



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**RADIACION SOLAR COMO FUENTE
ALTERNATIVA DE ENERGIA EN UNA
MAQUINA DE ABSORCION PARA
AIRE ACONDICIONADO**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

PRESENTA:

LORENZO EDUARDO PEREZ ESTRADA

MEXICO, D. F., 1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE INGENIERIA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Sr. ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU
Director de la Facultad de
Ingeniería de la U. N. A. M.
P r e s e n t e .

ASUNTO: Carta de Terminación de la
Tesis o Trabajo Escrito.

Me permito informar a usted que habiendo revisado el trabajo desarrollado por PEREZ ESTRADA LORENZO EDUARDO registrado con número de cuenta 7594454-0 en la carrera de Ingeniero MECANICO ELECTRICISTA que se imparte en esta Facultad; éste ha sido concluido en su totalidad y reúne los requisitos necesarios para ser aceptado como la prueba escrita del examen profesional de acuerdo con el artículo 19 del Reglamento General de Exámenes de la U.N.A.M.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU".

Cd. Universitaria, D.F., a 16 de NOVIEMBRE

de 1982

Firma:

Nombre del Profesor: RODRIGO DE BENGOCHEA

Vo. Bo.
DE LA DIVISION

A mi Esposa LAURA ROCIO
con Amor y Respeto

A mi Abuelita DELFINA con
mucho Respeto y Admiración
por la Excelente dirección
de la Familia.

A mi Abuelito JOAQUIN que fué
ejemplo de trabajo y rectitud.

A mi mamá ANITA con Cariño por
su valor y empeño para enfren-
tarse a la vida.

A mi papá PEDRO con Admiración
a su fuerza de voluntad.

A mi Hermana CHUY como un
Homenaje Postumo a su Belleza y Bondad

A todos mis Hermanos: RAFAEL, ISABEL
MARIANO, GILDARDO, MARCO ANTONIO, --
IGNACIO Y ANITA.

A todos mis Primos.

A mis Primos ALFREDO Y LILIANA con
Agradecimiento por su gran ayuda.

A mis Tíos y Tías por sus
Consejos y Ejemplo.

Al Sr. C.P. JOSE LUIS RODRIGUEZ VILLEGAS
Con Gratitud

Al Sr. C.P. JOAQUIN ESTRADA ORTEGA
Con Agradecimiento

Al Sr. ING. RODRIGO DE BENGOCHEA
Por su Dirección

A la Srita. ALMA GARCIA CARRILLO
por su Colaboración

A todos mis Compañeros del Centro de
Computo de la Caja de Previsión por
su Colaboración y Amistad

A todos aquellos que hicieron posible
este Trabajo.

**RADIACION SOLAR COMO FUENTE ALTERNATIVA DE ENERGIA EN UNA
MAQUINA DE ABSORCION PARA AIRE ACONDICIONADO**

I N D I C E

	<u>PAGINA</u>
1.- <u>INTRODUCCION.</u>	1
2.- <u>ENERGETICOS.</u>	4
2.1 Aspectos Generales.	4
2.2 Recursos Energéticos.	7
2.3 Demanda de Energéticos.	19
2.4. Consideraciones.	25
3.- <u>GENERALIDADES SOBRE RADIACION SOLAR.</u>	27
3.1. Aspectos Generales.	27
3.2. Papel de la Atmosfera.	30
3.3. Comportamiento de los Cuerpos frente a la Radiación.	32
3.4. Cuantificación de la Radiación Solar.	34
3.5. Transmisión de Radiación a través de - medios Parcialmente Transparentes.	46
3.6. Colectores Planos.	52
4.- <u>SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO.</u>	56
4.1. Generalidades.	56
4.2. Sistema de Absorción.	58
4.3. Condiciones de operación.	72
5.- <u>DESARROLLO DEL ESTUDIO.</u>	74
5.1. Datos y Consideraciones.	74
5.2. Cuantificación de la Energía Radiante - recibida.	76
5.3. Energía Perdida y Almacenada.	95
5.4. Colectores Concentradores.	103
5.5. Aplicación.	106
6.- <u>CONCLUSIONES.</u>	118
7.- <u>BIBLIOGRAFIA.</u>	120

1.- INTRODUCCION.

Si bien es cierto que en torno al Sol convergen los planetas que conocemos, la tierra como parte del sistema Solar, tiene por el lugar que ocupa una determinada energía que recibe del Sol y que emplea para diferentes procesos naturales.

Podríamos llamar energía Solar acumulada a los combustibles minerales y vegetales --- existentes y energía activa a la que crea nuestra estrella por acción directa.

La historia enseña que hace ya mucho tiempo que se viene aprovechando la energía solar, por ejemplo, Arquímedes el físico matemático griego, defendió Siracusa en el año 287 AC, contra los romanos, incendiando los barcos atacantes con el calor que producía una batería de espejos cóncavos.

En experimentos de altas temperaturas, Lavoisier usó un horno solar que alcanzaba --

más de 1000°C y así podemos citar algunos casos, mas -- sin embargo, el desarrollo de máquinas térmicas y eléctricas disuadió en cierta medida de realizar investigaciones mas intensas en la esfera de la Energía Solar.

Algunos métodos de aprovechamiento de Energía Solar, han sido estudiados en países desarrollados y pueden competir en el terreno económico con métodos de aprovechamiento de fuentes de energía -- tradicionales.

Como los países en desarrollo -- suelen encontrarse en regiones soleadas, como es el caso de México, son los primeros interesados en desarrollar técnicas de aprovechamiento de la energía solar, -- que es inagotable, omnipresente (no plantea problemas -- de transporte ni distribución) y no contamina el medio ambiente. Se puede convertir en energía mecánica, eléctrica o química para utilizarla en diversas esferas, como la producción de electricidad, la destilación de -- agua, la cocina, la conservación de alimentos por refrigeración, el secado de productos de la pesca, de frutas y granos y la calefacción de climatización de locales.

El presente estudio, tiene por objeto exponer la factibilidad de aprovechar la energía solar como fuente alternativa de energía para un sistema de aire acondicionado por absorción.

En este trabajo, se ha centralizado el estudio en el generador y más concretamente en la fuente energética de éste, de una manera teórica, ya que los datos y recursos disponibles no son suficientes para basar en ellos un estudio práctico o la realización de un modelo.

En los capítulos siguientes, se presentará la problemática energética en México para el año 2000 y demandas estadísticas; además de generalidades y cuantificación de la energía solar, sistema de aire acondicionado y desarrollo del estudio.

Como se dijo anteriormente, este trabajo está considerado teóricamente basado en datos disponibles en publicaciones, técnicas, folletos y seminarios, con la excepción de la labor original y de las evaluaciones personales, no pretendemos atribuirnos crédito alguno por fórmulas o información indicadas en este estudio.

2.- ENERGETICOS.

2.1 Aspectos Generales.

Una característica de nuestra - sociedad, tal vez la más importante desde el punto de - vista objetivo y material, es que está fundamentada en un requerimiento y abastecimiento energético. cada vez - mayor y más abundante.

Los combustibles como fuentes - de energía, han sido el origen del despegue industrial de los países que en la actualidad se conocen como desa rrollados. Esto lo consiguieron con tanta anterioridad a aquellos que hoy se llaman subdesarrollados, que has- ta ahora no había sido tan notable la necesidad de po- seerlos; esto es en la época que pasará a la historia - como la "crisis de energéticos".

El efecto de la crisis energéti ca de 1973, ha despertado en la conciencia pública uni- versal, la forma en que el mundo depende del petróleo - como energético. En México, más del 92% de la energía, proviene de hidrocarburos. Si sólo el 50% de la elec--

tricidad emana de esta fuente. Al no contar con sustitutos a corto plazo, el precio del petróleo con oferta controlada y demanda desbocada, ha puesto nuevo énfasis en la necesidad de desarrollar la energía solar al máximo.

En México, se tiene la posibilidad de desarrollar tecnologías sobre energéticos, aprovechando la energía solar y geotermia, gracias a los centros potenciales abundantes en nuestro país. Esto se debe a las características geológicas que han permitido rasgos y estructuras volcánicas abundantes y el grado de insolación en nuestro territorio.

La proposición que se puede deducir de lo anterior, es que para que los energéticos alternos contribuyan sensiblemente a la solución del problema energético nacional, relevando a Petróleos Mexicanos de una parte de la enorme responsabilidad de producir el 92% de la energía que el país requiere, es inaplazable :

- 1.- Incrementar el esfuerzo de exploración evaluativa de las reservas de carbón.

- 2.- Incrementar la exploración de uranio a un ritmo - mayor que el actual.
- 3.- Continuar evaluando los yacimientos geotérmicos - a ritmo acelerado.
- 4.- La consideración de los estudios sobre energía solar.

La energía radiante, la solar - y la fijada fotoquímicamente nos ofrecen un reto a la inventiva e imaginación; la energía nuclear todavía guarda, celosa, su directo aprovechamiento en generación eléctrica y todavía hay muchos y muy serios problemas en su empleo.

2.2 Recursos Energéticos.

Algunas de las estimaciones mas recientes hechas por Petróleos Mexicanos, Comisión Federal de Electricidad, Instituto Nacional de Energía Nuclear, Plan Nacional Hidráulico y Comisión Nacional de Energéticos sobre los recursos energéticos primarios, ponen la base para la determinación de éstos con que el país pueda contar a futuro para hacer frente a las necesidades de energía que el desarrollo del mismo demandará.

La clasificación de recursos se plantea de la forma siguiente :

1.- TRADICIONALES.

A. Leña

A.1 Carbón de leña

B. Petróleo

B.1 Crudo

B.2 Derivados (gasolinas, diesel, etc.)

B.3 Gas (natural y licuado)

C. Carbón

C.1 Carbón

C.2 Coquizado, destilado

C.3 Gasificado

- D. Hidráulica
- D.1 Utilización mecánica
- D.2 Transformación en energía eléctrica

2.- NO TRADICIONALES.

- A. Energía atómica
- A.1 Reactores normales
- A.2 Reactores de cría

3.- NUEVOS.

- A. Eólica
- A.1 Transformación indirecta en hidrógeno
- B. Hidráulica
- B.1 Transformación indirecta en hidrógeno
- C. Solar
- C.1 Recolección de calor
- C.2 Transformación de energía eléctrica
- D. Fisión nuclear
- E. Energía radial
- F. Energía gravitacional
- G. Energía magnética
- H. Bombardeo láser

El potencial energético está -
basado principalmente sobre los recursos tradicionales.

HIDROCARBUROS.

Reserva en 1976	6338 millones de BPCE
Recursos totales (2000)	50 049 mill. de BPCE *

CARBON.

Reservas 1976	840 mill. de tons.
Recursos estimados (2000)	8 000 " "

URANIO.

Reservas en 1976	6 123 tons. U_3O_8
Recursos estimados (2000)	144 000 " "

POTENCIAL HIDROELECTRICO.

Generación máx.	83 TWH por año
Generación factible para el año 2000.	60 TWH **

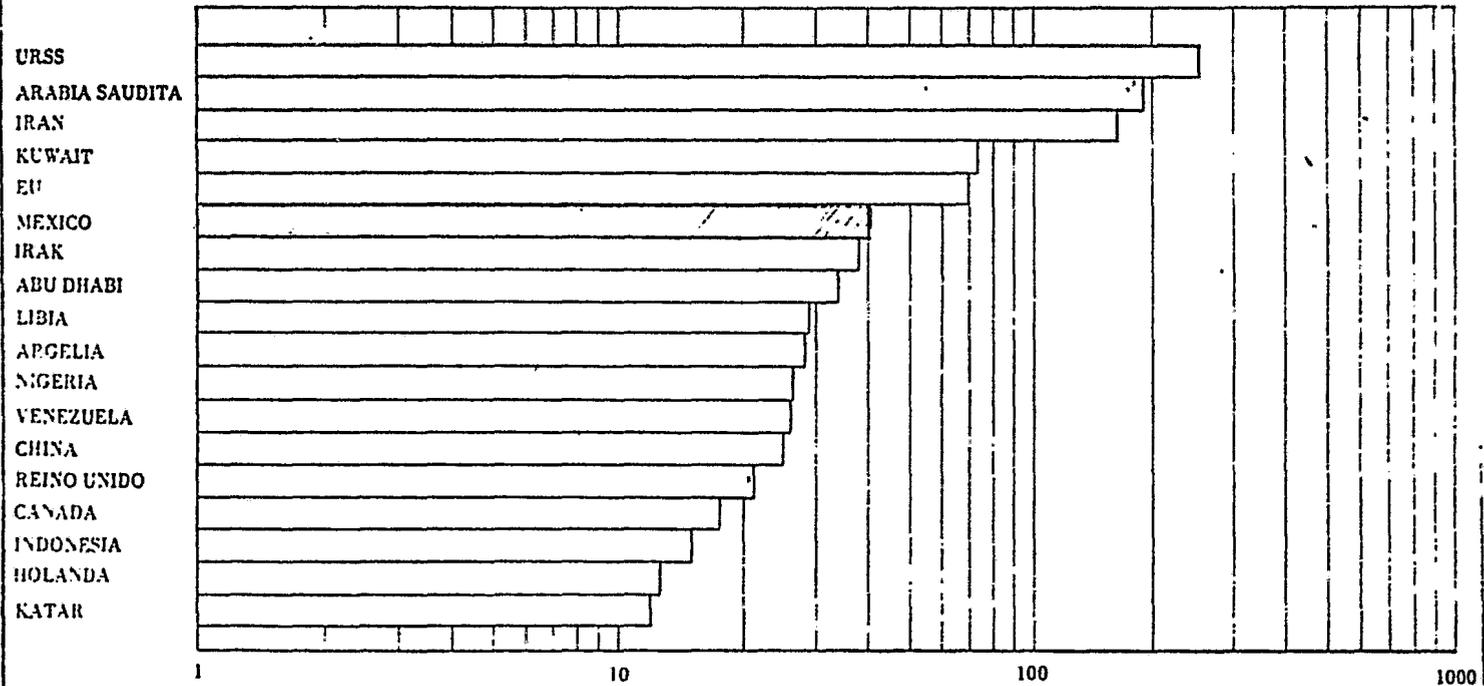
* BPCE barriles de petróleo crudo equivalente.

** TWH un terawatt hora igual a mil millones de kilowatts - hora.

Lo anterior, es solo una muestra de los datos que se encuentran en la propuesta de lineamientos de Política energética (Comisión de Energéticos México 1976).

Las gráficas y cuadros siguientes, muestran para diferentes períodos, los recursos energéticos en México, estas muestras se recopilaron de la revista "IMIQ" y el boletín informativo del Sector energético (noviembre 1974) y (agosto 1979) respectivamente.

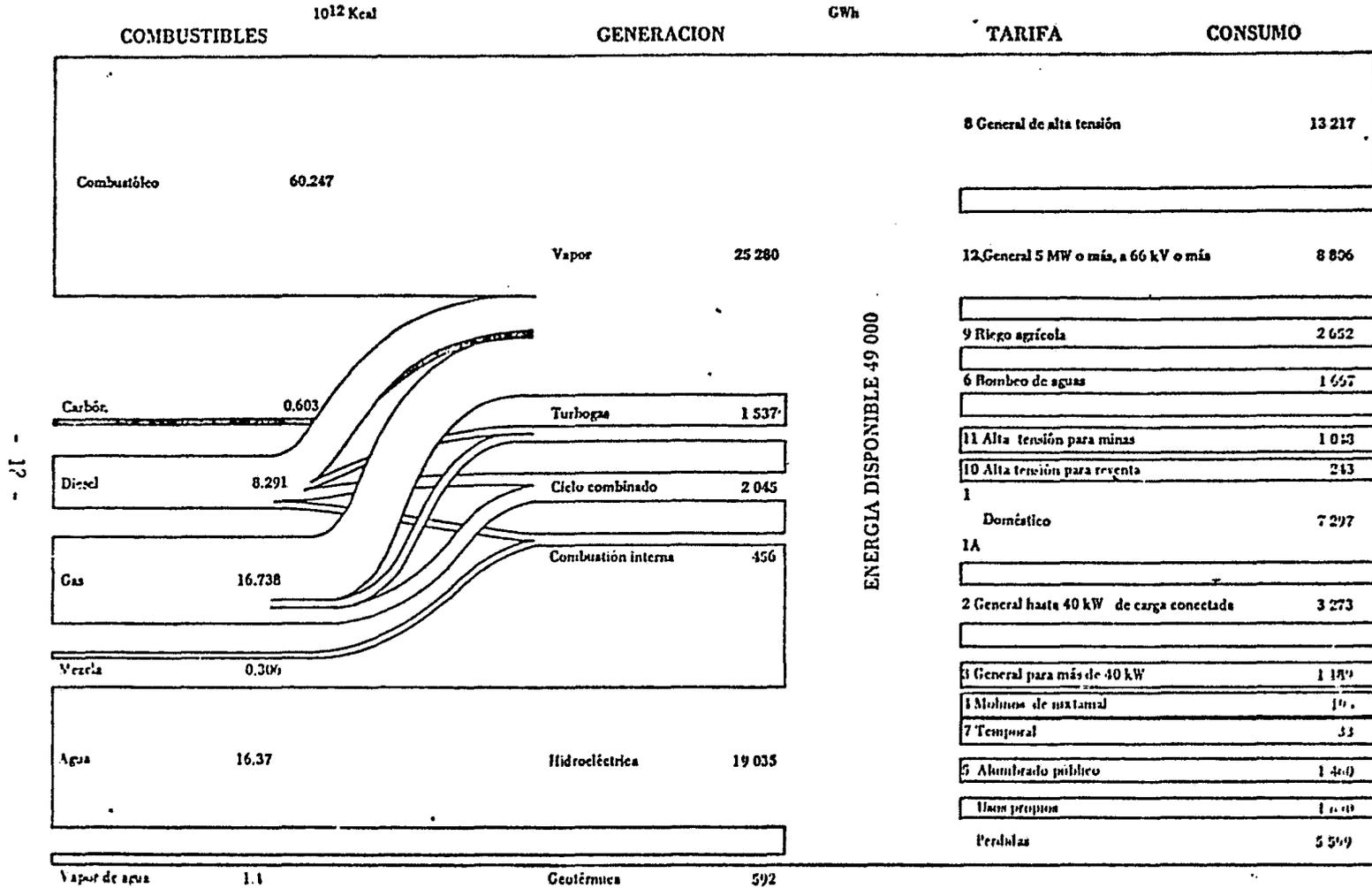
RESERVAS MUNDIALES DE HIDROCARBUROS
miles de millones de barriles



Fuente: Oil and Gas Journal de 25 de diciembre de 1978.

Figura 3

ORIGEN Y DESTINO DE LA ENERGIA ELECTRICA
1977



- 12 -

Figura 44

RESERVAS PROBADAS DE HIDROCARBUROS

(al 1o. de enero)

10⁶ barriles

50000

25000

0

11 160

1976

16 002

1977

20 200

1978

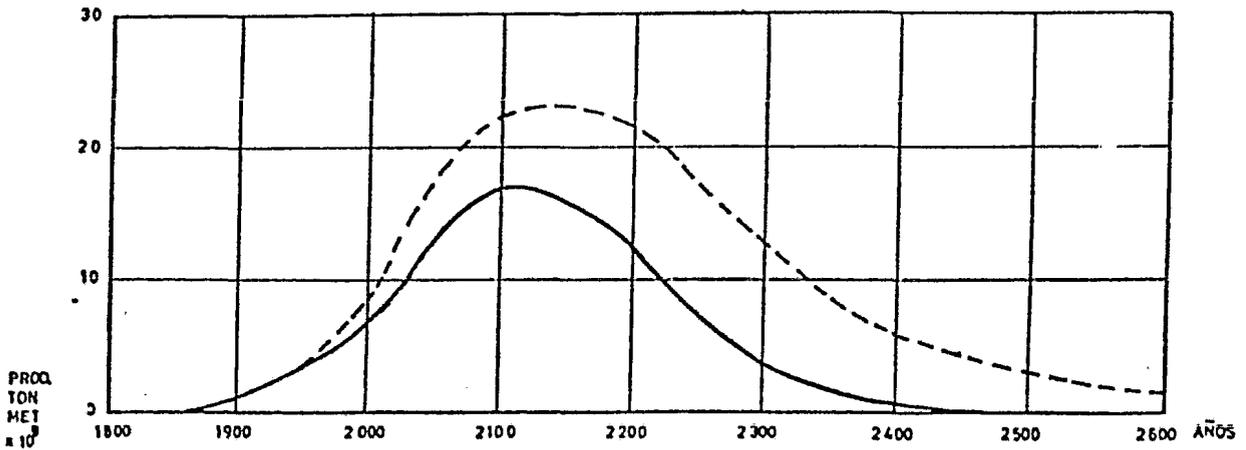
40 194

1979

Figura 1

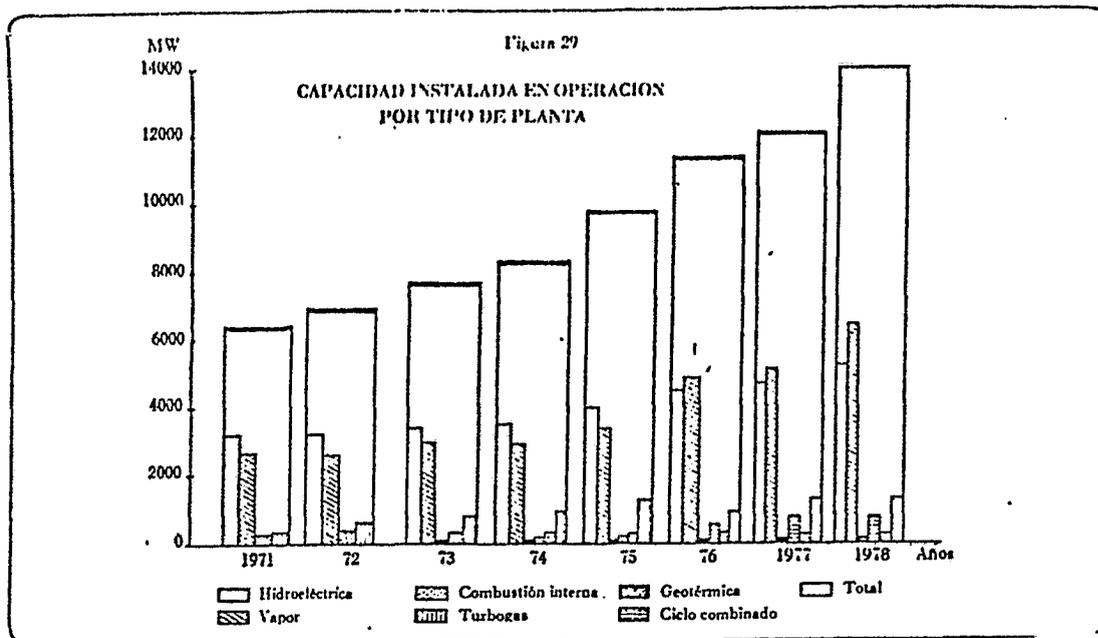
Fuente: Petróleos Mexicanos
Anuario Estadístico 1977

RESERVAS MUNDIALES DE CARBON

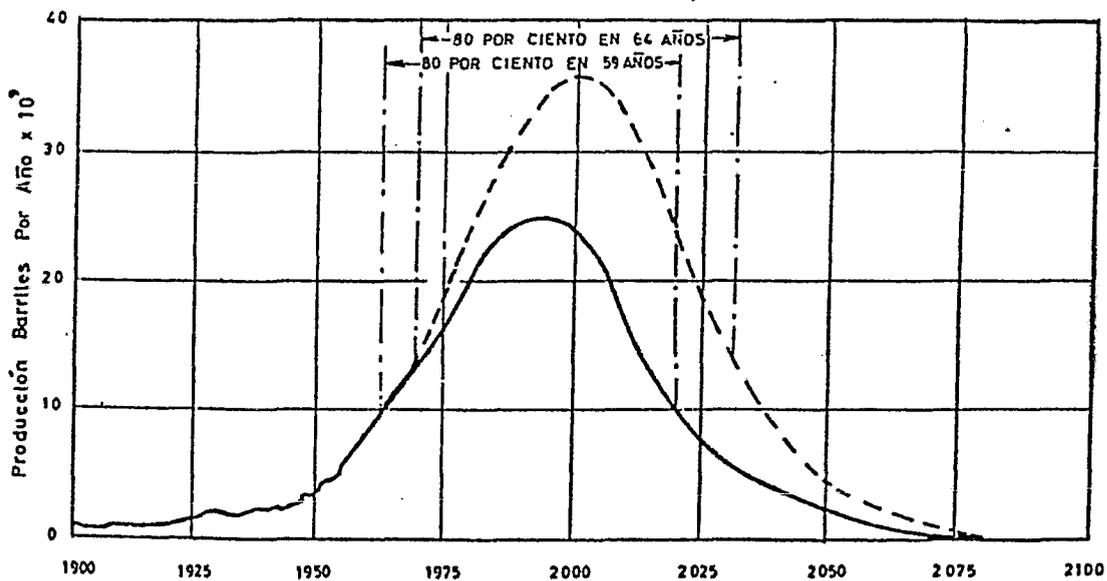


SCIENTIFIC AMERICAN Sep. 1971

Fig. 2



RESERVAS MUNDIALES DE PETROLEO



**CAPACIDAD INSTALADA EN EL SECTOR
ELECTRICO NACIONAL
(MW)**

Año	Hidro- eléctrica	Termo- eléctrica	Total
1960	1 200	1 108	2 308
1961	1 205	1 230	2 435
1962	1 436	1 176	2 612
1963	1 501	1 743	3 244
1964	1 746	1 918	3 664
1965	2 149	2 016	4 165
1966	2 482	2 033	4 515
1967	2 511	2 131	4 642
1968	2 509	2 228	4 797
1969	3 229	2 288	5 658
1970	3 228	2 840	6 068
1971	3 227	3 271	6 498
1972	3 228	3 685	6 913
1973	3 446	4 280	7 726
1974	3 521	4 850	8 371
1975	4 044	5 786	9 830
1976	4 541	6 918	11 459
1977	4 723	7 369	12 092
1978	5 225	8 767	13 992

Fte. CFE. Evolución del Sector Eléctrico en México, 1978.

RESERVAS MUNDIALES DE HIDROCARBUROS

	MUNDIAL	MEXICO
PETROLEO (MMBLS)	634,000	3,237
GAS NATURAL (10 ¹² PC)	1,802	10.7
GAS NATURAL (MMBLS)	360,400	2,150.4
RESERVAS TOTALES (MMBLS)	994,400	5,387.4

Figura 4

RESERVAS PROBADAS DE CRUDO*

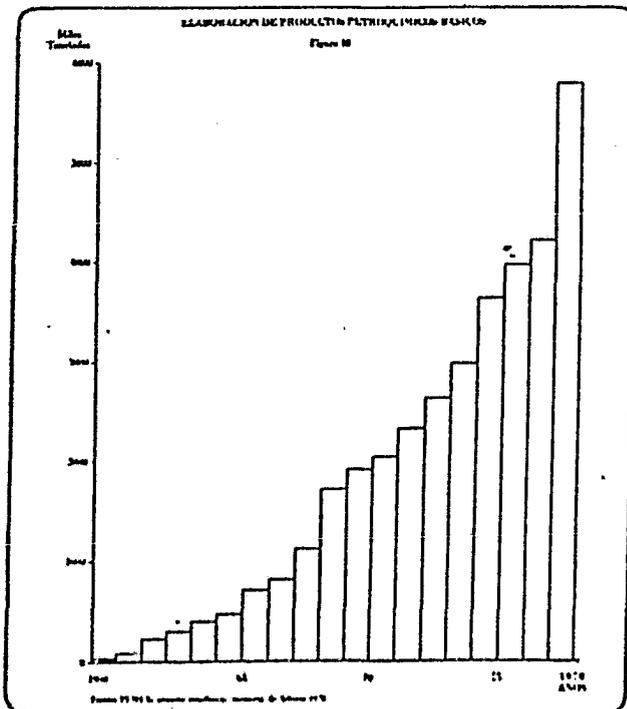
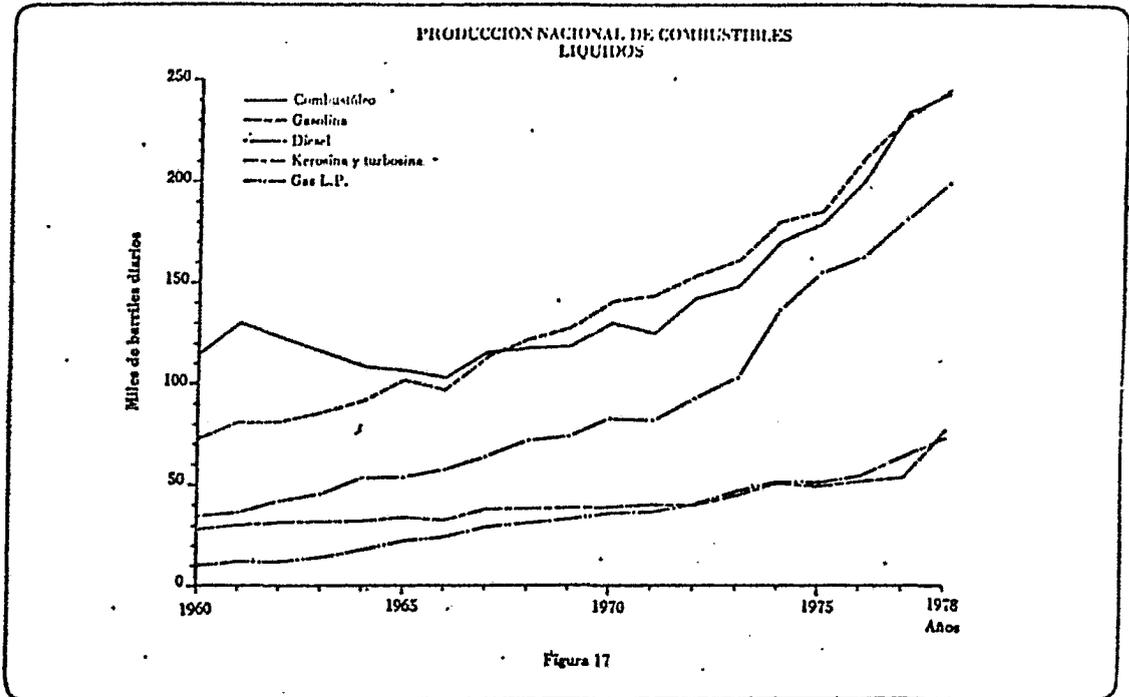
País	Miliones de Barriles.
Arabia Saudita	145 000
Unión Soviética	75 000
Irán	65 000
Kuwait	65 000
Estados Unidos	48 000
Argelia	47 000
Libia	30 400
Irak	29 000
Abu Dhabi	21 000
China	19 500
Zona Neutral	16 000
Nigeria	14 000
Venezuela	13 700
Indonesia	12 000
México	3 237

* Fines de 1972

Fuente: World Petroleum Report

Figura 3

* MMBLS = millones de barriles de crudo diario
** MMPCD = millones de pies cúbicos diarios

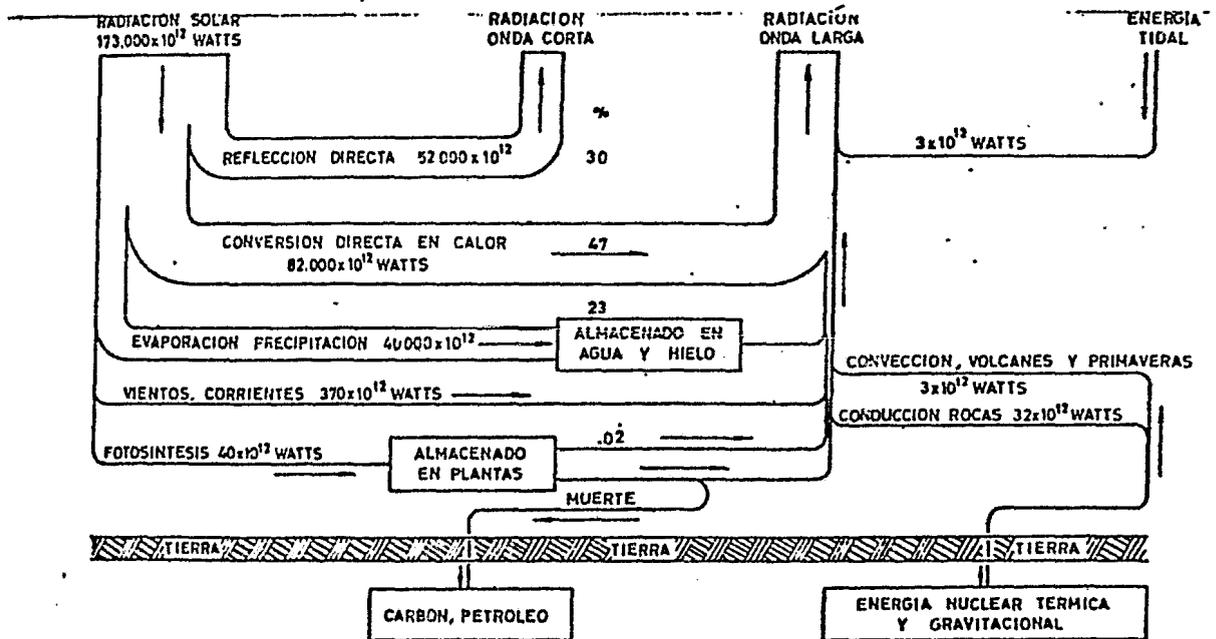


Se ha venido mencionando la importancia de los recursos energético primarios para México, podemos ver que dependemos directamente de los hidrocarburos y que se tiene que buscar otro tipo de energía.

En la figura 3 de la Scientific American, se puede observar qué pasa con la energía solar que la tierra recibe. Podemos darnos cuenta que las diversas formas de vida juntas, apenas absorben el 0.02 por ciento de la energía recibida; parte de ellas constituyen los yacimientos fósiles que se explotan, pues a pesar de estar degradadas, conservan buena parte de la energía que recibieron hace algunos milenios de años y está esperando que la degrademos más, regresándolos a las formas primitivas de que están constituidos mediante la extracción de la energía que conservan.

Es fácil observar que el Sol representa una fuente de energía inagotable y que un sistema de captación práctico, salvaría nuestras necesidades de energía a futuro.

Se podrá contar con la energía solar como un recurso energético?. La anterior pregunta será contestada a corto plazo, cuando mas interés y estudio se tenga sobre esta forma de energía.



Fuente: SCIENTIFIC AMERICAN Sep 71

Fig. 5

2.3 Demanda de Energéticos.

A mediados de 1970, el consumo mundial de petróleo, gas natural, líquidos derivados -- del gas natural, carbón y energía eléctrica y nuclear, ascendió al equivalente de 99.2 millones de barriles de petróleo por día, previendo que gracias al incremento - demográfico e industrial, estas demandas aumentarían a - 158 millones de barriles diarios para 1980.

En cuanto a la situación de -- energéticos en México, se puede establecer lo siguiente :

- a) La participación de los hidrocarburos con respecto al total de energía del país, asciende a 92%.
- b) Las demandas de los hidrocarburos, se estiman como se muestra en la fig. 8.

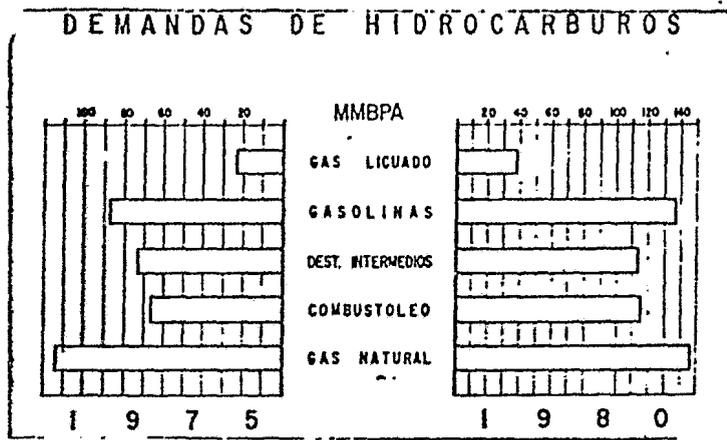
DEMANDA DE ENERGETICOS DERIVADOS DEL PETROLEO (MBPD)

	<u>1976</u>	<u>1979</u>	<u>1982</u>
GAS LICUADO	102	123	145
GASOLINA	247	311	387
KEROSINAS	54	58	63
DIESEL	155	196	247
COMBUSTOLEO	221	297	381
GAS NATURAL (etc)	323	360	418
TOTAL :	1102	1345	1641

MBPD = MILLONES DE BARRILES DIARIOS

Figura 8

En la fig. 9, muestra a los productos de mayor consumo.



Se hace incapié en la demanda de hidrocarburos porque como se ha venido diciendo, estos representan mas del 90% de nuestros energéticos. La figura 17 muestra lo anterior.

Una de las cosas que se pueden observar en esta gráfica, es que para 1980 no se considera en nada a la energía solar.

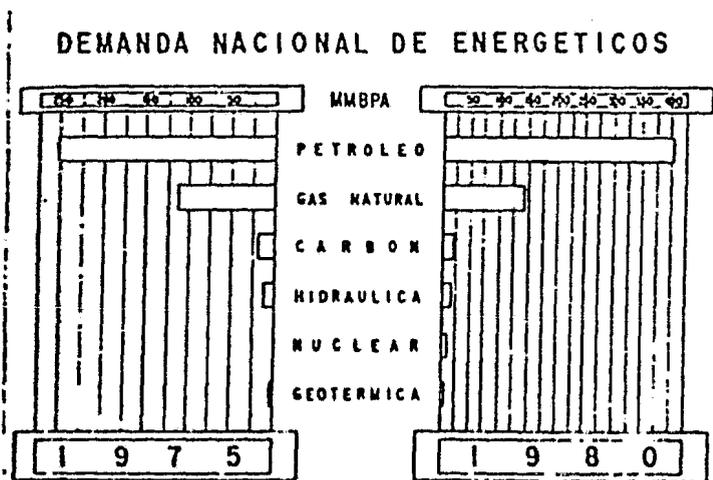


Figura 17

Los pronósticos de demanda de energéticos proporcionados por la Comisión de Energéticos (1975-1976) y Comisión Federal de Electricidad (junio 1976), consideran la demanda de hidrocarburos, electricidad y carbón para el año 2000, por tener un amplio conocimiento al respecto.

La serie de datos sobre consumo de hidrocarburos, empieza a principios de siglo, su comportamiento analizado con la metodología de mínimos cuadrados, permitió concluir que los datos del período 1960-1975, eran suficientes para estimar demandas futuras.

Esta forma de estimar la demanda de hidrocarburos, puede considerarse conservadora porque, aún con el mismo ritmo de crecimiento de la economía, es posible que las medidas de racionalización y algunos efectos de saturación, la hagan crecer con tasas inferiores a las históricas.

Con los supuestos anteriores, las necesidades de hidrocarburos, puede considerarse conservadora porque pasarían de 394 millones de barriles de

petróleo crudo equivalente en 1976 a 1,837 millones en 2000, lo que representó una tasa promedio de crecimiento anual de 6.62%.

La tasa histórica de crecimiento de la demanda de la energía eléctrica, es superior al 11%. Para su extrapolación al año 2000, la Comisión Federal de Electricidad, ha utilizado un método que la correlaciona con el ingreso por habitante y que con base en algunos factores tomados de la experiencia mundial, lo ajusta para tomar en cuenta efectos que podrían considerarse de saturación.

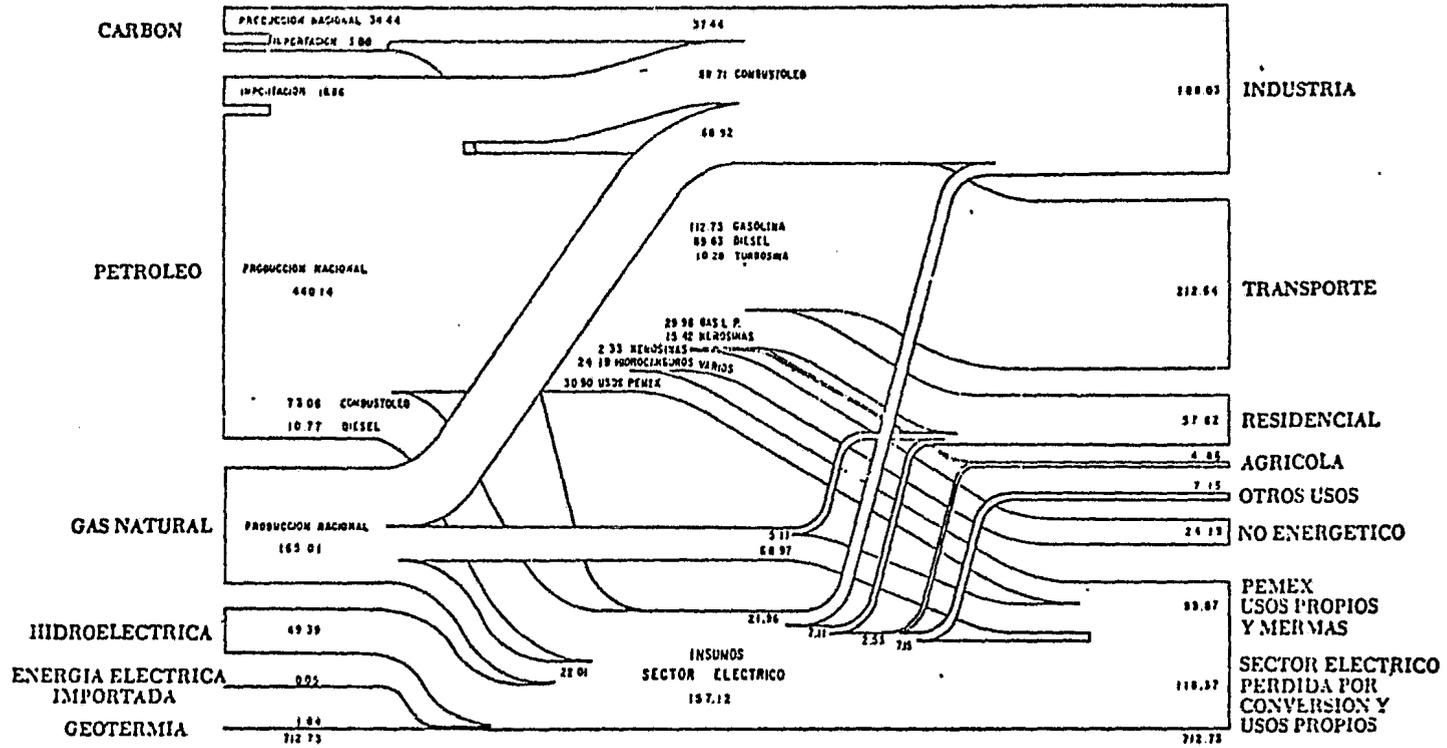
Con este método, las necesidades de energía eléctrica para el año 2000, resultan de 418 mil millones de kilowatts hora, contra 46 mil millones en 1976, representando un promedio anual de crecimiento del 9.67%.

La demanda de carbón se determinó agregando las necesidades estimadas para la industria siderúrgica y las estimadas por el sector eléctrico. La serie histórica de datos, se extrapoló obteniéndose nece

sidades para el año 2000 de 43 millones de toneladas en contra de 5 millones de toneladas consumidas en 1975 para siderurgia y metalurgia.

Se presentan algunas gráficas relacionadas con la demanda mundial y nacional de energéticos.

BALANCE ENERGETICO 1978



Cifras en Kcal x 10¹²
 Datos preliminares.

Figura 55

Comisión de Energéticos

2.4 Consideraciones.

Las tres características principales del sector energético mexicano, son: su dependencia de los hidrocarburos, su elevada tasa de crecimiento y la pertenencia de las entidades productoras al Estado.

La etapa de desarrollo en que se encuentra México, plantea al Sector energético la necesidad de seguir creciendo. Al continuar el camino hacia la industrialización, se requieren cada vez mas energéticos que también son necesarios en el proceso de modernización de la sociedad.

Los recursos mejor conocidos en México son los hidrocarburos, que precisamente por haber servido de apoyo al desenvolvimiento del país en cuestión de energéticos, son los mas ampliamente estudiados y desarrollados; sin embargo, los volúmenes de energía previstos son de tal magnitud, que las reservas de hidrocarburos, por grandes que sean en la realidad, no bastarían para seguir suministrando y satisfacer las necesidades ni siquiera durante algunas décadas del próximo siglo.

Aún y cuando la única fuente - alternativa de energía bien conocida es la hidroeléctrica, se sabe que México cuenta con condiciones geográficas muy favorables de insolación como para desarrollar una tecnología capaz de aprovecharlas y así contar con otra alternativa dentro de los recursos energéticos para satisfacer la demanda que se presente.

3.- GENERALIDADES SOBRE RADIACION SOLAR.

3.1 Aspectos Generales.

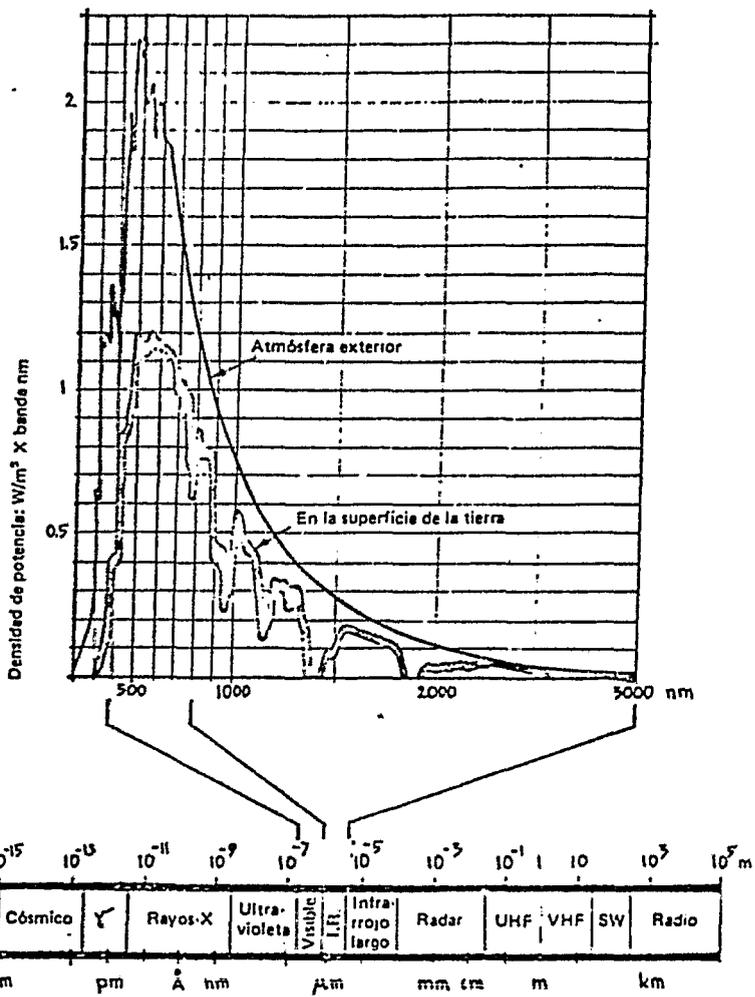
El Sol es una esfera de -----
1,400,000 Km. de diámetro que irradia alrededor de el -
una gran cantidad de energía debido a reacciones nucleaa
res en cadena.

Una gran parte de la energía -
que produce, sirve para mantener su temperatura de aprox
ximadamente 6000 °c, el resto se envía hacia el espacio
en forma de ondas electromagnéticas. Una pequeña parte
de esta energía, llega a la superficie de la tierra .ba-
jo la forma de ondas electromagnéticas como las utilizaa
das en las transmisiones de radio y televisión, pero de
longitudes de onda mas cortas.

La radiación solar, está cons-
tituida por una superposición de ondas, cuyas longitu--
des se comprenden entre 0.25 micras y 4 micras (una mi-
cra=0.001 milímetro) las que utilizan en el radio, van
de 1 metro a varios kilómetros. Cuando menor es la on-
da, mayor es la energía asociadas a esa onda.

La densidad de radiación solar antes de entrar a la atmósfera, es de 1.4 kilowatts/m², conocida como constante solar, que de hecho no es una constante, pues varía según las estaciones del año entre 1350 a 1450 W/m².

Los nombres usados corrientemente para los diferentes dominios de longitud de onda, se muestran en las figuras 2.1 y 2.2.



→ = tipo de radiación solar en relación con
 ← = tipo electromagnético total

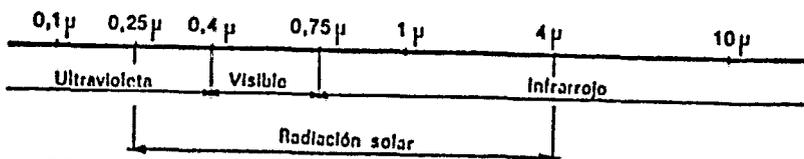


Fig. 2.1

3.2 Papel de la Atmósfera.

La atmósfera disipa una parte de la energía que proviene del Sol por tres razones principalmente :

- Por difusión molecular (radiación ultravioleta)
- Por reflexión difusa sobre los aerosoles (polvo, pequeñas gotas)
- Por absorción gaseosa

Al atravesar la atmósfera la radiación solar, pierde una cierta cantidad, esto es cuando mas bajo esté el Sol sobre el horizonte, mayor es la capa de aire que deben atravesar los rayos y menos es la energía que llega al suelo, cuando el ángulo que forma el plano horizontal del lugar con los rayos solares, llega a ser menor de 15° es muy poca la radiación directa que incide en dicho plano, ya que el espesor de aire que tiene que atravesar, absorbe casi toda su energía.

Esto es interesante porque permite juzgar si un obstáculo a la radiación constituye una pantalla para el captador. La determinación de es--

tas pantallas, dependen de varios parámetros como la estación del año, el momento del día, etc.

La radiación solar, puede presentarse de dos formas que son: radiación directa (R_b), radiación difusa (R_d) y la suma de esta la radiación total (R_t).

Las variaciones de la radiación que se recibe; están en función de la duración de insolación, la masa de atmósfera atravesada, el ángulo de incidencia de los rayos de la nubosidad. Estos factores dependen como antes se dijo, de la estación del año, la hora del día, la latitud y el estado del cielo.

Ahora la energía realmente recibida, dependerá de la disposición del colector y de su entorno. Si se coloca la superficie perpendicular a los rayos solares, la insolación será máxima.

3.3 Comportamiento de los Cuerpos Frente a la Radiación.

Un cuerpo sometido a una radiación puede absorberla, reflejarla o ser atravesado por ella, por lo que se puede caracterizar el comportamiento de cada cuerpo frente a la radiación por tres coeficientes :

- Un coeficiente de reflexión (ρ) igual a la cantidad de energía reflejada dividida por la cantidad de energía incidente.
- Un coeficiente de absorción (α) igual a la cantidad absorbida dividida por la cantidad incidente.
- Un coeficiente de transmisión (τ) igual a la cantidad transmitida dividida por la cantidad incidente.

De lo anterior, se deduce que - ($\rho + \alpha + \tau = 1$) lo que significa que la suma de la radiación reflejada, mas la absorbida, mas transmitida, es igual a la radiación incidente. Los coeficientes antes mencionados están en función de la naturaleza del material, de su color y el estado de su superficie.

Todos los cuerpos emiten radiaciones en todas las direcciones, la facilidad de un cuerpo para emitir radiaciones, se caracteriza por un coefi-

ciente de emisividad (ϵ), que es la cantidad de energía que éste emite, dividida entre la cantidad que emitiría un cuerpo negro de la misma forma relación con su temperatura, esto es un ejemplo para un cuerpo negro a 100°C emite 1100 W/m^2 . Una superficie con emisividad = 0.6 a 100°C emitirá 660 W/m^2 .

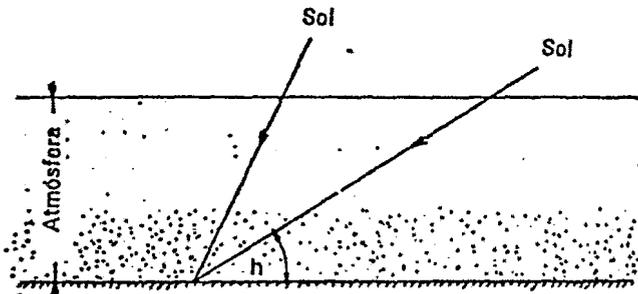
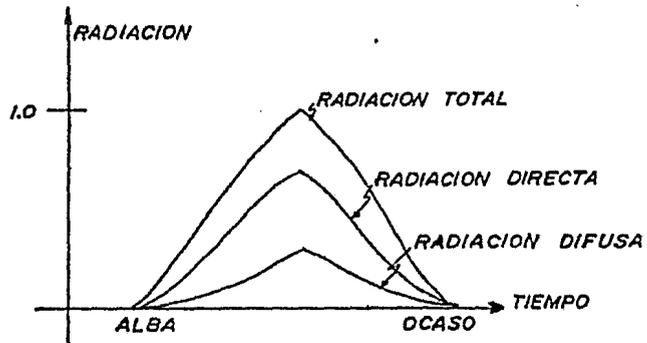


Fig. 1.2

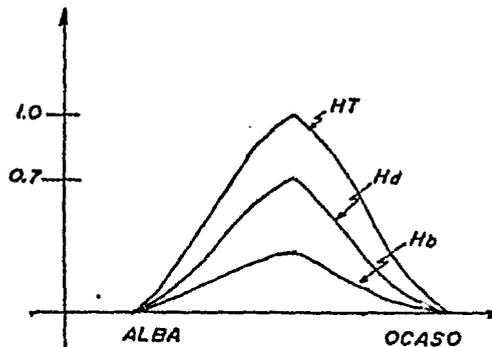
3.4 Cuantificación.

La radiación total o global, es
tá constituida por dos componentes :

- Radiación directa
- Radiación difusa



Radiación sobre una superficie -
horizontal en la tierra, con un día claro sin nubes.



día nublado

Como puede observarse en las dos gráficas anteriores, la radiación total = radiación directa + radiación difusa. Esto es, si se mide sobre un plano horizontal.

$$H_t = H_b + H_d$$

Donde :

H_t = Radiación Total

H_b = Radiación Directa

H_d = Radiación Difusa

RADIACION EXTRATERRESTRE

H_0

La radiación extraterrestre como su nombre lo indica, es la que incide fuera de la atmósfera de la tierra. Y podemos calcularla por la siguiente expresión :

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left[\left(1 + 0.033 \cos \frac{360 n}{365} \right) \left(\cos \phi \cos \delta \operatorname{sen} \omega_s + \frac{2\pi N_s}{360} \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} \delta \right) \right]$$

H_o = Radiación Extraterrestre
 I_{sc} = Constante solar diaria = $4.871 \frac{KJ}{m^2 \text{ día}}$

n = Número de día en el año
 ejem: 14 marzo; $n = 31 + 28 + 14 = 73$

$\therefore n = 73$

ϕ = Latitud positiva al norte del Ecuador
 D.F. : = 19.62° catedral

δ = Declinación : posición angular del Sol al medio día con respecto al plano del Ecuador y se calcula de la manera siguiente :

$$\delta = 23.45 \text{ sen} \left(360 \frac{284 + n}{365} \right)$$

Para un lugar del Ecuador.

W = ángulo horario siendo 0° al medio día y cada hora igual a 15° , positivo en la mañana y negativo en la tarde.

W_s = ángulo horario al alba y es siempre positivo. esto es :

$W_s = \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta)$ esta expresión nos permite determinar la hora entre el alba y el ocaso.

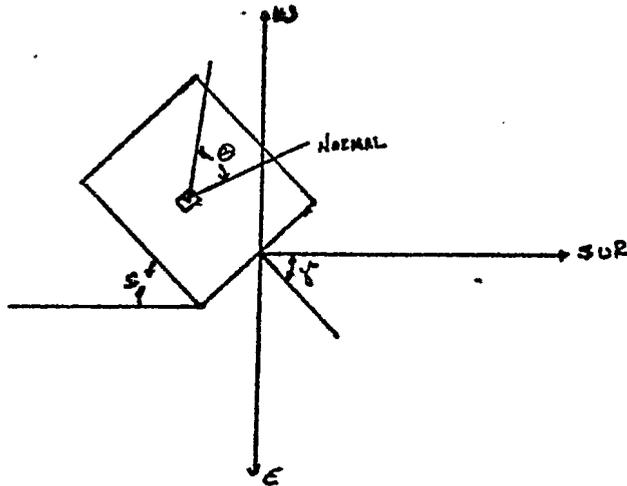
Ahora para reconocer la longitud en horas del día solar, se obtiene a partir de la siguiente expresión :

$$T_d = \frac{2}{15} \cos^{-1} (-\tan \phi \cdot \tan \delta)$$

Esto es

$$T_d = \frac{2}{15} (ws)$$

Lo anterior se efectúa para un plano horizontal si se desea conocer cuanta radiación recibe un plano inclinado, se determinan los siguientes ángulos :



S := Angulo de inclinación con respecto a la horizontal.

γ = Angulo de orientación con respecto al Sur

Si δ = 0 significa que el plano está orientado al Sur, éste ángulo toma valores positivos al Este y negativos a Oeste.

θ = Angulo de incidencia de la radiación solar directa. Con respecto a la normal al plano. Está determinado por la :

Ec. 2.5.2 del Duffe.

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \operatorname{sen} d \operatorname{sen} \phi \cos s - \operatorname{sen} d \cos \phi \operatorname{sen} s \cos \gamma' + \\ & + \cos d \cos \phi \cos s \cos w + \cos d \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} s \cos \gamma' \cos w + \\ & + \cos d \operatorname{sen} s \operatorname{sen} \gamma' \operatorname{sen} w \end{aligned}$$

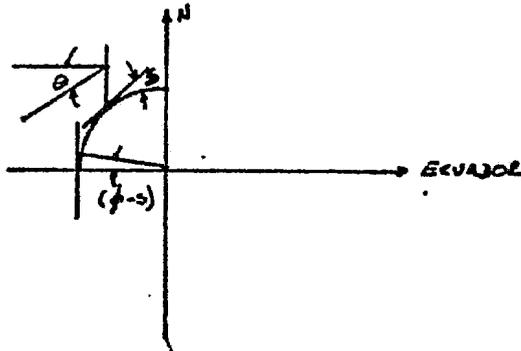
Se tiene dos casos particula--

res para ecuaciones :

1.- Es para una superficie orientada al Sur, esto es :

$\gamma' = 0$ y la Ec. 2.5.2 queda.

$$\cos \theta_T = \cos (\phi - s) \cos d \cos w + \operatorname{sen} (\phi - s) \operatorname{sen} d$$



2.- El segundo caso se refiere a una superficie que está --- orientada al Sur y además es horizontal, esto es :

$$\gamma' = 0^\circ ; s = 0^\circ$$

Y la EC. 2.5.2 quedaría :

$$\cos \theta_2 = \operatorname{sen} d \operatorname{sen} \phi + \cos d \cos \phi \cos w$$

Se conoce ya la radiación extraterrestre H_0 , podemos conocer el ángulo de radiación directa en un plano inclinado cualquiera. La longitud en horas del día solar.

Ahora para un plano horizontal en la tierra, podemos conocer la radiación total, media mensual mediante tablas. (Radiación solar Global en la República Mexicana mediante datos de insolación Almanza y López).

La Radiación total media mensual H_t = será :

$$H_t = \int_{\text{alba}}^{\text{ocaso}} H_T(t) dt = \int_{-\frac{T_d}{2}}^{\frac{T_d}{2}} H_T(t) dt$$

Si se supone que $H_t(t)$ es del tipo senoidal es razonable --- adoptar ecuaciones del tipo.

$$\begin{aligned} H_T(t) &= H_{TM} \cos^{1.2} \frac{\pi t}{T_d} \\ H_b(t) &= H_{bM} \cos^{1.5} \frac{\pi t}{T_d} \end{aligned} \quad \text{Para } \pi = 180$$

Donde :

$H_t(t)$ = Radiación total media mensual.

HTM = Radiación total puntual o máxima.

Hb(t) = Radiación directa.

Además $-\frac{T_d}{2} \leq t \leq \frac{T_d}{2}$ con $t=0$ a las 12.00 hrs. Meridiano

El objetivo es encontrar una ecuación en la cual solo esté en función del tiempo, -- para tal caso se ve la siguiente relación :

Por Ejemplo :

$$\text{Si } H_t = I_t$$

$$\text{Se tiene } \overline{I_t} = \int_{-\frac{T_d}{2}}^{\frac{T_d}{2}} H_t(t) dt = \int_{-\frac{T_d}{2}}^{\frac{T_d}{2}} H_{TM} \cos^{1.2} \frac{\pi t}{T_d} dt = \overline{I_t} = H_{TM} C_1$$

$$\text{Además } \overline{I_b} = H_{bM} C_2$$

Si solo se tiene I_t y se desea conocer el valor de I_b (I_0 , I_d) se puede utilizar la relación de Liv y Jordan como sigue :

$$\frac{\overline{I_d}}{\overline{I_t}} = \frac{\overline{I_t}}{\overline{I_0}} (-1.2452) + (1.0954)$$

Donde :

$$I_d = H_d \text{ Radiación difusa total}$$

$$I_t = H_t \text{ Radiación total}$$

$$I_0 = H_0 \text{ Radiación extraterrestre}$$

Conociendo H_0 y H_t se calcula H_d , con estos datos se puede conocer $H_b = H_t - H_d$

Donde H_b = Radiación directa sobre un plano horizontal

GANANCIAS TERMICAS

La radiación directa sobre una superficie inclinada, se determina mediante la relación = $H_b R_b$ donde R_b es un factor adimensional que va desde 0 a ∞ $0 \leq R_b \leq \infty$

y se valúa mediante

$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_2}$ observése que R_b está en función de la latitud, del ángulo de inclinación, del día, de la hora y de la orientación.

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_2} \quad \text{y} \quad R_b(\phi, s, n, t, \pi)$$

La radiación difusa es heterogénea, pero se suele considerar ISOTROPICA (tiene igual magnitud en todas direcciones).

Se recomienda para compensar la disminución de H_d sobre el plano inclinado por efecto de la inclinación. Para $s \neq 0^\circ$ utilizar.

Utilizar (según Dr. F. Zayas)

$$R_d = R_b \quad \text{al medio día (w = 0^\circ)}$$

$$s = 60^\circ$$

$$\therefore R_d = R_b_{s=60^\circ}$$

Una vez calculado H_t ; H_b , H_d se afectan los dos últimos por R_b y R_d respectivamente para conocer exactamente cual es la radiación en un plano inclinado y así conocer la energía térmica que gana una superficie cualquiera.

$$Q_g = [H_b R_b + H_d R_d] \alpha A_c$$

Donde: Q_g = Energía ganada

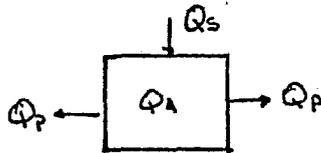
α = Absortancia

A_c = Area de colección

Algunos de los cuerpos con gran absortancia son :

hielo, negro humo, negro mate con $\alpha \approx 0.97$

Balance térmico :



$$Q \text{ almacenado} = Q_A$$

en general el calor ganado es -
igual al calor perdido mas el
calor almacenado esto es $Q_g = Q_p + Q_{almac.}$

Donde $Q \text{ almacenado} = M c_p \frac{dT}{dt}$ donde MC_p = energía térmica

Q_p = calor perdido = calor perdido por conducción +
+ calor perdido por convección +
+ calor perdido por radiación

Considerando que las pérdidas - por conducción tienden a cero si utiliza buen aislante. Se tomará solamente las pérdidas convección y radiación.

PERDIDAS POR CONVECCION :

$$Q \text{ conv.} = \tilde{h} A_p (T_c - T_a)$$

Q conv. = pérdidas por convección

\tilde{h} = coeficiente de convec.

Donde :

Tc = Temperatura del cuerpo

Ta = Temperatura ambiente

Ap = Area de pérdidas

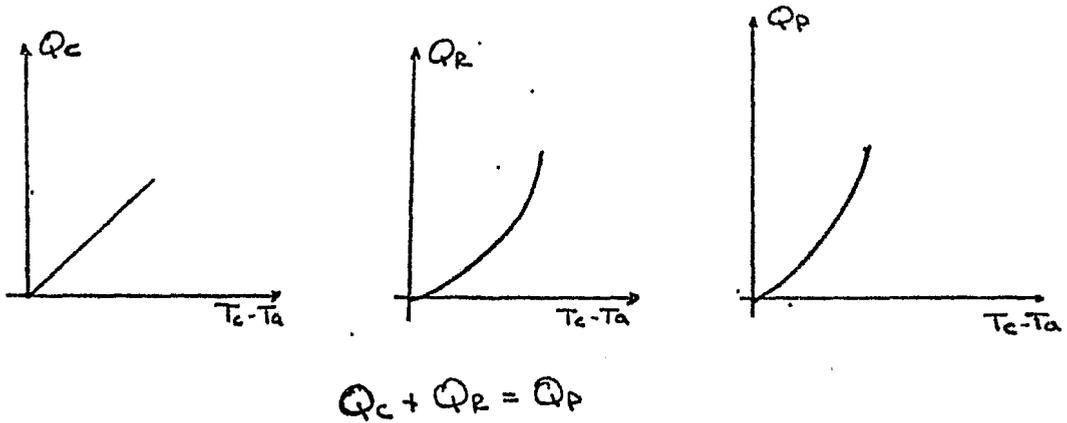
PERDIDAS POR RADIACION :

$$Q \text{ Rad.} = K_r (T_c^4 - T_a^4) A_p$$

Donde las temperaturas están elevadas a la cuarta potencia y en °K, la cte. Kr, está en función de $K_r (F_{1-2}, \epsilon, \alpha, T)$

$$\text{Donde } T = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{kw}}{\text{m}^2 \text{°K}^4}$$

Haciendo gráficas de pérdidas con cambios de temperaturas.



Se obtiene una relación de pérdidas de la forma.

$$Q_p = A_p J (T_c - T_a)^g$$

Donde g tiende a 1 para convección

g tiende a 4 para radiación

Ejemplo :

Supóngase que el flujo de calor unitario $q_p = 100 \text{ W/m}^2$ para una diferencia de temperaturas entre el medio ambiente y la placa de colección de 15°C y además $q_p = 1000 \text{ W/m}^2$ para 105°C . Calcular j y g .

dada la ecuación $q_p = J (T_c - T_a)^g$
sustituyendo valores

$$100 = J (15)^g$$
$$1000 = J (105)^g$$

Sacando logaritmos.

$$\ln 100 = \ln J + g \ln 15$$
$$\ln 1000 = \ln J + g \ln 105$$
$$4.61 = \ln J + 2.71 g \quad \text{ec. 1}$$
$$6.91 = \ln J + 4.65 g \quad \text{ec. 2}$$

restando la ecuación 1 de 2

$$2.30 = 1.94 g$$

de donde $g = 1.19$

de 1 $J = 4.04$

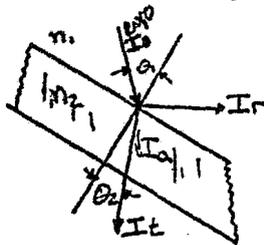
Por lo tanto la ecuación de pérdidas será :

$$Q_p = A_c 4 (T_c - T_a)^{1.2} \text{ watts.}$$

Que se utilizará mas adelante.

3.5 Transmisión de Radiación a Través de Medios Parcialmente Transparentes.

En general si se tiene un medio parcialmente transparente por ejemplo : (vidrio), - se tendrá que una parte de la radiación incidente I_0 , se transmite, otra se refleja y otra se almacena.



donde:

n = índice de refracción

si $n_2 > n_1$; $\theta_2 < \theta_1$

$$I_0 = I_t + I_a + I_r$$

$$1 = \rho + \alpha + \tau$$

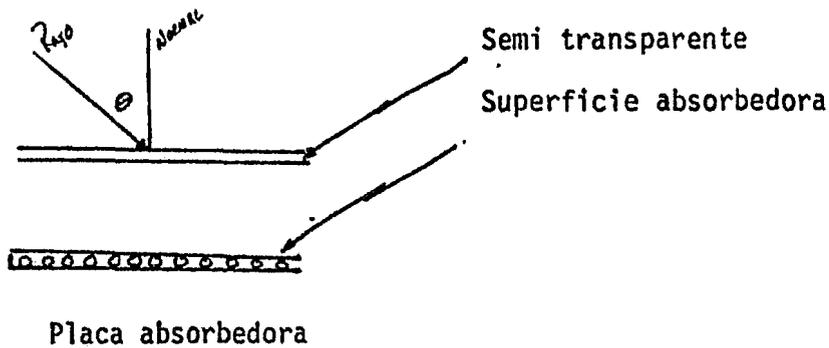
En cuerpos opacos cuyas dimensiones $\gg 25 \mu m$

$$\text{con } \tau = 0 \quad \alpha + \rho = 1$$

En cuerpos especiales ideales REFLECTORES $\rho = 1$ y $\alpha = 0$ $\tau = 0$

En superficies absorbedoras ideales $\alpha = 1$; $\tau = 0$; $\rho = 0$

En captadores solares planos.



Ahora si la radiación incidente sobre el plano de la primera superficie transparente es I_0 , interesa conocer la radiación absorbida, digamos : I_a

de donde: $\tau > \frac{I_a}{I_0} = (\tau\alpha)$

Para α de sup. absorbedora

$(\tau\alpha)$ "Producto transmitancia - absorptancia del sistema"

Método para conocer la relación $(\tau\alpha)$ cap. 6 Duffe . La radiación reflejada está en función de los siguientes términos.

$$\rho(\lambda, \theta_i, n_1, n_2, k)$$

donde K = Coeficiente de extinción del medio semitransparente, para un salido $K = \bar{I}$

Asimismo, $K, n_1, n_2 \text{ y } \theta$

con $\theta = \theta_1$ Angulo de incidencias, por lo que la reflexión = $\rho = \frac{I_r}{I_0}$

$$\rho = \frac{I_r}{I_0} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \right] \text{ ec 6.1.1.}$$

Asimismo para conocer el ángulo de refracción

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \quad \text{Por Ley de Snell}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1 \right) \text{ ec 6.1.2}$$

Ejemplo: DADOS n_1 (aire) = 1
 n_2 (vidrio) = 1.5
 $\theta_1 = 60^\circ$
 y $\theta_2 = 34.58^\circ$ de 6.1.2

Sustituyendo 6.1.2 en 6.1.1. obtenemos el porcentaje de reflexión -

ρ

$$\rho = \frac{1}{2} \left[\frac{0.1873}{0.9936} + \frac{0.2259}{155.8} \right]$$

$$\rho = 0.0934$$

$$\rho = 9.34\% \text{ DE REFLEXION}$$

Si llamamos Z_r a la transmisión del sistema de n ($n=1,2,3,\dots$) cubiertas semitransparentes todas del mismo material; debido a la reflexión.

$$Z_{rn} = \frac{1 - \rho}{1 + (2n - 1)\rho} \quad \text{Ec. 6.1.6}$$

si $n=1$

$$Z_{r1} = \frac{1 - \rho}{1 + \rho}$$

Si calculamos ahora Z_a la fracción de la radiación que se transmite habiendo perdido la radiación absorbida por la (s) cubierta (s).

Se tiene por la Ley de Bouger

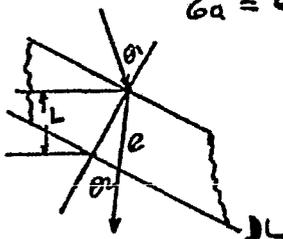
$$Z_a = \exp(-KL) \quad \text{Ec. 6.2.2.}$$

Donde L = es el paso de radiación a través de la cubierta

SI EL ESPESOR DE LA PLACA ES e DEL DIBUJO SE TIENE QUE

$$L = \frac{e}{\cos \theta_2} \quad \text{y LA EXPRESION PARA } Z_a \text{ SERA}$$

$$Z_a = \exp\left(-K \frac{e}{\cos \theta_2}\right) \quad \text{Ec. 6.2.2.}'$$



$$\text{Así } Z = Z_r Z_a \quad \text{Ec. 6.2.3.}$$

Ahora τ es la fracción de la radiación transmitida por la (s) cubierta, DL donde podemos obtener la radiación que realmente es absorbida en la superficie absorbidora será :

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1 - (1-\alpha)\rho_d} \quad \text{Ec. 6.3.1}$$

Donde ρ_d es la "reflectancia difusa" dada por la ecuación - 6.1.1 para $\theta_1 = 60^\circ$ y es constante

Técnica para calcular el factor $(\tau\alpha)$

Dados $\theta_1; n_1; n_2; k; \epsilon; \eta; \alpha$ $\eta = \eta^\circ$ cubiertas

calcular $(\tau\alpha)$

- 1) Calcular ρ_d en (6.1.1) con $60^\circ = \theta_1$ en 6.1.2
- 2) Calcular ρ en (6.1.1) con θ_1 en 6.1.2 VARIABLE
- 3) Calcular con el resultado de 2 en 6.1.6 τ
- 4) Con el resultado de (6.1.2), θ_1 en (6.22.)' A $\tau\alpha$
- 5) Con el resultado de 3 y 4 τ en (6.2.3)
- 6) Con el resultado de 5 y 1 $\tau\alpha$ en (6.3.1)

Dado que se ha calculado el factor $(\tau\alpha)$ se puede conocer ahora la energía ganada, por la expresión:

$$Q_g = [H_b R_b + H_d R_b] (z\alpha) A_c$$

En algunos casos pueden considerarse valores ctes de $(z\alpha)$ independientes de θ , con

$$\alpha = 0.95 \quad k=0 \text{ no absorbe}$$

$$\text{Para } \eta=1 \quad z\alpha \approx 0.87$$

$$\eta=2 \quad z\alpha \approx 0.80$$

$$\eta=3 \quad z\alpha \approx 0.75$$

Para valores de $\pm 60^\circ$ de θ_1

3.6 Colectores Planos.

Los colectores solares se clasifican en dos grupos generalmente. Al primero pertenecen aquellos colectores llamados fijos en los que no hay concentración radiación y que consisten de placas metálicas, pintadas de negro en la superficie expuesta al Sol, aislando la parte posterior para reducir al máximo las pérdidas de calor.

Generalmente se suelen colocar delante de ellas una o varias cubiertas de vidrio o plástico, capaces de transmitir la radiación solar. El número óptimo de éstas depende del nivel de temperatura de operación, la intensidad de la radiación solar y el aspecto económico. Este tipo de colectores es propio para aplicaciones de baja temperatura.

Los colectores llamados concentradores, pertenecen al segundo grupo, los cuales colectan la energía recibida en una gran área, que dirige a otra muy reducida. Este tipo de colectores es necesario un mecanismo para seguir al Sol, de tal manera que estén siempre conectados. La concentración se realiza por medio del espejo o lente curvos.

Existen varias formas de este tipo de colectores, una de ellas en la forma cilindro-parabólica, en cuyo foco se puede colocar un tubo el cual absorberá gran parte de la energía reflejada por el espejo.

Con dichos colectores, se puede llegar a temperaturas del orden de 200 y 600°C, con lo cual resulta útil para operar un sistema de aire acondicionado por absorción, cuya fuente de energía sea la solar.

En la siguiente tabla, se muestran las temperaturas de equilibrio para absorbedores de placa plana y concentradoras de espejo en una atmósfera a 26°C, según la radiación excedente (Frank Kreith).

Tipo de Absorbedor	Radiación Excedente		Eficiencia
	En K cal/hr. m ²		
Placa Plana	550	800	
1 cubierta de vidrio	85°C	107°C	30—50 %
2 cubierta de vidrio	97°C	123°C	30—50 %
3 cubierta de vidrio	109°C	139°C	30—50 %

ESPEJOS

Relación de concentración de 5	204°C	271°C	50 %	75 %
Relación de concentración de 10	332°C	443°C	50 %	75 %
Relación de concentración de 20	546°C	738°C	50 %	75 %

Para este estudio se pensó en utilizar colectores de placa plana o colectores planos, ya que el cálculo de total de radiación se calculará -- por unidad de área del colector.

Uno de los problemas de colectores planos es su bajo rendimiento, su eficiencia depende de un número de factores y será mayor si :

- 1.- El coeficiente de transmisión del cristal se maximiza.
- 2.- Si la transmitancia para el flujo de calor de salida se minimiza.
- 3.- Si el coeficiente de absorción de la placa se maximiza.
- 4.- Si el coeficiente de ondas largas se minimiza.

Otra forma de mejorar el rendimiento de los colectores de placas planas, es reducir -- las pérdidas de calor, creando un vacío parcial entre la

placa de absorción y su tapa transparente. Para evitar que una tapa transparente se rompa bajo la presión atmosférica cuando se vacía al interior, puede insertarse espaciadores cortos separando la placa de absorción y la lámina de soporte, de esta manera, el vacío será un aislante superior a cualquier grosor practicable de un material aislante.

La mejora es mas pronunciada cuando se utilizan superficies selectivas que reducen las pérdidas radiantes en función de la baja ermitancia de la superficie absorbente y las pérdidas conductivas disminuyen con el vacío creado entre el absorbedor y sus tapas.

De cada uno de los títulos y subtítulos, se puede obtener mucho mas información, lo que se presenta aquí es con el fin de aumentar la inquietud hacia el estudio de la energía solar.

4.- SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO.

4.1 Generalidades.

El término "Aire Acondicionado" implica la creación y mantenimiento de una atmósfera que tenga condiciones de temperatura, humedad; circulación y pureza de aire, tales que se produzcan los efectos deseados por los ocupantes de ese espacio o los materiales que serán ahí manejados o almacenados; dichos efectos, pueden ser, comodidad o salud de los ocupantes.

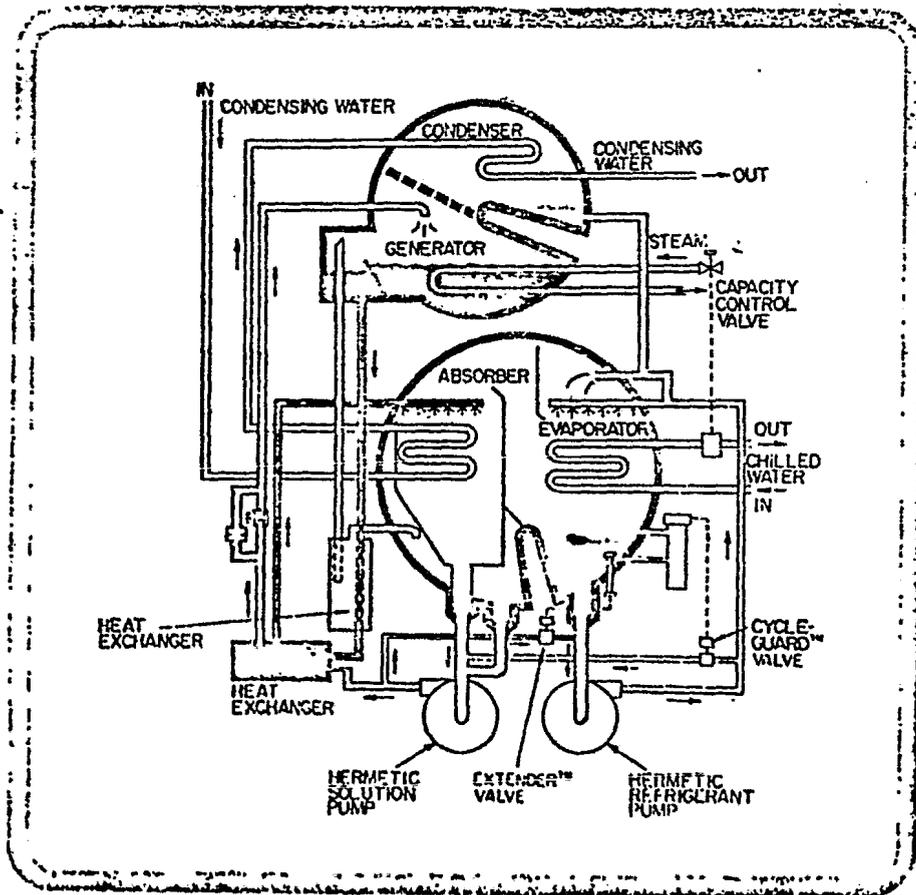
El hablar de aire acondicionado, involucra el empleo de los siguientes términos :

- Acondicionamiento de aire en el Verano.
- Acondicionamiento de aire en el Invierno.

Con el enfriamiento y deshumidificación del aire en verano y/o calentamiento y humidificación del aire en el invierno, proporcionándose en ambos casos circulación de aire.

Uno de los puntos difíciles dentro de la implantación de un sistema de aire acondicionado es sin lugar a duda el acondicionamiento de aire en el verano, por los elementos que esto involucra, uno de los cuales es el refrigerante.

Un refrigerante, se puede utilizar o emplear de dos modos diferentes. Uno de estos es con cámara de absorción, generador, evaporador y condensador en un ciclo de absorción.



4.2 Sistema de Absorción.

Los principios de la refrigeración por absorción fueron conocidos a principios de 1777 y 1850, un científico francés llamado Ferdinand Carre', tuvo buen éxito en la creación de una máquina de absorción que operaba con calor, utilizando amoníaco como refrigerante y agua como absorbente. Esta combinación alcanzó su importancia comercial durante el siglo 19 y principios del 20.

Durante 1920 y 1930, considerables investigaciones fueron dedicadas a los ciclos de refrigeración por absorción. Hubo sucesos significativos, especialmente con las máquinas de gran capacidad.

Después en 1940, Carrier empezó a realizar investigaciones intensas dentro de la refrigeración por absorción, aplicándolos en máquinas de gran capacidad; cinco años después en 1945, la primera máquina comercial de gran tamaño fué instalada en Fulton, New York, su capacidad fué de 150 toneladas y fué usada para un proceso de enfriamiento de agua sobre un programa de operación de 24 horas al día.

Hoy en día, existen muchas industrias que fabrican grandes máquinas de absorción, todas usando Bromuro de Litio como el absorbente y agua como refrigerante. Las primeras máquinas complejas en apariencia, con muchos tubos externos y poco atractivos.

A través de los años, las máquinas sufrirán transformaciones con métodos de control, materiales y formas. Ahora las máquinas de absorción están enfriando líquidos para muchas industrias diferentes, así como a centenares de sistemas de aire acondicionado; como un dato al respecto, podremos decir que la máquina de absorción con Bromuro de Litio, fué seleccionada por la Marina de Estados Unidos para enfriar el submarino atómico, con un rango de capacidad de 100 a 1200 toneladas.

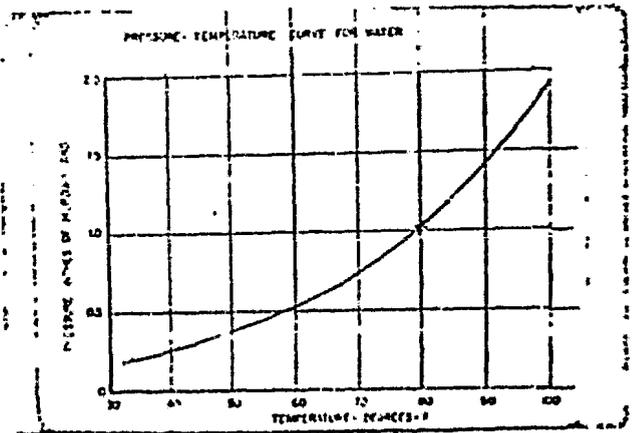
Cuando la refrigeración es mencionada, mucha gente piensa en los compresores del tipo recíprocante o centrífugo, usando un refrigerando volátil como 12₁R-12, que hierve a - 6.1 °C a la presión atmosférica y se evapora a 4.4 °C cuando la presión es de 16.78 Kg. sobre atmósfera normal. El calor para eva

porar el refrigerante, es tomado del aire o agua, pasando a través de un espiral, de tal manera que el refrigerante está fluyendo.

Mucha gente, no concibe que el agua sea un refrigerante, pues solo piensa en la evaporación y ebullición de la misma, así como un cuadro donde esté una olla sobre la estufa y aún mas podrían tan solo pensar en la ebullición del agua conectado con equipos para generación de poder donde el rango de temperaturas y presiones son muy grandes.

En la actualidad, la ebullición del agua puede ser variada por la presión. El agua hierve a 100°C con la presión atmosférica al nivel del mar, sin embargo a 3000 metros de altura, la presión es substancialmente menor y el agua hierve a 88.8°C

Esta curva muestra el efecto de la presión sobre la temperatura de ebullición del agua. Por ejemplo, cuando la presión es de $0.034 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ hierve a 26.66°C.



Llegando a un extremo, el agua puede hervir a 0°C, manteniendo la presión del agua a $0.006 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$, lo anterior implica que la temperatura disminuye en función de la presión. Para el acondicionamiento de aire normal, puede usarse agua de 4.4 a 7.2°C sobre la curva de presión-temperatura, vemos que una presión de $0.1 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$ el agua va a evaporarse a 7.2°C.

Con el agua como refrigerante, puede ser hervida en el rango de temperaturas de 4 a 7°C manteniendo una presión de $0.1 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ la presión de succión puede ser producida por una bomba de vacío. Sin embargo por cada tonelada de refrigeración producida por éste "enfriador rápido" se generan 400 cfm de vapor de agua de baja presión.

Si consideramos 10 toneladas como carga de refrigeración, la bomba va a necesitar una capacidad de bombeo de 10 x 400 ó 4000 cfm. El tamaño físico y económico de un invento mecánico de esta capacidad, hace que esta proposición sea poco práctica.

La necesidad de baja presión para producir agua fría, puede también conseguirse más económicamente y en un espacio mucho más reducido a través del uso de un absorbedor. El absorbedor usado en unidades de gran capacidad de refrigeración por absorción, es una solución de bromuro de litio, este es identificado químicamente como Li Br.

Previamente a la elección de Li Br como el absorbente, fueron hechas muchas pruebas sobre varias combinaciones de absorbente y refrigerante. Solo después de exhaustivos estudios, fué seleccionado el bromuro de litio por tener las mejores características en el uso de unidades comerciales de absorción de gran capacidad.

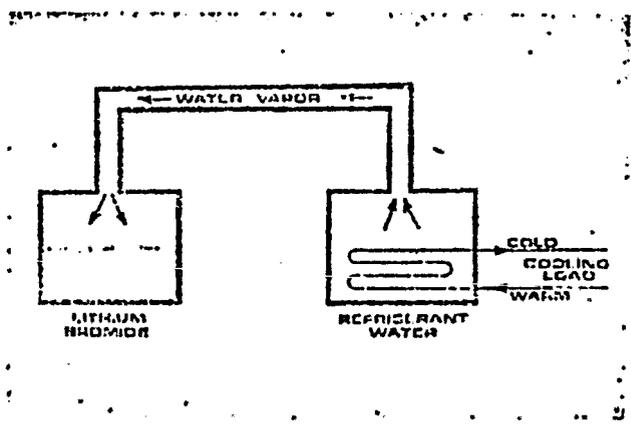
El ciclo de la máquina de absorción, está basado en dos principios :

- 1.- La solución de Bromuro de Litio tiene la habilidad de absorber vapor de agua.
- 2.- El agua va a hervir o se va a enfriar rápidamente a bajas temperaturas cuando subsiste un gran vacío o baje la presión absoluta.

Estos dos principios son usados en las máquinas de absorción para obtener refrigeración por pulverización del agua en una cápsula manteniendo un gran vacío; una porción del agua se evapora y el resto se enfría.

El ciclo de operación es continuo, sin embargo no es fácil entender como puede separarse diagramáticamente en sus componentes simples.

En la siguiente figura a la izquierda, se encuentra una cápsula que contiene solución de bromuro de litio y en la derecha, la cápsula contiene agua, un tubo conecta las dos cápsulas y el aire es evacuado de ellos quedando presente solo vapor de agua. El bromuro de litio empieza a absorber el vapor de agua y cuando el vapor es absorbido, el agua hierve, generando mas vapor y causando que el resto del agua se enfríe.



La baja presión de vapor de la solución de Li Br, permite que el vapor fluya de evaporador al absorbedor. Al evaporador entra un tubo conteniendo la carga de refrigeración recogida del medio a-- acondicionar, entrando esta caliente, es envuelta por el agua enfriada y así se logra disminuir su temperatura saliendo aproximadamente a 4.4°C.

Como el bromuro de litio continúa absorbiendo vapor de agua, empieza ésta a diluirse decreciendo su capacidad de absorción y por último puede suceder que la presión dentro de las dos cápsulas -- llegan al equilibrio provocando la ruptura del flujo, para prevenir esto y conservar trabajando el ciclo, parte de la solución débil es absorbida a un generador donde se le aplica calor por medio de vapor o agua caliente, eliminando el vapor absorbido por el bromuro de litio y concentrando así la solución.

La solución dura, retorna al absorbedor por gravedad y así se mantiene la solución concentrada requerida.

Puesto que la solución débil - que llega al generador tiene que estar caliente y la solución dura que regresa de él debe ser fría, se usa un Cambiador de Calor en el circuito de la solución, efectuando la función de enfriamiento-calentamiento, esto - aumenta la eficiencia del ciclo.

Si el vapor de agua que se produce en el generador al enriquecer la mezcla se lanzara a la atmósfera, provocaría la necesidad de reponer igual cantidad de agua al ciclo, además de la eliminación del vacío en el sistema, para evitar estas situaciones, es adicionado un condensador donde puede ser condensado el vapor de agua y retirarlo al evaporador, de esta forma no se pierde agua en el ciclo.

El agua que utiliza el condensador, es suministrado por una fuente externa, pasando primero por el absorbedor para bajarle su temperatura y así poder realizar su trabajo.

En resumen, el ciclo de absorción, consiste de cuatro componentes:

- 1.- El Evaporador
- 2.- El Absorbedor
- 3.- El Generador
- 4.- El Condensador

Existen por supuesto, muchas posibles combinaciones en cuanto al arreglo de los componentes del ciclo.

En las máquinas comerciales, se usa una configuración como la siguiente :

El evaporador y el absorbedor, son combinados en una cápsula y el generador y condensador en otra, colocando el cambiador de calor fuera de ellos, quedando colocados en la cápsula de arriba los elementos de mayor presión y temperatura y en la cápsula de abajo, los elementos de presión y temperatura baja. - Esto proporciona suficiente fluido natural para mover la solución concentrada del generador al absorbedor sin bombas.

Una vez descrito el ciclo y los componentes del mismo, se hace necesario el exámen de las propiedades del bromuro de litio, ilustrando la pre-

siones y temperaturas relativas así como los grados de concentración de la solución.

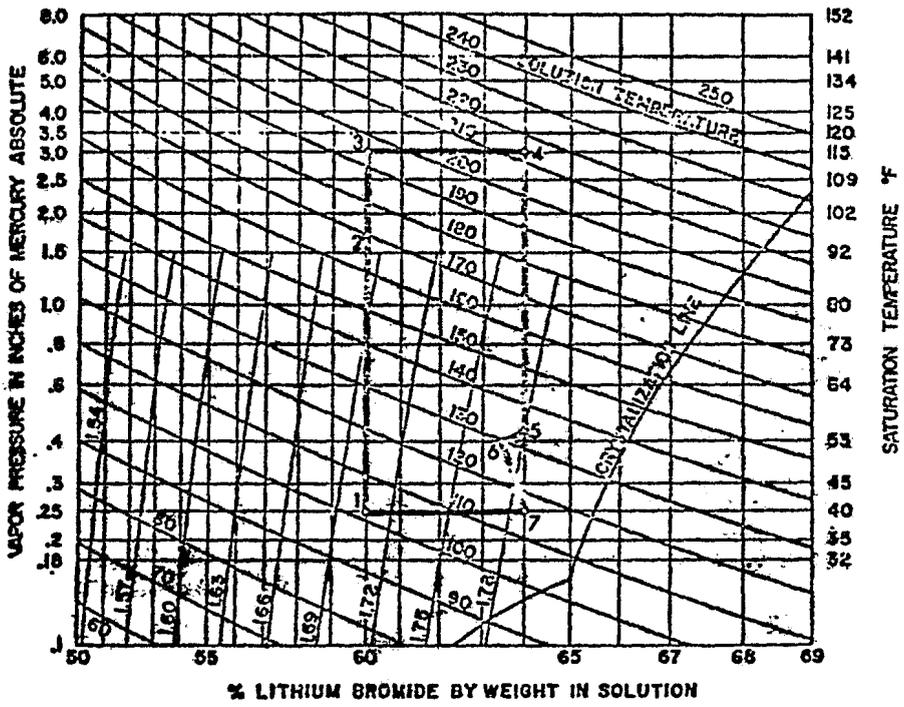
La presión, temperatura y relación de concentración del Li Br, puede determinarse mediante un diagrama de equilibrio, el sistema utilizado en el diagrama es de acuerdo a los datos del mismo.

En esta gráfica, la escala vertical de la izquierda, representa 0% de concentración de Li Br, la escala de la derecha, presenta la temperatura de saturación del agua, correspondiendo al valor de presión en la izquierda, por ejemplo: 45°F, corresponde 0.3" Hg absoluta. La línea horizontal representa la concentración de la solución de bromuro de litio, esto es si se tiene 60% de concentración en la solución; representa 40% de agua y 60% Li Br.

Las líneas curvadas representan la temperatura actual de la solución, no confundirla con la temperatura de saturación del agua.

Ejemplo: Si se tiene una solución con un grado de concentración del 58%, con una temperatura de saturación de 45°F y presión de vapor de 0.3" Hg absoluto, se tiene una temperatura de solución de 100°F

La línea que se encuentra en la esquina inferior derecha, representa la línea de cristalización. Esta línea representa las condiciones a las cuales la solución empieza a --



cambiar de líquido a sólido y los límites de operación del ciclo de absorción. Satisfactoriamente el ciclo de operación se mantiene sobre la línea de cristalización.

Las líneas curvadas verticales - representan la gravedad específica que determina la concentración de la solución.

Ejemplo: Una temperatura de ---- 150°f, con gravedad específica -- 1.69, nos da 60% concentración.

El diagrama descrito anteriormente, se puede trazar el ciclo de la solución de una - máquina de absorción a plena carga.

La línea 1-2 representa el flujo de la solución débil del absorbedor, a través de un cambiador de calor llegando al generador. Nuestro análisis se concentrará en el generador y condensador, ya que es en estos elementos donde, como se dijo antes, se lleva a cabo el enriquecimiento de la solución.

Se puede decir que la presión en el condensador, se establecerá por la temperatura -- que tome el condensador; el calor removido en el condensador es aproximadamente el 70% del removido en el ab--sorbedor.

La temperatura máxima de saturación que alcanza la solución, es de 115°f con una presión de 3" Hg absoluto y se encuentra en la cápsula del generador y condensador, la diferencia de presión que se requiere para mover el vapor de agua del primero al segundo a través de los eliminadores es pequeña y no entérrica, por lo que se asume igual presión.

La primera adición de calor en el generador, es el calor sensible producido por fuente de energía externa elevando la temperatura de la solución de 195° al entrar en el generador hasta 212°F al salir él.

La fuente de energía es el motivo de nuestro estudio, proponiendo un sistema de energía solar, con esto se logra la separación del agua absorbida por la solución para pasarla al condensador.

Separado el exceso de agua en la solución, pasa a través de un cambiador de calor para reducir su temperatura (línea 4-5), permitiendo pulverizarla o introducirla en el absorbedor (línea 5-6), una -

vez estando la solución dura en el absorbedor, absorbe - reduce su temperatura rápidamente casi a la misma presión. La rapidéz en el ciclo de absorción, permite incrementar la concentración de la solución (línea 6-7).

Dado que la solución dura o concentrada se encuentra en el absorbedor y el condensado es enviado al evaporador, empieza la saturación de la solución, llegando al punto 1 donde de nueva cuenta se bombea al generador con lo cual se cierra el ciclo.

Ordinariamente, las máquinas de absorción, utilizan vapor a baja presión o agua caliente como fuente de energía en el generador para concentrar la solución saturada. Los límites de temperatura usualmente se considera como valor máximo de 115°C del diagrama de equilibrio del Li Br; la temperatura en el generador está comprendida entre 95 y 105°C, por lo que la fuente de energía debe proporcionar un fluido con mayor temperatura que la anterior para poder separar el agua de la solución.

4.3 Condiciones de Operación.

Las condiciones a las que opera una máquina de absorción, están fundamentadas para capacidad nominal, a una presión de vapor de 12 psig. temperatura del agua enfriada a la entrada de 85°F, temperatura del agua enfriada a la salida de 45°F, y 3 gPm, de agua del Condensador por tonelada de refrigeración, datos que se obtienen del Manual de Carrier 16 JB.

Siguiendo el procedimiento de selección del Manual antes mencionado, podemos conocer las condiciones de operación para nuestro sistema, por medio de interpolación, dado que los datos están referidos para cargas mayores a 100 toneladas, siendo nuestra carga de tan solo 10 toneladas de refrigeración.

Se considera de suma importancia para el desarrollo de nuestro estudio, el conocer primordialmente el consumo de vapor, para determinar la cantidad de energía requerida en el Colector. Las condiciones de operación que no se relacionan con el Generador, no las consideramos, ya que no son contempladas en nuestro Tema.

Establecido lo anterior, el consumo de vapor se obtiene fundamentados en la razón de vapor base de 18 lb/ton hr. que afectado por un factor de corrección obtenido del mismo manual para condiciones normales, nos da un valor de :

$$\begin{aligned} \text{Consumo de vapor} &= 18 \frac{\text{lb}}{\text{ton hr}} \times 0.99 \times 10 \text{ ton.} \\ &= 17.8 \frac{\text{lb}}{\text{ton hr}} \times 10 \text{ ton.} \\ \text{Consumo de vapor} &= 178 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

Conociendo el Consumo de vapor requerido, se presenta la posibilidad de utilizar un colector de placa plana, con el cual se obtiene una temperatura capaz de satisfacer las necesidades del sistema (uso directo de la energía solar, Farrington, Blaine P. 118-181). - Además de usar superficies selectivas.

Por lo que pasaremos al estudio - del Colector y la obtención de la temperatura que este nos proporcione, cabe mencionar que se piensa en la factibilidad de utilizar este tipo de colectores hasta que el desarrollo del estudio lo confirme o demuestre lo contrario.

5.- DESARROLLO DEL ESTUDIO.

5.1 Datos y Consideraciones.

Como se ha venido diciendo a lo largo de esta presentación, solo se trata de demostrar - cuales son las posibilidades de poder sustituir la fuente de calor de un sistema de Aire Acondicionado por absorción, por energía solar.

El cálculo y diseño del colector, se efectuará basados en algunos datos y condiciones tomados de publicaciones y seminarios. Como datos preliminares, diremos que el estudio se efectuará para un día del año en especial, el equinoccio de primavera 21 de marzo para un lugar con latitud 20°. Los materiales y consideraciones del colector, se mencionarán en el desarrollo de su diseño.

Una de las condiciones importantes es la suposición de que la radiación total es de la forma Senoidal, para poder adoptar una ecuación del tipo $H_t(t) = H_{tm} \cos\left(\frac{180t}{td}\right)$ 1.2 para valores de $-\frac{td}{2} \leq t \leq \frac{td}{2}$

donde T_d es la duración del día solar en horas

H_{tm} la radiación puntual considerada de $1 \frac{Kw}{m^2}$

El valor de la radiación puntual se justifica en base al valor que se considera para la radiación extraterrestre o constante solar de --- $1.4 \frac{Kw}{m^2}$ es factible considerar a la radiación puntual total del $1 \frac{Kw}{m^2}$ y la directa de $0.7 \frac{Kw}{m^2}$

Datos para el cálculo de radiación incidente:

$$\text{Declinación} = 23.45 \text{ sen } \left(360 \frac{284 + n}{365} \right)$$

Día del cálculo : 21 de marzo.

Localización del lugar a 20° latitud norte.

Duración del día en segundos

5.2 Cuantificación de la Energía Radiante Recibida.

Para el día 21 de marzo que representa el día número 80, esto es: $n=80$. Sustituyendo en la ecuación para encontrar la declinación se tendrá:

$$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \left(360 \frac{284+80}{365} \right)$$

$$\delta = -0.40$$

Con este valor de la declinación y para un lugar con latitud $\phi = 20^\circ$ la duración del día T_d , será :

$$T_d = \frac{2}{15} \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta)$$

Sustituyendo Valores

$$T_d = 0.1333 \cos^{-1} (-\tan 20^\circ \tan (-.40))$$

$$T_d = 11.09 \text{ horas}$$

$$T_d = 43128 \text{ segundos}$$

$$\frac{T_d}{2} = 21564 \text{ segundos}$$

El cálculo de la radiación, se efectuará para valores del tiempo entre $-\frac{T_d}{2} \leq t \leq \frac{T_d}{2}$ con una verificación de $\Delta t = 900 \text{ seg.}$ a partir de $-\frac{T_d}{2} = 21600$ lo que representa el inicio a 36 seg. antes del alba, para tener un número cerrado de lecturas.

Ahora con los datos anteriores y el uso de las ecuaciones

$$H_t(t) = H_{tm} \left(\cos \frac{180 t}{t_d} \right) \quad 1.2$$

$$H_b(t) = H_{bm} \left(\cos \frac{180 t}{t_d} \right) \quad 1.5$$

$$H_d = H_t - H_b$$

Se obtiene la tabla 5.2.1

T A B L A 5.2.1.

T Seg. Tiempo	Kw/m Ht	Kw/m Hb	Kw/m Hd
21600	-----	-----	-----
20700	0.03616	0.01104	0.02511
19800	0.08496	0.03210	0.05285
18900	0.1387	0.05927	0.07942
18000	0.1955	0.0910	0.1044
17100	0.2542	0.1264	0.1277
16200	0.3139	0.1645	0.1493
15300	0.3740	0.2047	0.1692
14400	0.4336	0.2463	0.1872
13500	0.4924	0.2888	0.2035
12600	0.5499	0.3314	0.2184
11700	0.6054	0.3738	0.2315
10800	0.6587	0.4154	0.2433
9900	0.7092	0.4556	0.2535
9000	0.7566	0.4940	0.2625
8100	0.8007	0.5301	0.2705
7200	0.8409	0.5637	0.2771
6300	0.8771	0.5942	0.2828
5400	0.9090	0.6213	0.2076
4500	0.9364	0.6448	0.2915
3600	0.9591	0.6644	0.2946
2700	0.9769	0.6798	0.2970
1800	0.9897	0.6910	0.2986
900	0.9974	0.6977	0.2996
0	1.0000	0.7000	0.3000
900	0.9974	0.6977	0.2996
1800	0.9897	0.6910	0.2986
2700	0.9769	0.6798	0.2970

3600	0.9591	0.6644	0.2946
4500	0.9364	0.6448	0.2915
5400	0.9090	0.6213	0.2876
6300	0.8771	0.5942	0.2828
7200	0.8409	0.5637	0.2771
8100	0.8007	0.5301	0.2705
9000	0.7566	0.4940	0.2625

Hasta ahora se ha calculado la radiación que incide sobre un plano horizontal por lo que se hace necesario el cálculo de factores que corrijan dicha radiación hacia un plano inclinado.

Los factores adimensionales son R_b y R_d

Donde $R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_2}$ corrector de la radiación directa.

$$\text{PARA } \cos \theta_2 = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega$$

Como se puede observar, el ángulo de incidencia θ_2 se encuentra en un plano horizontal y orientado al sur esto es $\gamma = 0^\circ$ y $S = 0^\circ$, por lo que solo queda en función de los ángulos de declinación, (δ) latitud (ϕ) y horario (ω)

Si consideramos que el plano inclinado está orientado al Sur, el ángulo de incidencia $\cos \theta$ estará en función de ϕ, δ, ω , y con estos dos ángulos $\cos \theta$ y $\cos \theta_2$, existe una relación entre un plano inclinado y horizontal.

El ángulo horario W varía 15° cada hora y se tiene el período de estudio $\Delta t = 0.25$ hrs. tendremos un intervalo $w = 3.75^\circ$.

El ángulo horario al alba se obtiene de la ecuación:

$$W_s = \cos^{-1} (- \tan \phi \tan \delta)$$

sustituyendo valores

$$W_s = 89.85^\circ$$

Tomando en cuenta 25 lecturas - con un intervalo de $w = 3.75^\circ$, se tiene como primer valor de $w = 90^\circ$ que representa 36 seg. antes del alba.

Si consideramos un colector --- orientado en la dirección norte-sur ($\gamma = 0$) a las --- 12.00 horas tiempo solar, tendremos que $\theta = \delta + s - \phi$

Si lo que deseamos es que la radiación solar incida perpendicularmente sobre el colector, tendremos que hacer que $\theta = 0^\circ$ y por lo tanto la inclinación del colector será a un ángulo "s" dado por :

$$s(n) = \phi - \delta(n) \text{ para cada día en un lugar determinado}$$

Sustituyendo valores de θ y δ , tendremos una pendiente de:

$$s = 20 - (-0.40)$$

$$s = 20.4^\circ$$

Y la ecuación para conocer el ángulo de incidencia en función de los ángulos ϕ , s , δ , w se tendrá

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_2}$$

$$\cos \theta = (\theta - s) \cos \delta \cos w + \sin (\phi - s) \sin \delta$$

$$\cos \theta_2 = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos w$$

Tomando valores constantes para los ángulos ϕ, s, δ y variando el ángulo horario 3.75° - a partir de 90° obtendremos los datos de la tabla 5.2.2.

Con los valores de los ángulos, las ecuaciones anteriores quedarán como:

$$\cos \theta = \cos (20 - 20.4) \cos (0.4) \cos w + \sin (20 - 20.4) \sin (-.4)$$

$$\cos \theta = (0.9999) (0.9999) \cos w + 0.00004$$

$$\cos \theta = 0.9999 \cos w$$

$$\cos \theta_2 = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos w$$

$$\cos \theta_2 = -0.0023 + 0.9396 \cos w$$

TABLA 5.2.2.

w	cos θ	θ	cos θz	Rb
90	0	90	-----	-----
86.25	0.0653	86.25	0.5915	1.1039
82.5	0.1305	82.5	0.12034	1.0844
78.75	0.1950	78.75	0.1810	1.0773
75.0	0.2587	75.0	0.2408	1.0740
71.25	0.3214	71.25	0.2996	1.0724
67.5	0.3826	67.50	0.3572	1.0710
63.75	0.4422	63.75	0.4132	1.0700
60.0	0.4999	60.00	0.4674	1.0694
56.25	0.5555	56.25	0.5196	1.0690
52.5	0.6687	52.50	0.5695	1.0685
48.75	0.6592	48.75	0.6171	1.0681
45.0	0.7070	45.00	0.6620	1.0679
41.25	0.7517	41.25	0.7040	1.0676
37.5	0.7932	37.50	0.7430	1.0674
33.75	0.8313	33.75	0.7789	1.0672
30.0	0.8659	30.00	0.8113	1.0672
26.25	0.8967	26.26	0.8404	1.0669
22.5	0.9237	22.51	0.8657	1.0669
18.75	0.9468	18.76	0.8874	1.0668
15.0	0.9658	15.02	0.9052	1.0668
11.25	0.9806	11.27	0.9192	1.0667
7.5	0.9913	7.54	0.9292	1.0667
3.75	0.9977	3.83	0.9352	1.0667
0	0.0000	0.8	0.9373	1.0667
3.75	0.9977	3.83	0.9292	1.0667
7.5	0.9913	7.54	0.9292	1.0667
11.25	0.9806	11.27	0.9192	1.0667

En el factor de corrección (Rd) de la radiación difusa, se recomienda para compensar la disminución de ésta sobre el plano inclinado por efecto de la incidencia, utilizar :

$$R_d = R_b \quad s=60^\circ \text{ por lo que } R_d = f(\phi, \delta, \omega), \text{ para todo tiempo } t = \text{cte}$$

y la ecuación que lo representa será

$$R_d = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} = \frac{\cos(\phi - s) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - s) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta}$$

Sustituyendo Valores para "s" = 60°

$$R_d = \frac{\cos(20-60) \cos(-0.40) \cos \omega + \sin(20-60) \sin(-0.40)}{\cos 20 \cos(-0.40) \cos \omega + \sin 20 \sin(-0.40)}$$

$$R_d = \frac{0.7660 \cos \omega + 0.0044}{0.9396 \cos \omega + (-0.0023)}$$

Los datos se presentan en la tabla

5.2.3.

TABLA 5. 2. 3.

W	cos θ	cos θ_z	Rd
90.00	0	90	00
86.25	0.0544	0.05915	0.9196
82.50	0.1043	0.1203	0.8676
78.75	0.1538	0.1810	0.8496
75.00	0.2026	0.2408	0.8410
71.25	0.2506	0.2997	0.8361
67.5	0.2975	0.3572	0.8327
63.75	0.3431	0.4178	0.8210
60.00	0.3874	0.4675	0.8286
56.25	0.4299	0.5197	0.8272
52.50	0.4707	0.5696	0.8262
48.75	0.5094	0.6172	0.8253
45.00	0.5460	0.6620	0.8246
41.25	0.5803	0.7041	0.8241
37.5	0.6121	0.7431	0.8236
33.75	0.6413	0.7789	0.8232
30.00	0.6677	0.8114	0.8228
26.25	0.6914	0.8404	0.8227
22.5	0.7120	0.8657	0.8223
18.75	0.7297	0.8874	0.8222
15.00	0.7442	0.9052	0.8220
11.25	0.7556	0.9192	0.8219
7.50	0.7638	0.9292	0.8219
3.75	0.7687	0.9352	0.8218
0.00	0.7704	0.9373	0.8219
3.75	0.7687	0.9352	0.8218
7.50	0.7638	0.9292	0.8219
11.25	0.7556	0.9192	0.8219

Para saber cuanta energía es -
la que realmente podemos aprovechar de aquella que inci-
de, necesitamos conocer las características del colec-
tor.

La expresión para determinar la energía ganada es :

$$Q_g = [H_b R_b + H_d R_d] \tau \alpha \text{ Kw/m}^2$$

Y establece un factor adimen-
cional $\tau \alpha$ en función del ángulo de incidencia y refrac-
ción y los materiales del colector, dentro de éstos ma-
teriales se encuentra la superficie de colección.

Basados en la publicación del
Instituto de Ingeniería, se tomó como superficie de co-
lección una superficie selectiva de óxido de cobre con
absortancia $\alpha = 0.92$ y emisividad $\epsilon = 0.2$ que nos permi-
te obtener una mayor eficiencia.

Fresnel derivó una relación --
para la reflexión de radiación al pasar de un medio con
índice refractivo n_1 a otro con índice n_2 .

$$\rho = \frac{1}{2} \frac{\sin^2 (\theta_2 - \theta_1) + \tan^2 (\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2 (\theta_2 + \theta_1) + \tan^2 (\theta_2 + \theta_1)}$$

Donde θ_1 y θ_2 son los ángulos de incidencia y refracción relacionados por la Ley de Snell en su expresión.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

Con lo anterior y conociendo el ángulo de incidencia θ_1 y los índices de refracción, las ecuaciones nos dan la reflectancia de la interface (ρ).

Para un sistema de n cubiertas, todas del mismo material.

$$Z_{rn} = \frac{1 - \rho}{1 + (2n - 1)\rho}$$

Si tenemos 1 cubierta la expresión para la transmitancia del sistema debido a la reflexión quedará como

$$Z_{r,1} = \frac{1 - \rho}{1 + (2 \cdot 1)\rho}$$

$$Z_{r,1} = \frac{1 - \rho}{1 + \rho}$$

Y la expresión de Bouger para la absorción de la radiación en un medio parcialmente transparente quedará

$$Z_a(\theta_1) = e^{(-nKL / \cos \theta_2)}$$

Donde K = coeficiente de extinción del medio
parcialmente transparente.

L = grosor de la cubierta. = 0.03 m.

Para obtener la transmitancia -
total permitiendo tanto reflexión como absorción, es ne-
cesario multiplicar las 2 transmitancias anteriores.

$$\tau = \tau_r \tau_a$$

Relacionando la transmitancia τ -
de las cubiertas y la absorción α de la placa absor-
bente, obtendremos el factor $\tau\alpha$ (producto transmitancia
absortancia del sistema). por la expresión.

$$\tau\alpha = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d}$$

Con lo anterior, podemos calcu-
lar el valor de este factor

Como primer paso, se calculará ρ_d para un ángulo de incidencia $\theta_1=60^\circ$.

Por la Ley de Snell, el ángulo de refracción, será :

$$\theta_2 = \text{sen} \left(\frac{n_1}{n_2} \text{sen} \theta_1 \right)$$

sustituyendo para $n_1 = 1$ y $n_2 = 1.5$

$$\theta_2 = \text{sen} \left(\frac{1}{1.5} \text{sen} 60 \right)$$

$$\theta_2 = 35.26^\circ$$

Sustituyendo θ_1 , y θ_2 en la ecuación de Fresnell.

$$\rho_d = 0.11766$$

Para conocer el total del reflección para cada período, se utilizarán las ecuaciones antes descritas y así lograr cuantificar el factor ρ_d en función del ángulo de incidencia θ , y considerando un espesor del vidrio $L=0.03$ m.

Los resultados se muestran en la tabla 5.2.4.

TABLA 5.2.4

θ_2	$\theta_2 - \theta_1$	$\theta_2 + \theta_1$	ρ	z_r	z_a	z	$z\alpha$
41.81	-48.18	131.81	0.9994	0.0003	0.9605	0.0002	0.0001
41.70	-44.54	127.95	0.6900	0.1834	0.9606	0.1761	0.1635
41.37	-41.12	123.87	0.4853	0.3465	0.9608	0.3329	0.3091
40.83	-37.91	119.58	0.3472	0.4845	0.9611	0.4656	0.4324
40.08	-34.91	115.08	0.2529	0.5962	0.9615	0.5732	0.5323
39.14	-32.10	110.39	0.1878	0.6837	0.9620	0.6577	0.6108
38.10	-29.48	105.51	0.1427	0.7502	0.9626	0.7221	0.6706
36.72	-27.02	100.47	0.1111	0.8000	0.9632	0.7705	0.7155
35.26	-24.73	95.26	0.0891	0.8363	0.9639	0.8061	0.7486
33.66	-22.58	89.91	0.0737	0.8627	0.9645	0.8320	0.7727
31.93	-20.56	84.43	0.0629	0.8816	0.9652	0.8509	0.7902
30.08	-18.66	78.83	0.0554	0.8950	0.9659	0.8644	0.8028
28.12	-16.87	73.12	0.0502	0.9043	0.9665	0.8740	0.8117
26.07	-15.17	67.32	0.0466	0.9109	0.9671	0.8809	0.8181
23.94	-13.55	61.44	0.0441	0.9155	0.9677	0.8859	0.8227
21.73	-12.01	55.48	0.0425	0.9184	0.9682	0.8891	0.8257
19.47	-10.52	49.47	0.0414	0.9204	0.9686	0.8914	0.8278
17.15	- 9.10	43.41	0.0408	0.9215	0.9690	0.8929	0.8992
14.78	- 7.72	37.29	0.0404	0.9223	0.9694	0.8940	0.8307
12.38	- 6.37	31.14	0.0400	0.9230	0.9697	0.8950	0.8312
9.94	- 5.07	24.96	0.0400	0.9230	0.9700	0.8953	0.8315
7.48	- 3.78	18.75	0.0399	0.9232	0.9701	0.8955	0.8316
5.01	- 2.52	12.55	0.0400	0.9230	0.9703	0.8955	0.8316
2.55	- 1.27	6.38	0.0395	0.9240	0.9704	0.8966	0.8327
0.53	- .26	1.33	0.0382	0.9264	0.9704	0.8989	0.8348
2.55	- 1.27	6.38	0.0395	0.9240	0.9704	0.8966	0.8327

La cantidad de energía ganada en

$\frac{Kw}{m^2}$ en el colector está determinado por la expresión.

$Q_{sol} = [H_b R_b + H_d R_d] z\alpha \text{ Kw/m}^2$ y se representa en la tabla 5.2.5.

TABLA 5.2.5.

Hb	Rb	Hd	Rd	$\beta \alpha$	Q sol
--	--	--	--	--	--
0.01104	1.1039	0.0251	0.9196	0.1635	0.0057
0.03210	1.0844	0.0528	0.8676	0.3091	0.0249
0.05927	1.0773	0.0794	0.8496	0.4324	0.0567
0.0910	1.0740	0.1044	0.8410	0.5323	0.0987
0.1264	1.0724	0.1277	0.8361	0.6108	0.1480
0.1645	1.0710	0.1493	0.8327	0.6706	0.2015
0.2047	1.0700	0.1692	0.8210	0.7155	0.2561
0.2463	1.0694	0.1872	0.8286	0.7486	0.3132
0.2888	1.0690	0.2035	0.8272	0.7727	0.3686
0.3314	1.0685	0.2185	0.8262	0.7902	0.4223
0.3738	1.0681	0.2315	0.8253	0.8028	0.4739
0.4154	1.0679	0.2433	0.8246	0.8117	0.5229
0.4546	1.0676	0.2536	0.8241	0.8181	0.5688
0.4940	1.0674	0.2625	0.8236	0.8227	0.6116
0.5301	1.0672	0.2705	0.8232	0.8257	0.6509
0.5637	1.0672	0.2771	0.8228	0.8278	0.6867
0.5942	1.0669	0.2828	0.8227	0.8292	0.7185
0.6213	1.0668	0.2876	0.8223	0.8302	0.7466
0.6448	1.0668	0.2915	0.8222	0.8312	0.7709
0.6644	1.0667	0.2946	0.8220	0.8315	0.7906
0.6798	1.0667	0.2970	0.8219	0.8316	0.8060
0.6910	1.0667	0.2986	0.8219	0.8316	0.8170
0.6977	1.0667	0.2996	0.8218	0.8327	0.8247
0.7000	1.0667	0.3000	0.8219	0.8348	0.8291

Si consideramos un área de colección de 100 m^2 como base, podremos obtener la radiación incidente de la placa absorbadora después de pasar la cubierta cuantificada en Kw, a lo que llamaremos Q sol.

Una prueba suficiente para demostrar la factibilidad de usar o no un colector plano en -- este estudio, es la de cuantificar la temperatura máxima que puede ofrecer éste y comparar con las condiciones de operación del sistema de aire acondicionado.

El Catálogo de Carrier 16 JB, establece un consumo de vapor de 178 lb/hr para 10 toneladas de refrigeración y el flujo de agua en el generador -- está en función de la caída de temperatura en el mismo.

De la gráfica del Manual de Carrier, para una temperatura del agua caliente a la entrada de 288°F y una presión de vapor de 14 psig., se obtiene una temperatura de salida de 232°F , por lo que la caída de temperatura será de $288^\circ\text{F} - 232^\circ\text{F}$, sustituyendo valores en la expresión .

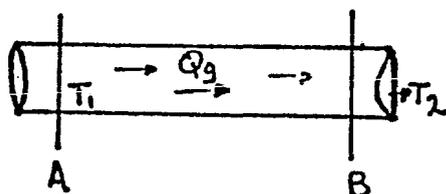
flujo = $\frac{1.9 \times \text{consumo de vapor} \times \text{capacidad}}{\text{caída de temperatura}}$ tendremos que el flujo

$$= \dot{m} = \frac{1.9 \times 17.8 \times 10}{56} = \underline{\underline{6.03 \text{ g pm.}}}$$

Ahora si un galón = 3.785 , -
 6.03 galones serán 22.82 l/m . Si consideramos que un -
 litro de agua es aproximadamente equivalente a un kilo--
 gramo, tendremos finalmente un gasto (\dot{m}) en segundos -
 de $\dot{m} = 0.380 \frac{\text{Kg}}{\text{seg.}}$

Tomando la sección AB de la fi-
 gura que representa el colector, se establece un flujo -
 de A hacia B, significando un incremento en la temperatur
 ra del punto A al punto B, esto es T_B mayor que T_A . Nuest
 ra incógnita será T_B a partir de T_A como temperatura amb
 biente, a lo largo del día solar.

Separando la sección AB y repres
 sentándola como una Sección de tubo equivalente, se tend
 rá la expresión :



$$Q_g = \dot{M} c_p (T_2 - T_1)$$

donde Q_g = calor útil que gana el fluido determinado por la diferencia de $Q_{sol} - Q_{pérdidas}$

\dot{M} = flujo de agua en $\frac{Kg}{seg}$

c_p = calor específico en $\frac{Kj}{Kg} ^\circ C$

T_2 = temperatura de salida

T_1 = temperatura de entrada

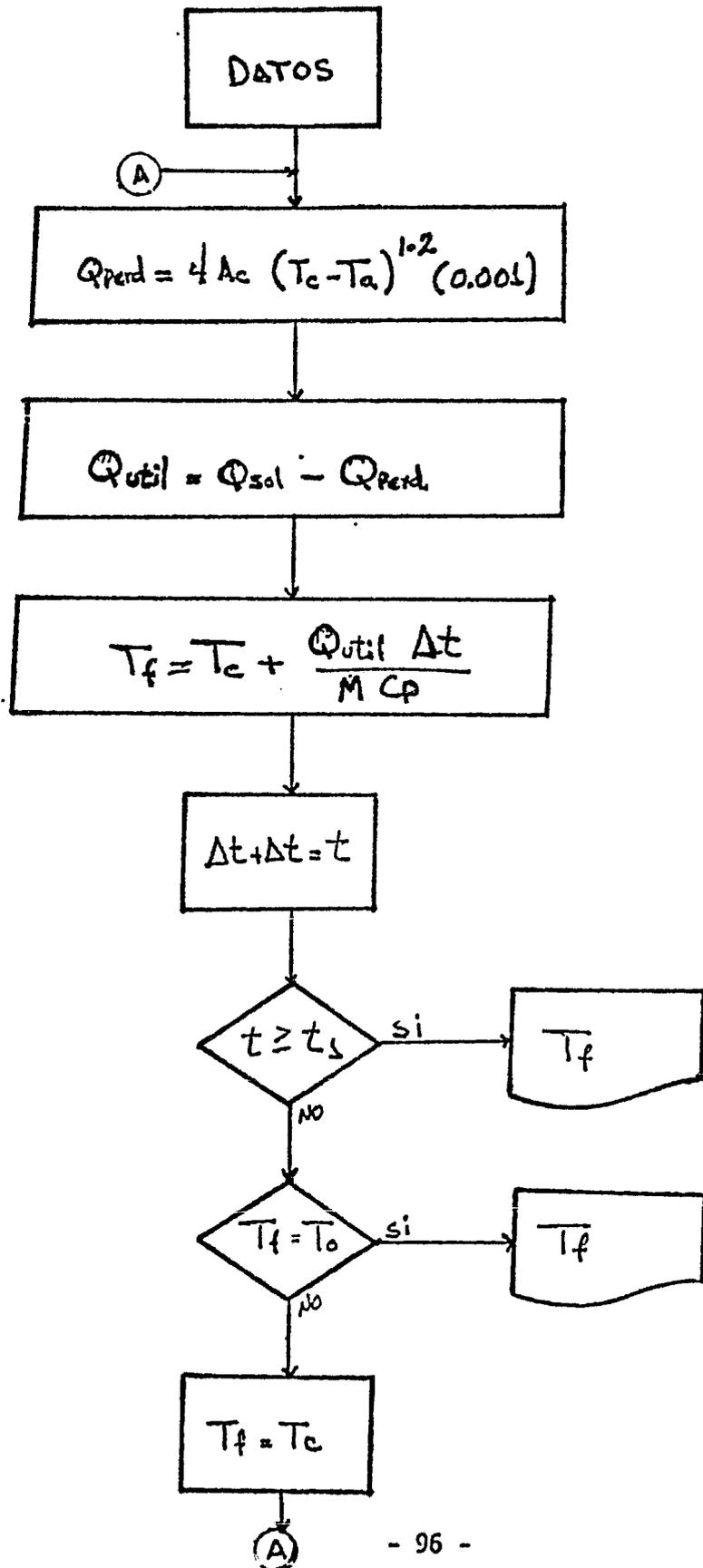
5.3 Energía Perdida y Almacenada.

Para determinar las pérdidas Q_{perd} se hará uso de la expresión $Q_{\text{perd}} = 4 A_c (T_c - T_a) 1.2 (0.001) \text{ Kw}$ obtenida de un capítulo anterior.

donde Q_{perd} = calor perdido. Kw
 A_c = área de colección m²
 T_c = temperatura de colección
 T_a = temperatura ambiente

De esta manera, podemos obtener la temperatura de salida para cada instante, sin embargo es obvio pensar que necesitamos una temperatura mínima - en el colector para poder iniciar el flujo y así obtener las condiciones del vapor requerido, para lo cual se --- cuantificará la temperatura a la que llegará el colector sin flujo.

La temperatura obtenida para -- iniciar la operación del sistema, será por lo menos de - 100°C, por lo que debemos saber a que hora alcanza esta temperatura el colector y si satisface nuestros requerimientos. Para lograr lo anterior, nos ayudaremos del diagrama del flujo siguiente :



Los datos necesarios son: A_c , T_c , T_a , M , C_p , Q_{sol} , Δt , T_e , T_o

Donde A_c = Area de Colección 100 m².

T_c - Temperatura de Colección 20°C inicial

T_a = Temperatura ambiente 20°C

M = Masa del colector V = Volúmen x densidad

C_p = Calor específico del colector

Q_{sol} = Energía disponible a lo largo del día

Δt = Período de lectura 900 sig.

T_e = Duración del día en segundos

Considerando un colector de aluminio sus propiedades son :

$$\rho = 2,800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_p = 0.9 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$V = 30 \text{ m}^3$$

$$M = 84,000 \text{ Kg}$$

Con lo anterior para la primera lectura con $Q_{sol} = 0.0057 \frac{\text{Kw}}{\text{m}^2}$

Con un área de 100 m² $Q_{sol} = 0.57 \text{ Kw}$ y

$$1) Q_{perd} = 4 \times 100 (0) (0.001) = 0.0 \text{ Kw}$$

$$2) Q_{util} = 0.57 - 0 = 0.57 \text{ Kw}$$

$$3) T_f = 20 + \frac{0.57 \times 900 \text{ seg.}}{84000 \text{ Kg} \times 0.9 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}}} = T_f = 20.00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Los Valores se presentan en la tabla 2.5.6. a lo largo de 24 horas,
donde L = lectura, Q_{sol} , T_f = Temp. final.

TABLA 2.5.6.

L	Q sol $\frac{Kw}{m^2}$	Tf °c	L	Q sol $\frac{Kw}{m^2}$	Tf °c	L	Tf °c
1.-	0.0057	20.00	37.-	0.42.23	42.08	73.-	37.27
2.-	0.0249	20.02	38.-	0.36.86	42.32	74.-	37.12
3.-	0.0567	20.08	39.-	0.31.32	42.49	75.-	36.97
4.-	0.0989	20.19	40.-	0.25.61	42.59	76.-	36.82
5.-	0.1480	20.36	41.-	0.20.15	42.62	77.-	36.67
6.-	0.2015	20.59	42.-	0.14.80	42.59	78.-	36.53
7.-	0.2561	20.89	42.-	0.09.89	42.50	79.-	36.39
8.-	0.3132	21.26	44.-	0.05.67	42.36	80.-	36.25
9.-	0.3686	21.68	45.-	0.02.49	42.19	81.-	36.11
10.-	0.4223	22.17	46.-	0.00.57	42.00	82.-	35.97
11.-	0.4739	22.72	47.-		41.80	83.-	35.83
12.-	0.5229	23.32	48.-		41.60	84.-	35.69
13.-	0.5688	23.97	49.-		41.60	85.-	35.56
14.-	0.6116	24.67	50.-		41.21	86.-	35.43
15.-	0.6509	25.41	51.-		41.02	87.-	35.30
16.-	0.6867	26.19	52.-		40.83	88.-	35.17
17.-	0.7185	27.00	53.-		40.64	89.-	35.04
18.-	0.7466	27.83	54.-		40.45	90.-	34.91
19.-	0.7709	28.69	55.-		40.27	91.-	34.78
20.-	0.7906	29.56	56.-		40.09	92.-	34.65
21.-	0.8060	30.44	57.-		39.91	93.-	34.53
22.-	0.8170	31.32	58.-		39.73	94.-	34.41
23.-	0.8247	32.21	59.-		39.55	95.-	34.29
24.-	0.8291	33.10	60.-		39.38	96.-	34.17
25.-	0.8247	33.97	61.-		39.21		
26.-	0.8170	34.82	62.-		39.04		
27.-	0.8060	35.65	63.-		38.87		
28.-	0.7906	36.46	64.-		38.70		
29.-	0.7709	37.24	65.-		38.53		
30.-	0.7466	37.98	66.-		38.37		
31.-	0.7185	38.68	67.-		38.21		
32.-	0.6867	39.33	68.-		38.05		
33.-	0.6509	39.93	69.-		37.89		
34.-	0.6116	40.48	70.-		37.73		
35.-	0.5688	40.97	71.-		37.57		
36.-	0.5229	41.40	72.-		37.42		
37.-	0.4739						

TABLA 2.5.7.

L	$Q_{so1} \frac{Kw}{m^2}$	Tf °c	L	$Q_{so1} \frac{Kw}{m^2}$	Tf °c	L	$Q_{so1} \frac{Kw}{m^2}$
1.-	0.0057	34.06	36.-	0.5229	51.48	71.-	43.33
2.-	0.0249	33.97	37.-	0.4739	51.74	72.-	42.96
3.-	0.0567	33.92	38.-	0.4223	51.94	73.-	42.60
4.-	0.0989	33.92	39.-	0.3686	52.07	74.-	42.24
5.-	0.1480	33.98	40.-	0.3132	52.13	75.-	41.89
6.-	0.2015	34.10	41.-	0.2561	52.12	76.-	41.55
7.-	0.2561	34.29	42.-	0.2015	52.05	77.-	41.21
8.-	0.3132	34.54	43.-	0.1480	51.92	78.-	40.88
9.-	0.3686	34.86	44.-	0.0989	51.73	79.-	40.56
10.-	0.4223	35.24	45.-	0.0567	51.49	80.-	40.24
11.-	0.4739	36.67	46.-	0.0249	51.22	81.-	39.93
12.-	0.5229	36.16	47.-	0.0057	50.93	82.-	39.62
13.-	0.5688	37.70	48.-		50.63	83.-	39.32
14.-	0.6116	37.28	49.-		50.34	84.-	39.02
15.-	0.6509	37.90	50.-		50.05	85.-	38.73
16.-	0.6867	38.56	51.-		49.76	86.-	38.44
17.-	0.7185	39.29	52.-		49.48	87.-	38.16
18.-	0.7466	40.01	53.-		49.20	88.-	37.88
19.-	0.7709	40.75	54.-		48.92	89.-	37.61
20.-	0.7906	41.50	55.-		48.65	90.-	37.34
21.-	0.8060	42.27	56.-		48.38	91.-	37.08
22.-	0.8170	43.04	57.-		48.11	92.-	36.82
23.-	0.8247	43.81	58.-		47.84	93.-	36.57
24.-	0.8291	44.58	59.-		47.58	94.-	36.32
25.-	0.8247	45.33	60.-		47.32	95.-	36.08
26.-	0.8170	46.07	61.-		47.06	96.-	35.84
27.-	0.8060	46.79	62.-		46.81		
28.-	0.7906	47.48	63.-		46.56		
29.-	0.7709	48.11	64.-		46.13		
30.-	0.7466	48.73	65.-		45.71		
31.-	0.7185	49.31	66.-		45.29		
32.-	0.6867	49.85	67.-		44.88		
33.-	0.6509	50.34	68.-		44.48		
34.-	0.6116	50.78	69.-		44.09		
35.-	0.5688	51.16	70.-		43.71		

Los datos de la tabla 2.5.6. -- muestran que la temperatura máxima que alcanza el Colector después de 10 horas de insolación, es de 42.62 °c, y la temperatura con lo que iniciaría el día siguiente es de 34.17 °c.

Esta última temperatura se tomará como base para el siguiente cálculo, para poder establecer un equilibrio térmico entre el inicio y el final de las operaciones.

Los datos se presentan en la tabla 2.5.7. y se observa que la temperatura de equili---brio es aproximadamente de 35 °c, calculados con la misma cantidad de radiación para el día 21 de marzo; es -- pertinente mencionar que el método para la cuantifica--ción de radiación recibida se debe calcular los 365 ---días del año, ya que los resultados varían en función - del día que se calcula, por lo que se prevee un cierto error en éste resultado.

La temperatura al final del se-
gundo día de insolación demuestra la insuficiencia para

obtener la temperatura requerida para iniciar el flujo - en el sistema y se hacen necesarios varios días de captación.

Lo anterior nos permite pensar - que si el sistema estando estático, es decir, sin flujo, presenta dificultad para contar con una temperatura elevada, con flujo se incrementaría dicha dificultad.

Ahora, podemos deducir que el -- uso de un colector plano no se adapta a los requerimientos de nuestro estudio.

Se presenta la posibilidad de -- emplear un captador cilindro - parabólico, para lo cual se presentará una breve descripción del mismo.

5.4. COLECTORES CONCENTRADORES

5.4.1. DESCRIPCIÓN

Los colectores concentradores - han logrado un desarrollo tecnológico importante dentro - de los dispositivos que aprovechan la Energía Solar, debido a su alta temperatura de trabajo y sus reducidas perdidas térmicas.

Este tipo de colectores captan la radiación solar directa en una superficie de captación A_c y la reflejan concentrándola en una superficie de ab--sorción A_a que contiene el fluido de trabajo.

Las temperaturas que se obtie--nen dependen del factor de concentración F_c establecido - por la relación que guardan la superficie de captación y la de absorción.

$$F_c = \frac{A_c}{A_a}$$

Las geometrías de estos colectores varían desde el más común que es el cilindro-parabólico hasta los colectores con geometrías muy sofisticadas.

Dado que los colectores concentradores que han logrado mayor desarrollo son los cilindro-parabólicas, estableceremos una descripción de las partes principales de estos, analizando las funciones y el comportamiento energético de cada una de ellas.

Comenzaremos por describir la superficie reflejante, que además de presentar una geometría adecuada, debe contener un alto grado de reflexión, de tal manera que se asemeje, en lo posible a un espejo perfecto.

El tubo de vidrio que envuelve al tubo de absorción debe tener como principal finalidad la de evitar pérdida térmicas por absorción y radiación, alto coeficiente de transmitancia, resistencia al choque térmico y resistencia mecánica.

El tubo que contiene el fluido de trabajo y la radiación absorbida por él, debe tener -- buena conductividad térmica y superficie absorbedora de buena calidad.

El fluido de trabajo para tempe
raturas altas generalmente son aceites térmicos con buena
capacidad calorífica y baja viscosidad.

5.5. Aplicación.

El balance de un colector concentrador cilindro-parabólico, al igual que el de otro dispositivo, como es el caso de un captador plano, puede estar referido a la eficiencia del colector, y en general está dado por el calor ganado por el fluido de trabajo dividido por la cantidad de radiación directa que incide en el colector.

Con base en lo anterior es posible presentar un ejemplo de aplicación, de un colector cilindro-parabólico en nuestro estudio, con las fórmulas, datos y consideración establecidas en el anterior ejemplo, que establezcan de una forma general la factibilidad del aprovechamiento como fuente alternativa de energía.

Los datos y consideraciones serán presentadas en el desarrollo del ejemplo en la medida en que se hagan necesarios.

Como se ha establecido el estudio es para el día número 80 del año, para un lugar localizado a 20° latitud norte.

Para el día $n=80$ la declinación será:

$$\delta = 23.45 \text{ sen } \left(360 \frac{284+n}{365} \right)$$

$$\delta = 23.45 \text{ sen } \left(360 \frac{284+80}{365} \right)$$

$$\delta = -0.40$$

Con este valor de la declinación y para $\phi=20^\circ$ la duración del día T_d , será:

$$T_d = 0.133 \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta)$$

$$T_d = 0.133 (89.78)$$

$$T_d = 11.97 \text{ Horas.}$$

$$T_d = 43,092 \text{ segundos.}$$

Dado que la radiación directa es la que se utiliza en este tipo de colectores se tendrá la ecuación siguiente :

$$H_b(t) = H_{bm} \left(\cos \frac{180t}{T_d} \right)^{1.5}$$

Ahora sí la duración del día T_d es de aproximadamente 12 horas desde el alba hasta el ocaso, se hace necesario establecer un periodo de captación aceptable, se proponen 6 horas, esto es 3 horas antes y 3 horas después de las 12.00 horas meridiano, iniciando la lectura a las 9.00 A.M. y finalizando a las 3:00 P.M.

De lo anterior T_d en segundo se
 rá: $T_d=43,092 \text{ seg.}$ y $\frac{T_d}{2} = 21,546 \text{ seg.}$

La variación de t es de 900 segundos desde $-10,800$ hasta $10,800$; con lo que tendremos - las seis horas de estudio.

Los resultados están presentados en la tabla 5.5.1.

El ángulo de inclinación S está en función de la declinación y la localización del lugar.

$$S = \theta - \delta$$

$$S = 20^\circ - (-0.40^\circ)$$

$$S = 20.40^\circ$$

El factor de corrección R_b para cuantificar la radiación sobre un plano inclinado está de terminado por la relación:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}$$

donde

$$\cos \theta = \cos(\theta - s) \cos \delta \cos W + \sin(\theta - s) \sin \delta$$

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \theta + \cos \delta \cos \theta \cos W$$

W es el ángulo horario y varía 15° cada hora si el intervalo es de 900 segundos tendremos una variación cada $W=3.75^\circ$

Con todos los datos conocidos y variando W se tendrá:

$$\cos\theta = \cos(-40)\cos(-40)\cos W + \sin(-40)\sin(-40)$$

$$\cos\theta = 0.9999\cos W$$

$$\cos\theta_z = -0.0023 + 0.9396\cos W$$

Los valores se encuentran en la tabla 5.5.1.

La expresión que determina la cantidad de radiación que incide sobre el colector es :

$$R_t = (H_b R_b) (\bar{\tau}_\alpha) \text{ Kw/M}^2$$

Si conocemos H_b y R_b pasaremos a calcular el factor $\bar{\tau}_\alpha$ con las siguientes expresiones:

$$\bar{\tau}_\alpha = \frac{\tau_\alpha}{1 - [(1 - \alpha) \rho_d]}$$

donde $\alpha = 0.9$

$$\rho_d = \frac{1}{2} \left(\frac{\text{Sen}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{Sen}^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\text{Tan}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{Tan}^2(\theta_2 + \theta_1)} \right)$$

$$\bar{z} = \bar{z}_r \bar{z}_\alpha$$

$$\bar{z}_r = \frac{1-\rho}{1+\rho} \text{ para } \rho = \rho(\theta_1)$$

$$\bar{z}_\alpha = e\left(\frac{-NKL}{\cos\theta_2}\right) \text{ para } \begin{array}{l} N = 1 \\ K = 1 \\ L = 0.03M. \end{array}$$

Los resultados se encuentran en

la tabla 5.5.1.

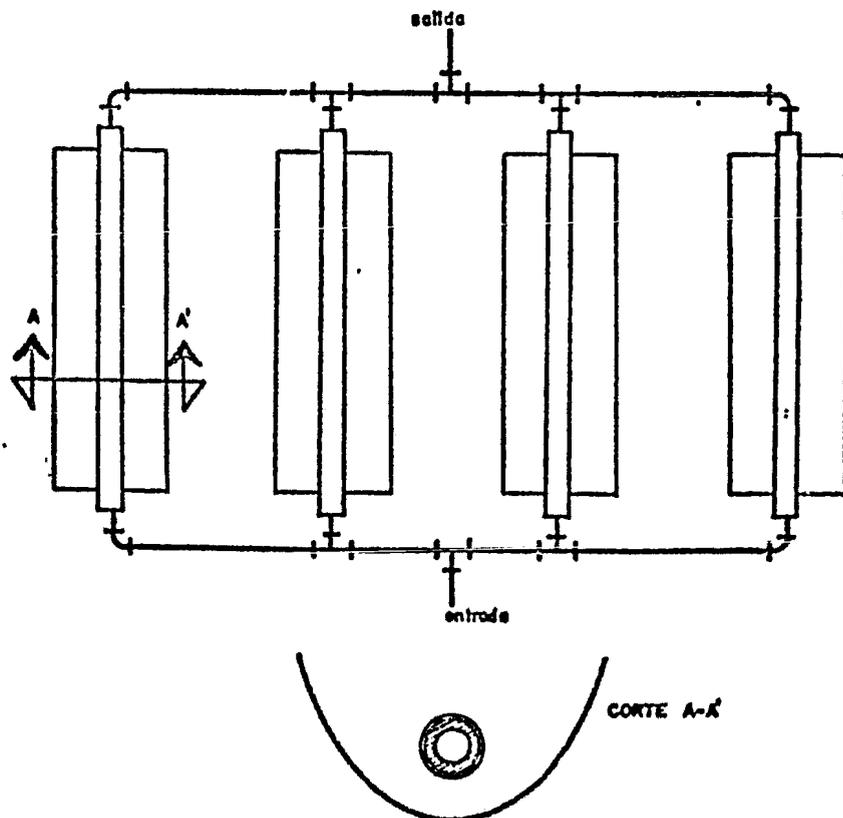
TABLA 5.5.1.

LECTURA	HORA	SEG. 6 TIEMPO	Hb ⁶	Rb ⁶		Kw/m Qsol 6
1	9:00	-10800	0.4149	1.0678	0.7937	0.3516
2	9:15	- 9900	0.4550	1.0675	0.8000	0.3887
3	9:30	- 9000	0.4937	1.0673	0.8043	0.4238
4	9:45	- 8100	0.5299	1.0672	0.8073	0.4565
5	10:00	- 7200	0.5635	1.0671	0.8095	0.4867
6	10:15	- 6300	0.5940	1.0669	0.8109	0.5139
7	10:30	- 5400	0.6212	1.0669	0.8119	0.5381
8	10:45	- 4500	0.6447	1.0668	0.8123	0.5587
9	11:00	- 3600	0.6643	1.0668	0.8128	0.5760
10	11:15	- 2700	0.6798	1.0667	0.8129	0.5897
11	11:30	- 1800	0.6909	1.0667	0.8132	0.5993
12	11:45	- 900	0.6677	1.0667	0.8127	0.6048
13	12:00	0	0.6667	1.0667	0.8812	0.6579
14	12:15	900	0.6977	1.0667	0.8127	0.6048
15	12:30	1800	0.6909	1.0667	0.8132	0.5993
16	12:45	2700	0.6798	1.0667	0.8129	0.5897
17	13:00	3600	0.6643	1.0668	0.8128	0.5760
18	13:15	4500	0.6447	1.0668	0.8123	0.5587
19	13:30	5400	0.6212	1.0669	0.8119	0.5381
20	13:45	6300	0.5940	1.0669	0.8109	0.5139
21	14:00	7200	0.5635	1.0671	0.8095	0.4867
22	14:15	8100	0.5299	1.0672	0.8073	0.4565
23	14:30	9000	0.4937	1.0673	0.8043	0.4238
24	14:45	9900	0.4550	1.0675	0.8000	0.3887
25	15:00	10800	0.4149	1.0678	0.7937	0.3516

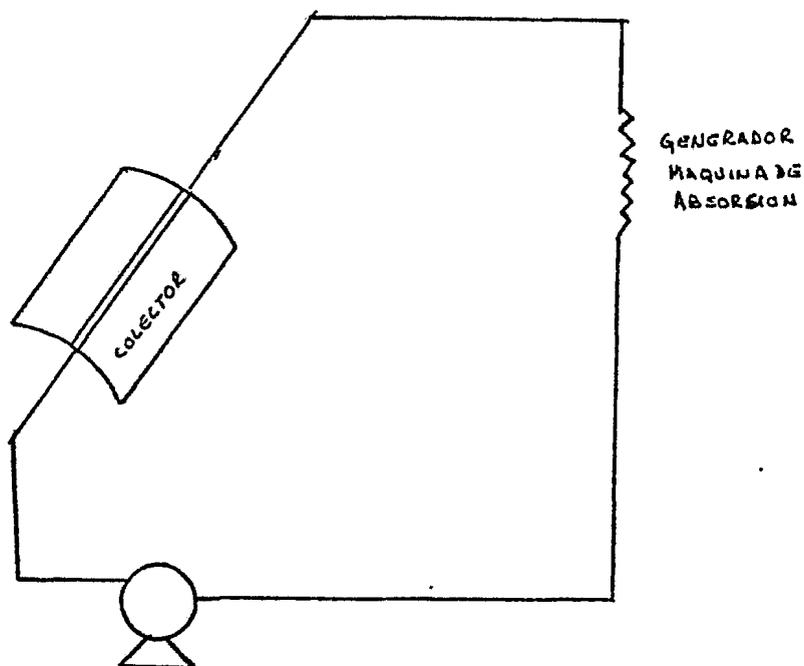
Dados los valores en la tabla - 5.5.1. de Q_{sol} en Kw/m^2 y basados en los requerimientos - de energía obtenidos en capítulos anteriores, pasaremos a realizar el análisis de factibilidad de un colector cilindro-parabólico.

Este colector tendrá un área su- puesta de $40m^2$ repartida en 4 colectores iguales de $10m^2$ cada uno, debido a que la longitud total para un solo colector resulta poco practico para el efecto de movimiento.

Cada colector tiene 2 metros de apertura y longitud de 5m. con diámetro del absorbedor de 0.10m.



La configuración que se propone es como se muestra en la figura siguiente :



El ciclo de ganancia que está establecida por la relación $Q_u = m C_p (T_c - T_a)$ ó bien $Q_u = Q_{sol} - Q_{perd}$

Donde:

Q_u = calor ganado

Q_{sol} = calor suministrado

Q_{perd} = calor perdido

El calor perdido Q_{perd} se efectua por radiación a través del vidrio y convección en el aire.

En general las pérdidas en un -
absorbedor lineal pueden expresarse, por unidad de longi-
tud del absorbedor, como :

$$Q_{\text{perd}} = G (T_c - T_a)^J$$

De capítulos anteriores:

$$Q_{\text{perd}} = 0.004 (T_c - T_a)^{1.2} A_a$$

Y la diferencia de temperatura será:

$$(T_e - T_a) = \frac{Q_{\text{util}}}{Q_{\text{perd}}}$$

Y la temperatura final :

$$T_c = \frac{Q_{\text{util}}}{Q_{\text{perd}}} + T_a$$

Utilizando la secuencia en el -
cálculo de la temperatura, para un captador plano, y el -
supuesto de que a final del período de estudio se podrá -
determinar la factibilidad en base a ésta temperatura ob-
tenida, se procede a las operaciones.

Datos: Area de colección $A_c = 40\text{m}^2$

Area de absorción $A_a = (\pi D L) = 6.28 \text{ m}^2$

Volumen $V = 1 \text{ m}^3$

Densidad aceite $\rho = 860 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

Calor específico aceite $C_p = 2 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} \cdot \text{C}}$

Inercia Térmica $Mcp = V\rho C_p$

Q_{sol} variable

Variación en el tiempo = $\Delta t = 900 \text{ seg.}$

Tiempo de estudio = $21,600 \text{ seg.}$

Temperatura ambiente = $T_a = 20^\circ\text{C}$

Temperatura del absorbente al inicio = $T_f = 20^\circ\text{C}$

Con estos datos las pérdidas se obtienen por la expresión :

$$Q_{\text{perd}} = 0.004 A_a (T_f - T_a)$$

$$Q_{\text{util}} = Q_{\text{sol}} - Q_{\text{perd}}$$

$$T_f = T_e + \frac{Q_{\text{u}} \Delta t}{MC_p}$$

TABLA 5.5.2.

HORA	Qsol/Kw	Qperd/Kw	Qutil/Kw	Tf C
9:00	14.06	0	14.06	27.35
9:15	15.54	0.2754	15.26	35.33
9:30	16.95	0.6562	16.29	43.85
9:45	18.26	1.115	17.14	52.82
10:00	13.46	1.636	17.82	62.14
10:15	20.55	2.208	18.34	71.73
10:30	21.52	2.824	18.69	81.51
10:45	22.34	3.477	18.86	91.38
11:00	23.04	4.156	18.88	101.26
11:15	23.58	4.856	18.72	111.05
11:30	23.97	5.567	18.40	120.67
11:45	24.19	6.280	17.90	130.04
12:00	26.31	6.987	19.32	140.15
12:15	24.19	7.764	16.42	148.74
12:30	23.97	8.435	15.53	156.86
12:45	23.58	9.078	14.50	164.44
13:00	23.04	9.685	13.35	171.42
13:15	22.34	10.240	12.09	177.74
13:30	21.52	10.764	10.75	183.36
13:45	20.55	11.226	9.32	188.23
14:00	19.46	11.629	7.83	192.32
14:15	18.26	11.969	6.29	195.61
14:30	16.95	12.243	4.70	198.07
14:45	15.54	12.449	3.09	199.68
15:00	14.06	12.585	1.47	200.45

La temperatura se obtiene en la tabla 5.5.2 a lo largo de seis horas de radiación hacen posible suponer la factibilidad para usar captadores concentradores de Radiación Solar, como fuente alternativa de energía para una máquina de absorción.

6.- CONCLUSIONES.

La energía solar será una fuente que servirá como soporte a otros energéticos, en la medida en que la gente interesada en éste campo, dedique -- más tiempo a encontrar los medios para su mejor aprovechamiento.

Uno de los propósitos del presente estudio, es despertar la inquietud de los egresados de las carreras técnicas, al desarrollo teórico y práctico del aprovechamiento de la energía solar.

Aún con todas las limitaciones y deficiencias por establecer datos empíricos en el presente estudio, es factible suponer que la energía solar puede ser aprovechada en procesos donde los requerimientos energéticos sean menores, como puede ser calentamiento de agua para uso doméstico ó calentamiento de albercas, por citar algunos.

El Ingeniero como el profesional que utiliza las herramientas propias de su carrera, para transformar los elementos y fenómenos físicos en be-

neficio de la sociedad, es el encargado del estudio y pues
ta en marcha de los proyectos sobre la búsqueda y aprove--
chamiento de nuevas fuentes de energía.

7.- BIBLIOGRAFIA

- Duffie, John A., Beckman William A.- SOLAR ENERGY THERMAL -- PROCESSES.- Editorial Wiley-Intersciencie.- Publication.-
- PROPUESTA DE LINEAMIENTOS DE POLITICA ENERGETICA.- Secretaría del Patrimonio Nacional.- Comisión de Energéticos.- México 1976.-
- Cabiral, Thierry., Pelissau Albert., Raux David.- EL CALENTADOR SOLAR DE AGUA.- Editorial C.E.C.S.A.
- Szokocay, S.V.- ENERGIA SOLAR Y EDIFICACION.- Editorial - - Blume.-
- TECNOLOGIA PARA APROVECHAR LA ENERGIA SOLAR.- Secretaría del Patrimonio Nacional.-
- Revista Contru-Noticias.- Publi-noticias, S.A.- 1981.-
- Williams, J. Richard.- TECNOLOGIA Y APLICACION DE LA ENERGIA SOLAR.-
- Daniels, Farrigton.- USO DIRECTO DE LA ENERGIA SOLAR.- Editorial Blume.-
- Fernández Zayas, J. Luis.DR.- APUNTES DE SEMINARIO "APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR".- Facultad de Ingeniería.- -- U.N.A.M. 1981.-
- Rau, Hans.- ENERGIA SOLAR APLICACION PRACTICA.-