

870118

24/13

Universidad Autónoma de Guadalajara

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN NUEVO TIPO DE CALENTADOR
SOLAR.**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA

JOAQUIN ORENDAIN ORENDAIN

ASESOR: I. Q. JUAN JOSE TRUJILLO DEL RIO

GUADALAJARA, JALISCO. 1987



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO I. LA ENERGÍA SOLAR .	
1.1. Antecedentes.	6
1.1.1. El Sol y la vida en la Tierra.	6
1.1.2. Aplicaciones de la energía solar - a través de los tiempos.	7
1.2. Naturaleza del Sol .	11
1.3. La radiación solar .	12
CAPÍTULO II. TRANSFERENCIA DE CALOR EN COLECTORES SOLARES DE PLACA PLANA .	
2.1. Conceptos básicos de transferencia - de calor .	17
2.1.1. Cond u c c i ó n.	17
2.1.2. C o n v e c c i ó n.	21
2.1.3. R a d i a c i ó n.	22
2.2. Uso de aislantes.	24
2.3. Importancia del vidrio en el - colector (Efecto de invernadero).	26
2.4. Superficies Selectivas .	29
CAPÍTULO III. CÁLCULOS DEL CALENTADOR SOLAR.	
3.1. Balance global de calor .	30
3.2. Características de la sustancia -- calefactora.	32

3.3. Cálculo de la longitud del serpentín.	32
3.4. Espesor del aislante y pérdidas de calor.	33
3.5. Determinación de las dimensiones de la caja contenedora de la vaselina .	35
3.6. Angulo de inclinación y orientación del colector.	37
CAPÍTULO IV. CONSTRUCCIÓN DEL CALENTADOR. .	
4.1. Material Seleccionado.	38
4.1.1. Vidrio .	38
4.1.2. Caja y placa de absorción.	38
4.1.3. Serpentín .	38
4.1.4. Aislantes .	38
4.1.5. Carcasa .	39
4.1.6. Válvula .	39
4.2. Máquinado y armado .	39
CAPÍTULO V. CONDICIONES DE OPERACIÓN .	
5.1. Descripción del funcionamiento del colector .	42
5.2. Comportamiento del calentador durante el día y la noche .	44
5.3. Presión dentro de la caja contenedora.	44
5.4. Temperatura de operación .	45

CAPÍTULO VI . EXPERIMENTACIÓN .	
6.1. Parámetros escogidos para experi-- mentación .	46
6.1.1. Temperaturas .	46
6.1.2. Flujo .	46
6.1.3. Condiciones atmosféricas.	47
6.2. Mediciones experimentales.	48
CAPÍTULO VII. RESULTADOS OBTENIDOS .	
7.1. Cálculo de eficiencias .	60
7.2. Interpretación de resultados .	66
CONCLUSIONES .	87
APÉNDICE I.	
Características astronómicas, metereoló- gicas y climáticas para Guadalajara .	89
APÉNDICE II.	
Regresión no lineal (múltiple), por el <u>mé</u> todo de mínimos cuadrados .	90
BIBLIOGRAFÍA .	95

I N T R O D U C C I Ó N.

La energía solar en el panorama energético mundial es definitivamente cada día más importante, debido principalmente al continuo decremento de las fuentes de energía convencional (petróleo, gas, carbón), de las que en las últimas décadas se ha presentado una tendencia a explotar y consumir más rápidamente y en mayor cantidad, por lo que en un futuro no muy lejano se agotarán o bien las reservas se destinarán a otros usos más racionales de aprovechamiento.

Por lo que respecta a México el interés en la energía solar se debe fundamentalmente a:

1.-Ser el petróleo y sus derivados el pilar de desarrollo del país, siendo este energético un recurso no renovable.

2.-La vialidad que existe de que la energía solar sea utilizada en zonas aisladas a las que no pueden llegar los servicios públicos.

3.-El progresivo deterioro del medio ambiente, debido a la explotación y uso de la energía convencional.

Lo anterior muestra claramente la ventaja que presenta el aprovechamiento de esta alternativa energética, teniendo en cuenta que la República Mexicana es uno de los países cuyo territorio recibe uno de los porcenta

jes más altos de insolación del mundo.

En los últimos 10 años han proliferado los calentadores solares del tipo de placa plana, observándose que su eficiencia y amortización son buenas, pero desgraciadamente su uso no se ha extendido al grueso de la población debido a que las empresas manufactureras de este tipo de productos los venden a precios muy altos.

En este trabajo se presenta una alternativa -- en cuanto a un nuevo diseño de calentador solar cuyo -- costo de construcción resultó ser un 50% más económico -- respecto al calentador solar de placa plana.

El objetivo de esta tesis fue diseñar y construir un nuevo tipo de calentador solar que tiene la innovación de utilizar un semisólido que es la vaselina -- que actúa como almacenadora y fuente de energía calorífica. Además se hizo experimentación en el aparato diseñado para comparar su eficiencia con un calentador solar -- de placa plana y determinar las ventajas y desventajas -- de un colector respecto al otro trabajando ambos sistemas bajo las mismas condiciones.

C A P Í T U L O I .

C A P Í T U L O I.
LA ENERGÍA SOLAR .

- 6 -

1.1. A n t e c e d e n t e s .

1.1.1. El Sol y la vida en la Tierra.

El hombre de todas las civilizaciones antiguas rindió culto de una u otra forma al Sol, recordemos a Ra dios del Sol egipcio, Apolo entre los griegos y Huitzilo pochtlí para los aztecas. Esto nos indica que los antiguos ya tenían conocimiento de la importancia del Sol -- con la vida en la Tierra y su inferencia en los diferentes ciclos en nuestro planeta.

Se puede decir que todas las fuentes de energía disponibles en el planeta Tierra son, de un modo directo o indirecto , resultado de la acción solar. Según una de las teorías más aceptadas, nuestro planeta se formó de -- un desprendimiento del Sol y de allí que los elementos -- contenidos en las capas terrestres, incluidas las sustancias radioactivas, provengan de esta estrella.

De un modo más directo, las fuentes energéticas más socorridas actualmente, --petróleo, gas, carbón mineral-- son el resultado de la transformación fotosintética de los vegetales hace millones de años y que por una con- junción de factores como la presión y la temperatura se -- convirtieron en combustibles fósiles, que son, en cierta

forma, energía solar almacenada cuyo potencial puede ser ahora explotado.

Las plantas absorben fotones en alrededor un 1% de la cantidad que reciben, que es la suficiente para desarrollarse, y mediante fotosíntesis transforman esa energía solar a química, ya que los vegetales que contienen clorofila convierten el CO_2 y el agua en almidones y azúcares.

El Sol no solo tiene influencia en los procesos biológicos, sino también es causante de otras energías de orden cinético:

-Energía hidráulica: gracias a la evaporación del agua y su posterior descenso.

-Energía eólica: debida al calentamiento desigual de la atmósfera que provoca gradientes térmicos que ponen en movimiento masas de aire.

-Energía obtenida de biomasa: aprovechando la descomposición de biomasa mediante radiación solar.

-Energía "OTEC" ("Ocean Thermo Conversion"): que se basa en el aprovechamiento de los gradientes de temperatura existente en las aguas oceánicas a diferentes niveles.

1.1.2. Aplicaciones de la energía solar a través de los tiempos.

A continuación se enumeran los lugares y época en que se hacían las aplicaciones:

-En el año 212 A.C. Arquímedes en la batalla de

Siracusa incendia la flota romana atacante concentrando sobre sus navíos los rayos solares mediante espejos hechos con metales pulimentados.

-En 1615 el francés De Caus inventa un concentrador solar compuesto de espejos que calienta dos recipientes metálicos para producir vapor y mover una pequeña bomba.

-En 1747 Buffon, Fresnell y Villette construyen hornos solares capaces de fundir hierro y cobre.

-En 1795 Antoine-Laurent Lavoisier idea un aparato que con ayuda de la radiación solar obtiene temperaturas cercanas a los 1750°C .

-En 1822 el físico Seebeck, estudiando el calor y el magnetismo de los metales, descubre el fenómeno de la conversión termoeléctrica, dando la pauta para la obtención de electricidad a partir de energía térmica (el efecto Seebeck se emplea en los controles de temperatura de los refrigeradores).

-En 1839 Antoine Becquerel comprobó que la luz solar causa una débil corriente en los electrodos de una solución electrolítica, lo cual es la posibilidad de convertir los fotones en movimiento de electrones (electricidad) sin producir calor previamente.

-En 1866 Auguste Mouchot desarrolla y pone en funcionamiento una planta de bombeo de agua mediante un

motor accionado por energía solar.

-9-

-En 1871 el norteamericano Charles Wilson instala una planta de desalinización en unas minas de cobre en Chile, en las Salinas funcionando durante 40 años y obteniendo 20 000 litros de agua potable diariamente.

-En 1880, en Francia, Abel Pifré diseña un colector parabólico que accionaba un motor de vapor y ponía en marcha una prensa de impresión.

-En 1885 Charles Tellier diseña los primeros colectores de placa plana para captar calor usando amoníaco como fluido a calentar.

-En 1907, en Estados Unidos, Frank Shumann desarrolla un nuevo tipo de motor solar y en 1912 en el Cairo instala una planta de bombeo de agua con energía solar.

-En 1935 Bruno Lange aplica por vez primera la conversión fotovoltaica, accionando un motor eléctrico mediante la exposición al Sol de un captador hecho con óxido de cobre, seleniuro de plata y un tercer material secreto (Einstein en 1905 ya había expuesto detalladamente el efecto fotoeléctrico).

-En 1945, después de la segunda guerra mundial, se inician estudios serios y sistemáticos de energía solar en Alemania, Estados Unidos, Francia, Israel y Japón principalmente, lográndose desarrollar procedimientos --

que comienzan a industrializarse.

- 10 -

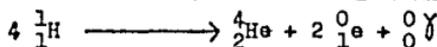
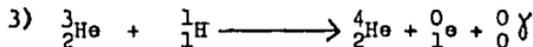
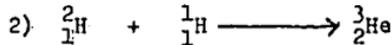
- De 1945 a la fecha, han habido proyectos en los que se pretende utilizar la energía solar de manera integral tanto mediante conversiones fototérmicas como utilizando otras formas como la biomasa, la fuerza eólica, etc. De los proyectos más recientes se cuenta el proyecto Themis, que es una planta productora de electricidad en Francia y que esta en función desde 1982 cuya potencia es del orden de los 2 MW. En Estados Unidos la planta Barstow produce 10 MW. En Israel se emplean tanques de agua salada y turbinas de baja presión para producir energía eléctrica a partir de energía solar, en 1980 la población de Ein Bokek generó mediante este sistema más de 1 millón de kW.

El principal problema que enfrenta esta fuente de energía es el alto costo del equipo empleado. Se ha adelantado bastante, por ejemplo, en la construcción de fotoceldas a base de silicio monocristalino, experimentándose también con sulfuro de cadmio y con fotoceldas electroquímicas, lo cual es un indicador de que en algunos años más sea costeable invertir en equipo de esta naturaleza que compita, en cuanto a eficiencia y bajo costo de producción de energía, con los procesos tradicionales.

El Sol es una estrella que tiene un diámetro - de 1 392 428 km, aproximadamente 109 veces el diámetro - de nuestro planeta, y esta a 150×10^6 km de la Tierra.

Las estrellas nacen debido a un colapso gravita- torio de nubes de polvo y gas interestelar y el Sol no - es exactamente una piedra al rojo vivo, como pensó el -- griego Anaxágoras, sino una gran masa gaseosa compuesta- principalmente de hidrógeno y helio, que brilla debido a su elevada temperatura de aproximadamente 40×10^6 °C en su núcleo y $6\,000$ °C en su superficie.

La energía emitida por las estrellas depende de - reacciones de fusión debida a la colisión de moléculas ga- seosas en el interior de la masa caliente hasta el punto- en el cual el hidrógeno se combina para dar helio con la- emisión de dos núcleos de electrones y de un fotón de ra- yos gamma. El mecanismo propuesto para la reacción es:



$$\Delta E = - 1.43 \times 10^8 \frac{\text{kcal}}{\text{gr. de H reactante}}$$

La anterior reacción termonuclear, como la - que tiene lugar en una bomba de hidrógeno, proporciona al Sol energía gracias a una explosión contenida - y continua que convierte 400×10^6 toneladas de hidrógeno cada segundo (4×10^{14} gr de H/s).

1.3. La radiación solar .

La radiación solar que incide en la Tierra es el resultado de un continuo y constante bombardeo de fotones, los cuales tienen mayor contenido energético entre más pequeña sea la longitud de onda y por ende mayor frecuencia. En el vacío todas las formas de radiación se mueven a la velocidad de la luz, c , cuyo - valor es 2.9979×10^{10} cm/s. La longitud de onda, λ , - que caracteriza a una onda electromagnética, esta relacionada con la frecuencia, ν , de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\lambda = c / \nu$$

En la radiación electromagnética el foton se comporta como "partícula" y "onda" a la vez, es considerado como partícula cuando sale de la fuente que lo emite y tiene una masa cuando esta en movimiento, su energía viene dada por :

$$E = h \nu$$

siendo h la constante de Planck y con un valor de 6.624×10^{-27} erg - s .

Considerando la ecuación de energía propuesta -
por Einstein:

$$E = m c^2$$

donde m es la masa del fotón, por lo que combi-
nando esta ecuación y la anterior se tiene:

$$m = \frac{h \nu}{c^2}$$

Sin embargo, se considera que el fotón tiene ma-
sa cero cuando se detiene, ya sea porque chocó contra al-
go y desaparece transformandose en energía.

La radiación que emite el Sol contiene energía -
electromagnética de casi todas las longitudes de onda, pe-
ro más del 90% de esta se encuentra entre el espectro vi-
sible y el infrarrojo. La figura 1.1. muestra el espec-
tro electromagnético en función del \log_{10} de la longitud
de onda y la figura 1.2. ilustra la distribución de la -
radiación emitida por el Sol tanto fuera de la atmósfera
como a nivel del mar en días claros y en un ambiente con
una cantidad moderada de polvo y con un contenido medio
de vapor de agua.

La constante solar se define como la cantidad -
de energía por unidad de tiempo que recibe del Sol una -
superficie de área unitaria perpendicular a la radiación
a la distancia media entre el Sol y la Tierra. El valor
estándard es $1.64 \text{ kcal/h m}^2 = 1.94 \text{ cal/min cm}^2 = 1.94 \text{ ly/min}$
(el langley, $1 \text{ ly} = \text{cal/cm}^2$).

El Espectro Electromagnético

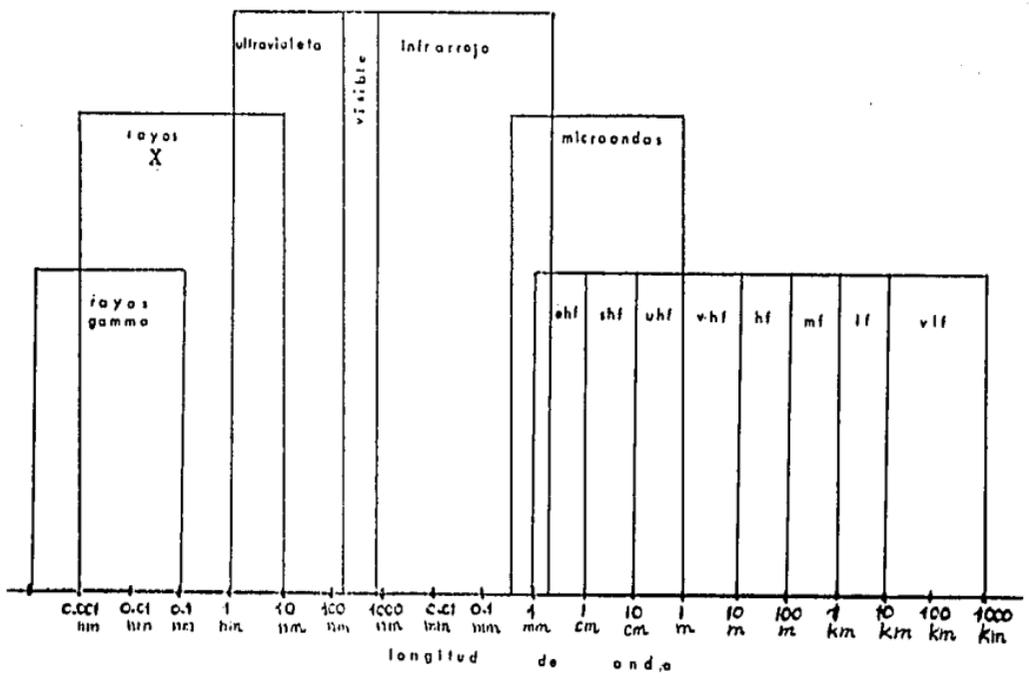
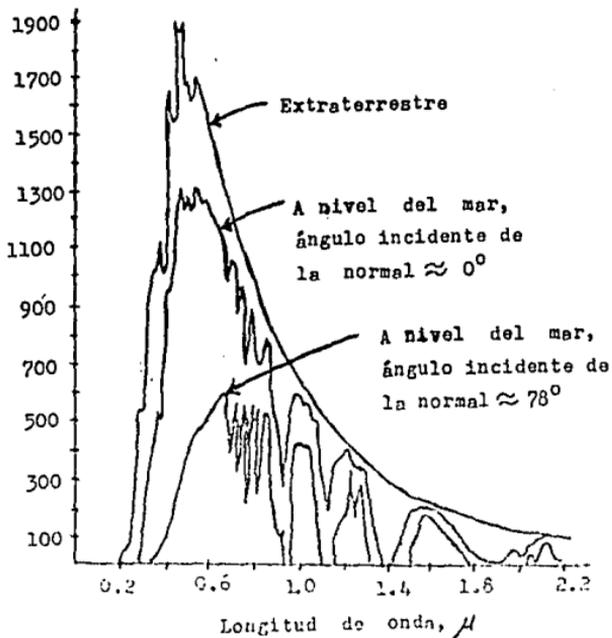


Fig. 1.1.

Flujo de radiación solar, kcal/h-m²-micrón

Flujo de radiación solar, kcal/h-m²-micrón



Distribución espectral de la radiación solar como función de las condiciones atmosféricas y el ángulo de incidencia.

Fig. 1.2.

Aproximadamente el 65% de la energía definida por la constante solar entra a la atmósfera terrestre y el 35% es reflejada al exterior y de la energía entrante un 70% llega a la superficie terrestre y un 30% queda en la atmósfera. El ozono absorbe casi totalmente las radiaciones ultravioleta, además, las nubes, el polvo, humo y los gases contaminantes hacen difusa la radiación. Este proceso de dispersión por partículas está gobernado principalmente por el tamaño de la partícula en comparación con la longitud de onda de la radiación: existe dispersión máxima cuando la longitud de onda y el tamaño de la partícula son iguales y disminuye progresivamente para longitudes de onda mayores .

La mejor zona para captar energía solar en la Tierra se localiza entre los 15° y 30° en ambas latitudes norte y sur por las siguientes razones:

1) La trayectoria de la radiación es menor a través de la atmósfera , habiendo menos absorción que la que se tendría para un ángulo de incidencia inclinado de la normal.

2) El flujo solar incide sobre una mayor superficie y en promedio se tienen menos nublados (los grandes desiertos se localizan en esta franja).

C A P Í T U L O I I .

T R A N S F E R E N C I A D E C A L O R E N
C O L E C T O R E S S O L A R E S D E P L A C A P L A N A .

2.1. Conceptos básicos de transferencia de calor.

2.1.1. C o n d u c c i ó n .

En cualquier sistema en el que intervenga la - transferencia de calor el diseño de ingeniería busca disminuir las pérdidas de calor hacia los alrededores causadas principalmente por la conducción.

La conducción es un proceso de propagación de calor característico de los materiales sólidos y supone un contacto directo de los cuerpos siendo el calor transmitido por el movimiento molecular o inframolecular sin haber un movimiento de masa global.

La segunda ley de la termodinámica establece que la transferencia de calor se lleva a cabo de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura de lo que se infiere que el flujo calorífico es proporcional al gradiente de temperatura .La ley de Fourier engloba todo lo anterior mediante la siguiente expresión :

$$q = - k \frac{dT}{dx}$$

donde :

- 18 -

q = flujo de calor . (cal/ m²)

dT = cambio de temperatura (°C).

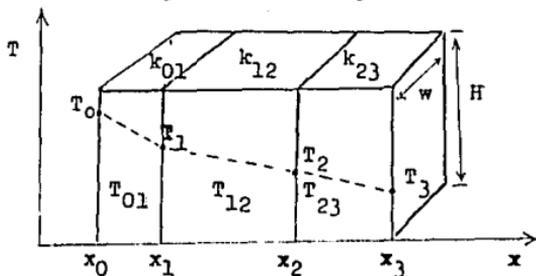
dx = cambio de distancia (m).

k = conductividad térmica (cal/ h m °C)

El signo (-) de la expresión para la Ley de Fourier ajusta la ecuación a la segunda ley de la termodinámica.

Los sólidos pueden transferir calor por conducción también debido al transporte de electrones libres -- (mismos que pueden transferir carga eléctrica) esto explica el por qué los buenos conductores eléctricos son buenos conductores del calor (plata, cobre, etc.).

Para la conducción a través de paredes que tienen diferente conductividad térmica, temperatura y espesor en un cuerpo sólido se puede hacer el análisis que se presenta a continuación y que se representa en el esquema en el que son tres paredes unidas y en cuyos extremos se tienen las temperaturas T_0 y T_3 siendo $T_0 > T_3$:



x = distancia o largo de la pared.

- 19 -

k = conductividad térmica.

w = ancho de la pared.

H = altura de la pared.

Efectuando un balance en la zona 01 en estado estacionario:

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} + \text{FUENTES} - \text{CONSUMO} = \text{ACUMELACIÓN}$$

Que se ve reducida a:

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = 0$$

Suponiendo flujo de calor unidimensional el balance en un diferencial de volumen y en estado estacionario para la zona 01 es :

$$q_x \Big|_x^{01} w H - q_x \Big|_{x+dx}^{01} w H = 0$$

Que expresado en forma de ecuación diferencial -

equivale a :

$$\frac{d q_x^{01}}{d x} = 0$$

E integrando queda: $q_x^{01} = c_1$; siendo c_1 una constante de integración.

Para la condición límite: $x = x_0$, $c_1 = q_0$, -
 q_0 es la densidad de flujo de calor en $x = x_0$.

En estado estacionario la densidad de flujo de calor es la misma para las tres zonas 01, 12 y 23 :

$$q_0 = q_x^{01} = q_x^{12} = q_x^{23}$$

Aplicando la ley de Fourier :

$$q_x^{01} = -k_{01} \frac{dT_{01}}{dx} = q_0$$

$$\text{Por tanto: } -k_{01} \frac{dT_{01}}{dx} = -k_{12} \frac{dT_{12}}{dx} = -k_{23} \frac{dT_{23}}{dx}$$

Integrando para la zona 01 :

$$q_0 \int_{x_0}^{x_1} dx = -k_{01} \int_{T_0}^{T_1} dT$$

Queda al igual que para las zonas 12 y 23 como:

$$T_0 - T_1 = q_0 (x_1 - x_0) / k_{01}$$

$$T_1 - T_2 = q_0 (x_2 - x_1) / k_{12}$$

$$T_2 - T_3 = q_0 (x_3 - x_2) / k_{23}$$

Sumando estas tres ecuaciones y despejando q_0 , obtenemos la expresión para la conducción de calor a través de un cuerpo sólido compuesto por paredes de diferentes conductividades térmicas, espesor y temperatura:

$$q_0 = \frac{T_0 - T_n}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i - x_{i-1}}{k_{i-1, i}}}$$

n = número de paredes, para este caso, $n=3$.

2.1.2. Convección .

La transferencia de calor por convección se realiza como consecuencia del movimiento de masa relativamente grande de materia en gases y líquidos, que la lleva a establecer contacto con superficies que se encuentran a distinta temperatura. La convección puede ser forzada si el movimiento es provocado por algún agente externo que lo empuja o succiona como un ventilador o una bomba. Es convección natural cuando el movimiento es consecuencia de los gradientes de densidad que experimenta el fluido al estar en contacto con una superficie a mayor temperatura y en presencia del campo gravitacional.

En el calentador solar hay una transmisión de calor por conducción desde la superficie de un sólido (tubo de cobre) que ha sido calentado por radiación y que está a la temperatura T_g , hasta el fluido que transporta calor por convección y se encuentra a una temperatura T_f . Para expresar el efecto total de la convección se tiene la ley de Newton de enfriamiento:

$$q = h (T_g - T_f)$$

donde:

$$q = \text{flujo de calor (cal/m}^2\text{)}$$

$$h = \text{coeficiente de transferencia de calor por convección (cal/h m}^2\text{ }^\circ\text{C)}$$

En la sección 1.3. se explicó el cómo la radiación esta constituida básicamente por cuántos o fotones - y es así como se desprende una cantidad de energía relativamente pequeña cuando una molécula disminuye su velocidad (infrarrojo), o bien, se desprenden cantidades relativamente grandes de energía cuando un núcleo atómico - pasa de un estado de energía elevado (excitado) a otro - más bajo (radiación gamma o X). La energía radiante emitida por un objeto radiante, así mismo, tenderá a longitudes de onda más cortas a medida que su temperatura aumenta.

Para cálculos aproximados, el Sol puede considerarse como un cuerpo negro que emite radiación con una - intensidad máxima para $\lambda = 0.5$ micrones ($5\ 000 \text{ \AA}$) y con una temperatura superficial de $5\ 700^{\circ}\text{C}$. Un cuerpo negro a temperatura ambiente emite radiación con un máximo de 10 micrones encontrándose en el espectro del infrarrojo - o de radiación térmica, que para nuestro estudio es el - que más nos interesa. Un cuerpo negro (ideal) se define como aquel cuerpo que absorbe toda la radiación que en - él incide (absortividad, $a=1$), y que emite toda la radiación que recibe (emisividad, $e=1$) para cualquier longitud de onda.

- 2 3 -

Se ha comprobado experimentalmente y por deducción termodinámica que la energía total emitida por una superficie negra viene dada por la ley de Stefan-Boltzmann:

$$q = \sigma T^4$$

donde: $T =$ temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$)
 $\sigma = 4.878 \times 10^{-8}$ kcal/h m² $^{\circ}\text{K}^4$

Para cuerpos no negros:

-el calor emitido es: $q = \sigma e T^4$

-el calor absorbido es: $q = \sigma a T^4$

Para los límites: $0 < a, e < 1$

La absorptividad como la emisividad son parámetros que varían dependiendo de la temperatura absoluta del cuerpo, del tipo de superficie que tenga y de la longitud de onda de la radiación incidente.

Se tiene también la siguiente relación conocida como la ley del desplazamiento de Wien:

$$\lambda_{\text{max.}} T = 0.2884 \text{ cm } ^{\circ}\text{K}$$

que es especialmente útil para determinar la temperatura de objetos lejanos demostrando como la longitud de onda máxima transmitida por un cuerpo es función de su temperatura. Esta ley predice, de acuerdo con la experiencia, que el color aparente de la radiación pasa del rojo (longitud de onda grande) al azul (longitud de onda corta) a medida que se incrementa la temperatura.

2.2. U s o d e a i s l a n t e s .

La capacidad de un material para retrasar el -- flujo de calor, debido a su baja conductividad térmica - (alta resistencia térmica), es una propiedad aprovechable en el aislamiento del equipo que se desea pierda la menor cantidad de energía hacia el ambiente.

Los aislantes pueden ser:

1) Materiales minerales fibrosos o celulares como el asbesto, el sílice, escorias, etc.

2) Materiales orgánicos fibrosos o celulares como la caña, el corcho, el caucho, la madera y el algodón.

3) Plásticos orgánicos celulares como poliestiréno o poliuretano.

Ya que los gases son los materiales que ofrecen mayor resistencia al flujo de calor por conducción, se -- utilizan combinaciones de materiales que tienen bolsas -- de aire o llenas de gases, o también se dejan espacios -- vacíos. Se debe tener en cuenta que la relación sólido-- gas ya que una disminución en la densidad de empaqueta-- miento podría disminuir la conductividad efectiva, pero -- la convección aumentaría debido a que los espacios de -- gas son grandes.

En el cálculo del espesor del aislante se bus-

ca que la suma del costo de la pérdida de calor más el costo del aislante sea mínimo esto corresponde al espesor óptimo del aislante. A valores bajos de espesor de aislamiento, el costo amortizado de aislamiento es bajo, sin embargo, hay pérdida de energía grande (ver fig.2.1). Por el contrario, un espesor adicional hace aumentar el costo de aislamiento pero se reduce la pérdida de energía y por tanto su costo.

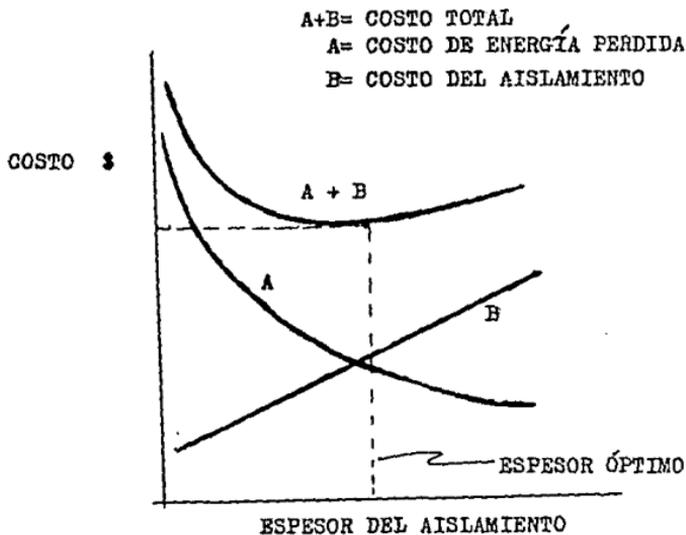


FIG. 2.1.

2.3. Importancia del vidrio en el colector, efecto invernadero.

El vidrio tiene entre sus constituyentes más comunes los siguientes compuestos, cuyas proporciones varían dependiendo del tipo de vidrio: SiO_2 , Na_2O , CaO , Al_2O_3 , K_2O , MgO , PbO , además de impurezas en forma de FeO que dan el característico tono azul-verdoso y reduce la transmisividad del vidrio.

Una lámina de vidrio transmite aproximadamente el 85 % de la radiación que recibe perpendicularmente, es relativamente transparente a la luz visible y absorbedor de la radiación infrarroja.

El fin del vidrio en el colector de placa plana es:

- 1) Aislar la placa de absorción de la convección del aire.

- 2) Reflejar la radiación infrarroja (térmica) que re-irradia la placa absorbedora, efectuándose de esta manera el efecto invernadero.

El efecto invernadero es fundamental para incrementar la eficiencia del colector. El vidrio actúa como filtro a las radiaciones: transmite energía de onda corta, pero refleja, esto es, no transmite la radiación de longitud de onda más larga (I.R.) que la placa absorbedora vuelve a radiar al actuar como cuerpo negro. Es así como el cuerpo absorbente alcanza temperaturas más altas a las que se lograrían al estar expuesto a la radiación

solar sin el vidrio de por medio.

- 27 -

El equilibrio térmico se alcanza cuando la ganancia de energía por absorción es igual a las pérdidas de energía por emisión de la radiación que el vidrio no puede reflejar.

Aproximadamente un 50% de la radiación que re-irradia la placa absorbedora regresa a la misma placa con ayuda del vidrio. Se acostumbra poner doble vidrio en zonas muy ventosas o cuando se trabaja a altas temperaturas con lo cual se logra reducir otro 25% las pérdidas por radiación infrarroja (refleja un 75% el doble vidrio), aunque solo se transmite el 70% de la radiación incidente usando vidrio de 5 mm de espesor.

En la figura 2.2. se indica la cantidad de energía que la radiación solar suministra y la curva inferior la que se transmite a través de una lámina de vidrio plano sencillo, observese que la transmisión es aproximadamente cero para longitudes de onda mayores de 3000 nm.

La figura 2.3. se explica el por qué del recalentamiento que experimentan los cuerpos a través del vidrio, o efecto invernadero. Las longitudes de onda mayores a 3 000nm son "rebotadas" por el vidrio. cuando el cuerpo negro emite hacia este esa radiación de mayor λ . La efectividad del vidrio en este sentido disminuirá cuando el cuerpo negro esta a mayor temperatura al emitir la radiación con longitudes de onda más corta.

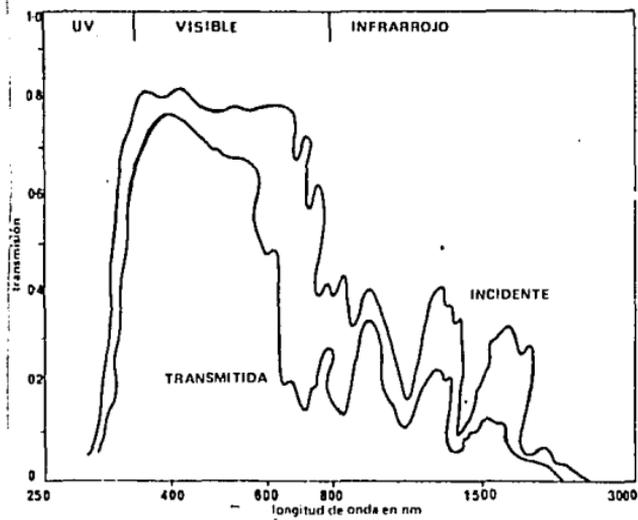


Fig. 2.2.

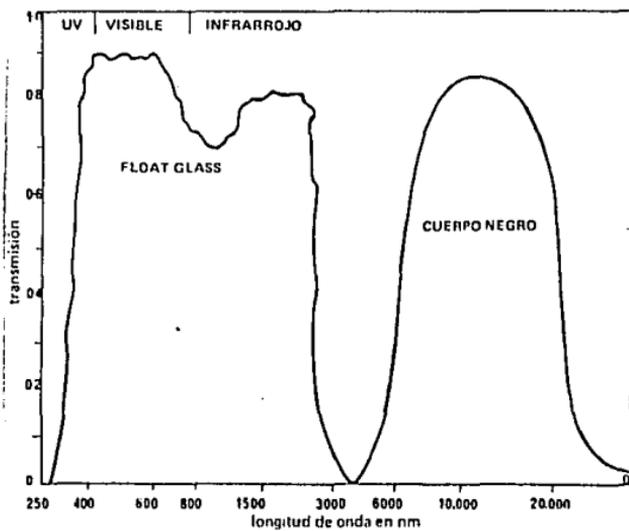


Fig. 2.3.

2.4. Superficies Selectivas.

Las superficies selectivas son finas capas ---- de depósitos metálicos sobre la placa de absorción con un espesor de apenas algunas micras. Estos recubrimientos -- se hacen utilizando metales como el níquel, el berilio, - óxido de cobre, vapores de MgF_2 , Fe_2O_3 , etc. que tienen - como principal propiedad el provocar en la superficie tra- tada un elevado coeficiente de absorción en el espectro - visible y de radiación ultravioleta y una emitancia muy - baja de radiación térmica en el infrarrojo.

La aplicación de la mayoría de este tipo de re- cubrimientos tiene la desventaja de requerir hacerse me- diante electrólisis, procedimiento que requiere cuidados- especiales además que la estructura química del recubri- miento tiende a la inestabilidad por lo que su vida útil- es menor a la pintura negra que se suele utilizar.

Se ha experimentado también con recubrimientos - selectivos de óxido de estaño e indio sobre la superficie interior de las láminas de vidrio obteniéndose resultados análogos a los recubrimientos selectivos de las placas de absorción de los colectores solares.

En el colector diseñado la placa de absorción - no tiene recubrimiento selectivo, habiéndosele aplicado - pintura negro mate con base de negro de humo. El colector de placa plana de cobre sí tiene superficie selectiva.

C A P Í T U L O I I I .

CÁLCULOS DEL CALENTADOR SOLAR .

3.1. Balance global de calor.

Para el colector solar de placa plana se expresa con la siguiente ecuación:

$$Q_I = Q_A + Q_p$$

$$I t A_C \tau \alpha = W C_p (T_s - T_e) + U A_C (T_p - T_a)$$

donde:

I = insolación (kcal/h m²)

t = tiempo de exposición al sol (h)

A_C = área del colector (m²)

τ = transmitancia del vidrio

α = absorbancia de la placa absorbadora

w = peso del fluido que circula (kg)

C_p = capacidad calorífica a presión cte. (kcal/kg °C)

T_s = temperatura a que sale el fluido (°C)

T_e = temperatura a que entra el fluido (°C)

U = coeficiente global de transferencia de calor ($\frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{°C}}$)

T_p = temperatura de placa del colector (°C)

T_a = temperatura ambiente (°C)

Q_I = calor que incide debido a la radiación solar (kcal)

Q_A = calor absorbido por el agua (kcal)

Q_p = calor perdido (kcal)

En el colector diseñado intenvendrán 5 tipos de calor:• el calor que incide o total=Q_I

• el calor sensible que proporciona la vaselina=Q_B

- el calor absorbido por el agua (útil) = Q_A
- el calor latente de fusión de la vaselina = Q_L
- el calor perdido por conducción = Q_P

El balance de calor global para el calentador solar diseñado es :

$$Q_I = Q_S + Q_L + Q_A + Q_P$$

siendo:

$$Q_I = I t A_C \rho_c \quad (\text{kcal})$$

$$Q_S = w_v C_{p, \text{vasel. (sólido)}} (T_v - T_f) + w_v C_{p, \text{vasel. (líquido)}} (T_f - T_a)$$

$$Q_L = w_v Q_L f \text{ vasel.} \quad (\text{kcal})$$

$$Q_P = \text{calor perdido por conducción (ver sección 2.1.1.)} \quad (\text{kcal})$$

T_f = temperatura de fusión de la vaselina ($^{\circ}\text{C}$)

T_v = temperatura que alcanza la vaselina ($^{\circ}\text{C}$).

w_v = peso de la vaselina utilizada (kg)

$Q_L f \text{ vasel.}$ = calor latente de la vaselina (kcal/kg)

$$Q_A = w C_{p, \text{agua}} (T_s - T_a) \quad (\text{kcal})$$

Q_T = calor total absorbido por la vaselina

$$Q_T = Q_S + Q_L \quad (\text{kcal})$$

Los demás términos son los mismos definidos en la nomenclatura para el balance del colector de placa plana en la página anterior.

3.2. Características de la sustancia calefactora.

En el colector diseñado la vaselina, también conocida como petrolato, fué usada como medio calefactor. - Esta sustancia es un semisólido constituido principalmente por una mezcla de hidrocarburos del orden de $C_{16}H_{34}$ a $C_{20}H_{42}$ obtenidos del procesamiento de destilados del petróleo crudo que hierve arriba de los $300^{\circ}C$. Es de apariencia física translúcida, es insoluble en agua y soluble en éter, cloroformo y benceno.

La vaselina tipo ámbar, así conocida comercialmente, fué empleada en el calentador diseñado y tiene las siguientes propiedades:

Punto de fusión= $39^{\circ}C$
Densidad a $20^{\circ}C$ = 0.864 gr/cm^3
Densidad a $90^{\circ}C$ = 0.834 gr/cm^3
Calor latente de fusión (Q_{LF})= 52 cal/gr
Capacidad calorífica a $39^{\circ}C$ = $0.498 \text{ cal/gr } ^{\circ}C$
Conductividad térmica a $39^{\circ}C$ = $158 \text{ cal/m h } ^{\circ}C$
Capacidad calorífica a $60^{\circ}C$ = $0.509 \text{ cal/gr } ^{\circ}C$

3.3. Cálculo de la longitud del serpentín.

El serpentín de tubos de cobre, por el que circula el agua, está dentro de una caja, cuyas características se discuten adelante, de $1m$ por $1m$. Ya que se contaba con uniones en "U" de cobre de 6.5 cm (siendo esta la distancia de centro a centro de tubo), se utilizaron 15 de estas uniones que fueron soldadas a 16 tramos de tubos, siendo 14 de ellos de una longitud de 94 cm y 2 de 95 cm .

El tubo de cobre fué del tipo rígido con: -33-

diámetro externo=5/8" (1.5875 cm)

diámetro interno=1/2" (1.27 cm)

Por tanto el volumen de agua contenido en el - -
serpentín es : ($\pi = 3.1416$)

$$V_{\text{agua}} = \pi (1.27/2)^2 (94 \times 14 + 95 \times 2 + 6.5 \times 15) = 2030 \text{ cm}^3$$

El volumen del serpentín es:

$$V_{\text{serp.}} = \pi (1.5875/2)^2 (94 \times 14 + 95 \times 2 + 6.5 \times 15) = 3173 \text{ cm}^3$$

3.4. Espesor del aislante y pérdidas de calor.

Se seleccionaron materiales aislantes de fácil -
adquisición y bajo costo. Se utilizó tabla roca, fibra de
vidrio y madera de pino.

En cuanto al espesor de tabla roca (yeso compac_
to) se procuró que fuera el mayor posible teniendo como -
única limitante el peso de este material, que a un espe--
sor demasiado grande incrementa considerablemente el peso
total del aparato lo cual dificulta el transporte del e--
quipo.

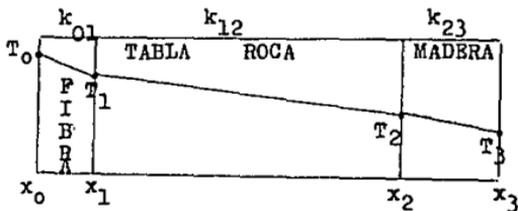
Las conductividades térmicas y espesores de los-
aislantes usados son los siguientes:

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD, k, (kcal/m°C h)	ESPEPOR, x. (m)
Fibra de vidrio	0.29	0.007
Tabla roca	0.10	0.0635
Madera de pino	0.33	0.0254

El calor perdido por conducción a través de -- las paredes obedece la ecuación propuesta anteriormente en la sección 2.1.1. :

$$Q_p = \frac{T_0 - T_3}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i - x_{i-1}}{k_{i-1,i}}}$$

Suponiendo $T_0 = 60^\circ\text{C}$ y $T_3 = 29^\circ\text{C}$ siendo estas las temperaturas en el interior de la caja con vaselina y la temperatura del medio ambiente.



Para la fibra de vidrio : $x_1 - x_0 = 0.007\text{m}$

Para la tabla roca : $x_2 - x_1 = 0.0635\text{ m}$

Para la madera : $x_3 - x_2 = 0.0254\text{ m}$

Entonces el calor perdido teóricamente por conducción es:

$$Q_p = \frac{60 - 29}{\frac{0.007}{0.29} + \frac{0.0635}{0.10} + \frac{0.0254}{0.33}} = 42.113 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

3.5. Determinación de las dimensiones de la caja contenedora de vaselina.

La caja que contiene vaselina y el serpentín que circula por dentro de la caja (ver fig. 4.1.) tiene una tapa que funciona como placa absorbadora de 1 m^2 de superficie (superficie que se escogió para comparar con el colector de placa plana cuya superficie es también de aproximadamente 1 m^2).

El siguiente paso fué calcular la cantidad necesaria de vaselina (w_v = peso de vaselina) para a partir de este dato obtener el volumen que debe tener la caja y seguidamente saber su altura. Haciendo uso de la ecuación del balance global de calor para el colector diseñado de la sección 3.1. que es la siguiente:

$$Q_I = w_v C_{p\text{vasel. (líquido)}} (T_v - T_f) + w_v Q_{Lf \text{ vasel}} + w_v C_{p\text{vasel. (sólido)}} (T_f - T_a) + w C_{p\text{agua}} (T_s - T_a) + Q_p$$

teniendo los términos los siguientes valores:

- a) Para $A_c = 1 \text{ m}^2 = 10000 \text{ cm}^2$, una insolación máxima, de $I = 82.125 \text{ cal/h cm}^2$ (ver apéndice I), el producto $I A_c$ de 0.98 y un tiempo $t = 1 \text{ h}$, Q_I es:

$$Q_I = 82.125 \times 10000 \times 0.98 \times 1 = 80.4825 \times 10^4 \text{ cal}$$

- b) w_v = peso de la vaselina es la incógnita (gr)
 c) C_p vasel. (sólido) = 0.498 cal/gr °C
 d) C_p vasel. (líquido) = 0.509 cal/gr °C
 e) $T_v = 60^\circ\text{C}$, temperatura de la vaselina.
 f) $T_f = 39^\circ\text{C}$, temperatura de fusión de la vaselina

- g) $T_a = 29^\circ\text{C}$, temperatura ambiente.
 h) $T_s = 50^\circ\text{C}$, temperatura a la que se quiere el agua
 i) $Q_{Lf \text{ vasel}} = 52 \text{ cal/gr}$, calor fusión vaselina.
 j) $w = 2030 \text{ gr}$, peso del agua contenida en el serpentín (ver sección 3.3.)
 k) $C_{p \text{ agua}} = 1 \text{ cal/gr } ^\circ\text{C}$
 l) $Q_p = 42 \text{ 113 cal en 1 hora.}$ (Calculado sección 3.4.)

Sustituyendo estos valores en la ecuación del balance de calor y despejando w_v , obtenemos la cantidad de -vaselina requerida para aprovechar la insolación máxima, -cuyo valor es:

$$w_v = 10 \text{ 660.30 gr} \approx 10.66 \text{ kg.}$$

que a una densidad de 0.834 (en estado líquido) equivalen a un volumen de 12 782.13 cm^3 .

El volumen de la caja es:

$$V_{\text{caja}} = V_{\text{vaselina}} + V_{\text{serp.}} = 12 \text{ 782.13} + 3173 \text{ cm}^3 = 15955.13 \text{ cm}^3$$

La altura de la caja es:

$$H_{\text{caja}} = \frac{15 \text{ 955.13 cm}^3}{10 \text{ 000 cm}^2} = 1.59 \text{ cm}$$

1.59 cm es la altura requerida teóricamente a las condiciones fijadas correspondiéndole 10.66 kg de vaselina, sin embargo se decidió construir la caja de 4 cm de altura para que todo el serpentín se encuentre rodeado de vaselina y para además tener mayor capacidad para calentar el agua, ocupándose para esta altura aproximadamente 32 kg de vaselina.

3.6. Angulo de inclinación y orientación del Colector.

Es importante tratar que los rayos solares incidan perpendicularmente en el colector ya que entre más oblicuo sea el ángulo formado entre el plano del vidrio y la radiación solar, entonces, mayor será la proporción de energía reflejada.

Generalmente se pone el colector con un ángulo de inclinación de 10° más que la latitud del lugar donde se localiza, aunque hay una excepción a esta práctica: en zonas de alta nubosidad (Londrés por ejemplo) en que la mayor parte de la energía captada procede de la radiación difusa el ángulo ideal es de 0° . Para Guadalajara se recomienda una inclinación de 22° posición sur, siendo esta la inclinación promedio de los meses de Enero y Diciembre.

Lógicamente lo mejor sería que el colector rastrear la trayectoria del Sol ya que su altura y posición varía con las estaciones del año.

Por lo que se refiere a la orientación, el colector se debe colocar hacia el Sur. Hay un margen de 30° de desviación hacia el Este y Oeste, a desviaciones más grandes la eficiencia disminuye significativamente.

C A P Í T U L O I V .

CONSTRUCCIÓN DEL CALENTADOR.

4.1. Material Seleccionado.

Se utilizó el material que resultara el más económico y más accesible, tanto para facilitar la construcción como para abatir el costo.

4.1.1. Vidrio

El vidrio usado fue del tipo estándar usado en ventanería de 5 mm de espesor.

4.1.2. Caja y placa de absorción.

El principal componente del colector diseñado es la caja que contiene a la vaselina y al serpentín. -- Fue hecha de láminada galvanizada del tipo utilizado en los ductos de aire acondicionado de 0.5 mm de grosor. -- Las dimensiones son: altura= 4cm
lados = 1 m X 1 m

La placa de absorción fue hecha con el mismo material de 1 m² y soldada como tapa de esta caja.

4.1.3. Serpentín

Se usó tubo de cobre rígido de 5/8" de diámetro externo y de 1/2" de diámetro interno gastándose 15.2 m de tubo y 15 conexiones en forma de "U" de 6.5 cm.

4.1.4. Aislante.

Fue empleada tabla roca de desecho de construc_

ción de casas aislándose con un espesor de 2.5" y fibra de vidrio de 7 mm de espesor.

4.1.5. Carcasa.

La carcasa fué hecha con madera de pino de 1" - de espesor. Se escogió madera por ser mejor aislante -- que el fierro y más barata. Las dimensiones de esta son de 12 cm de altura y de 1.12m X 1.12m de lado por lado.

4.1.6. Válvula.

Para controlar el flujo de agua a través del -- serpentín se instaló una valvula de compuerta a la entrada del fluído al aparato. El agua se alimenta directamente del tinaco.

4.2. Maquinado y armado.

En una dobladora de láminas se construyó la caja contenedora de 4cm de altura y 1 m² de fondo, seguidamente se le acopló en su interior el serpentín, cuyos tubos de cobre fueron soldados previamente con soldadura de estaño. A continuación se procedió a soldar la tapa de la caja o placa absorbedora con soldadura de alambre recocido. Se perforaron a un lado de la caja dos orificios para el llenado con vaselina y se verificó que no hubieran fugas mediante agua a presión.

La placa de absorción se pintó de negro mate, - procurando aplicar una película lo mas delgada posible.

El siguiente paso fué el llenado de la caja introduciendo la vaselina fundida por uno de los orificios y desplazando el aire por el otro orificio. Una vez completamente llena se cierra herméticamente con tapones de hule, uno de los cuales tiene un termómetro para medir la temperatura de la vaselina.

La caja anterior se coloca dentro de la carcasa de madera que ha sido aislada con tabla roca y fibra de vidrio. Esta carcasa lleva a los lados unas patas de altura variable para darle al colector la inclinación deseada.

Por último se conecta la válvula de alimentación da agua, se orienta en la posición correcta y se le coloca el vidrio.

La siguiente figura ilustra cómo es la caja contenedora (Fig. 4.1.).

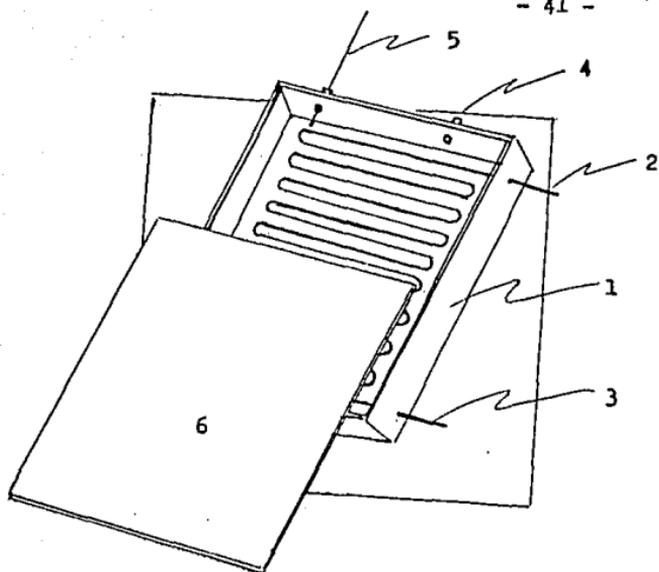


Fig. 4. l.

1. Caja contenedora.
2. Entrada de agua al serpentín.
3. Salida de agua del serpentín.
4. Orificio para el llenado de la vaselina.
5. Orificio para la purga de aire en el llenado y para el termómetro.
6. Placa de absorción o tapa de la caja contenedora soldada a la misma.

C A P Í T U L O V .

C A P Í T U L O V .

CONDICIONES DE OPERACIÓN.

5.1. Descripción del funcionamiento del calentador .

En las figuras 5.1. y 5.2. se muestra el calentador ya instalado y un diagrama esquemático de las partes que lo componen.

El agua es alimentada directamente del tinaco a la entrada del serpentín por la parte inferior controlando el flujo por medio de la válvula.

La radiación solar atraviesa la cubierta de vidrio, calienta la placa y se funde la vaselina que en fase líquida transmite calor sensible por convección a los tubos de cobre del serpentín y estos calientan por conducción al agua circulante que transporta y almacena calor por convección (que para este calentador es convección forzada). El aislante de la carcasa ayuda a disminuir las pérdidas de calor de la caja contenedora al medio ambiente.

La salida del agua caliente se conecta a una toma para su muestreo o bien se puede almacenar en un tanque aislado para su posterior empleo (usar un tanque de 60 litros por m² de colector, el gasto medio familiar es de aproximadamente 160 litros/día).

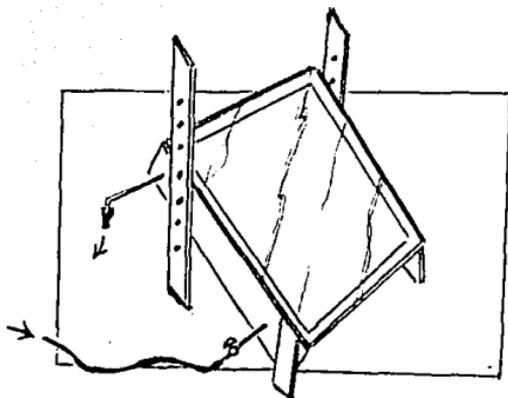


Fig. 5.1.

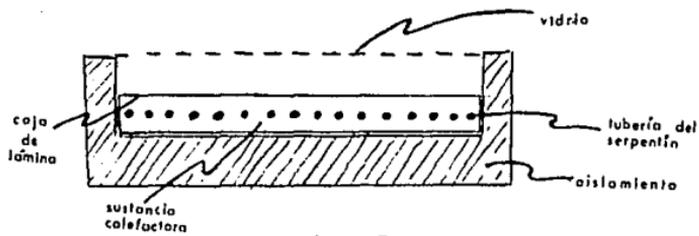


Fig. 5.2.

5.2. Comportamiento del calentador durante --
el día y la noche.

El comportamiento del colector varía durante -
el transcurso del día. En la mañana tiene que ser ca--
lentado por el Sol ya que el vidrio, el material absor--
bente (tubos, caja de lámina, placa absorbadora, vaseli--
na) y el aislante están a una temperatura más baja que -
la ambiente por lo que se requiere una cantidad de calor
extra. De lo anterior se tiene que la máxima efectividad -
es al medio día cuando la inercia térmica ha sido venci--
da.

La vaselina aporta calor sensible una vez fundida
cuando el Sol está en pleno. Pero cuando comienza a -
oscurecer, y el sistema se empieza a enfriar, la vaselina
al pasar de su estado líquido a sólido aporta calor -
latente de fusión que sigue calentando al fluido de trabajo
que circula por el serpentín, siendo está la principal
ventaja respecto al colector de placa plana que ya no calienta
al ocultarse el Sol. Este calentamiento que continu
a aún sin Sol será tanto más prolongado cuanto mejor -
sea el aislamiento del calentador.

5.3. Presión dentro de la caja contenedora.

No existe peligro en cuanto a que la caja que -
contiene la vaselina pueda reventar, tanto por no llegar

la vaselina a la temperatura de ebullición como por no haber gases ya que fueron desalojados al llenar la caja y estar herméticamente cerrada. Además es importante que no hayan inclusiones de aire ya que causarían un aislamiento que empobrecería el transporte de calor dentro de la caja absorbadora.

Solo hay una ligera expansión de volumen debido al cambio de densidad de la vaselina al pasar de la fase sólida a líquida.

5.4. Temperatura de operación .

Para lograr la máxima eficiencia del calentador es necesario evitar las perdidas por re-radiación y esto se logra:

- 1.Explotando el efecto invernadero.
- 2.Trabajando a temperaturas bajas .

Este segundo punto nos indica que altas temperaturas de operación no equivalen a una eficiencia alta, - ya que entre más caliente este el sistema mayor será el régimen de pérdidas de energía.

La temperatura a que sale el fluido de trabajo - se controla variando el flujo, a mayor flujo menor temperatura de salida del agua, y para dilucidar el flujo ideal se experimenta variando el flujo en diferentes corrientes hasta lograr la máxima eficiencia en cuanto a calor absorbido por el agua. Para uso doméstico las temperaturas que se suelen requerir son entre 40°C y 50°C.

C A P Í T U L O V I .

C A P Í T U L O V I .
E X P E R I M E N T A C I Ó N .

- 46 -

6.1. Parámetros a determinar en la experimentación.

6.1.1. Temperaturas.

Se midieron las temperaturas de los colectores - que se comparaban de la siguiente manera:

a) Para el calentador diseñado de vaselina(v):

- 1.Temperatura de entrada del agua= T_{1v}
- 2.Temperatura de salida del agua= T_{2v}
- 3.Temperatura de vaselina en la caja= T_v
- 4.Temperatura de la placa de absorción= T_{pv}

b) Para el calentador de placa plana de cobre:

- 1.Temperatura de entrada del agua= T_1
- 2.Temperatura de salida del agua= T_2
- 3.Temperatura de la placa de absorción= T_p

c) Se midió la temperatura ambiente = T_a , a pleno sol con el termómetro de mercurio con el bulbo seco.

6.1.2. Flujo

El flujo se midió pesando el agua saliendo de - los colectores en determinado intervalo de tiempo tratando de mantenerlo constante para cada corrida.

6.1.3. Condiciones atmosféricas.

Se observó la variación del clima según las siguientes clasificaciones:

1. Soleado = S
2. Medio, Soleado = MS
3. Nublado = N
4. Medio Nublado = MN
5. Lluvioso = LL

NOTA : un parámetro importante que no fué posible determinar experimentalmente es la radiación solar incidente para cada día (corrida) ya que no contamos con un pir heliometro. Solo conocemos el valor (va riable cada año) de insolación promedio mensual - ver apéndice I - .

HORA	COLECTOR DISEÑADO (VASELINA)						COLECTOR DE PLACA PLANA (COBRE)				SOL
	T_a	T_{1v}	T_{2v}	T_v	T_{pv}	F	T_1	T_2	T_p	F	
		(°C)			(kg/h)		(°C)		(kg/h)		
1.º Abril											
10:30	24	26	32	33	65	10	27	40	52	36	S
11:00	30	32	36	36	69	10	28	44	55	35.8	S
11:30	31	32	39	40	77	9.8	30	47	57	34	S
12:00	31	34	46	51	77	10	30	48	57	34	S
1:00	35	35	62	71	79	10	33	50.5	58	34.6	S
1:30	37	35	62	72	79	9.5	33	50	58	34.2	S
2:00	36	34	64	73	79	9.7	34	50.5	57	35.8	S
2:30	36	35	63	72	79	10	34	50	57	35.8	S
3:00	34	34	62	71	76	9.0	34	50	57	33.6	S
3:30	34	34	61	70	75	9.8	34	49	56	35.2	MS
4:00	30	32	60	68	72	10	34	48	54	35.6	MS
2 Abril											
11:00	31	32	39	34	74	5.0	28	45.5	56	36.6	S
11:30	32	34	52	46	77	4.8	29	48	58	37	S
12:00	32	35	61	57	77	4.9	30	50	59	36	S
12:30	33	37	65	72	79	5	32	52	60	36.6	S
1:00	32	37	80	75	80	5.2	33	53	61	36.2	S
1:30	34	36	78	77	80	5.3	34	53	58	37.2	S
2:00	36	36	77	77	80	5.0	35	54	61	36.8	S
2:30	37	37	78	77	80	4.6	35	53	60	37.2	S
3:00	36	36	77	76	79	4.5	35	59	52.5	37	S
3:30	37	38	72	77	78	4.9	36	51.5	58	37.4	S
4:00	36	36	78	75	76	4.7	35	49	56	38.2	S
4:30	36	34	72	72	73	4.7	35	45	52	38	S
5:00	34	32	64	67	68	4.7	32	42	43	38	MS
5:30	34	32	64	63	64	5.2	34	40	43	38	MS

HORA T_n T_{1v} T_{2v} T_v T_{pv} F T₁ T₂ T_p F SOL
 (°C) (kg/h) (kg/h)

2 Abril

6:00	31	29	54	58	58	5	33	36	36	38	MS
6:30	27	26	43	48	49	5.2	31	32	32	38	MS
7:00	27	24	41	45	42	4.8	30	31	38	38	MS
7:30	25	23	39	38	36	4.9	25	26	27	38	MS

3 Abril

10:00	25	26	28	26	58	15	24	35	46	35.6	S
10:30	27	28	29	28	56	15.9	26	38	49	38.4	S
11:00	28	30	31	31	73	14.8	36	41	53	38	S
11:30	28	30	36	37	77	14.5	28	45	56	37.4	S
12:00	30	30	36	41	78	14.5	29	46.5	57	37.8	S
12:30	31	31	42	52	79	14.6	30	49	59	39.4	S
1:00	30	32	49	66	80	14.5	30	50	59	35	S
1:30	35	34	50	73	80	14.5	31	49	58	39.4	S
2:00	32	34	64	75	80	14.7	32	48	58	39.4	S
2:30	34	34	60	74	79	14.3	32	58	58	47.2	S
3:00	36	37	57	72	79	15.5	34	51	58	37.8	S
3:30	36	36	50	69	78	15.9	34	49	56	38.4	S
4:00	37	32	45	69	74	15.9	33	47	52	37.4	S

6 Abril

10:00	27	26	29	30	56	18.4	22	33	47	41	S
10:30	30	27	32	32	60	19	26	37	50	40.4	S
11:00	26	28	34	35	76	19	28	42	53	40.8	S
11:30	28	29	40	42	79	16.6	29	43	55	31.6	S
12:00	29	31	47	60	80	16.5	30	45	57	39.4	S
12:30	30	31	49	63	81	16.6	31	47	58	43.6	S
1:00	34	34	53	69	82	17.9	32	48	59	41	S
1:30	33	33	55	72	80	16.6	32	49	58	43.8	S
2:00	33	34	60	72	80	16.5	32	48	57	38.6	MS
2:30	34	33	53	68	78	19	32	47	53	42.4	MS
3:00	32	33	55	64	72	19	32	42	49	40.2	MS
3:30	32	32	57	63	76	18.5	32	45	52	40.8	MS
4:00	30	31	50	61	71	18.5	32	44	54	39.8	MS

HORA	T _a	T _{lv}	T _{zv}	T _v	T _{pv}	F	T ₁	T ₂	T _p	F	SOL
	(°C)					(kg/h)				(kg/h)	
7 Abril											
9 :30	21	22	24	25	48	16	22	25	32	50.8	MN
10:00	22	25	26	26	50	16.7	23	30	35	50	MS
10:30	26	26	29	30	53	16.7	25	31	38	42.6	MS
11:00	26	27	32	33	63	16.2	26	35	46	31.8	MS
11:30	27	28	32	34	67	16.9	26	35	44	42.2	MS
12:00	28	29	36	37	76	15.9	28	42	54	41.8	S
12:30	28	30	40	43	77	16.2	29	43	51	42.6	S
1 :00	32	32	45	49	78	15.9	30	45	56	42	S
1 :30	32	32	50	55	76	15.8	30	42	52	42.6	S
2 :00	31	32	53	57	76	16.7	32	44	55	43.8	S
2 :30	33	32	54	58	72	15.8	32	41	50	45.4	MS
3 :00	32	30	50	55	69	15.8	31	38	46	43.8	MS
3 :30	33	30	46	52	72	16.9	32	44	54	45.4	MS
4 :00	32	30	45	51	70	15.8	32	42	49	40	MS
8 Abril											
10:30	26	27	30	32	64	12.5	24	32	45	50.8	MS
11:00	29	29	33	34	73	12.8	28	37	50	48.6	MS
11:30	29	30	36	36	76	12.4	28	40	52	46.4	S
12:00	29	31	43	45	75	12.8	29	38	49	46.2	MS
12:30	29	32	47	49	78	12.3	30	43	54	47.6	S
1 :00	32	35	51	59	79	12.8	31	44	55	46.2	S
1:30	32	35	50	63	77	12.3	32	44	53	40.4	MS
2 :00	32	35	58	65	73	12.2	32	47	58	41.2	S
2 :30	32	35	57	66	76	12.2	34	49	52	40.4	MS
3 :00	32	31	52	66	72	12.2	32	44	49	40.6	N
3: 30	29	30	52	59	64	12.1	31	36	41	38.2	N
4 :00	28	30	49	50	60	12.8	31	35	39	39	MN

HORA	T _R	T _{lv}	T _{2v}	T _v	T _{pv}	F	T ₁	T ₂	T _p	F	SOL
16 Abril											
10:30	27	26	31	32	65	20	26	49	55	18	S
11:00	27	29	37	37	77	20	29	56	59	20	S
11:30	28	30	38	39	74	18	30	46	48	20	MS
12:00	29	31	42	43	73	22	31	52	53	20	MN
12:30	30	31	46	46	74	23	32	50	57	18	MS
1:00	31	32	49	62	76	24	32	50	57	20	S
1:30	32	32	50	65	73	24	32	49	52	20	MS
2:00	30	32	50	62	70	24	33	48	50	21	N
2:30	31	32	49	59	72	21	32	48	54	22	MN
3:00	32	32	47	59	71	20	33	47	52	21	MS
3:30	30	31	48	58	70	20	32	46	50	20	MS
20 Abril											
10:00	27	28	28	26	47	22	28	33	43	41	MS
10:30	28	29	30	32	53	24	32	41.5	53	41	MN
11:00	29	31	35	38	54	24	32	36	43	42.6	MN
11:30	29	32	40	42	54	24	33	37	33	44.2	N
12:00	34	35	48	57	76	24	36	47.5	57	42	MN
12:30	33	33	48	62	76	23	36	41	47	41	MS
1:00	33	36	49	60	70	24	36	45	53	42.8	MS
1:30	30	36	47	59	75	22	36	39	44	42.8	MS
2:00	33	36	49	59	70	22	39	49	58	42.6	S
2:30	32	35	47	58	80	22	36	41	45	44.2	S
3:00	32	34	48	58	75	22.1	36	39	44	43.8	MS
3:30	32	33	47	57	70	22.2	38	48	55	42.2	MS
4:00	30	32	45	56	70	22	38	41	46	43.6	MS

HORA	T _a	T _{lv}	T _{2v}	T _v	T _{pv}	F	T ₁	T ₂	T _p	F	Sol
21 Abril											
10:30	25	27	31	32	52	26	30	33	38	48	N
11:00	26	28	36	38	58	25.9	32	38	48	48.4	MN
11:30	28	29	39	43	63	25.4	33	41	53	45.8	MS
12:00	28	29	39	42	69	25.8	33	38	46	46.2	N
12:30	39	31	43	45	72	26.1	34	41	49	46	MN
1 :00	30	32	45	49	69	25.7	34	39	49	45.6	MN
1 :30	32	33	45	50	69	26.1	34	38	47	47.6	MN
2 :00	29	30	47	49	63	25.9	34	37	41	47.4	MN
2 :30	28	29	48	49	56	26.2	34	35	39	45.4	MN
3 :00	29	32	47	49	58	25.8	33	35	41	47	N
3 :30	31	33	43	45	64	26.1	34	38	46	46.6	N
4 :00	27	30	40	42	56	26	32	34	37	47	N
23 Abril											
10:00	28	29	35	37	68	30	28	33	44	49.6	S
10:30	28	29	39	42	70	30	30	36	48	52	S
11:00	20	30	39	43	72	32	32	40	52	49.6	S
11:30	29	30	41	45	78	32.2	32	43	47	52.2	S
12:00	30	32	47	49	79	32.6	36	45	58	52.2	S
12:30	33	35	52	55	81	32.6	36	47	59	48.8	S
1 :00	32	36	55	56	80	30	37	48	60	51.6	S
1 :30	32	36	52	55	80	30	38	48	59	51.4	S
2 :00	33	37	54	55	80	29.2	38	48	59	52	S
2 :30	33	36	53	55	79	29.6	38	48	58	52.4	S
3 :00	29	34	51	54	79	29.6	38	47	57	50	S
3 :30	33	34	50	52	77	29.9	37	46	56	52	S

HORA	T _n	T _{lv}	T _{2v}	T _v	T _{pv}	F	T ₁	T ₂	T _p	F	SOL
24 Abril											
10:30	25	26	30	32	73	28	30	36	52	27	S
11:00	25	27	33	38	76	23.2	32	49	55	29	S
11:30	26	28	33	38	76	28.4	32	43	56	30	S
12:00	28	29	39	40	79	27.1	34	54	58	25	S
12:30	31	33	47	51	79	27.5	35	61	61	26	S
1 :00	31	35	49	59	79	28	36	59	60	26	S
1 :30	32	34	50	64	80	29.8	36	52	57	27	S
2 :00	30	33	56	64	80	27	38	54	59	26	S
2 :30	32	33	55	65	79	28	38	55	58	28.2	S
3 :00	33	34	55	65	78	27.2	39	56	60	27.1	S
3 :30	32	33	54	64	77	28	37	52	57	26.1	S
27 Abril											
10:30	25	26	30	33	70	29	30	43	46	32	S
11:00	26	29	37	40	76	31	31	45	46	30	S
11:30	27	31	43	46	77	31	31	47	47	30	S
12:00	29	31	47	53	78	29.2	29	47	47	30	S
12:30	29	31	48	64	78	29.8	29	52	49	29	S
1 :00	30	32	47	70	79	29.5	28	47	49	32	S
1:30	30	32	47	74	79	29.8	29	54	55	28	S
2: 00	32	35	48	73	79	29.8	30	46	46	29	S
2 :30	32	35	49	72	76	29.7	29	46	46	31.8	S
3 :00	31	35	47	68	77	30	31	42	43	28.8	MS
3 :30	29	32	46	67	68	31	30	39	40	28	MN
4 :00	29	31	47	60	62	30	29	36	41	29	MN

HORA	T _a	T _{lv}	T _{.2v}	T _v	T _{pv}	F	T ₁	T ₂	T _p	F SOL	
28 Abril			(°C)			(kg/h)				(kg/h)	
10:00	24	25	28	30	60	32	24	37	46	32	S
10:30	25	27	33	33	67	32.8	25	39	46	32	S
11:00	25	27	34	35	71	31	24	40	41	29	S
11:30	30	31	38	38	74	31	30	42	47	31	S
12:00	32	33	41	44	76	32	29	46	47	30	S
12:30	30	32	46	55	77	31	30	43	44	32	S
1 :00	32	34	47	64	78	31	32	50	52	32	S
1 :30	30	33	50	72	76	32.2	31	50	52	31	S
2 :00	31	33	47	72	78	30	31	46	49	31	MS
2 :30	28	30	45	66	69	32	30	41	43	32	N
3 :00	28	30	40	51	66	32	29	36	37	32	N
3 :30	28	31	37	45	56	32	30	36	37	31	MI
4 :00	28	30	36	43	55	31	29	34	35	30	MI
29 Abril											
10:30	26	29	34	35	57	34	29	35	40	59	S
11:00	26	29	41	43	60	34.1	30	36	50	59.6	S
11:30	27	31	42	47	69	34	31	38	51	61.4	S
12:00	29	31	45	51	77	32	32	41	54	59.6	S
12:30	30	31	46	62	78	32.3	32	41	55	61	S
1 :00	27	31	47	66	76	34.1	32	40	51	59.4	MS
1 :30	30	32	46	64	74	32.8	30	33	57	56.4	MI
2 :00	30	33	45	59	78	34.8	34	45	56	52.2	S
2 :30	33	35	46	66	79	33.3	34	42	55	61.2	S
3 :00	29	34	45	62	63	33.1	31	33	38	62.4	MS
3 :30	30	34	45	61	65	34	32	39	50	62	MS
4 :00	33	35	43	59	70	34.2	33	38	48	61.6	S
4 :30	32	35	41	58	68	34	33	35	45	61	S
5 :00	30	32	41	54	65	33.9	31	35	40	60	S
5 :30	27	30	39	52	59	33.6	30	32	32	60	MS
6 :00	25	29	37	49	57	34	27	28	30	61	MS
6 :30	25	29	35	45	49	34.2	28	28	28	60	MS
7 :00	25	28	35	38	47	34	27	27	27	60	MS

HORA	T _d	T _{lv}	T _{2v}	T _v	T _{pv}	F	T ₁	T ₂	T _p	F	SOL
30 Abril			(°C)			(kg/h)				(kg/h)	
10:00	27	27	28	29	65	36	27	31	47	75	S
10:30	27	28	31	32	70	36	28	34	50	72.8	S
11:00	29	30	36	36	76	36	30	36	52	75.8	S
11:30	31	32	37	45	77	36	31	38	54	74	S
12:00	30	31	39	56	78	36	32	38	55	78.2	S
12:30	31	32	40	66	79	36	32	39	55	77	S
1:00	31	32	42	70	78	37	32	40	55	77	S
1:30	32	33	42	74	79	35	33	40	55	78.8	S
2:00	33	33	43	75	79	36	33	40	55	75.2	S
2:30	33	33	43	75	79	34	33	39	54	80	S
3:00	33	33	45	75	79	36	33	39	52	76	S
3:30	32	33	40	72	75	36	33	38	50	78	S
4:00	32	33	44	68	70	36	33	37	48	80	S
4 Mayo											
10:00	26	26	27	28	50	38	26	42	47	10.8	S
10:30	27	28	32	34	65	38	27	48	49	10.8	S
11:00	28	30	35	36	70	38	28	55	58	10.8	S
11:30	30	30	39	40	74	38	30	59	59	10.6	S
12:00	29	30	40	42	74	38	30	63	60	10.8	S
12:30	32	33	40	49	75	38	31	61	60	10.8	S
1:00	32	34	44	60	76	38.1	32	65	62	10.8	MS
1:30	33	34	45	65	77	37.9	32	67	64	11.4	MS
2:00	32	34	45	64	77	38	33	65	62	11.6	S
2:30	33	33	44	66	74	38.1	34	66	62	10.4	S
3:00	33	33	44	63	73	38	34	60	58	10.8	MS
3:30	32	33	43	63	69	38	34	58	56	10.4	MS
4:00	32	33	41	60	67	37.8	33	49	50	10.4	MS

HORA	T _a	T _{lv}	T _{2v}	T _v	T _{pv}	F	T ₁	T ₂	T _p	F	SOL
			(°C)			(kg/h)				(kg/h)	
5 Mayo											
10:00	30	31	32	37	59	40	29	47	53	18	S
10:30	30	31	35	39	65	40	30	49	55	18	S
11:00	32	33	36	45	70	40	31	54	58	17.8	S
11:30	33	33	37	47	76	40	32	58	60	17	S
12:00	33	34	40	58	78	41	33	63	63	15.6	S
12:30	30	33	40	61	78	40	34	64	64	15.8	S
1:00	34	35	44	73	79	42	35	70	67	13.2	S
1:30	35	35	44	74	79	40	35	65	67	15.4	S
2:00	35	36	40	73	80	40	36	66	64	15.6	S
2:30	35	37	42	74	80	40	36	63	62	16.4	S
3:00	36	38	40	73	76	39.8	37	63	62	15.4	S
3:30	35	37	42	72	75	39.6	37	60	59	16.2	S
4:00	33	34	40	69	73	40.1	36	54	59	15.4	S
6 Mayo											
10:30	29	31	33	31	46	44	29	44	51	23.8	S
11:00	30	31	35	39	55	43.8	31	49	56	23	S
11:30	30	31	37	47	60	43.7	32	52	55	22.4	S
12:00	28	29	39	55	64	44.1	30	49	44	24	MI
12:30	29	30	39	50	66	44	32	41	38	25.6	MI
1:00	32	33	38	50	77	44	33	55	61	24.6	MS
1:30	34	36	40	65	79	43.8	36	62	64	18.6	S
2:00	32	33	42	66	70	43.7	34	52	51	23.6	MI
2:30	29	33	41	55	60	43.9	32	38	39	25.6	N
3:00	29	32	40	54	70	44	33	43	47	23.2	MS
3:30	31	32	39	55	65	44	33	48	49	21.8	MS
4:00	29	32	39	54	60	44	32	45	46	23	MS

HOCA	T _a	T _{lv}	T _{2v}	T _v	T _p	F	T ₁	T ₂	T _p	F SOL	
7 Mayo		(°C)				(kg/h)				(kg/h)	
10:30	23	25	29	30	50	46	25	30	34	28	N
11:00	24	25	32	32	57	46	27	35	37	27.6	N
11:30	25	27	32	32	50	46	23	31	34	27.6	N
12:00	30	31	33	39	64	45	30	39	51	30	MS
12:30	28	29	39	40	65	44	29	41	42	27.8	MS
1:00	30	32	41	55	80	45	33	53	59	28.2	MS
1:30	30	32	43	50	76	45.7	30	35	38	30.8	MS
2:00	28	30	40	46	59	45.6	30	35	38	33.8	N
2:30	28	29	38	43	62	45.2	31	37	39	30.4	MS
3:00	32	32	35	44	60	45.1	32	39	45	28	N
3:30	30	30	35	42	57	44	31	35	40	28	N
8 Mayo											
10:00	24	27	31	30	60	49	27	32	46	48	S
10:30	25	28	33	33	70	50	29	36	49	48	S
11:00	31	32	34	34	77	49.2	31	39	51	47.6	S
11:30	32	33	39	43	78	49.6	32	41	54	47.8	S
12:00	33	33	39	59	77	49	34	44	55	48.6	S
12:30	30	33	39	60	77	50	35	45	56	44.6	S
1:00	32	34	36	65	74	50	33	39	48	49.2	S
1:30	32	34	39	65	76	50.2	34	45	56	48.4	MS
2:00	33	35	43	68	55	50	34	45	53	50.6	MS
2:30	29	33	42	64	64	49	34	44	52	47.6	S
3:00	31	32	40	60	57	50.4	33	40	44	47.8	MS
3:30	32	32	39	57	60	52.2	33	37	40	47.8	MS

HORA	T _a	T _{lv}	T _{2v}	T _v	T _{pv}	F	T ₁	T ₂	T _p	F	SOL
11 Mayo	(°C)				(kg/h)		(kg/h)				
9 : 30	23	24	24	24	45	52	25	28	33	52	S
10:00	25	27	28	28	50	52	26	29	36	52	S
10:30	26	27	29	30	60	52	28	32	39	53.1	S
11:00	26	27	33	33	69	53.7	29	37	42	52	S
11:30	30	31	34	34	72	53.8	29	41	46	51	S
12:00	29	31	36	37	78	52	29	42	46	50	S
12:30	31	33	39	41	76	54.2	30	41	46	52	S
1 : 00	31	33	39	47	77	52	31	42	46	53	S
1 : 30	32	35	42	54	78	54.4	32	41	46	50	MS
2 : 00	30	32	39	65	71	53.9	32	41	48	52	MS
2 : 30	31	32	40	63	73	53	32	41	42	53	MS
3 : 00	29	32	40	64	70	54.1	29	41	44	50	MS
3 : 30	32	33	39	64	70	52	33	40	42	48	S
4 : 00	30	31	38	58	61	53.7	31	35	39	50	S
12 Mayo											
10:30	25	27	30	31	67	57	27	32	34	56	MS
11:00	26	28	33	34	70	56	26	36	42	56	MS
11:30	30	31	35	36	75	56	29	41	45	57	S
12:00	31	32	38	41	74	57.2	29	40	45	55	S
12:30	31	32	39	45	70	56.3	31	39	44	56	S
1 : 00	30	32	40	49	70	57.5	31	41	43	56	S
1 : 30	30	32	41	53	68	56	31	40	40	54.7	MS
2 : 00	31	33	39	51	70	56.2	32	41	41	56	S
2 : 30	33	35	38	59	70	56	33	41	42	53.9	S
3 : 00	30	33	40	63	68	56	30	40	41	53.7	S
3 : 30	32	33	39	62	68	57.2	31	39	40	57	S
4 : 00	30	32	38	62	67	57.1	32	37	39	56	MS

HORA	T _a	T _{1v}	T _{2v}	T _v	T _{pv}	F	T ₁	T ₂	T _p	F	SOL
13 Mayo	(°C)			(kg/h)			(kg/h)				
10:30	26	29	31	32	60	58	29	33	35	60	MS
11:00	27	30	34	35	50	58	30	32	37	58	MS
11:30	29	32	34	35	54	59	30	33	38	60	MN
12:00	30	32	35	36	62	61	32	37	39	58.4	N
12:30	29	31	35	36	70	58	31	39	43	58	MS
1 :00	31	31	38	39	70	57	31	40	44	60	MS
1 :30	29	31	39	44	70	58.2	32	34	35	60	N
2 :00	30	32	41	42	64	58.7	32	37	41	60	LL
2 :30	32	33	42	44	60	60.6	34	37	40	60	MN
3 :00	28	32	43	50	52	60.5	30	35	36	59	LL
3 :30	29	31	39	45	50	59	32	34	36	59.7	N
4 :00	28	30	38	39	48	57.2	29	32	33	60	N
14 Mayo											
10:30	28	31	33	34	65	60	30	34	39	60	S
11:00	30	32	35	36	68	59	31	37	42	60	S
11:30	30	32	35	37	70	60	31	39	40	59.5	S
12:00	31	32	37	39	70	60	33	39	42	60	S
12:30	31	33	39	43	70	60.1	33	39	42	60	S
1 :00	32	34	39	49	68	60.2	32	38	41	60	S
1 :30	32	34	39	55	69	60	35	38	41	59.8	S
2 :00	33	34	40	60	73	59.5	35	41	45	59.1	S
2 :30	34	35	40	64	64	59.2	35	41	43	58.2	S
3 :00	33	34	40	64	69	59.3	36	38	40	60	MS
3 :30	33	33	38	59	68	60.5	35	38	40	60.1	MS
4 :00	29	32	37	55	66	60.3	33	34	36	60	MS

C A P Í T U L O V I I .

RESULTADOS OBTENIDOS .

7.1. Cálculo de promedios y eficiencias.

Los promedios se obtuvieron calculando el área-bajo la curva de la gráfica de temperaturas, y flujos contra tiempo mediante integración numérica y dividiendo esta área entre las horas totales de observación de cada corrida.

El calor absorbido por el agua (útil), Q_A , es:

$$Q_A = \bar{F} t C_{p_{\text{agua}}} (\bar{T}_2 - \bar{T}_1) \quad \text{en kcal.}$$

El calor que incide debido a la radiación solar

es Q_I :
$$Q_I = \bar{I} A_C t \alpha^{\text{C}} \quad \text{en kcal.}$$

La eficiencia, n , viene dada por:

$$n = \frac{Q_A}{Q_I} \times 100 \quad \text{en } \%.$$

La nomenclatura empleada es:

\bar{F} = flujo promedio (kg/h)

t = tiempo durante el cual se hizo la corrida (h)

$C_{p_{\text{agua}}}$ = capacidad calorífica del agua a presión constante y a la temperatura T ,

$$T = (\bar{T}_1 + \bar{T}_2) / 2. \quad (\text{kcal/kg } ^\circ\text{C})$$

$C_{p_{\text{vasel.}}}$ = capacidad calorífica de la vaselina
(kcal/kg $^\circ\text{C}$)

$$C_p \text{ vasel. (líquido)} = 0.509 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ vasel. (sólido)} = 0.498 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$Q_T = \text{calor total absorbido por la vaselina} = Q_B + Q_L$$

$$Q_T = w_v \left[\begin{array}{l} C_{p \text{ vasel.}} (T_f - \bar{T}_a) + Q_{Lf \text{ vasel.}} + C_{p \text{ vasel.}} (\bar{T}_v - T_f) \\ \text{(sólido)} \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{(líquido)} \end{array} \right]$$

$$w_v = \text{peso de la vaselina} = 45 \text{ kg}$$

$$Q_{Lf \text{ vasel.}} = 52 \text{ kcal/kg}$$

$$\bar{T}_1 = \text{temperatura promedio de entrada del agua } (^\circ\text{C})$$

$$\bar{T}_2 = \text{temperatura promedio de salida del agua } (^\circ\text{C})$$

$$\bar{T}_a = \text{temperatura ambiente promedio } (^\circ\text{C})$$

$$\bar{T}_v = \text{temperatura promedio de la vaselina } (^\circ\text{C})$$

$$\bar{T}_p = \text{temperatura promedio de placa del colector } (^\circ\text{C})$$

$$T_f = \text{temperatura de fusión de la vaselina} = 39^\circ\text{C}$$

$$A_c = \text{área de la placa de absorción } (\text{m}^2)$$

$$\bar{I} = \text{insolación promedio del mes } (\text{kcal/h m}^2)$$

$$\text{Para Abril : } \bar{I} = 795$$

$$\text{Para Mayo : } \bar{I} = 821.25$$

$$\alpha = \text{absorbancia de la placa de absorción}$$

$$\tau = \text{transmitancia del vidrio}$$

$$\alpha\tau = \text{producto absorbancia-transmitancia} = 0.98 (\text{adim.})$$

En el cálculo de las eficiencias, n , se considera que Q_I es el mismo valor para ambos colectores.

Los datos que a continuación se enlistan muestran los valores promedio de temperaturas, flujos, $C_{p \text{ agua}}$, y los Q_A , Q_I , Q_T , n calculados de estos promedios además de las condiciones climáticas que imperaron para cada corrida.

		<u>Promedios y eficiencias</u>				
ABRIL	1	2	3	6	7	8
SoL	S	MS	S	S	MS	MS
t	5.5	8.5	6	6	6.5	5.5
\bar{T}_a	33.09	33.06	31.33	30.79	28.96	30.18
		COLECTOR	DISERADO	(VASELINA)		
\bar{T}_1	33.5	33.32	32.08	31.12	29.15	31.95
\bar{T}_2	54.09	64.88	45.04	47.54	40.58	47.14
\bar{T}_v	60.68	64.59	55.46	57.12	43.61	53
\bar{T}_p	76.04	70.29	75.42	75.62	68.31	73.54
C_p	0.99921	0.99912	0.99864	0.99866	0.99859	0.99866
\bar{F}	9.88	4.92	14.93	17.8	16.26	12.43
Q_I	4285.05	6622.35	4674.6	4674.6	5064.15	4285.05
Q_A	1117.98	1318.68	1159.38	1751.31	1206.33	1037.07
n	26.09	19.91	24.8	37.46	23.82	24.20
Q_T	2969.02	3059.25	<u>2888.90</u>	2939.02	2670.59	2858.33
		COLECTOR	DE PLACA	PLANA	(COBRE)	
\bar{T}_1	31.86	32.67	30.04	30.25	28.54	30.41
\bar{T}_2	48.36	46.13	47.12	49.29	38.73	41.41
\bar{T}_p	56.29	50.82	55.83	54.29	47.81	50.45
C_p	0.99869	0.99866	0.99864	0.99869	0.99859	0.99861
\bar{F}	34.81	37.34	38.72	36.92	43.47	43.70
Q_A	3154.87	4266.34	3962.63	4212.21	2654.01	2640.17
n	73.62	64.42	84.77	90.10	52.41	61.61

Promedios y eficiencias :

- 63 -

ABRIL	10	20	21	23	24	27
SOL	MS	MN	MN	S	S	S
t	5	6	5.5	5.5	5	5.5
\bar{T}_a	28.95	31.12	28.73	30.77	29.65	29.27
		COLECTOR	DISEÑADO	(VASELINA)		
\bar{T}_1	30.95	33.33	30.41	33.32	31.65	31.95
\bar{T}_2	44.95	43.71	42.50	47.77	46.80	45.04
\bar{T}_v	51.90	51.92	45.01	50.32	53.20	61.23
\bar{T}_p	72.75	67.62	63.18	77.32	78.10	73.91
Cp	0.99864	0.99864	0.99861	0.99869	0.99866	0.99864
F	21.6	22.94	25.91	30.7	27.92	30.03
Q _I	3895.5	4674.6	4285.6	4285.6	3895.5	4285.6
Q _A	1509.94	1426.76	1720.49	2346.69	2112.10	2159.07
n	38.76	30.52	40.14	56.86	54.22	50.38
Q _T	2860.69	2812.52	2707.81	2783.72	2874.78	3067.22
		COLECTOR	DE	PLACA	PLANA (COBRE)	
\bar{T}_1	31.30	35.25	33.27	35.23	35.35	29.59
\bar{T}_2	49.35	41.75	37.59	44.50	53.20	45.86
\bar{T}_p	53.45	48.87	45.14	56.09	57.85	46.50
Cp	0.99869	0.99864	0.99859	0.99869	0.99883	0.99864
F	20.10	42.62	46.86	51.18	27.08	29.74
Q _A	1811.65	1659.92	1111.82	2605.99	2414.06	2657.66
n	46.51	35.51	25.94	60.81	61.97	62.01

Promedios y eficiencias:

- 64 -

	ABRIL			MAYO		
	28	29	30	4	5	6
SOL	MS	S	S	MS	S	MS
\bar{t}	6	8.5	6	6	6	5.5
\bar{T}_a	28.75	28.73	30.96	30.83	33.29	30.27
	COLECTOR			DISEÑADO (VASELINA)		
\bar{T}_1	30.71	31.73	31.67	31.79	34.54	31.95
\bar{T}_2	40.83	42.26	39.50	40.42	39.67	38.73
\bar{T}_v	50.96	54.97	60.37	52.17	61.83	52.59
\bar{T}_p	70.62	66.94	76.37	71.87	75.17	65.36
C_p	0.99861	0.99861	0.99859	0.99861	0.99861	0.99859
\bar{F}	31.54	33.66	35.83	38	40.20	43.91
Q_1	4674.6	6622.35	4674.6	4828.95	4828.95	4426.54
Q_A	1912.45	3008.55	1680.92	1964.90	1235.64	1635.09
n	40.91	45.43	35.96	40.69	25.59	36.94
Q_T	2843.64	2935.94	3009.65	2824.75	2990.88	2846.92
	COLECTOR DE PLACA			PLANA (COBRE)		
\bar{T}_1	29.04	31.06	31.67	31.21	34.04	32.41
\bar{T}_2	42.04	36.18	37.92	59.37	60.46	48.50
\bar{T}_p	44.62	44.32	52.87	58.21	61.42	50.23
C_p	0.99859	0.99859	0.99859	0.99890	0.99900	0.99869
\bar{F}	31.17	59.9	76.69	10.82	15.97	23.25
Q_A	2427.83	2603.17	2871.82	1826.13	2529.03	2054.81
n	51.94	39.31	61.43	37.82	52.37	46.42

		<u>Promedios y eficiencias:</u>				
MAYO	7	8	11	12	13	14
SOL	MN	MS	S	S	MN	S
t	5	6	6.5	5.5	5.5	5.5
\bar{T}_a	28.15	30.54	29.11	30.14	29.18	31.59
		COLECTOR	DISERADO	(VASELINA)		
\bar{T}_1	29.45	32.41	30.81	31.86	31.32	33.14
\bar{T}_2	37	38.09	36.08	37.82	37.68	37.91
\bar{T}_v	41.7	54.04	46.23	49.04	40.14	50.04
\bar{T}_p	62.65	69.54	69	70	60.45	68.59
C_p	0.99861	0.99859	0.99861	0.99859	0.99859	0.99859
\bar{F}	45.26	49.82	53.07	56.49	58.87	59.81
Q_I	4024.12	4828.95	5231.36	4426.54	4426.54	4426.54
Q_A	1709.19	1695.47	1815.39	1849.13	2056.37	1566.90
n	42.40	35.11	34.70	41.77	46.45	35.40
Q_T	2644.99	2874.08	2727.24	2768.52	2586.18	2758.93
		COLECTOR	DE	PLACA	PLANA	(COBRE)
\bar{T}_1	29.60	32.64	29.85	30.23	31.18	33.41
\bar{T}_2	37.75	41.14	38.42	39.32	35.50	38.36
\bar{T}_p	42	51	43	41.77	38.50	41.23
C_p	0.99859	0.99861	0.99859	0.99859	0.99861	0.99861
\bar{F}	29.22	48	51.31	55.57	59.37	59.70
Q_A	1189.03	2444.5	2854.19	2774.30	1408.67	1623.07
n	29.55	50.62	54.56	62.67	31.82	36.67

De los valores obtenidos en la sección anterior-
cabe hacer notar lo siguiente:

1. Ya que no se conoce el valor exacto de la in-
solación para cada día inferimos que el valor promedio --
mensual no es confiable en el cálculo de el Q_T , por lo --
que induce error en la determinación de las eficiencias, -
n, que están en función de Q_T .

2. Por lo expuesto en 1. se utilizarán los valo-
res obtenidos de calor útil absorbido por el agua, Q_A pa-
ra ambos colectores; Q_T , calor total absorbido en el co--
lector que funciona con vaselina y sus respectivos flujos
para saber qué colector absorbe y aprovecha mejor la ra--
diación solar.

3. Se han clasificado los datos obtenidos mediante
experimentación para su análisis en dos grupos para --
cada colector : -Primer grupo : para DÍA SOLEADO.

-Segundo grupo: para DÍAS MEDIO SOLEADOS
Y MEDIO NUBLADOS .

Se tomaron las corridas que fueron medidas en -
intervalos de tiempo entre 5 a 6.5 horas, despreciando --
las corridas que fueron hechas en tiempos mayores con el
fin de tener igualdad de condiciones entre las diferentes
corridas a comparar.

Los datos experimentales a analizar en los ----

grupos ya mencionados son los siguientes:

Para el colector diseñado que usa vaselina:

D Í A S O L E A D O (V A S E L I N A)

F (kg/h)	Q _A (kcal)	Q _T (kcal)
9.88	1117.98	2969.02
14.93	1159.38	2888.90
17.60	1751.31	2939.02
27.92	2112.10	2874.78
30.03	2159.07	3067.22
30.70	2436.69	2783.72
35.83	1680.92	3009.65
40.20	1235.64	2990.88
53.07	1815.39	2727.24
56.49	1849.13	2768.52
59.81	1566.90	2758.93
0	0	0

DÍAS MEDIO SOLBADO Y MEDIO NUBLADO (VASELINA)

F (kg/h)	Q _A (kcal)	Q _T (kcal)
12.43	1037.07	2858.33
16.26	1206.33	2670.59
21.60	1509.94	2860.69
22.94	1426.76	2812.52
25.91	1720.49	2707.81
31.54	1912.45	2843.64
38.00	1964.90	2824.75
43.91	1635.09	2846.92
45.26	1706.19	2644.99
49.82	1695.47	2874.08
0	0	0

Para el colector de placa plana de cobre:

D Í A S O L E A D O (C O B R E)

F (kg/h)	Q _A (kcal)
15.97	2529.03
27.08	2414.06
29.74	2657.66
34.81	3154.87
36.92	4212.21
38.72	3962.63
51.18	2605.99
51.31	2854.19
55.57	2774.30
59.70	1623.07
0	0

DÍAS MEDIO SOLEADO Y MEDIO NUBLADO (COBRE)

F (kg/h)	Q _A (kcal)
10.82	1826.13
20.10	1811.65
23.25	2054.81
29.22	1189.03
31.17	2427.83
42.62	1659.92
43.47	2654.01
43.70	2640.17
46.86	1111.82
48.00	2444.50
59.37	1408.67
0	0

Se graficaron Q_A y Q_T contra F observándose que los puntos forman una curva tipo parabólica. Para encontrar la ecuación de estos puntos se hizo un tratamiento estadístico de regresión múltiple por el método de mínimos cuadrados (que se explica en el Apéndice II) para la ecuación polinomial :

$$y = B_0 + B_1x + B_2 x^2 + B_3 x^3 + \dots + B_p x^p$$

teniendo que:

$$y = Q_A \text{ (kcal) y } Q_T \text{ (kcal)}$$

$$x = F \text{ (kg/h)}$$

$$p = \text{grado del polinomio}$$

A continuación se dan los valores de los coeficientes, B_p ; el grado del polinomio; el coeficiente de determinación R^2 ; el coeficiente de correlación r ; la distribución de Fisher calculada y la leída en tablas, $F_{\text{calc.}}$, F_{tablas} con su grado de confianza y la tabla del análisis de varianza , ANOVA. :

PARA EL DÍA SOLEADO (VASELINA) $x=F$
 $y=Q_A$

$p=2$

$B_0=173.30$

$B_1=96.90$

$B_2= -1.25$

$R^2=0.719$

$r=0.848$

$F_{\text{calc.}} = 11.516$

F V	S C.	G L	M C
REGRESIÓN	3253486	2	1626743
ERROR	1271319	9	141257.7
TOTAL	4524805	11	

$F_{\text{tablas}} (99\%)=8.02$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}} (95\%)=4.26$ SÍ HAY AJUSTE

sigue SOLEADO (V A S E L I N A) $x=F$

para QA (calor absorv. agua) $y=Q_A$

$p=3$

$$B_0 = -91.39$$

$$B_1 = 166.30$$

$$B_2 = -4.31$$

$$B_3 = 3.39 \times 10^{-2}$$

$$R^2 = 0.785$$

$$r = 0.866$$

$$F_{\text{calc.}} = 9.737$$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	3552039	3	1184013
ERROR	972766	8	121595.8
TOTAL	4524805	11	

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 7.59$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 4.07$ SÍ HAY AJUSTE

$p=5$

$$B_0 = 40.29$$

$$B_1 = -106.95$$

$$B_2 = 30.47$$

$$B_3 = -1.476$$

$$B_4 = 0.02687$$

$$B_5 = -1.685 \times 10^{-4}$$

$$R^2 = 0.872$$

$$r = 0.934$$

$$F_{\text{calc.}} = 8.216$$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	3948152	5	789630.4
ERROR	576653	6	96108.84
TOTAL	4524805	11	

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 8.75$ NO HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 4.39$ SÍ HAY AJUSTE

$p=7$

$$B_0 = 35.29$$

$$B_1 = 228.29$$

$$B_2 = -26.64$$

$$B_3 = 1.832$$

$$B_4 = -4.86 \times 10^{-2}$$

$$B_5 = 1.59 \times 10^{-4}$$

$$B_6 = 1.05 \times 10^{-5}$$

$$B_7 = -1.06 \times 10^{-7}$$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	4244504	7	606357.7
ERROR	280301	4	70075.25
TOTAL	4524805	11	

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 15$ NO HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 6.09$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{\text{calc.}} = 8.653$

MEDIO SOLEADO Y MEDIO NUBLADO (VASELINA) $x=F$ para Q_A (calor absorb. por el agua) $y=Q_A$

$p=2$

$B_0 = -18.12$

$B_1 = 99.42$

$B_2 = -1.32$

$R^2 = 0.973$

$r = 0.986$

$F_{\text{calc.}} = 129.04$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	2889481	2	1444741
ERROR	78371.5	7	11195.93
TOTAL	2967853	9	329761.4

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 9.55$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 4.74$ SÍ HAY AJUSTE

$p=3$

$B_0 = 2.50$

$B_1 = 91.05$

$B_2 = -0.857$

$B_3 = -6.32 \times 10^{-3}$

$R^2 = 0.974$

$r = 0.987$

$F_{\text{calc.}} = 77.17$

F V	S C	GL	MC
REGRESIÓN	2892878	3	964292.8
E R R O R	74974.25	6	12495.71
TOTAL	2967853	9	329761.4

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 9.78$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 4.76$ SÍ HAY AJUSTE

$p=4$

$B_0 = 10.58$

$B_1 = 75.43$

$B_2 = 0.712$

$B_3 = -5.57 \times 10^{-2}$

$B_4 = 4.87 \times 10^{-4}$

$R^2 = 0.976$

$r = 0.988$

$F_{\text{calc.}} = 50.00$

FV	S C	G L	MC
REGRESIÓN	2895470	4	723867.5
ERROR	72383	5	14476.5
TOTAL	2967853	9	

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 11.4$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 5.19$ SÍ HAY AJUSTE

PARA EL DÍA SOLEADO (VASELINA)

x=F

para $Q_T = Q_S + Q_L$

y=Q_T

p=2

$B_0 = 893.193$

$B_1 = 125.464$

$B_2 = -1.6638$

$R^2 = 0.6635$

$r = 0.8145$

$F_{\text{calc.}} = 8.873$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	5165119	2	2582560
ERROR	2619625	9	291069.5
TOTAL	7784744	11	

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 8.02$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 4.26$ SI HAY AJUSTE

p = 3

$B_0 = 238.093$

$B_1 = 297.23$

$B_2 = -9.234$

$B_3 = 8.40 \times 10^{-2}$

$R^2 = 0.8984$

$r = 0.9478$

$F_{\text{calc.}} = 23.548$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	6993921	3	2331307
ERROR	790823	8	98852.88
TOTAL	7784744	11	

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 7.59$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 4.07$ SÍ HAY AJUSTE

p = 4

$B_0 = 73.682$

$B_1 = 423.82$

$B_2 = -20.432$

$B_3 = 0.39817$

$B_4 = -2.73 \times 10^{-3}$

$R^2 = 0.95802$

$r = 0.9788$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	7458003	4	1864501
ERROR	326741	7	46677.29
TOTAL	7784744	11	

$F_{\text{calc.}} = 39.944$

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 7.85$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 4.12$ SÍ HAY AJUSTE

MEDIO SOLEADO Y MEDIO NUBLADO (VASELINA)^{x=F}

para $Q_T = Q_B + Q_L$ $y=Q_T$

$p = 2$

$B_0 = 431.79$

$B_1 = 162.33$

$B_2 = -2.436$

$R^2 = 0.8205$

$r = 0.906$

$F_{calc.} = 18.29$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	5879630	2	2939815
ERROR	1285738	8	160717.2
TOTAL	7165367	10	

$F_{tablas}(99\%) = 8.65$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{tablas}(95\%) = 4.46$ SÍ HAY AJUSTE

$p = 3$

$B_0 = 81.072$

$B_1 = 304.33$

$B_2 = -10.31$

$B_3 = 0.1077$

$R^2 = 0.959$

$r = 0.979$

$F_{calc.} = 54.70$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	6872218	3	2290739
ERROR	293149	7	41878.43
TOTAL	7165367	10	

$F_{tablas}(99\%) = 8.45$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{tablas}(95\%) = 4.35$ SÍ HAY AJUSTE

$p = 4$

$B_0 = 16.10$

$B_1 = 423.74$

$B_2 = -22.19$

$B_3 = 0.4789$

$B_4 = -3.65 \times 10^{-3}$

$R^2 = 0.982$

$r = 0.990$

$F_{calc.} = 82.29$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	7037088	4	1759272
ERROR	128279	6	21379.84
TOTAL	7165367	10	

$F_{tablas}(99\%) = 9.15$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{tablas}(95\%) = 4.53$ SÍ HAY AJUSTE

SOLEADO (COBRE)

x=F

- 74 -

para $Q_A = \text{calor absorb. agua}$ $y = Q_A$

p=2

$B_0 = -77.74$

$B_1 = 188.84$

$B_2 = -2.581$

$R^2 = 0.8130$

$r = 0.902$

$F_{\text{calc.}} = 17.40$

F V	S C	G L	MC
REGRESIÓN	1.0255×10^7	2	5127764
ERROR	2357477	8	294684.6
TOTAL	1.2613×10^7	10	

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 8.65$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 4.46$ SÍ HAY AJUSTE

p=3

$B_0 = 97.48$

$B_1 = 112.91$

$B_2 = 0.830$

$B_3 = -3.79 \times 10^{-2}$

$R^2 = 0.8373$

$r = 0.915$

$F_{\text{calc.}} = 12.01$

F V	S C	GL	MC
REGRESIÓN	1.05612×10^7	3	3520401
ERROR	2051801	7	293114.5
TOTAL	1.26130×10^7	10	

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 8.45$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 4.35$ SÍ HAY AJUSTE

p=4

$B_0 = 44.51$

$B_1 = 210.61$

$B_2 = -7.076$

$B_3 = 0.1656$

$B_4 = -1.66 \times 10^{-3}$

$R^2 = 0.848$

$r = 0.921$

$F_{\text{calc.}} = 8.40$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	1.0703×10^7	4	2675775
ERROR	1909905	6	318317.5
TOTAL	1.2613×10^7	10	

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 9.15$ NO HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 4.53$ SÍ HAY AJUSTE

sigue SOLEADO (COBRE)

$x = F$

- 75 -

para Q_A (calor absorb. agua) $y = Q_A$

$p=5$

$B_0 = 4.63$

$B_1 = 955.43$

$B_2 = -98.30$

$B_3 = 4.011$

$B_4 = -6.90 \times 10^{-2}$

$B_5 = 4.196 \times 10^{-4}$

$R^2 = 0.922$

$r = 0.960$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	1.16325×10^7	5	236509
ERROR	980461	5	196092.2
TOTAL	1.2113×10^7	10	

$F_{\text{calc.}} = 11.864$

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 11$ SÍ HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 5.05$ SÍ HAY AJUSTE

MEDIO SOLEADO Y MEDIO NUBLADO (COBRE)

para Q_A (calor absorb. agua)

$p=2$

$B_0 = 279.48$

$B_1 = 105.04$

$B_2 = -1.452$

$R^2 = 0.5122$

$r = 0.715$

$F_{\text{calc.}} = 4.73$

F V	SC	G L	M C
REGRESIÓN	3359555	2	1679778
ERROR	3199099	9	355455.5
TOTAL	6558655	11	

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 8.02$ NO HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 4.26$ SÍ HAY AJUSTE

$p=3$

$B_0 = 191.64$

$B_1 = 129.47$

$B_2 = -2.5113$

$B_3 = 1.188 \times 10^{-2}$

$R^2 = 0.519$

$r = 0.720$

$F_{\text{calc.}} = 2.88$

F V	S C	G L	M C
REGRESIÓN	3405688	3	1135229
ERROR	3152967	8	394120.9
TOTAL	6558655	11	

$F_{\text{tablas}}(99\%) = 7.59$ NO HAY AJUSTE

$F_{\text{tablas}}(95\%) = 4.07$ NO HAY AJUSTE

En las siguientes figuras se distinguen - -
las gráficas de las ecuaciones polinomiales deducidas-
teniendo :

- PARA EL DÍA SOLEADO (COLECTOR DISEÑADO=VASELINA),
la Fig. 7.1. siendo $x = F$ (kg./h); $y = Q_A$ (kcal)
- PARA MEDIO SOLEADO/MEDIO NUBLADO (VASELINA),
la Fig. 7.2. siendo $x = F$ (kg/h); $y = Q_A$ (kcal)
- PARA EL DÍA SOLEADO (VASELINA),
la Fig. 7.3. siendo $x = F$ (kg/h) ; $y = Q_T$ (kcal)
- PARA MEDIO SOLEADO/MEDIO NUBLADO (VASELINA),
la Fig. 7.4. siendo $x = F$ (kg/h); $y = Q_T$ (kcal)
- PARA EL DÍA SOLEADO (COLECTOR DE PLACA PLANA=COBRE),
la Fig. 7.5. siendo $x = F$ (kg/h) ; $y = Q_A$ (kcal)
- PARA MEDIO SOLEADO/MEDIO NUBLADO (COBRE),
la Fig. 7.6. siendo $x = F$; $y = Q_A$ (kcal)

Los datos obtenidos de mediciones experimenta
les se indican como: \odot y las ecuaciones polinomicas-
se señalan con cruces, líneas punteadas o continuas.

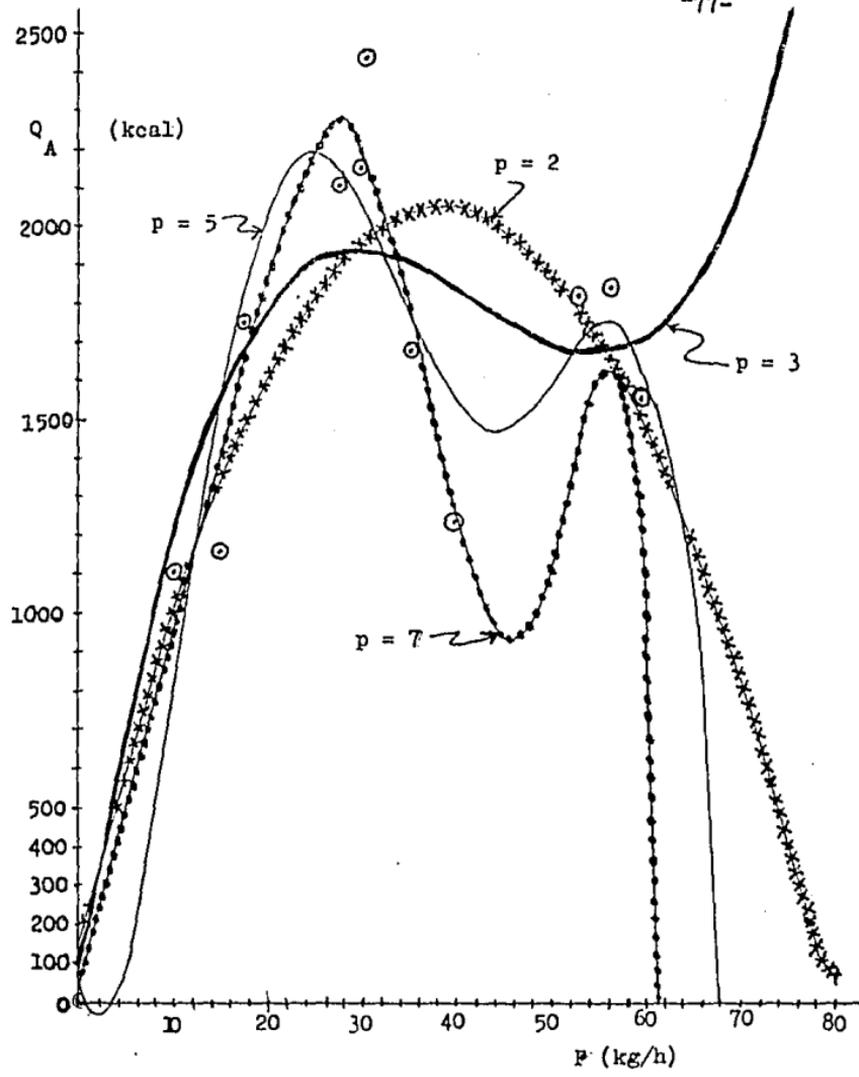


Fig. 7.1. (VASELINA) DÍA SOLEADO

(\odot = DATOS EXPERIMENTALES DE Q_A vs. F)

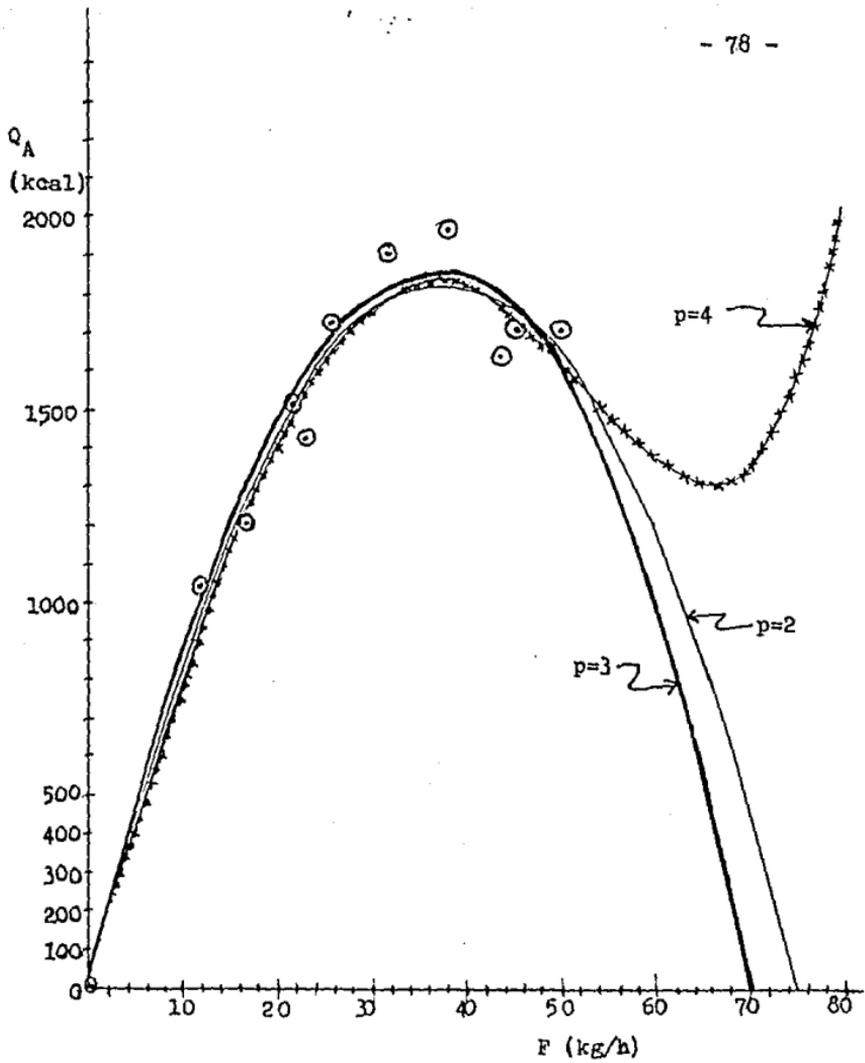


Fig. 7.2. (VASELINA) MEDIO SOLEADO/MEDIO NUBLADO

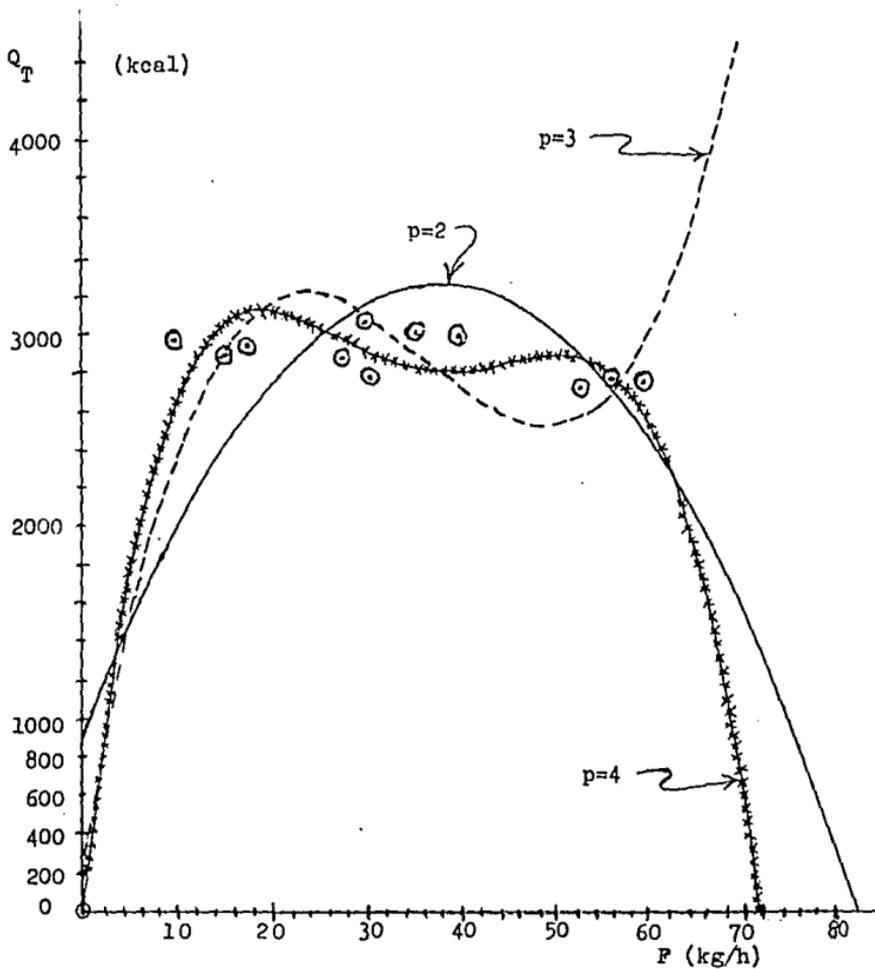


Fig. 7.3. (VASELINA) DÍA SOLEADO

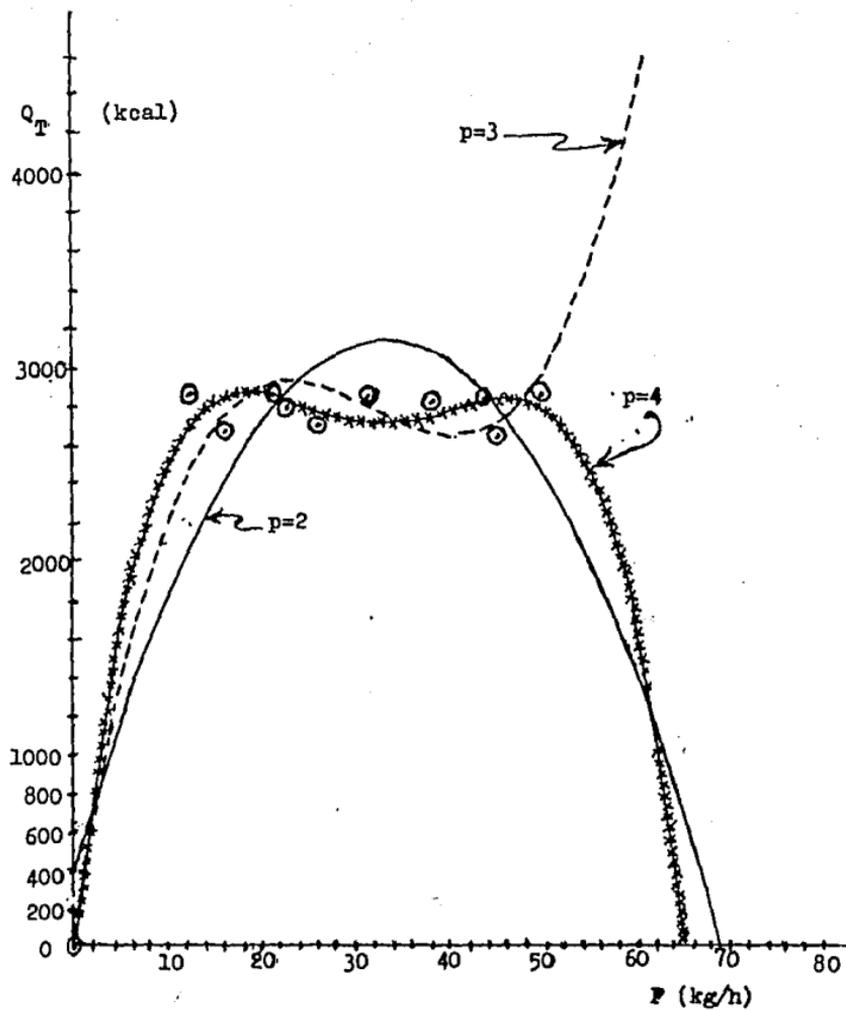


Fig. 7.4. (VASELINA) MEDIO SOLEADO/MEDIO NUBLADO

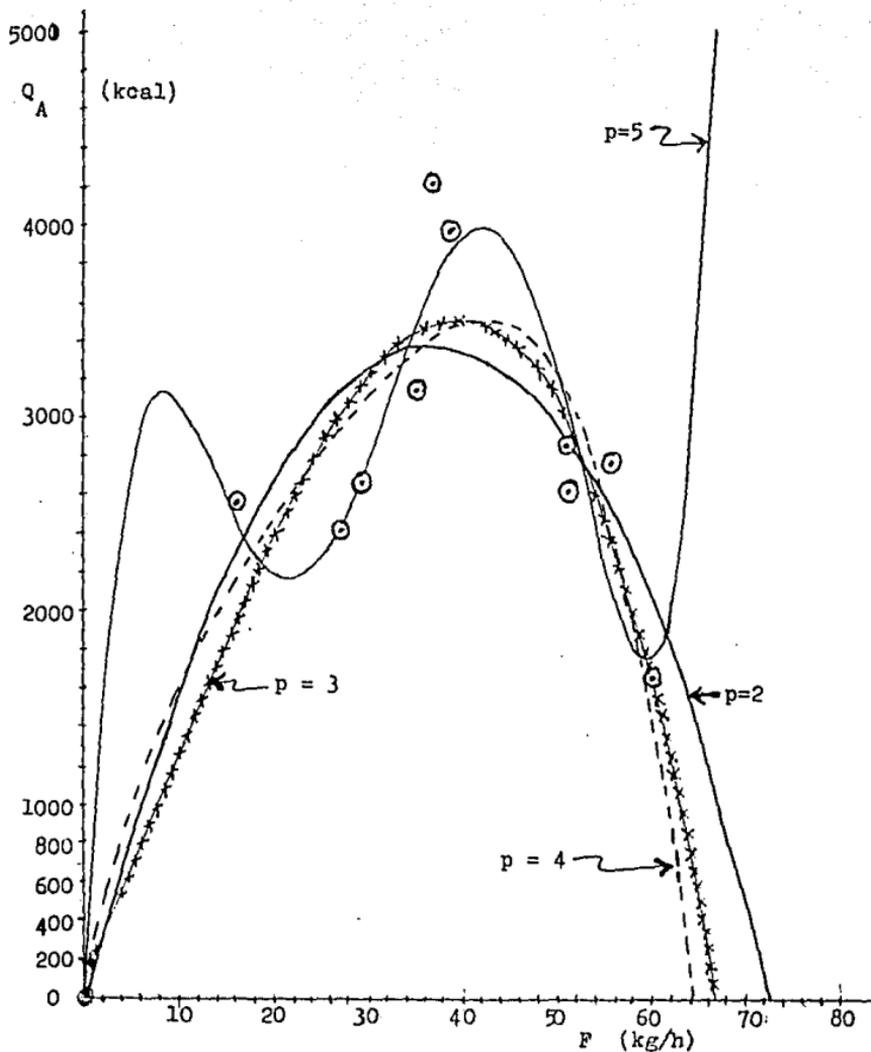


Fig. 7.5. (COBRE) DÍA SOLEADO

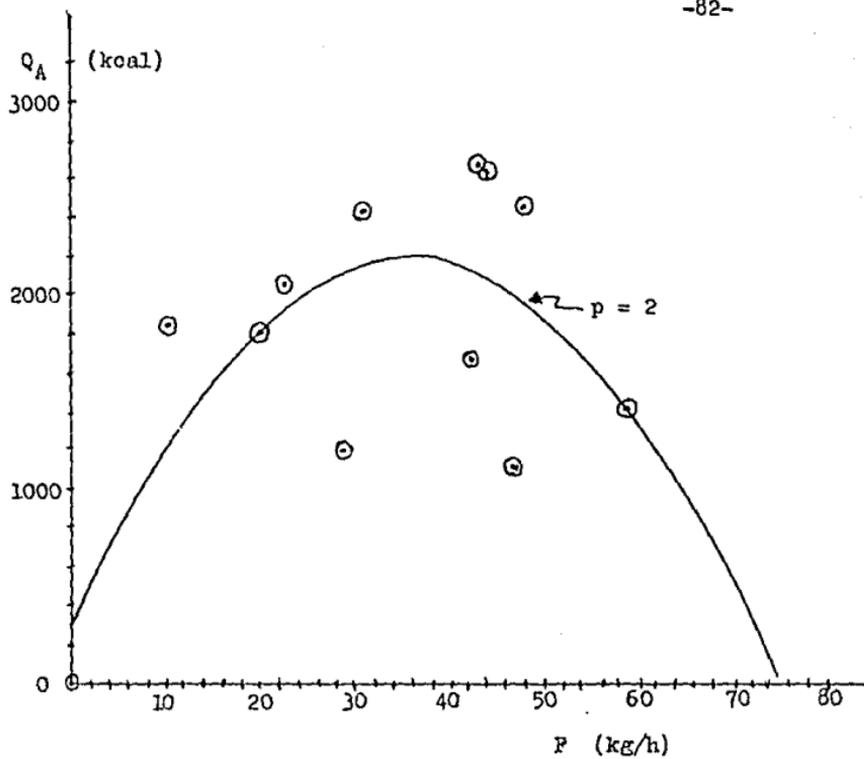


Fig. 7.6. (COBRE) MEDIO SOLEADO/MEDIO NUBLADO

Las figuras de la 7.1. a la 7.6. son las gráficas de las ecuaciones polinomiales deducidas por el método de mínimos cuadrados y que según el análisis de varianza se ajustan a los datos obtenidos de las mediciones experimentales (se indican en las gráficas como \odot).

Aunque teóricamente las ecuaciones propuestas - tengan buen ajuste y correlación no todas son aceptables de acuerdo a la práctica, estas ecuaciones a que nos referimos son :

FIGURA	ECUACIÓN
Fig. 7.1.	$p = 3$
Fig. 7.2.	$p = 4$
Fig. 7.3.	$p=3$
Fig. 7.4.	$p = 3$
Fig. 7.5.	$p = 5$

en que resulta experimentalmente comprobado que, empezando desde un flujo $F=0$, al ir aumentando el flujo el calor absorbido va aumentando hasta llegar a un máximo de calor absorbido (este punto corresponde al flujo óptimo = $F_{\text{óptimo}}$, en el cuál conviene operar el colector) y al seguir incrementando el flujo, despues de este punto-máximo, el calor absorbido disminuye gradualmente hasta llegar a ser muy pequeño o a no existir con un gran flujo. Entonces resultan contrarias estas ecuaciones a la observación experimental al tener una tendencia a aumentar el Q_A y Q_T cuando el flujo, F , es grande.

Las ecuaciones siguientes presentan un comportamiento en forma de ondas ascendentes y descendentes:

F I G U R A	ECUACIÓN
Fig. 7.1.	$p=5$ y $p=7$
Fig. 7.3.	$p = 4$
Fig. 7.4.	$p = 4$

ecuaciones que para comprobar es necesario hacer mediciones experimentales en esos puntos intermedios para los que no hay datos y se observa esa anomalía, para confirmar si se ajusta a ese tipo de ecuación o bien eliminar ese tipo de polinomio si los puntos anulan esas variaciones de pendiente de la curva.

De las ecuaciones que tanto teórica como experimentalmente son aceptables se han escogido las siguientes para hacer la comparación entre los colectores que se sometieron a experimentación :

COLECTOR DISEÑADO (VASELINA) :

En día SOLEADO = Fig. 7.1. ; ecuación para $p=2$;
 $F_{\text{óptimo}}=38$ kg/h ; Q_A máx. = 2050 kcal.

En DIAS MEDIO SOLEADOS/MEDIO NUBLADOS = Fig. 7.2. ;
 ecuación para $p=3$; $F_{\text{óptimo}} = 38$ kg/h ;
 Q_A máx = 1878 kcal.

En día SOLEADO = Fig. 7.3. ; ecuación para $p=2$;
 $F_{\text{óptimo}} =38$ kg/h ; Q_T máx. = 3258.29 kcal.

En DIAS MEDIO SOLEADOS/MEDIO NUBLADOS =Fig. 7.4. ;
 ecuación para $p=2$; $F_{\text{óptimo}} = 34$ kg/h ;
 Q_A máx = 3134.87 kcal.

COLECTOR DE PLACA PLANA (COBRE):

En día SOLEADO = Fig. 7.5. ; ecuación para $p=3$;

$$F_{\text{óptimo}} = 40 \text{ kg/h} \quad ; \quad Q_A \text{ máx.} \approx 516.40 \text{ kcal.}$$

En DIAS MEDIO SOLEADOS/MEDIO NUBLADOS = Fig. 7.6.

$$F_{\text{óptimo}} = 36 \text{ kg/h} ;$$

$$Q_A \text{ máx.} = 2180 \text{ kcal} ; \quad \text{ecuación para } p=2 .$$

Teniendo estos valores veremos el funcionamiento de un colector respecto al otro basándonos en las ecuaciones escogidas y en las siguientes relaciones:

1. En día SOLEADO ; el colector de placa plana - aprovecha 1.72 (3516.40/2050) veces más Q_A que el colector diseñado que utiliza vaselina, en el $F_{\text{óptimo}}$ de ambos.

2. En días MEDIO SOLEADOS/MEDIO NUBLADOS: el colector de placa plana aprovecha 1.16 (2180/1878) veces -- más Q_A que el colector diseñado en el $F_{\text{óptimo}}$.

3. En día SOLEADO : el colector de placa plana de cobre aprovecha 1.08(3516.40/3258.29) veces más Q_A que el Q_T del colector diseñado que usa vaselina en el $F_{\text{óptimo}}$.

4. En días MEDIO SOLEADOS/MEDIO NUBLADOS : el -- colector diseñado aprovecha 1.44 (3134.87/2180) veces más Q_T que el Q_A del colector de placa plana en el $F_{\text{óptimo}}$.

5. En el colector diseñado que emplea vaselina: se tiene 1.09 (2050/1878) veces mayor Q_A en días SOLEADO que en días MEDIO SOLEADOS/MEDIO NUBLADOS.

6. En el colector diseñado que emplea vaselina: - se tiene 1.04(3258.29/3134.87) veces mayor Q_T en días SOLEADO que en días MEDIO SOLEADOS/MEDIO NUBLADOS.

7. En el colector de placa plana: se tiene -- 1.61 (3516.40/2180) veces más Q_A en días SOLEADO que en los días MEDIO SOLEADOS/MEDIO NUBLADOS, para el $F_{\text{óptimo}}$:

Resumiendo :

Cuando los colectores estan trabajando en su --- $F_{\text{óptimo}}$ (Q_A máx. y Q_T máx.) :

a) Tanto en días SOLEADO como MEDIO SOLEADO/MEDIO NUBLADO el colector de placa plana trabaja mejor --- transfiriendo calor al agua, Q_A , que el colector diseñado que usa vaselina.

b) En los días MEDIO SOLEADO/MEDIO NUBLADO el colector diseñado tiene un calor total, Q_T , mayor al Q_A -- del colector de placa plana .

c) El colector de placa plana transfiera más calor al agua, Q_A , en días MEDIO SOLEADO/MEDIO NUBLADO que el colector diseñado que emplea vaselina.

C O N C L U S I O N E S

Del cumplimiento del objetivo del presente trabajo de tesis se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. En el colector diseñado que trabaja con vaselina hay pérdidas significativas de energía calorífica-- debido principalmente a las siguientes causas :

a) Una disminución de la distancia entre la placa de absorción y el vidrio (que se recomienda de 6 cm- de separación) debido a que la caja contenedora aumentó su altura de originalmente 4 cm a 7.5 cm motivado por la flexibilidad de la lámina con que fué fabricada, lo que -- así mismo dió lugar a que almacenara un total de 45 kg- de vaselina, cantidad mayor a la requerida teóricamente. El espacio entre placa y vidrio fué de aproximadamente -- 2 cm, propiciando pérdidas por re-radiación.

b) Que la placa de absorción, que no funciona -- como superficie selectiva, tiene una emisividad grande, -- teniendo temperaturas de placa superiores a las del calentador de placa plana de cobre, lo cual es debido al con- tacto que tiene la vaselina con la placa.

c) La carcasa necesita aislamiento adicional en el espacio entre la caja absorbadora y ésta, estó se nota al tocar la pared exterior de la carcasa y observar que -- está a una temperatura superior a la del medio ambiente-- por lo que las pérdidas por conducción calculadas teóri-

camente son mayores.

- 88 -

2. Para disminuir las pérdidas de calor se sugiere : a) Aumentar el espacio placa de absorción-vidrio de 2 cm a 6 cm para reducir pérdidas por radiación (además pueden reducirse más estas pérdidas utilizando doble vidrio).

b) Adicionar aislante en forma de lana de fibra de vidrio, el usar tabla roca tiene como desventaja ser un aislante pesado.

3. El colector de placa plana de cobre tuvo mayor capacidad de calentamiento del agua circulante, Q_A , para días MEDIO SOLEADOS/MEDIO NUBLADOS y SOLEADOS y al comenzar a operar en las mañanas cuando el Sol empieza a calentarse, respecto al colector diseñado.

4. El colector diseñado tiene un calor total, Q_T , que es el que sigue calentando al agua cuando ya no hay radiación incidente, por lo tanto es necesario hacer experimentación en las tardes y hasta las 8:00 PM para verificar si el Q_A del colector diseñado aumenta.

También se podría aumentar el tamaño del serpentín para extraer más calor y transferirlo al agua.

5. Se sugiere el uso de otras sustancias como medios calefactores, tales como: manteca vegetal hidrogenada, margarina, parafina, cebo, chapopote, grasa automotriz, sal de Glauber ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$), etc, cuyo costo y propiedades físicoquímicas determinarán su selección.

A P É N D I C E S

APÉNDICE I. CARACTERÍSTICAS ASTRONÓMICAS, METEOROLÓGICAS Y CLIMÁTICAS PARA GUADALAJARA .

Posición geográfica: Latitud= 20° 40' 32" N.
 Longitud= 103° 23' 09" de G.
 Altitud = 1 583 m s.n.m.

Presión atmosférica promedio = 634.5 mm Hg.

Días despejados/año = 129

Días nublados/año = 108

Días medio nublados/año= 128

Equinoccio de primavera : 21 de Marzo.

Equinoccio de otoño: 23 de Septiembre.

Solsticio de invierno: 21 de Diciembre.

Horas de Sol al año = 2 290 h.

MES	DECLINACIÓN DEL SOL	SALIDA SOL		MEDIO DÍA		PUESTA SOL		DURACIÓN DEL DÍA		INSOLA CIÓN kcal m ⁻² h ⁻¹
		h	min	h	min	h	min	h	min	
I	21° 03' sur	7:33	13:02	18:32	10:59	485				
II	12° 50' sur	7:24	13:07	18:51	11:27	580				
III	00°	6:57	13:01	19:04	12:47	676.25				
IV	09° 55' sur	6:34	12:53	19:12	12:38	795				
V	18° 58' nte	6:15	12:49	19:24	13:09	821.25				
VI	23° 27' nte	6:12	12:55	19:37	13:25	612.50				
VII	21° 37' nte	6:43	12:59	19:36	13:13	537.50				
VIII	14° 33' nte	6:33	12:58	19:24	12:49	562.50				
IX	00°	6:43	12:47	18:51	12:08	547.50				
X	09° 24' sur	6:48	12:39	18:30	11:42	515				
XI	18° 51' sur	7:02	12:38	18:15	11:13	501.25				
XII	23° 27' sur	7:23	12:52	18:21	10:38	428.75				

APENDICE II. REGRESIÓN NO LINEAL (MULTIPLE),
POR EL MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS.

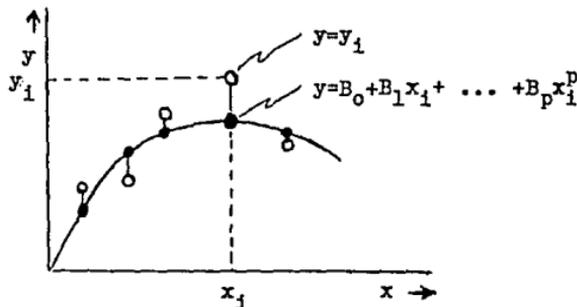
Se tiene una muestra con "n" pares de puntos $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$, que son los datos experimentalmente obtenidos -en nuestro caso x =flujo del agua- (kg/h) y y =calor absorbido (kcal) - .

El objetivo es encontrar una ecuación que se ajuste a los datos experimentales, para lo cual se ha seleccionado un polinomio de la siguiente forma:

$$y = B_0 + B_1x + B_2x^2 + B_3x^3 + \dots + B_px^p$$

donde p es el grado del polinomio.

Se toma una distancia vertical de un punto de la muestra, que es dato experimental, (x_1, y_1) hasta la curva $y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_1^2 + \dots + B_px_1^p$ en el punto (x_1, y) cuya abscisa es la misma, pero la ordenada es calculada con la ecuación polinomial. En el siguiente esquema se muestra lo explicado:



$$\text{distancia vertical} = d = (y_1 - y) = (y_1 - B_0 - B_1x_1 - \dots - B_px_1^p)$$

Los cuadrados de las distancias verticales de los n puntos de la muestra a la curva polinomial tienen la suma:

$$D = \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - B_0 - B_1 x_i - \dots - B_p x_i^p)^2$$

La ecuación que mejor se ajuste a los puntos de la muestra será aquella que tenga una D lo más pequeña posible.

Ya que D es función de $B_0, B_1, B_2, \dots, B_p$, entonces para que D sea un mínimo se tienen que satisfacer las siguientes condiciones:

$$\frac{\partial D}{\partial B_0} = 0, \quad \frac{\partial D}{\partial B_1} = 0, \quad \frac{\partial D}{\partial B_2} = 0, \dots, \quad \frac{\partial D}{\partial B_p} = 0$$

Se tendrán siempre $p+1$ ecuaciones para $p+1$ incógnitas, cuya solución da los valores de los coeficientes B_0, B_1, \dots, B_p de el polinomio propuesto.

Ejemplo: Se quiere encontrar las ecuaciones normales para un polinomio de segundo grado ($P=2$).

La ecuación sería una parábola de la forma:

$$y = B_0 + B_1 x + B_2 x^2$$

La ecuación anterior al sustituir la x por un dato experimental (x_i) que esta asociada con su correspondiente (y_i) quedaría:

$$y = B_0 + B_1 x_i + B_2 x_i^2$$

Por lo tanto D es:

$$D = \sum_{i=1}^n (y_i - B_0 - B_1 x_i - B_2 x_i^2)^2$$

Derivando D respecto a cada coeficiente e igualan

do a cero :

$$\frac{\partial D}{\partial B_0} = -2 \sum (y_i - B_0 - B_1 x_i - B_2 x_i^2) = 0$$

$$\frac{\partial D}{\partial B_1} = -2 \sum x_i (y_i - B_0 - B_1 x_i - B_2 x_i^2) = 0$$

$$\frac{\partial D}{\partial B_2} = -2 \sum x_i^2 (y_i - B_0 - B_1 x_i - B_2 x_i^2) = 0$$

Las ecuaciones normales resultantes son tres ecuaciones lineales con tres incógnitas, B_0 , B_1 , B_2 :

$$\begin{aligned} B_0 n + B_1 \sum x_i + B_2 \sum x_i^2 &= \sum y_i \\ B_0 \sum x_i + B_1 \sum x_i^2 + B_2 \sum x_i^3 &= \sum x_i y_i \\ B_0 \sum x_i^2 + B_1 \sum x_i^3 + B_2 \sum x_i^4 &= \sum x_i^2 y_i \end{aligned}$$

Hasta aquí ya se tiene la ecuación del polinomio al sustituir los valores (x_i, y_i) , de la muestra, en las ecuaciones normales y despejar los coeficientes B_0 , B_1 , B_2 , ..., B_p .

A continuación se hace la prueba de correlación mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando la distribución de la razón de dos varianzas muestrales que es la distribución de Fisher, F .

Los términos con los que se trabajan para elaborar la ANOVA se definen a continuación:

FUENTE DE VARIACIÓN (FV)	SUMA DE CUADRADOS (SC)	GRADOS DE LIBERTAD (GL)	CUADRADO MEDIO (MC)	F CALCULADA (F_{calc})
REGRESIÓN	SCR	P	SCR/P	MCR/MCE
ERROR	SCE	n-1-P	SCE/n-1-P	
TOTAL	SCT	n-1		

..... A N O V A

siendo:

$$SCR = (y - \bar{y})^2$$

$$SCE = (y_i - y)^2$$

$$SCT = (y_i - \bar{y})^2 = SCR + SCE$$

P = grado del polinomio.

n = número de grupos de la muestra (valores de x_i numéricamente diferentes).

$$MCR = SCR/P$$

$$MCE = SCE/n-1-P$$

y_i = dato experimental de la muestra n.

y = valor de y sobre la ecuación polinomial, calculado al sustituir x_i en el polinomio.

\bar{y} = promedio de todas las y_i de la muestra n.

$$\bar{y} = 1/n \sum_{i=1}^n y_i$$

La regla de decisión del ajuste a el polinomio -
que se quiere probar es la siguiente:

Sí: $F_{calculada} > F_{tablas}$ entonces SÍ HAY AJUSTE

Sí: $F_{calculada} < F_{tablas}$ entonces NO HAY AJUSTE

La F calculada se obtiene por ANOVA mostrada -
anteriormente y F tablas se localiza en tablas de estadística leyendo con $(P , n-1-P)$ grados de libertad y con -
el grado de confianza escogido.¹

Notese que entre menor sea la varianza o cuadrado medio del error entonces el ajuste a la ecuación --
que se prueba es mejor.

El coeficiente de determinación, R^2 , se expresa así:

$$R^2 = SCR / SCT$$

El coeficiente de correlación de Pearson, r , -
es:

$$r = (R^2)^{0.5}$$

¹ Generalmente hay tablas para 95% o 99% de grado de confianza que se selecciona dependiendo que tan rígida se quiere hacer la prueba del ajuste. Las tablas se consultan del libro de la referencia # 15.

B I B L I O G R A F Í A

B I B L I O G R A F Í A :

-95-

1. Bird R.B., Stewart W.E., Lightfoot E.N.,
"FENÓMENOS DE TRANSPORTE",
Ed. Reverté, España 1982.
2. Holman J.P., "TRANSFERENCIA DE CALOR",
Ed. Continental, México 1977.
3. Perry Robert H., Chilton Cecil H.,
"MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO",
Ed. Mc.Graw-Hill 5^a Edición (2^a Edición en español)
México, 1982.
4. Manríque José A.,
"ENERGÍA SOLAR, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES FOTOTERMICAS",
Ed. Harla , México 1984.
5. Sayigh A.A.M., "SOLAR ENERGY ENGINEERING" ,
Academic Press Inc., U.S.A. 1977 .
6. Daniels Farrington, "USO DE LA ENERGÍA SOLAR",
Ed. H. Blumes , London 1964 .
7. Williams Richard J.,
"SOLAR ENERGY TECHNOLOGY AND APPLICATIONS",
Ed. Ann Arbor Science, U.S.A. 1977.
8. International Journal for Scientistst, Engineering
and Technologists in Solar Energy and it's Appli-
cation. " S O L A R E N E R G Y " ,
Ed. Pergamon Press, England 1977-1983 .

9. "ENCYCLOPEDIA OF SCIENCE AND TECHNOLOGY", VOL. 12,
Ed. Mc. Graw-Hill, U.S.A. 1977.
10. "ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGÍA QUÍMICA" VOL. 6,
Ed. Uthea, México 1962.
11. Der Bundesminister für Forschung und Technologie,
"THERMISCHE NUTZUNG DER SONNENENERGIE",
Deutschland 1983.
12. Rico Garibaldi Oscar H.
"ESTUDIO DE UN CALENTADOR SOLAR DE PLACA -
PLANA", Tesis de Ingeniería Química.
Universidad Autónoma de Guadalajara, 1983.
13. Kevin Mc. Cartney, "AGUA CALIENTE SOLAR",
Ed. Hermann Blumme, Madrid 1982.
14. National Academy of Sciences,
"ENERGY FOR RURAL DEVELOPMENT -RENEWABLE RESOUR_
CES AND ALTERNATIVE TECHNOLOGIES FOR DEVELOPING --
COUNTRIES-", U.S.A. 1976 .
15. Kreyszig Erwin,
"INTRODUCCIÓN A LA ESTADÍSTICA MATEMÁTICA",
Ed. Limusa, México 1982.
16. N.R. Draper, H. Smith,
"APPLIED REGRESSION ANALYSIS"
Ed. Wiley, U.S.A. 1981.