pueda ajustarse cada espejo individualmente sobre un carril semicircular. Todos los espejos planos pequeños reflejarán la imagen del Sol sobre un absorbedor montado en una torreta (fig. 1.29).

La instalación más grande que existe hasta la fecha está formada por más de 60 sistemas directivos cada uno con 180 espejos planos montados sobre la ladera de una loma. Cada uno es individualmente ajustable y se controlan mediante una computadora central, todos reflejan sobre un espejo parabólico grande, que a su vez enfoca sobre un absorbedor "el horno" (fig. 1.30).

MONTAJES

AZIMUTAL

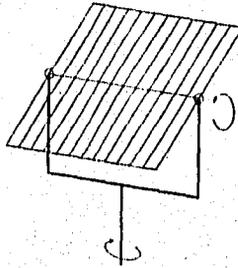


Fig. 1.28

ECUATORIAL

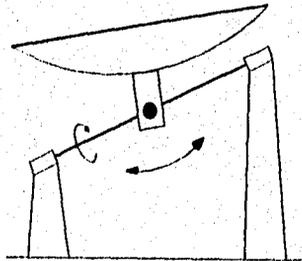
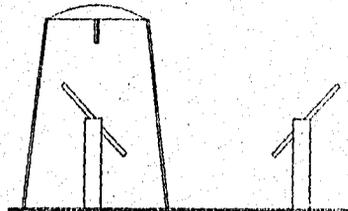
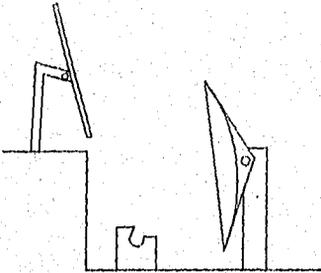


Fig. 1.29

MONTAJES

S.I.ECUATORIAL

S.I.AZIMUTAL



DIRECTIVO DE ESPEJOS

HORNO DE ODEILLO

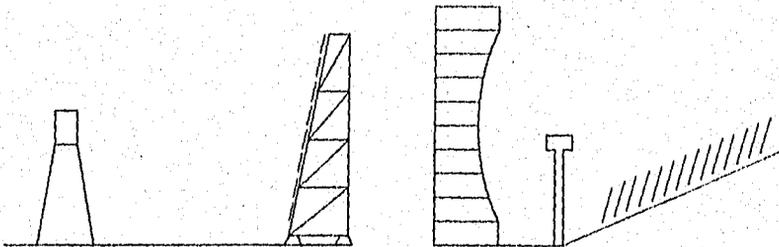


Fig. 1.30

3.2 SELECCION DE TIPOS DE MONTAJE

Como se ha visto anteriormente existen más de cinco tipos de montajes, todos estos montajes tienen sus ventajas y desventajas por lo cual después de un breve análisis de los factores de diseño y construcción, así como los económicos, se llegó a la conclusión de que el tipo de montaje más adecuado y sencillo es el ecuatorial o polar, este montaje garantiza una precisión máxima ya que consta de un solo movimiento, el cual puede ser automático o manual.

3.3 SELECCION DEL HOGAR

El problema más complejo y que ha recibido las soluciones más variadas y más originales es el del paraboloide. Se ha visto que, para un empleo rentable incluso en el laboratorio de la energía solar, deben utilizarse espejos parabólicos cuyas superficies se midan en metros cuadrados e incluso en cientos de metros. Sin embargo, el problema es completamente diferente según que la superficie del espejo no sea más que de algunos metros cuadrados, o muy grande. En este último caso, las consideraciones económicas juegan un gran papel, pues el costo de la construcción y de la manutención debe ser amortizado en un plazo razonable.

El hogar puede ser fijo o móvil. En general es fijo. Los dispositivos que se le colocan son la mayor parte de las veces complicados y pesados. El material a tratar es en general polvoriento por eso la mayoría de los hornos solares tienen un hogar fijo. Por consiguiente, debe regresarse al haz solar sobre el paraboloide con la ayuda de un espejo o de un sistema de espejos planos. Estos espejos planos móviles, llamados orientadores, deben seguir el movimiento del sol con una excelente precisión para obtener una temperatura estable en el hogar. Es así que se plantean dos problemas principales, primero, realizar unos espejos de una calidad óptica suficiente para que su introducción dentro del haz entre el sol y el espejo parabólico no disminuyan las cualidades de concentración de éste. Después, construir unas monturas que permitan un movimiento preciso y comandadas por un sistema de seguimiento automático. Como para los paraboloides, las técnicas son sobre todo función de la dimensión y, en el caso extremo de una instalación muy grande, se está obligado a emplear un gran número de orientadores de pendientes individualmente del movimiento del sol.

Tiene también gran importancia el saber seleccionar el sitio donde construir el horno solar. Hay que adoptar una región donde la transparencia atmosférica es en general buena y donde la duración de insolación es grande. Se escogen regiones áridas o montañosas, las primeras porque el hecho de la sequedad, la concentración de vapor de agua en la atmósfera es baja, y se sabe que el vapor de agua absorbe la energía solar en el infrarrojo.

Además en las regiones áridas, la duración de insolación es considerable. En las regiones montañosas, por el hecho de la altitud, no sólo se tiene una débil absorción por el vapor de agua, sino también una mejor transparencia de la atmósfera en todo el espectro. En cambio la insolación es más intermitente. Así, las regiones áridas dan una insolación constante pero con un poder calorífico menor que las regiones montañosas.

En la actualidad, temperaturas del orden de 3,200 grados son corrientes en hornos bien contruidos además de la temperatura máxima alcanzada, es interesante conocer el tiempo necesario para alcanzar una temperatura dada. En el caso de un horno solar real se encuentra que, por ejemplo, para un cuerpo de conductibilidad débil puede llegarse a 2,700 grados en 0.5 segundos si es muy absorbente. Para los metales, la conductibilidad y el estado de la superficie hacen más lento el aumento de la temperatura.

Sin embargo es posible fundir hierro (1,500 grados) en 6 a 7 segundos.

Principalmente nos encontramos con el problema de elegir un lugar fijo o móvil, se optó por seleccionar un lugar fijo debido a su sencillez de construcción y a que la mayoría de los grandes hornos solares (Odello-Francia) cuentan con un hogar fijo, pero se presenta otro problema, ya sea tener un hogar fijo en el foco del concentrador o utilizar un espejo o sistema de espejos planos.

Para nuestro horno se tomó la decisión de utilizar un hogar fijo en el foco del paraboloide, debido principalmente al menor número de pérdidas que tendría el horno, ya que la utilización de espejos auxiliares nos incrementa el costo y las pérdidas en más de un 20%.

3.4 TIPOS DE SUPERFICIE REFLEJANTE

Existen dos tipos diferentes de superficies reflejantes. Uno se usa para reflejar la radiación solar directa incidente sobre un absorbedor deseado, el otro tipo se puede usar como superficie selectiva de muy baja emisividad sobre absorbedores fototérmicos; generalmente las superficies selectivas de baja emisividad son a base de pinturas blancas, las cuales son útiles cuando se desea una reflejancia total en forma difusa.

Existen dos configuraciones típicas de espejos dependiendo de la superficie en que el material reflejante se deposite.

Si el metal reflejante se deposita en la parte trasera de un material estable e impermeable entonces dice que es un espejo de segunda superficie; los espejos de primera superficie son aquellos en que el metal se deposita sobre la superficie de la base reflectora o sea en la cara frontal del material reflector.

Estos dos tipos de espejos requieren una cubierta protectora de la película reflectora. Generalmente el sustrato de un espejo de segunda superficie se escoge por sus propiedades de durabilidad y tersura, mientras que el sustrato para un espejo de primera superficie se escoge por sus propiedades estructurales y también de tersura; también requieren de una película delgada transparente, protectora del medio ambiente. Un requerimiento adicional para la película protectora en los espejos de primera superficie es que esta no debe dispersar los rayos reflejados.

REFLEJANCIA ESPECTRAL

Una propiedad importante de una superficie es la reflejancia espectral; ésta mide la habilidad de una superficie y su eficiencia para poder reflejar la radiación incidente. Existen muchos materiales que reflejan eficientemente en un punto del espectro pero son muy pobres en otros. Por ejemplo, el cobre y el oro son buenos reflectores en el infrarrojo pero son ineficientes para reflejar energía solar en el visible. Los mejores reflectores de energía solar son la plata y el aluminio; estos dos metales tienen reflejancias, cuando éstas se miden respecto a la radiación dentro de la atmósfera terrestre, de .92 y .87 respectivamente.

REFLEJANCIA ESPECULAR

La reflejancia total solar no se relaciona con el grado de eficiencia para dirigir un haz solar a un absorbedor central. Sin embargo, existe una propiedad muy importante que es la especularidad; ésta es básicamente la cantidad de energía (radiación) que se refleja directamente de la superficie reflectora con el mismo ángulo que el haz incidente contenida dentro de un ángulo sólido.

En general la reflejancia especular depende de la longitud de onda y en principio la reflejancia monocromática se deberá integrar para la distribución espectral particular de energía incidente.

Un buen espejo plano debe cumplir los siguientes requerimientos para ser utilizado eficientemente en aplicaciones de energía solar:

- a) El valor de la reflejancia no debe ser menor de 85%.
- b) Debe ser altamente especular, o sea el espejo debe ser capaz de reflejar la energía solar en un haz que se disperse en menos de 2 miliradianes.
- c) La propiedad de reflejancia del espejo debe conservarse por varios años en condiciones ambientales, por lo menos en 5 años.
- d) Su mantenimiento en el lugar de trabajo debe ser sencillo o en su caso la sustitución del mismo debe ser fácil.
- e) Debe tener bajo costo, con el fin de que la inversión de capital sea mínima.
- f) Debe tener resistencia a la radiación ultravioleta y contaminantes, así como poca degradación ambiental.

DIFERENTES TIPOS DE ESPEJOS

Los metales constituyen una gran variedad de sustratos para generar espejos. El metal puede ser intrínsecamente un material reflectivo, como por ejemplo, una superficie de aluminio de alta pureza a base de un electropulido.

Ciertos metales, como el aluminio, pueden moldearse en conchas delgadas con un pulido óptico posterior. Sin embargo, los pulidos ópticos de metales son extremadamente complicados cuando el metal es blando, como es el caso de los metales altamente reflectivos. Cubriendo el sustrato metálico con una película dura, mejora la superficie pero se eleva el costo del espejo haciéndolo poco aceptable para aplicaciones solares.

Otro tipo de espejos es el que usa sustratos plásticos, opacos o transparentes, sobre los que se deposita la superficie reflectora por métodos químicos o al vacío. Las películas

plásticas (nylon, teflón, acrílico, mylar, etc.) ofrecen la opción atractiva de poder hacer espejos delgados y ligeros.

Ciertos materiales plásticos gruesos se pueden usar como sustratos de espejos; éstos tienen la ventaja de ser muy resistentes a daños debidos a impactos tales como piedras y granizo pero la desventaja está en la blandura del material, ya que pueden sufrir daños de abrasión en su manejo y limpieza. Si se usa este tipo de material como espejo de segunda superficie entonces la calidad óptica queda protegida pero la desventaja está en que los plásticos gruesos transparentes son caros y además sufren deterioro bajo el paso, a través de ellos, de un doble flujo de radiación.

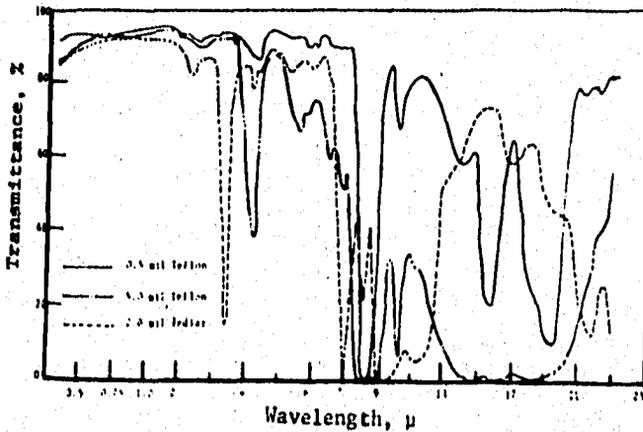
Los espejos que usan como sustratos al vidrio o cerámica vitrea son excelentes. Estos espejos son dimensionalmente estables y pueden fabricarse fácilmente en formas bidimensionales por métodos de deformación térmica por gravedad, sin dañar la calidad original de las superficies externas. Las tolerancias en la temperatura para la deformación son bastante críticas, además la deformación térmica en vidrio es más cara que en plásticos.

Los espejos frontales o de primera superficie en vidrio se pueden formar cubriendo su parte frontal con el material reflejante, por procesos químicos o con técnicas de vacío; sin embargo, estos espejos pueden sufrir abrasión o ataques químicos fácilmente. Los espejos de segunda superficie son los más durables, comparados con cualquier otro, excepto el vidrio, puede dañarse por impacto de objetos y granizo. El grueso del vidrio queda sujeto a criterio del daño que pueda sufrir y el costo puede algunas veces ser prohibitivo. El vidrio utilizado en este tipo de espejos debe ser lo más transparente ya que los rayos solares lo atraviesan dos veces y pequeñas impurezas de fierro pueden bajar la eficiencia de un 5 a 7 por ciento. También deben evitarse al máximo las burbujas dentro del vidrio. Por ejemplo,

los llamados vidrios blancos, que son fabricados de tal manera que no se trata de evitar las impurezas que pueden absorber la radiación solar sino que se le añaden algunas sustancias químicas para reducir la absorción. Sin embargo, obtener estos espejos con formas geométricas de parábola, paraboloide, circular, cónica, etc., es bastante complicado.

3.5 SELECCION DEL MATERIAL REFLEJANTE

Se realizó el estado de las superficies reflejantes dando por resultado que el plástico mylar es el más adecuado, debido a las siguientes causas: Sus buenas propiedades mecánicas, térmicas y ópticas. ver grafica (1.31 y 1.32)



Infrared spectra of polyethylene (PE) and Mylar (PET). (Adapted from

Sheet, self-supporting

- Polycarbonate (PCO)
- Polymethylmethacrylate (PMMA)

Flexible films

- Polyethylene (PE)
- Polypropylene (PP)
- Polyvinyl chloride (PVC)
- Polyvinyl fluoride (PVF), Tedlar
- Polyethylene terephthalate (PET), Mylar
- Polytetrafluoroethylene (TFE), Teflon
- Polyfluoroethylene propylene (FEP), Teflon

Supported reinforced film

- Polymethylsiloxane (silicone)
- Glass-reinforced polyester, Kalwall and Filon
- Plastic/plastic laminates, Tedlar/Filon

Fig. 1.31

Thermal and Radiative Properties of Collector Cover Materials

Material name	Index of refraction (n)	τ (solar) ^a (%)	ρ (solar) ^a (%)	τ (infrared) ^b (%)	Expansion coefficient (in/in · °F)	Temperature limits (°F)	Weatherability (comment)	Chemical resistance (comment)
Lexan (polycarbonate)	1.586 (D 542) ^c	125 mil 64.1 (± 0.8)	125 mil 72.6 (± 0.1)	125 mil 2.0 (est) ^d	3.75 (10 ⁻⁶) (H 696)	250-270 service temperature	Good: 2 yr exposure in Florida caused yellowing; 5 yr caused 5% loss in τ	Good: comparable to acrylic
Plexiglas (acrylic)	1.49 (D 542)	125 mil 89.6 (± 0.3)	125 mil 79.6 (± 0.8)	125 mil 2.0 (est) ^d	3.9 (10 ⁻⁶) at 60°F; 4.6 (10 ⁻⁶) at 100°F	180-200 service temperature	Average to good: based on 20 yr testing in Arizona, Florida, and Pennsylvania	Good to excellent: resists most acids and alkalis
Teflon F.E.P. (fluorocarbon)	1.343 (D 542)	5 mil 92.3 (± 0.2)	5 mil 89.8 (± 0.4)	5 mil 25.6 (± 0.5)	5.9 (10 ⁻⁶) at 160°F; 9.0 (10 ⁻⁶) at 212°F	400 continuous use; 475 short-term use	Good to excellent: based on 15 yr exposure in Florida environment	Excellent: chemically inert
Tedlar P.V.F. (fluorocarbon)	1.46 (D 542)	4 mil 92.2 (± 0.1)	4 mil 88.3 (± 0.9)	4 mil 20.7 (± 0.2)	2.8 (10 ⁻⁶) (D 695)	225 continuous use; 350 short-term use	Good to excellent: 10 yr exposure in Florida with slight yellowing	Excellent: chemically inert
Mylar (polyester)	1.64-1.67 (D 542)	5 mil 86.9 (± 0.3)	5 mil 80.1 (± 0.1)	5 mil 17.8 (± 0.5)	0.94 (10 ⁻⁶) (D 696-44)	300 continuous use; 400 short-term use	Poor: ultraviolet degradation great	Good to excellent: comparable to Tedlar
Sunlite ^e (fiberglass)	1.54 (D 542)	25 mil (P) 86.5 (± 0.2) 25 mil (R) 87.5 (± 0.2)	25 mil (P) 75.4 (± 0.1) 25 mil (R) 77.1 (± 0.7)	25 mil (P) 7.6 (± 0.1) 25 mil (R) 3.3 (± 0.3)	1.4 (10 ⁻⁶) (D 696)	200 continuous use causes 5% loss in τ	Fair to good: regular, 7 yr solar life; premium, 20 yr solar life	Good: inert to chemical atmospheres
Floas glass (glass)	1.518 (D 542)	125 mil 84.3 (± 0.1)	125 mil 78.6 (± 0.2)	125 mil 2.0 (est) ^d	4.8 (10 ⁻⁶) (D 696)	1350 softening point; 100 thermal shock	Excellent: time proved	Good to excellent: time proved

EJEMPLO DEL PLASTICO MYLAR

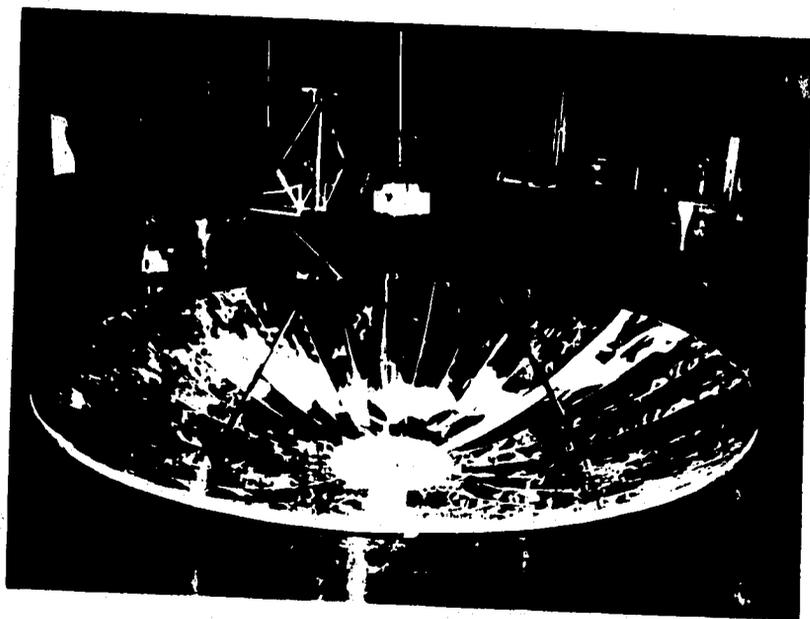


Fig. 1.32

4. CONSTRUCCION

4.1 FABRICACION DE LA BASE

La construcción del horno se llevó a cabo de la siguiente manera.

1. Se construyó una base de cemento de las siguientes dimensiones: 43.3" x 43.3" x 5.9"; en la cual se fijaron dos tornillos de 2" para el asentamiento de la estructura a construir. (Fig 1.33)

2. La estructura se construyó en dos partes; la primera se realizó con los siguientes materiales: 4 tramos de ángulo de 2" x 3/16" y 15.7", 4 tramos de ángulo de 1 1/2" x 1/8" x 27.5" y tubo de diámetro de 2 3/4" con un espesor de 1/8" y una longitud de 55.1" .

La segunda se realizó con un tubo de diámetro de 3 1/2" con un espesor de 1/8" y una longitud de 16" cm, al cual se le barrenaron 4 orificios y se soldaron 4 tuercas de 1 1/2" al extremo del tubo se le soldó una placa de 1/8" y 9 cm por lado. En la parte superior de ésta se soldaron dos placas de 1/4" y 8 cm por lado. (Fig 1.34)

BASE DE CEMENTO.

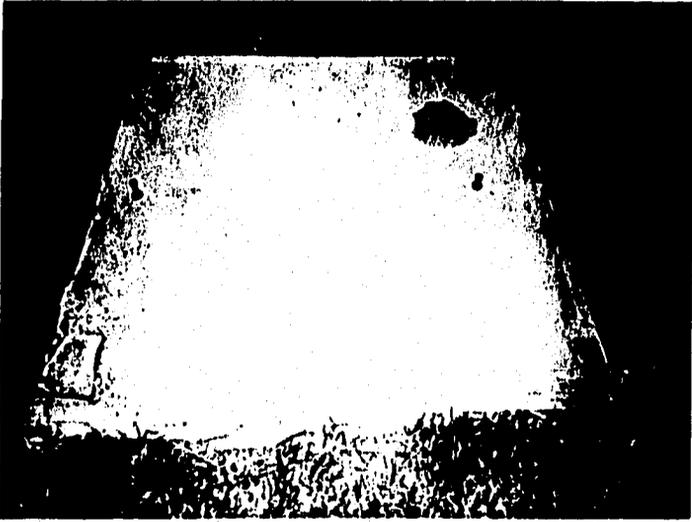


Fig. 1.33

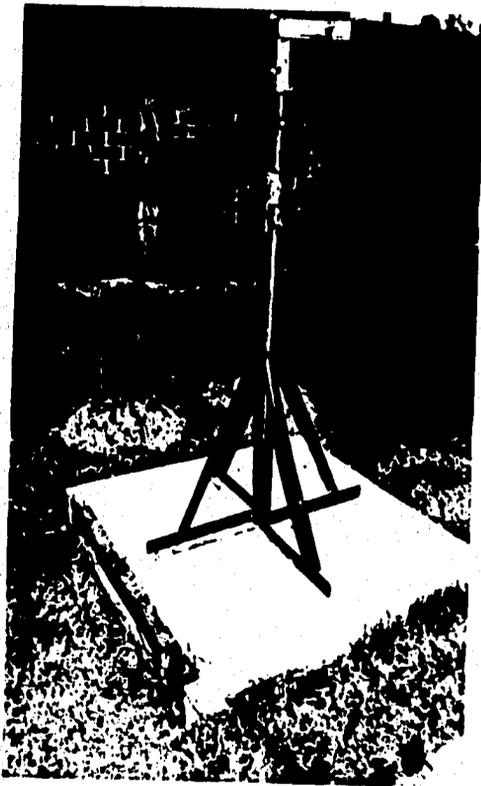


Fig. 1.24

4.2 FABRICACION DEL MECANISMO DE SEGUIMIENTO

La construcción del mecanismo de seguimiento se llevó a cabo siguiendo paso a paso las características del montaje ecuatorial:

La latitud fue fijada por medio de un espárrago de $3/4"$ de 40 cm. (tipo rosca) (fig 1.35)

La declinación se obtuvo por medio de un manivela manual que constó de un espárrago de $3/4"$ y 70 cm, sujeta por ángulo de $2"$ (fig. 1.36 y 1.37)

Para el seguimiento diario del Sol se colocó una manivela sujeta por ambos lados con ángulo de $2"$. (fig 1.38)

El paraboloide está construido con aluminio de $3/4$ y una malla de acero galvanizado (fig. 1.39), consta de 4 gajos recubiertos cada uno con fibra de vidrio y pasta resanadora industrial (fig. 1.39 y 1.40).

El paraboloide se fija mediante 4 abrazaderas al plato contenido en el mecanismo de seguimiento. (fig 1.41 y 1.42)

Finalmente se colocó el plástico mylar de 75 micras metalizado.

También se colocó un tripie de aluminio de 140 cm de largo para colocar el horno. (Fig 1.43)

MANIVELA DE LATITUD



Fig. 1.35



Figs. 1.36 y 1.37

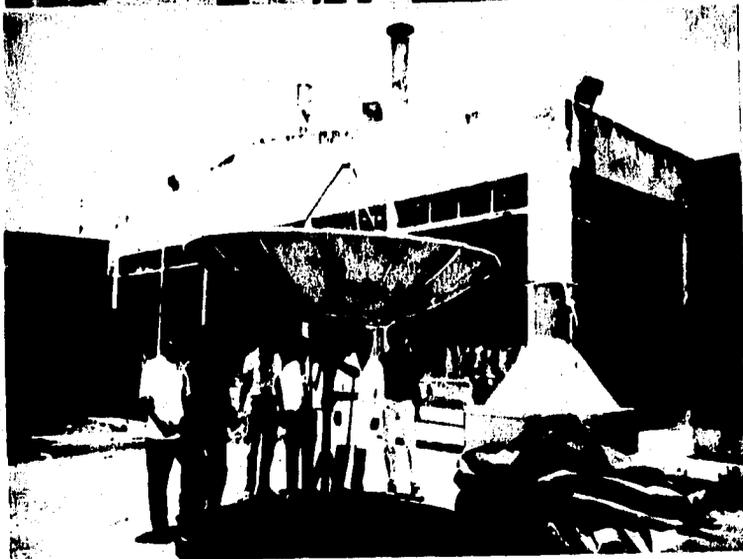
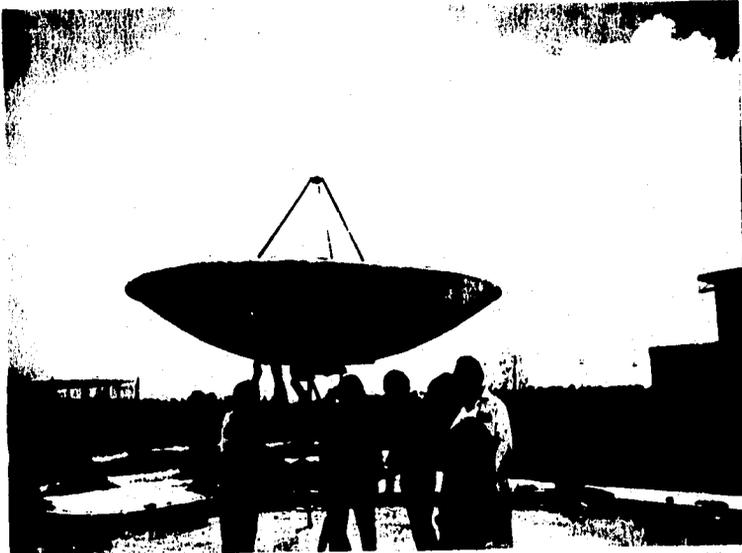


Fig. 1.38



Fig. 1.39





Figs. 1.41 y 1.42

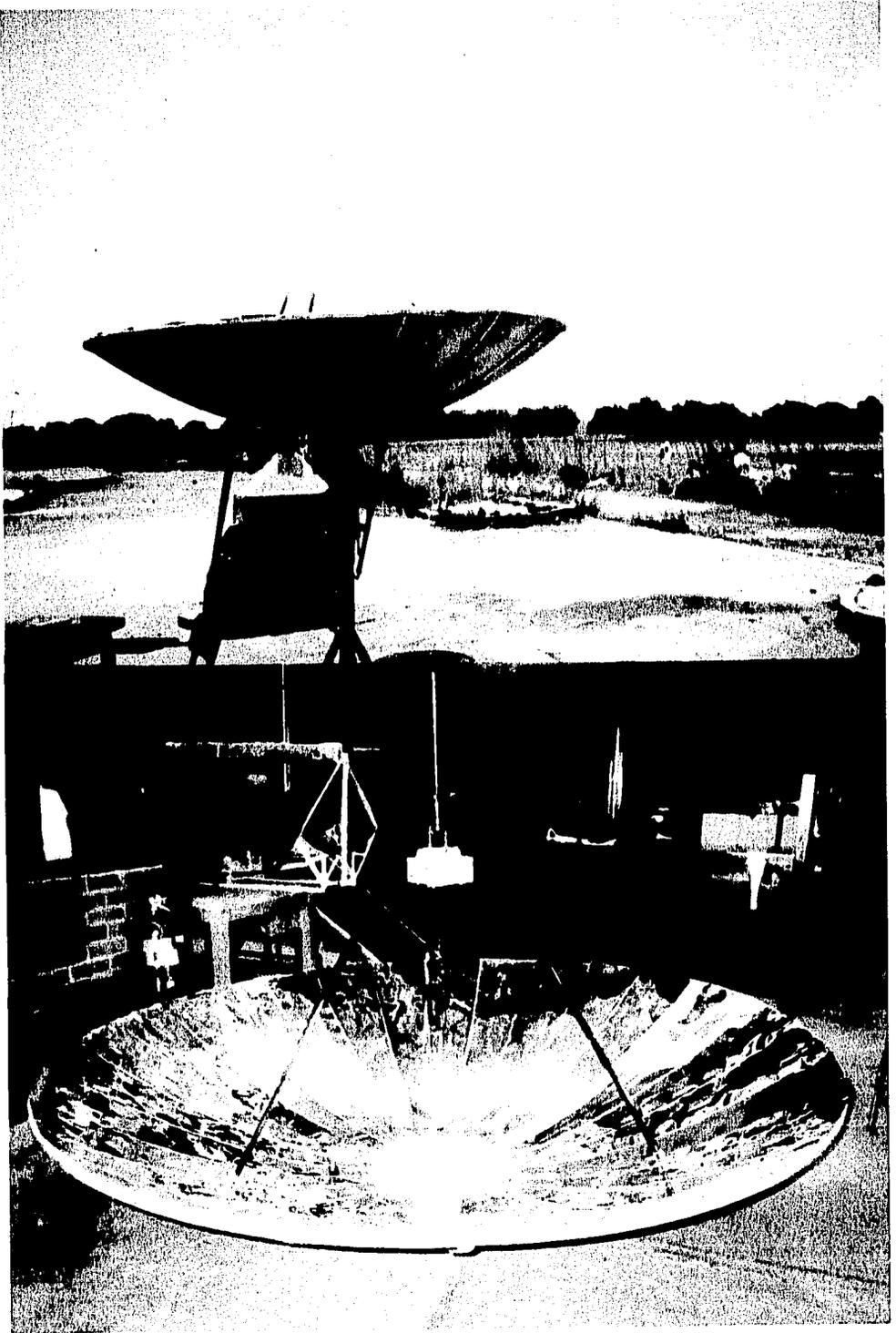


Fig. 1.43

4.3 COSTO DE CONSTRUCCION

DESCRIPCION	FECHA	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	IMPORTE
ESPARRAGO 3/4" 1m	5/OCT/95	\$ 24.00	1	\$ 27.60
TUERCA 3/4"	5/OCT/95	\$ 1.50	8	\$ 13.80
TUERCA 1/2"	5/OCT/95	\$ 1.40	13	\$ 20.93
TORNILLO 1 1/2" x 1 1/4"	3/OCT/95	\$ 2.00	9	\$ 20.70
ANGULO 2" x 1/8" x 6m	4/AGO/95	\$ 70.50	3 m	\$ 40.53
ANGULO 2" x 3/16" x 6m	4/AGO/95	\$ 75.00	3 m	\$ 43.12
ANGULO 1 1/2" x 1/8" x 6m	4/AGO/95	\$ 55.70	3 m	\$ 32.02
LOCALIZADOR DE ANGULOS	6/DIC/95	\$ 40.20	1	\$ 46.23
CATALIZADOR MEK-400 DE 20 gr	3/ENE/96	\$ 1.13	2	\$ 2.58
LAMINA ALUMINIO cal. 26	4/ENE/96	\$ 109.00	1	\$ 125.35
FIBRA DE VIDRIO DE 1 1/2" x 36"	5/ENE/96	\$ 25.09	5 Kg	\$ 144.25
RESINA MR-250	5/ENE/96	\$ 17.60	9 Kg	\$ 182.16
ESMALTE EN SPRAY NEGRO	10/ENE/96	\$ 20.15	3	\$ 69.51
PLASTICO MYLAR	11/ENE/96	\$ 200.00	2 Kg	\$ 400.00
PASTA RESANADORA	11/ENE/96	\$ 80.00	4	\$ 320.00
ABRASADERAS	11/ENE/96	\$ 5.00	4	\$ 20.00
ALUMINIZADO	20/ENE/96	\$ 40.00	10 m ²	\$ 400.00
VARIOS	20/MAY/96	-----	-----	\$ 300.0
T O T A L	-----	-----	-----	\$ 2208.78

4.4 INSTALACION DEL HORNO

Para la realización de las primeras pruebas, el horno fue trasladado a la F.E.S. Cuautitlán.

Se procedió a inspeccionar el terreno donde se va a instalar el horno, el área donde se va a colocar debe estar libre de cualquier obstáculo que pudiera interferir la radiación solar; esto es: árboles, edificios u otro objeto que impida la visibilidad del sol.

Localizado el lugar ideal se realizó el anclaje de la base por medio de taquetes de expansión.

El primer paso a seguir fue la orientación del concentrador en dirección Norte-Sur, esto se logró mediante la localización del Norte verdadero, el cual se puede encontrar por medio de una brújula (fig 1.44) y un mapa de declinación magnética.(1.45)

Realizado lo anterior se investigaron los datos de latitud y longitud para la F. E. S. Cuautitlán siendo estos los siguientes:

Latitud: 19.5° Norte

Longitud: 99.5° Oeste

Teniendo estos datos se orientó el horno hacia el Norte verdadero, se fijó el valor de la latitud en el sistema de seguimiento, además de la declinación.(Fig 1.46)

NORTE REAL

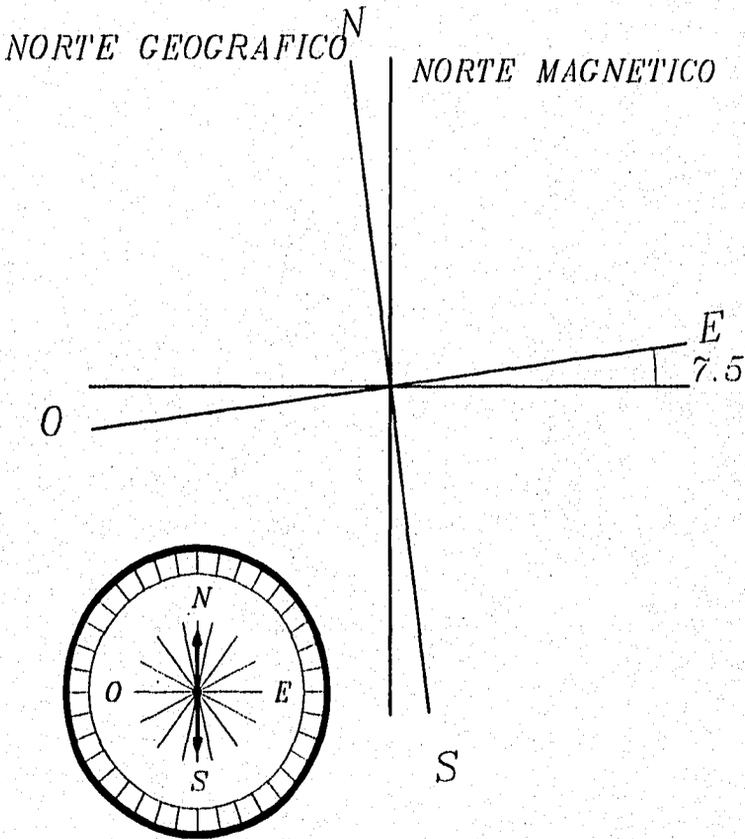


Fig. 1.44

MAPA DE DECLINACION MAGNETICA.

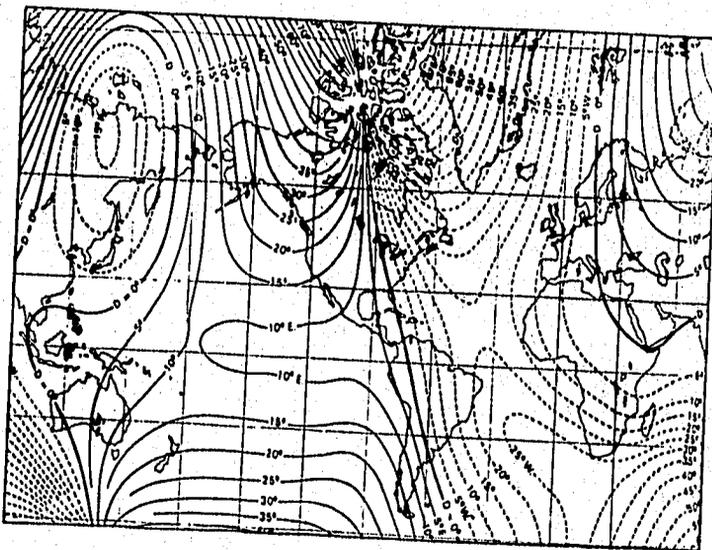


Fig. 1.45

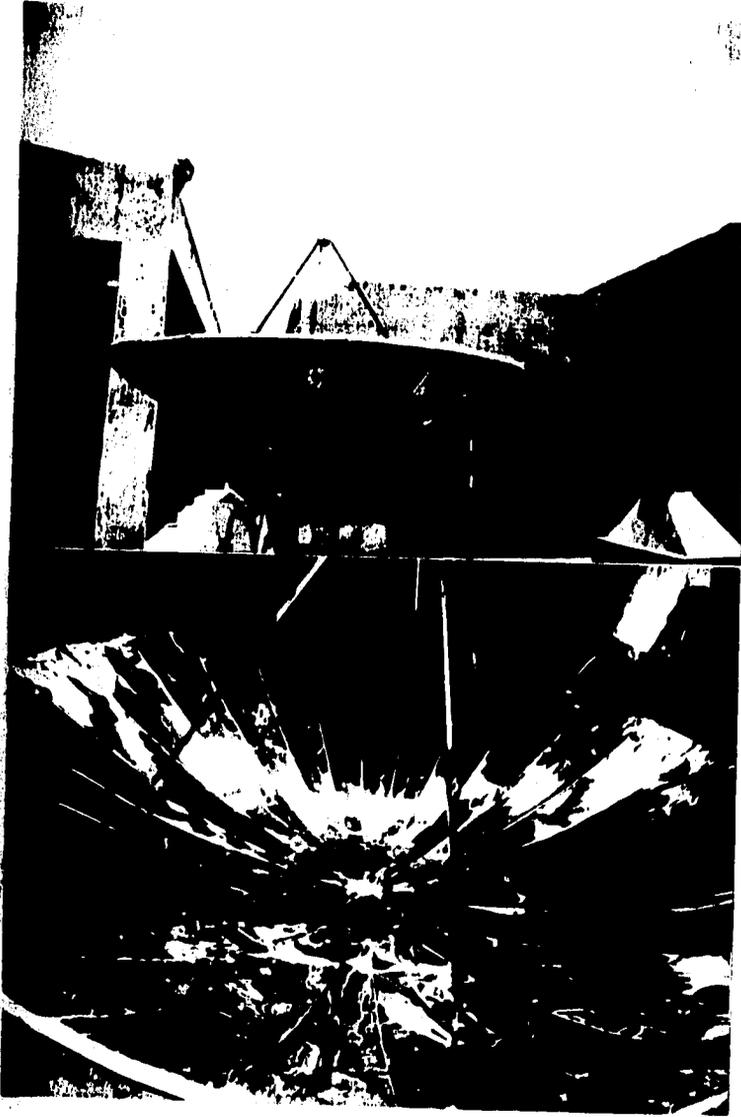


Fig. 1.46

4.5 PRUEBAS DE OPERACION

Las características finales del horno fueron las siguientes:

Altura total: 2.23 m

Peso total: 100 kg

Características del sistema de seguimiento.

Latitud: puede ajustarse de 0 a 40°

Orientación Norte-Sur: se puede ajustar para cualquier lugar.

Declinación: Puede ajustarse de 23.5° a -23.5°

En pruebas realizadas en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, en el mes de mayo se logro fundir diferentes tipos de materiales como fueron el aluminio a una temperatura de 760 grados centigrados, sinalco a 500 grados y plomo a 360 grados, para tomar lectura de las temperaturas se conto con un termopar tipo "k" y se obtuvieron los siguientes datos.

(ver tabla).

TABLA I

MES: MAYO DIA: 21 TEMP. AMBIENTE: 24°C
 TIEMPO DE LECTURA: EN SEGUNDOS
 MATERIAL A FUNDIR: PLOMO
 TERMOPAR: TIPO K CROMEL vs ALUMEL

HORA	LECTURA EN MILIV.	TEMPERATURA EN °F	TEMPERATURA EN °C
13:45	10.3	460	237.77
13:46	11.2	550	267.77
13:47	13.0	640	337.77
13:48	14.2	675	357.22
13:49	14.7	690	365.55
13:50	15.0	700	371.11
13:51	16.9	785	418.33
13:53	17.6	800	426.66
13:58	19.2	875	466.33
14:00	20.0	983	493.33
14:01	21.2	989	528.33
14:02	22.1	995	531.66
14:10	22.8	1000	537.00
14:11	23.0	1010	543.33
14:13	23.5	1080	582.22

TABLA II

MES: MAYO DIA: 22 TEMP. AMBIENTE: 26°C
 TIEMPO DE LECTURA: EN MINUTOS
 MATERIAL A FUNDIR: ALUMINIO
 TERMOPAR: TIPO K CROMEL vs ALUMEL

HORA	LECTURA EN MILIV.	TEMPERATURA EN °F	TEMPERATURA EN °C
11:00	13.4	630	332.22
11:20	14.7	680	360.00
11:40	15.2	700	371.11
12:00	17.6	800	428.66
12:20	20.0	936	502.22
12:40	22.2	1000	537.77
13:00	24.5	1150	621.11
13:20	24.5	1150	621.11
13:40	24.5	1150	621.11
14:00	25.2	1170	632.22

TABLA III

MES: MAYO DIA: 24 TEMP. AMBIENTE: 26°C
 TIEMPO DE LECTURA: EN MINUTOS
 MATERIAL A FUNDIR: ZINALCO
 TERMOPAR: TIPO K CROMEL vs ALUMEL

HORA	LECTURA EN MILIV.	TEMPERATURA EN °F	TEMPERATURA EN °C
11:30	11.4	527.3	275.1
11:50	15.6	753.1	400.5
12:10	17.5	800	426.66
12:30	19.3	899	481.6
12:50	20.0	900	482.2
13:10	21.2	931	499.4
13:30	22.2	1000	537.7
13:50	23.0	1010	543.33
14:10	23.0	1010	543.33
14:30	23.0	1010	543.33
15:10	23.4	1070	578.6

TABLA IV

MES: MAYO DIA: 27 TEMP. AMBIENTE: 25°C
 TIEMPO DE LECTURA: EN MINUTOS
 MATERIAL A FUNDIR: ZINALCO
 TERMOPAR: TIPO J HIERRO vs CONSTANTAN

TEMPERATURA EN EL FOCO

HORA	LECTURA EN MILIV.	TEMPERATURA EN °F	TEMPERATURA EN °C
13:30	29.1	1000	537.77
13:30	31.6	1150	621.11
13:30	31.8	1160	626.66
13:30	32.1	1200	648.88
13:30	32.9	1210	654.44
13:30	33.7	1300	704.44
13:30	34.0	1320	715.55
13:30	34.1	1321	716.11
13:31	34.4	1321	716.11
13:31	40.03	1500	815.55

5. APLICACIONES EN GENERAL

5.1 RECEPCION DE LA ENERGIA SOLAR EN EL HOGAR DEL ESPEJO CONCAVO.

La energía recibida por el cuerpo colocado en el hogar es en parte absorbida por éste y su temperatura sube. La fracción de energía no absorbida es difundida o reflejada. A medida que la temperatura se eleva, el cuerpo radía y aparecen intercambios por convección y conductibilidad. Se alcanza la temperatura máxima cuando la suma de las energías perdidas es igual a la energía recibida. Es pues, concebible que la temperatura del cuerpo calentado dependa de su naturaleza, de su estado físico y de la manera como se presenta a la radiación. Así, una placa metálica pulida colocada en el hogar se calentará débilmente, pues su factor de absorción es muy débil. Sin embargo, si se forma una cavidad con esta placa presentando la abertura hacia el hogar, se acerca a las condiciones de cuerpo negro y la absorción, aunque débil en un punto de la superficie interna, se vuelve considerable por el hecho de las reflexiones múltiples.

Un cuerpo puede ser débilmente reflector pero ser transparente a la radiación incidente, cuyo caso es el de ciertos cristales. Si se quieren llevar esos cristales a alta temperatura, hay que tratarlos bajo la forma pulverizada, pues entonces las difusiones múltiples favorecen la absorción de la radiación. También se han de tratar en polvo los cuerpos fuertemente conductores que, bajo forma masiva, intercambiarían su energía por conducción.

Vemos pues, que los cuerpos no pueden ser tratados de cualquier manera y que hay que adoptar un método de tratamiento en función de la materia del cuerpo y de la temperatura a alcanzar. Esto nos conduce a considerar dos categorías de

cavidad (estos últimos en atmósfera condicionada cuando la presencia del aire es molesta).

A) Tratamiento directo.

En este caso, la radiación es concentrada sobre la superficie del producto por tratar. Puede trabajar indiferentemente con un espejo de eje horizontal o vertical si el producto debe quedar sólido en el curso del tratamiento. Si el producto es pulverizado o debe fundirse, más vale concentrar la energía verticalmente de arriba para abajo. En el caso más simple se coloca el polvo por ejemplo, en un recipiente situado en el hogar del espejo. La fusión se opera casi instantáneamente (más o menos 1 seg.) a una temperatura que puede llegar a 3,000° C. El cuerpo obtenido está perfectamente exento de contaminación. Este método simple presenta el inconveniente de no permitir el tratamiento más que de una cantidad muy baja de materia. Entonces puede colocarse el polvo en una barquilla que se traslada lentamente bajo la radiación. El producto fundido y solidificado presenta entonces la forma de una bagueta. Si puede aglomerarse previamente el producto destinado a ser fundido, puede entonces operarse una fusión por zona siguiendo un eje vertical. La bagueta del producto aglomerado se presenta bajo la radiación y desplazada verticalmente hacia arriba o hacia abajo, según el caso. La fusión se solidifica de nuevo y se obtiene una bagueta.

También puede obtenerse una bagueta a partir de un producto polvoriento sin tener que aglomerarlo previamente. Cuando se calienta la extremidad de una bagueta sólida, se forma un cráter por fusión. Si se vierte polvo en un cráter, se derrite, y una capa subyacente se solidifica y así la bagueta se prolonga progresivamente: este es el método por aportación continua de materia.

B) Tratamiento en cavidad.

Si un cuerpo es débilmente absorbente porque es reflector (metal) o transparente, difícilmente pueden aplicarse los tratamientos directos. Además, estos últimos no son fácilmente controlables. Se tiene, entonces, que recurrir a los tratamientos en cavidad. La energía es recibida por las paredes de la cavidad, de modo que las pérdidas son muy débiles. Se limita la abertura al mínimo necesario para aceptar toda la radiación dada por el espejo cóncavo. Tenemos entonces excelentes condiciones de trabajo. Los rendimientos son prácticamente independientes de las sustancias por tratar. Se puede tener un excelente calorífugo y así, reducir las pérdidas. La calefacción es homogénea y puede controlarse fácilmente con ayuda de pantallas.

En la práctica, se utiliza sobre hornos giratorios alrededor de sus ejes ópticos a una velocidad suficientemente elevada para que el producto permanezca sobre el contorno por la fuerza centrífuga. La cinta metálica que contiene el polvo se enfría por una circulación de agua para que no llegue a alcanzar una temperatura igual a la de su contenido. El eje de rotación puede ser horizontal, vertical u oblicuo, incluso con el orificio hacia abajo si la velocidad es suficiente para que el polvo se quede en el interior. La fusión se lleva a cabo progresivamente cada vez más profundamente en el producto, la parte tratada estando únicamente en contacto con la parte no tratada. Este método permite aprovechar completamente las ventajas del horno solar; es decir, una calefacción rápida, uniforme, a temperatura muy elevada y sin ninguna contaminación, o incluso abrigado del aire o en atmósfera condicionada, como vamos a verlo.

C) Tratamiento en atmósfera condicionada.

La energía solar permite el tratamiento al abrigo del aire,

sea en un gas con presión atmosférica o con presión diferente, o en el vacío. En las grandes instalaciones es difícil trabajar con una presión muy diferente de la atmosférica.

Es posible tapar la abertura del horno por un globo o un espejo pequeño transparente que necesitaría ser muy grueso y absorbería mucho. Sin embargo, se hacen tratamientos en atmósfera condicionada cuando es necesario; por ejemplo, con hidrógeno o gas neutro. También se puede trabajar sin tapa admitiendo el gas por atrás del horno con evacuación hacia adelante. La ligera sobrepresión que reina en el interior es suficiente para impedir la entrada de aire.

Se pudieron efectuar tratamientos bajo presiones yendo hasta 20 kg/cm² en una bomba cerrada por un espejo. Se está limitado por el hecho de que éste debe ser grueso y no demasiado grande para tener una resistencia mecánica suficiente.

5.2 MEDIDAS FISICAS DEL HORNO SOLAR

Bajo este título agrupamos dos tipos de trabajos cuya finalidad es diferente. En el primero, buscamos determinar las condiciones físicas que reinan en el horno solar, energía recibida y temperatura obtenida. En el segundo, utilizamos el horno solar para medir las propiedades físicas de los cuerpos a alta temperatura.

A) Medida de la energía en el hogar del horno solar.

Se calcula por la teoría de la energía, que puede esperarse recibir en un horno solar. Conviene sin embargo, conocer esta energía lo más exactamente posible para verificar la teoría y también para saber cuáles trabajos pueden emprenderse con éxito. Esta medida de energía se hace con el calorímetro de cuerpo negro. La radiación solar se recibe en una esfera absorbente abierta adelante, que llena las condiciones de cuerpo negro con suficiente aproximación. Esta esfera se calienta y transmite su calor a unos tubos que contienen agua en circulación. Se mide la temperatura del agua a la entrada y a la salida con unos termopares. Este aparato es análogo en su principio a un piroheliómetro de circulación de agua. Su forma y los materiales que constituyen son previstos para un uso en el hogar de un horno solar. Tal aparato permite estudiar una instalación. Se sabe cuál relación existe entre la energía recibida en el suelo (medida con un piroheliómetro simple) y la energía recibida en el hogar. Después se puede determinar con el conocimiento de la energía en el suelo, la energía disponible en el hogar.

B) Medida de las temperaturas en el horno solar.

Tanto para el control de los tratamientos químicos como para las medidas físicas efectuadas en el horno solar, es indispensable un conocimiento muy preciso de la temperatura.

Para las temperaturas inferiores a 2,000°C se utilizan los termopares clásicos. No es lo mismo para las temperaturas incluidas entre 2 000 y 3 000°C, que es lo normal para los hornos solares. Los termopares todavía utilizables reaccionan con la mayoría de los cuerpos en tratamiento y por consiguiente sólo pueden utilizarse excepcionalmente. Hay que recurrir a los pirómetros ópticos fotoeléctricos. Sin embargo, con estos instrumentos, el conocimiento de la verdadera temperatura no es inmediato. Además de la dificultad debida al hecho que el cuerpo radiante no es un cuerpo negro, dificultad que volvemos a encontrar en todas las medidas ópticas de temperatura, tenemos en el horno solar un elemento que es la radiación solar difundida por la superficie y recibida por el pirómetro. Dos procedimientos principales se emplean para liberarse de esta radiación:

a) Métodos de filtros.- Este método consiste esencialmente en colocar sobre el trayecto de los rayos que llegan del sol un filtro que presenta una banda de absorción muy intensa a una longitud de onda dada, y en emplear un pirómetro provisto de un filtro que sólo deja pasar la radiación que viene de la sustancia calentada en un dominio espectral estrecho centrado sobre esta longitud de onda. Así, la energía recibida en el hogar sólo estará un poco disminuida si la banda de absorción es estrecha o convenientemente colocada. Por ejemplo, puede recibirse la radiación solar a través de un filtro de plexiglás que transmite muy bien lo visible y el infrarrojo, pero es opaco hacia $1,7 \mu$. Con un filtro interferencial centrado sobre $1,7 \mu$ para el pirómetro, tenemos una buena medida.

b) Método por ocultación momentánea de la radiación solar.- Este método presenta la ventaja de no disminuir sensiblemente la energía recibida sobre la sustancia si la ocultación es muy corta (del orden de $1/100$ de segundo). Además, no necesita del uso de filtros de grandes dimensiones para las instalaciones grandes. Es sin embargo delicada su utilización desde el punto de vista

técnico, porque debe usarse un registrador muy rápido. Afortunadamente se dispone ahora de medios técnicos que permiten resolver estos problemas. Otra ventaja de este método reside en la facilidad relativa con la cual puede medirse la emisión de la sustancia calentada. En efecto, es muchas veces difícil realizar un cuerpo negro (falta de uniformidad, cavidad insuficiente), cuando la sustancia tiene una emisividad diferente de 1 y para conocerla debe medirse la temperatura aparente (temperatura de brillantez) para dos longitudes de onda. Si éstas no son muy diferentes puede considerarse que la emisividad varía poco de una a la otra y la aplicación de las fórmulas relativas a la radiación de los cuerpos negros nos permite encontrar la emisión y la temperatura verdadera. Tenemos pues al mismo tiempo una medida de la emisividad de la sustancia para una temperatura dada.

5.3 APLICACION DE LOS HORNOS SOLARES EN QUIMICA Y EN METALURGIA.

Hemos visto los varios métodos de tratamiento en el horno solar. Vamos ahora a desarrollar unos ejemplos que muestran las ventajas de los hornos solares sobre los otros medios de tratamiento de las sustancias a muy alta temperatura. Claro, el empleo del horno solar es y siempre será limitado en el tratamiento de productos relativamente caros pues también en el horno de 100 kw. no se tratarán nunca cantidades de sustancias considerables como en metalurgia o en química corriente.

Además el horno solar solo es realmente interesante a muy alta temperatura, y los productos que requieren tales temperaturas son generalmente costosos, pero, en este caso, los productos obtenidos son de una calidad superior a la de los que se obtienen en el horno eléctrico debido a la ausencia de contaminantes y de efectos de purificaciones más importantes. Las preparaciones que se hacen la hora actual con el mejor rendimiento son las operaciones en medio oxidante, por ejemplo, la fabricación de productos a base de óxido refractario. Citemos primero la fusión de la alúmina a 2,050°C en el horno centrifugo. Con la instalación de 50 kw. se obtienen hasta 15 kg/h de Corindón mucho más puro que en el horno eléctrico. Otra fusión interesante en el horno solar es la del cuarzo para obtener vidrio de silicio. Se concibe que éste, que se utiliza por sus propiedades de transparencia a la luz, debe ser muy puro. El horno solar es superior a todos los otros, aunque la técnica es bastante delicada por el hecho mismo de la transparencia del material que absorbe poco la radiación solar. Se llega de todos modos, a provocar la fusión hacia 1,700 °C.

Uno de los óxidos más importantes en el terreno de los ultrarefractarios es el óxido de Zirconio o zircone ZrO_2 . Su punto de fusión es elevado (2,700°C) y sus propiedades mecánicas

hacen de él un producto de los mejores para las técnicas modernas. La energía atómica especialmente exige ultrarefractarios de gran pureza. La zona de máxima temperatura en el horno solar se hace en un horno centrifugo, con una pequeña cantidad de cal para obtener un producto estable. Con el horno de 50 kw. puede obtenerse un rendimiento de 12 kg/h. El producto se tritura se clasifica y se utiliza para la industria de cerámicas para la realización de piezas refractarias.

En el caso de zirconato de calcio (ZrO_2Ca) el horno solar no sólo es preferible sino indispensable. Este cuerpo no fue nunca preparado de modo correcto fuera del horno solar. Este ultrarefractario tiene un punto de fusión más bajo ($2,350^{\circ}C$) que el óxido de zirconio, pero queda un buen aislador eléctrico a alta temperatura. Esta calidad hace de él un producto único.

El horno también tiene aplicaciones interesantes en metalurgia. Claro que su uso es limitado a los tratamientos que necesitan temperaturas elevadas y en vista de la elaboración de metales caros, citemos el tratamientos del wolframio en vista de obtener anhídrido tungsténico que sirve después para preparar el tungsteno.

5.4 PURIFICACION DE LAS SUSTANCIAS.

Es evidente que el hecho de llevar a muy alta temperatura y al abrigo de las contaminaciones una sustancia refractaria conduce a una purificación de dicha sustancia. La operación es particularmente simple en el caso de los cuerpos de punto de fusión elevada, pues las impurezas con punto de fusión inferior se evaporan. Es el caso del magnesio (punto de fusión $2,800^{\circ}\text{C}$), el óxido de torio ($3,050^{\circ}\text{C}$) y con un tratamiento de más duración para el aluminio ($2,050^{\circ}\text{C}$). Cuando la simple volatilización de las impurezas no es suficiente porque su tensión de vapor es insuficiente en las temperaturas de tratamiento, se introduce en la sustancia un cuerpo que da compuestos volátiles con las impurezas o también las lleva hacia el exterior de la masa fundida o cocida, ya sea por el orificio de acceso de la radiación, o a través de la masa polvorienta que está alrededor de la parte tratada. Si se enfría lentamente una masa fundida, se produce un fenómeno de segregación, las impurezas se juntan en gran parte en las últimas zonas que quedan al estado fundido. En fin, las impurezas migran en fase sólida desde las zonas llevadas a alta temperatura hacia las zonas más frías.

5.5 OPERACIONES FISICAS Y QUIMICAS

El horno solar es un instrumento excelente de estudio de las propiedades de los materiales cerámicos a altas temperaturas, por encima de las obtenidas normalmente en el laboratorio con llamas y corrientes eléctricas. Se realizan medidas de puntos de fusión, conductividad eléctrica, punto de sublimación, cambios de fase, calor específico, dilatación térmica, conductividad térmica, susceptibilidad magnética y emisión termoiónica. Se han inventado instrumentos muy ingeniosos para realizar estas medidas en los hornos solares, y se han realizado estudios cinematográficos de los procesos que suceden en las superficies a alta temperatura.

En los hornos se han realizado operaciones químicas y metalúrgicas a altas temperaturas. La fusión y sintetización de materiales cerámicos de altas temperaturas como el óxido de zirconio, se pueden conseguir fácilmente. La purificación se realiza destilando las impurezas más volátiles de un refractario. Por ejemplo, Trombe y Foex han descrito la purificación de Al_2O_3 sublimando Na_2O , H_2O , MgO , y otras impurezas a la gran temperatura conseguida con el horno solar. A veces se añade una impureza con una temperatura de sublimación baja para que arrastre al sublimarse a otras impurezas menos volátiles.

El refinado realizado por zonas, es un método excelente de purificación en el horno solar. Si una barra del material a purificar se mueve lenta y continuamente a lo largo del foco, las impurezas que se concentran en el área fundida se desplazan con el punto focal, hasta que llegan al extremo, que se corta y se elimina. Este proceso se puede repetir varias veces.

Trombe y Foex han descrito procesos químicos que incluyen la producción directa a altas temperaturas de óxido de zirconio a partir de silicato de zirconio y un alcali, de óxido de berilio

a partir de silicatos de berilio y aluminio, y de óxido de tungsteno a partir de wolframita. Han demostrado que el aumento del tamaño del horno hasta tamaños totales como el horno de 1,000 kw, hace crecer muy rápidamente la cantidad de productos que se pueden fundir.

Se ha coseguido producir óxido nítrico haciendo pasar aire por el refractario de un horno solar. Hace falta una temperatura superior a los 2,000 °C, y un instrumento para enfriar rápidamente el aire que contiene cantidades centesimales de óxido nítrico en equilibrio. El calor cedido en el enfriamiento se puede utilizar para calentar aire nuevo. Se ha propuesto este método para fabricar fertilizantes a partir del aire, pero como el horno se enfría por la noche, el costoso equipo no rinde todo lo que sería posible, y los refractarios tienen una vida corta debido a los choques térmicos diarios. Además, el ácido nítrico es un producto tan barato que los hornos solares encontrarían mejor utilización en la fabricación de productos más valiosos.

Los hornos solares se pueden utilizar tanto para la obtención de materiales a altas temperaturas, como para la producción de reacciones fotoquímicas. Si se coloca un receptor negro en el foco, toda la radiación se absorbe, y la temperatura subirá hasta los 3,000 °C o más si el receptor permanece en estado sólido o líquido. La temperatura continúa subiendo hasta que las pérdidas de calor por convección y radiación se igualan con el calor proporcionado por el horno. Si se coloca un objeto transparente en el foco, la radiación pasará a través de él y la temperatura no subirá. Incluso el agua colocada en un recipiente de cuarzo absorbe tan poca luz solar que no se calienta seriamente. La luz ultravioleta y la luz visible están presentes en gran cantidad, y si se coloca en el foco cualquier material absorbente y activo fotoquímico, se producirá una reacción muy fuerte. Los hornos solares (más propiamente llamados concentradores de radiación solar) son útiles para producir

fotoquímicamente reacciones de rendimiento cuántico muy bajo, que necesitan muchos fotones para la reacción de una sola molécula. Sin la luz focalizada es difícil a veces conseguir bastantes productos de la reacción para realizar mediciones precisas, como por ejemplo en el caso de la fotólisis del agua en hidrógeno y oxígeno en la presencia de sales de cerio disueltas. Marcus y Wohlers han realizado contribuciones a la realización de hornos solares para las reacciones fotoquímicas. Encontraron que es preferible utilizar técnicas de flujo para mantener la temperatura y minimizar cualquier reacción reversible que pueda ocurrir. El calentamiento de la corriente de fluido es menor que el producido con fuentes artificiales de luz en contacto próximo con el sistema que está reaccionando fotoquímicamente. Los autores dan ejemplos de reacciones sintéticas fotoquímicas que se podrían realizar en hornos solares.

Entre los usos futuros de los hornos solares están las pirólisis rápidas en las que sistemas reactivos se pasan rápidamente a lo largo del foco del horno y se enfrían rápidamente. Por ejemplo, algunas sustancias orgánicas se pueden descomponer en el estado de vapor si se ponen en contacto momentáneo con partículas de carbón u otros absorbentes calentados a temperaturas muy altas, durante periodos muy pequeños de tiempo. Con el enfriamiento rápido se consiguen compuestos intermedios valiosos que no se conseguirían con un calentamiento ordinario. En un futuro los hornos solares se podrán utilizar para obtener dióxido de carbono a partir de rocas de arenisca para obtener combustibles, y para obtener agua a partir de las rocas de la superficie de la luna o de los planetas. En algunos casos especiales, los hornos solares podrán competir con los de combustible en las operaciones metalúrgicas y cerámicas, si se consiguen fabricar a un precio menor de 10 dólares por metro cuadrado.

6. CONCLUSIONES.

Durante el período de construcción del horno solar, así como, para la realización de pruebas de funcionamiento, se tuvieron que afrontar serias dificultades tanto técnicas como económicas.

Todos los problemas fueron solucionados principalmente planteando una serie de soluciones y llegándose a elegir la más conveniente a nuestras principales prioridades.

Finalmente y a pesar de todo se lograron las metas deseadas las cuales fueron desde la planeación, construcción y funcionamiento del horno solar, hasta la adquisición de numerosos conocimientos tanto teóricos como prácticos. Dando como resultado que el verdadero papel de la energía solar tanto en nuestro país como en el mundo y descubriremos la inmensa gama de aplicaciones y beneficios para la humanidad gracias a la energía solar.

Uno de los principales problemas que se tuvieron fue el encontrar un pegamento adecuado que no hiciera grumos en el plástico. Se hicieron diferentes pruebas con cemento iris, sellador, resinas epóxicas, y resistol 850, y el que mejor resultado tuvo fue el resistol 850. Se recomienda que se siga buscando un mejor pegamento.

También se tuvo problemas para la compra del plástico mylar ya que dicho plástico no lo hay metalizado en el país, y se tuvo que mandar metalizar y este trabajo casi nadie lo hace.

Pero a pesar de todos estos problemas se logró el objetivo que es fundir materiales como por ejemplo aluminio, zinc, estaño, plomo, etc.

TERMINOLOGIA:

COLECTOR SOLAR: Dispositivo que absorbe la radiación solar y transfiere su energía a un fluido.

RADIACION SOLAR: Energía radiante recibida del sol en su forma directa y difusa. La componente directa es la que se recibe directamente del sol sin haber sufrido ninguna desviación en su trayectoria; la difusa se debe a su dispersión al atravesar la atmósfera y reflexión sobre la tierra.

CONCENTRADOR: Dispositivo que concentra la componente directa de la radiación solar sobre un absorbedor.

ABSORBEDOR: Componente de un dispositivo solar que tiene como función captar y retener la mayor cantidad de radiación solar.

AREA DEL ABSORBEDOR: Área que recibe la radiación concentrada.

AREA DE APERTURA: Área del captador que intercepta la radiación solar.

RAZON DE CONCENTRACION: Se define como el cociente entre el área de apertura colectora y el área del absorbedor.

EJE DE CONCENTRACION: Línea que pasa por el foco y su vértice.

ANGULO DE BORDE: Ángulo formado por el eje de un concentrador (tipo parabólico) y la línea imaginaria que va desde su borde al punto focal.

ABSORTANCIA: Razón de la radiación solar absorbida a la radiación incidente.

ABSORTIVIDAD: Propiedad del material que se utiliza para retener la radiación solar.

EMITANCIA: Razón de radiación emitida por la superficie de un cuerpo por efecto de la radiación emitida por un radiador perfecto a la misma temperatura.

HELIOSTATO: Dispositivo que sirve para reflejar la componente directa de la radiación solar sobre un blanco fijo.

REFLEJANCIA: Razón de radiación reflejada de un material la radiación incidente sobre el mismo.

BIBLIOGRAFIA:

Título: Energía Solar.
Autor: Hans Rau.
Editorial: Marcambo.

Título: Solar Energy Thermal Processes.
Autor: Duffie, J.A, Beckman , W. A.
Editorial:

Título: Métodos Para Elaborar Mapas Solarimétricos En
Latinoamérica.
Autor: Dr José Luis Fernández.
Editorial: Instituto De Ingeniería, UNAM.

Título: Un Hilo Dorado.
Autor: Ken Butti y John Perlin.
Editorial: Hermann Blume.

Título: Concentradores Solares.
Autor: Almanza Rafael.
Editorial: Publicación De Las Series Del Instituto de
Ingeniería, UNAM.

Título: Solar Energy Engineering.
Autor: Sayigh A.A.
Editorial: Academic Press, New York.

Título: Radiación Solar Global En La República Mexicana
Mediante Datos De Insolación.
Autor: Dr Rafael Almanza.
Editorial: Series Del Instituto de Ingeniería No. 357 UNAM.

Título: Ingeniería De La Energía Solar.
Autor: Dr Felipe Muñoz Gutiérrez.
Editorial: El Colegio Nacional.

Título: Apuntes De Energía Solar.
Autor: José Antonio Sánchez Gutiérrez.