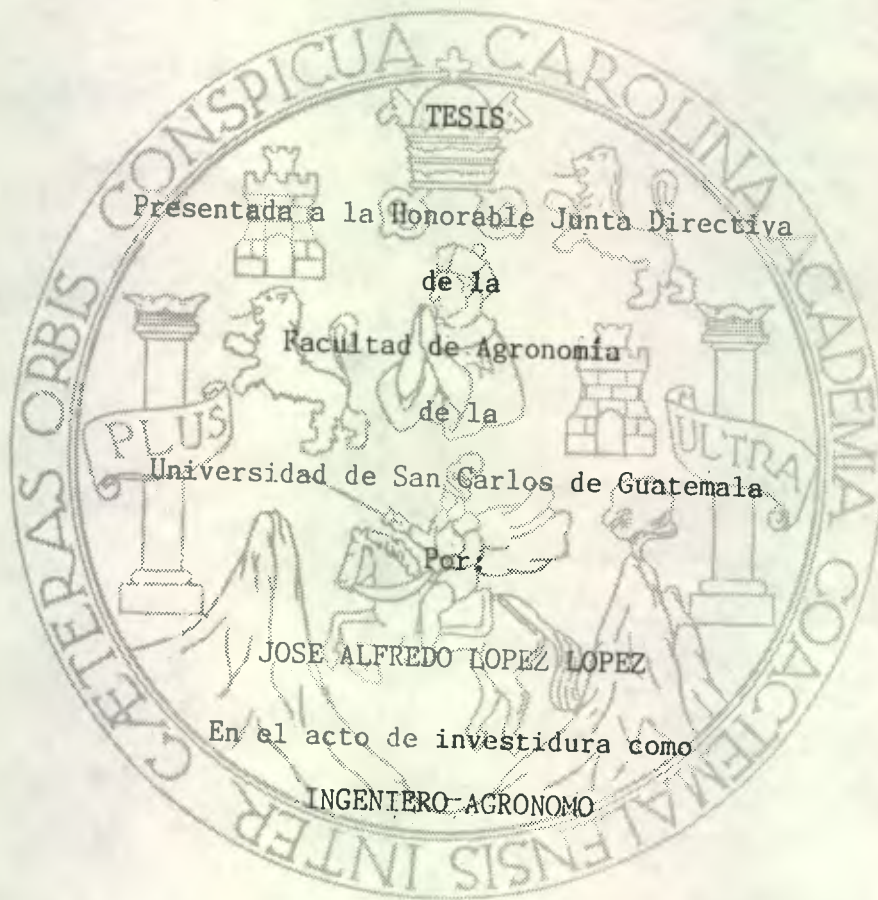


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

PROTOTIPO DE UN COLECTOR SOLAR PLANO Y ACUMULADOR DE CALOR
CON TECNOLOGIA APROPIADA PARA LOS LABORATORIOS
DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA



En el grado académico de
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, Septiembre de 1936

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
01
T(859)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Lic. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO

Ing. Agr. César A. Castañeda S.

Vocal 1o.

Ing. Agr. Gustavo A. Méndez G.

Vocal 2o.

Ing. Agr. Jorge Sandoval

Vocal 3o.

Ing. Agr. Mario Melgar

Vocal 4o.

Br. Luis Molina

Vocal 5o.

P. A. Axel Gómez Ch.

SECRETARIO

Ing. Agr. Luis Alberto Castañeda

TRIBUNAL QUE REALIZO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO

Ing. Agr. César A. Castañeda S.

EXAMINADOR

Ing. Agr. Negli Gallardo

EXAMINADOR

Ing. Agr. Juan González

EXAMINADOR

Ing. Agr. José Jesús Chonay

SECRETARIO

Ing. Agr. Rodolfo Albizúrez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia IA-163-86

Asunto

6 de octubre de 1986

Señor Decano de la
Facultad de Agronomía
Ing. Agr. César A. Castañeda S.
Ciudad Universitaria.

Señor Decano:

En cumplimiento de la honrosa designación que me hiciera el Decanato, me complace hacer de su conocimiento que he concluido el asesoramiento del estudiante JOSE ALFREDO LOPEZ LOPEZ, en el desarrollo de su trabajo de tesis titulado:

"PROTOTIPO DE UN COLECTOR SOLAR PLANO Y ACUMULADOR DE CALOR CON LA TECNOLOGIA APROPIADA PARA LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA"

Al someter a consideración del Señor Decano el trabajo de referencia, me permito opinar que el mismo satisface los principios técnicos que establece para el efecto, la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sin otro particular, me es grato suscribirme del Señor Decano, atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. Gustavo Adolfo Méndez
A S E S O R

c.c. Archivo
GAM/eqded.

Guatemala,
6 de octubre de 1986.

Señores
Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal EXAMINADOR
Facultad de Agronomía
Edificio T-9.

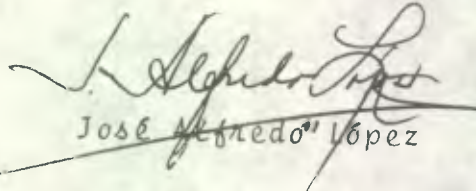
Señores:

En cumplimiento con lo establecido en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

"PROTOTIPO DE UN COLECTOR SOLAR PLANO Y ACUMULADOR DE CALOR CON TECNOLOGIA APROPIADA PARA LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA"

Al presentarlo como requisito previo para optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas, para su aprobación.

Atentamente,


José Alfredo López

AGRADECIMIENTO

Quiero dejar constancia de mi sincera gratitud a todas aquellas personas, entidades que en una u otra forma colaboraron en la realización de éste trabajo. Especialmente a mi asesor:

Ing. Agr. Gustavo Adolfo Méndez

Por su amistad y desinteresada colaboración prestada durante el trabajo de campo.

A la Asociación Guatemalteca de Energía Solar por sus valiosos aportes científicos y al Instituto de Sismología, Vulcanología Meteorología e Hidrología por el registro climático y al Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería por el equipo de medición computarizado.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES

Alfredo López Mazariegos
María Consuelo de López

A MIS HERMANAS

Miriam Elizabeth, Edith María y
Ana Beatriz

A MI ESPOSA

Roxana María Avila de López

A MIS SOBRINOS

Edith Marie, Julio Roberto,
John Ellis, Ana Cecilia y Blake
Golden Joseph

A MIS COMPAÑEROS DE PROMOCION

De la orientación de Ingeniería
en Fitotecnia

A MI PAIS

CONTENIDO

	PAGINA
INDICE DE FIGURAS	i
INDICE DE CUADROS	ii
INDICE DE GRAFICAS	iii
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	4
III. REVISION DE LITERATURA	5
III.1 La Energía del Sol	5
III.2 Radiación Solar e Insolación	6
III.3 Disponibilidad de Energía Solar en varias áreas de Guatemala	13
III.4 Fundamentos básicos de transferencia de calor y Termodinámica aplicados a Sistemas Solares de calentamiento de agua	16
III.5 Los Sistemas Solares de calentamiento de agua	24
III.5.1 Por el fluido que intercambia calor	24
III.5.2 Por el tipo de construcción del Intercambiador de Calor	25
III.5.3 Por la forma del Colector	25
III.6 Materiales, Instalación y Mantenimiento del Colector Solar	46
III.6.1 Materiales	46
III.6.2 Instalación del Sistema	55
III.6.3 Mantenimiento	61
IV. MATERIALES Y METODOS	62
IV.1 Ubicación geográfica de campo de estudio	63
IV.2 Climatología y Zona de Vida	67
IV.2.1 Precipitación Pluvial	67
IV.2.2 Humedad Relativa	69
IV.2.3 Temperatura	71
IV.2.4 Radiación Solar	73
IV.2.5 Insolación	75
IV.2.6 Velocidad del Viento	76
IV.2.7 Clasificación Climática	77
IV.2.8 Zona de Vida	78

IV.3	Materiales de Medición	78
IV.4	Método de Evaluación de Rendimientos y Eficiencias	80
IV.4.1	Método de evaluación de rendimientos del Sistema experimental	80
IV.4.1.1	Control de rendimiento de la primera prueba	80
IV.4.1.2	Control de rendimiento de la segunda prueba	82
IV.4.1.3	Control de rendimiento de la tercera prueba	83
IV.4.2	Método de Evaluación de Eficiencia del Sistema experimental	84
V.	RESULTADOS Y DISCUSION	85
V.1	Especificaciones de la construcción del Sistema Solar	85
V.2	Análisis Económico Comparativo de los costos de Energía Solar y otras fuentes de Energía Tradicional	104
V.2.1	Costos de calentamiento de agua por el Sistema Solar	107
V.2.2	Costos de calentamiento de agua por el Sistema Eléctrico	108
V.2.3	Costos de calentamiento de agua por el Sistema Gas Propano	110
V.2.4	Análisis económico comparativo del Calentador Solar con el calentador eléctrico	113
V.2.5	Análisis económico comparativo del Calentador Solar con el calentador de Gas Propano	115

VI.	CONCLUSIONES	118
VII.	RECOMENDACIONES	119
VIII.	BIBLIOGRAFIA	121
IX.	APENDICE	124
IX.1	Mapa Mundial de Radiación Solar	125
IX.2	Gráfica Solar de los Trópicos	126
IX.3	Carta Solar de Guatemala	127
IX.4	Organizaciones de Energía Solar en el mundo	128
IX.5	Isotermas y su comportamiento anual	130
IX.6	Comportamiento de la temperatura horaria	131
IX.7	Factores de conversión	132

INDICE DE FIGURAS

FIGURA No.		PAGINA
1	Composición del Espectro Electromagnético	11
2	Esquema del Sistema Termosifón	20
3	Representación de variedades de colectores planos	26
4	Posición de los aislantes y su resistencia al paso de calor	32
5	Esquema del Acumulador de Calor utilizando un sistema de gravedad	35
6	Tanque utilizado en un sistema de circulación forzada	36
7	Perfil de la estructura de un Colector Solar de un material de aluminio	52
8	Instalación del sistema termosifón por gravedad	56
9	Instalación del sistema circulación forzada por gravedad	57
10	Instalación del sistema termosifón a presión	58
11	Instalación del sistema de circulación forzada a presión	59
12	Instalación de un intercambiador dentro del acumulador de calor	60
13	Mapa mundial que muestra la ubicación geográfica de la República de Guatemala en América Central	64
14	Mapa de Guatemala que muestra la ubicación geográfica del departamento de Guatemala	65
15	Mapa del departamento de Guatemala que muestra el Campus de la Facultad de Agronomía	66
16	Isopleas anuales promedio en Junio para Guatemala	68
17	Isohidras anuales promedio en Junio para Guatemala	70
18	Isotermas anuales promedio en Junio para Guatemala	72
19	Equipo para medición de la intensidad de irradiación solar	79
20	Vista del Colector Solar Plano	87
21	Vista de los acoples de las tuberías principales	87
22	Ilustración del Acumulador de Calor	88
23	Ilustración de Agua caliente generada a 48.3°C	89
24	Ilustración de las extracciones periódicas de agua	90
25	Ilustración del Sistema Solar en pleno funcionamiento	90
26	Mapa mundial de Radiación Solar	125

INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA No.

PAGINA

1	El factor de transmisión asociado con absorción de radiación infrarroja por vapor de agua por longitud de onda	9
2	Intensidad de radiación solar por longitud de onda en nuestra atmósfera	11
3	Efecto del ángulo de incidencia de la radiación sobre la superficie de absorción	30
4	Eficiencia del colector solar y ganancias de temperaturas utilizando varias cubiertas	33
5	Rendimiento de un sistema de termosifón autocontrolado	42
6	Rendimiento de un sistema de circulación forzada controlado por un termostato diferencial simple	42
7	Curva de rendimiento de una bomba de agua comercial y la pérdida de carga en un colector comercial	45
8	Transmitividad de radiación solar (%) para algunos materiales usados como cubiertas de colectores planos	49
9	Distribución de la precipitación pluvial media en el año para el área de la Facultad de Agronomía	67
10	Comportamiento de la Humedad Relativa media mensual para el área del Campus de la Facultad de Agronomía	69
11	Variación de las temperaturas medias mensuales para el área del Campus de la Facultad de Agronomía	71
12	Comportamiento de la radiación solar media anual recibida en el Campus de la Facultad de Agronomía	73
13	Comportamiento de la radiación solar máxima y media anual recibida en el Campus de la Facultad de Agronomía	74
14	Comportamiento del día solar durante el año para el Campus de la Facultad de Agronomía	75
15	Comportamiento de la intensidad eólica media anual para el Campus de la Facultad de Agronomía	76
16	Comportamiento de las temperaturas diarias del colector, acumulador, agua fría, temperatura ambiental, intensidad de radiación e insolación para la primera prueba	94

INDICE DE CUADROS

CUADRO No.		PAGINA
1	Radiación media diaria en Huehuetenango	13
2	Radiación media diaria en Guatemala	14
3	Radiación media diaria en Jutiapa	15
4	Fórmulas y terminología básica de las formas de transmisión de calor por Radiación	17
5	Fórmulas y terminología básica de las formas de transmisión de calor por Conducción	18
6	Fórmulas y terminología básica de las formas de transmisión de calor por Convección	19
7	Conductividades térmicas para diferentes metales, sólidos y gases	47
8	Aislamientos más comúnmente usados en construcción de colectores solares y acumuladores de calor	51
9	Materiales con características apropiadas para sellar	55
10	Clasificación climática para el campus de la Facultad de Agronomía	77
11	Resumen de registro de costos del sistema solar de termosifón experimental	91
12	Control de rendimiento de la primera prueba	93
13	Control de rendimiento de la segunda prueba	95
14	Control de rendimiento de la tercera prueba	97
15	Obtención del calor disponible en el equipo solar para eficiencias de la primer prueba	99
16	Obtención del calor disponible en el equipo solar para eficiencias de la segunda prueba	100
17	Obtención del calor disponible en el equipo solar para eficiencias de la tercera prueba	101
18	Variables para el cálculo de los diferentes sistemas	106
19	Resumen de costos de producción de agua caliente solar y otros sistemas tradicionales	112

GRAFICA No.

PAGINA

17	Comportamiento de las temeraturas diarias del colector acumulador, agua fría, temperatura ambiental, intensidad de radiación e insolación para la segunda prueba	96
18	Comportamiento de las temperaturas diarias del colector acumulador, agua fría, temperatura ambiental, intensidad de radiación e insolación para la tercera prueba	98
19	Gráfica Solar	126
20	Carta Solar de Guatemala	127
21	Isotermicas y su comportamiento anual	130
22	Comportamiento de la Temperatura horaria	131

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en el Campus de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el departament de Guatemala. En el experimento se utilizó y convirtió la tecnología solar al alcance de nuestro país en usos practicos en los laboratorios de la Facultad de Agronomía y se diseñó, construyó y evualó económicamente con respecto a otras fuentes de energía convencional el Prototipo de un Colector Solar Plano y un Modelo de Acumulador de Calor construido con materiales locales, baratos y sencillos.

El uso de materiales como termómetros en el registro de temperaturas del ambiente y del agua fría y caliente en el abastecimiento y descarga del Colector y Acumulador. Se detectó la radiación solar global con el empleo de un Piranómetro Eppley 848 que mediante su foto-pila y pulsaciones eléctricas las computarizó el Integrador Eppley 412 para obtener la cantidad de radiación solar exacta incidendo en el campus, anotándose en tarjetas de control de acumulación de radiación. El sistema se construyó con materiales locales siendo éstos reglas de cedro Cedrella odorata L., láminas galvanizadas, cintas de hule, tubería de polyducto para riego, vidrios para cubiertas, clavos, tornillos, niples, abrazaderas, llaves de paso, toneles, plásticos salinros, cintas adhesivas. Las cuatro estructuras y su costo se expresan así:

SISTEMA EXPERIMENTAL SOLAR

I. Colector Solar Plano	Q. 335.89
II. Acumulador de Calor	Q. 78.68
III. Sistema de circulación de flujo	Q. 62.90
IV. Sistema de seguridad y control del sistema	Q. 53.51
	Q. 529.98

Bajo condiciones severas de escasa radiación y lluvias intermitentes con nublados parciales y extracciones periódicas de agua caliente a intervalos de una hora con reposición de agua fría para observar el comportamiento bajo condiciones normales de consumo, se evaluaron los rendimientos y eficiencias del sistema solar experimental en la primer quincena de junio de 1,986. Se adaptó el cálculo del potencial energético solar basado en la Organización Latinoamericana de energía -OLADE- y la organización de estados americanos -OEA-.

La variación en la eficiencias calculadas para cada día de prueba se deben a la disponibilidad de radiación solar. El calor obtenido por el sistema experimental corresponde al ganado por toda la masa del depósito de 200kg. de un día hacia el otro más la suma del calor de cada extracción con reposición de agua fría cuya temperatura media se estima en 2.8°C menor que la temperatura ambiente media, estimación basada en pruebas efectuadas a diversas horas del día.

Para las pruebas con extracción de los tres días consecutivos 11, 12 y 13 de Junio de 1,986 el calor obtenido sobre el calor radiado para obtener las eficiencias en base al flujo de radiación fué:

Miércoles 11-6-86	Jueves 12-6-86	Viernes 12-6-86
F.R. = 17,471.37 KJ/m ²	F.R. = 16,479.29 KJ/m ²	F.R. = 4,458.38 KJ/m ²
Qo = 5,826.4 Kcal = 76.7%	Qo = 4,831.3 Kcal = 60.5%	Qo = 532.2 Kcal = 27.5%
Qr = 7,592.0 Kcal	Qr = 7,160.9 Kcal	Qr = 1937.2 Kcal

$$\overline{Q_o} = 2,673.14 \text{ Kcal/día} = 3.10 \text{ Kw-hr/día}$$

$$\overline{Q_r} = 3,987.9 \text{ Kcal/día} = 4.62 \text{ Kw-hr/día}$$

Las variaciones de intensidad de radiación, flujo de radiación, insola-
ción, temperatura ambiente, humedad relativa y precipitación pluvial tienen

influencia en la disponibilidad de calor, parámetros que determinan la eficiencia de un sistema experimental.

Se hicieron comparaciones de costos entre el sistema solar, el sistema eléctrico y el sistema de gas propano habiéndose encontrado el tiempo de retorno de 2 años con 10 meses en que un calentador se paga comparado con un eléctrico. Se analizó la evidencia de la economía del equipo solar con ahorros totales de Q. 1,013.20 para 15 años y Q. 8,340.40 para 20 años. El tiempo de retorno en que un calentador solar se paga con uno de gas propano es de 4 años con 3 meses y la economía en ahorro es de Q.2,867.10 para 15 años y Q.3,741.00 para 20 años.

Este trabajo dió importantes conclusiones que debemos prestar a la energía solar la disponibilidad de energía solar total en el territorio guatemalteco es amplia en la mayoría de aldeas, poblados, fincas, haciendas, ciudades, permitiendo el aprovechamiento fácil y sencillo para sus usos sin mayores complicaciones tecnológicas. Se demuestra la efectividad de los calentadores solares planos por su sencillez y funcionamiento comprobada en el sistema solar experimental, dicha energía solar resulta particularmente apropiada en regiones rurales soleadas donde hay pocos usuarios potenciales viviendo muy separados unos de otros y en la que el costo de distribución de energía eléctrica o de gas es muy alto. Se evidencia mediante el estudio económico el ahorro de los calentadores solares planos para agua en forma rentable, práctica y efectiva.

I. INTRODUCCION

La crisis de energía a nivel mundial ha concientizado a amplios sectores de la humanidad con respecto al impacto de la presencia del hombre sobre los diferentes sistemas energeticos del planeta. Vivimos en una sociedad de consumo dependiente de la energía y las necesidades futuras son mayores que las disponibilidades de energía previsibles.

Todo nuestro combustible y nuestra comida han sido posibles gracias al Sol, mediante la combinación fotosintética de agua y del anhídrido carbonico de la Atmósfera durante el crecimiento de las plantas. Unicamente las plantas verdes son capaces de convertir la energía solar en combustibles y comida adecuada a las necesidades de los seres biológicos, pero las cantidades producidas de ésta manera, aunque grandes, no podrán cubrir la demanda actual cuando los combustibles almacenados como el carbón, hulla, petróleo y gas se hayan agotado.

El calentamiento de agua es uno de los más importantes métodos de obtención de energía calórica en todo el mundo. A pesar que se considera como un método tradicional y hasta primitivo en muchos países desarrollados, es aún de vital importancia en las regiones sub-tropicales y continuará siendolo por un largo tiempo.

Los métodos tradicionales de calentamiento de agua por leña, carbón, gas, electricidad continúan siendo ampliamente practicados principalmente por razones económicas y debido a la ausente disponibilidad de cualquier otro medio económico para obtener energía calórica, particularmente en las remotas aldeas rurales. Los procedimientos utilizados no han cambiado en muchos países debido a varios factores, algunos de los cuales son relacionados a sus niveles de desarrollo tecnológicos.

Lo evidente es que la economía de nuestro país viene deteriorándose sensiblemente por tal razón, siendo cada vez más imperativo desarrollar esfuerzos para superar tal situación. De ahí la conveniencia de encontrar y poner en férrea práctica políticas y mecanismos reales que contribuyan a mejorar dicha situación. Ha habido un intento en años recientes para concentrarse en el desarrollo de calentadores solares que puedan ser utilizados en actividades domésticas, medicinales, agropecuarias e industriales en áreas rurales soleadas. Estos calentadores han sido usados en pequeña y mediana escala en los cuales los costos de calentamiento han sido reducidos comparados a tradicionales métodos de calentamiento de agua.

Las implicaciones financieras de incrementar métodos tradicionales de calentamiento grandemente han influenciado la dirección en el uso de la Energía Solar como una fuente económica de calor para el calentamiento de agua en países en desarrollo. Actualmente los calentadores son de bajo costo comparados a sistemas utilizados en países desarrollados en los que emplean energía a base de derivados de petróleo. Nuestro país, Guatemala, sólo tiene como alternativas: conservar e incrementar sus fuentes de energía renovables y de desarrollar su propia tecnología solar adecuada a sus propias necesidades regionales, reduciendo así la pérdida en divisas por energéticos no renovables.

Esta situación justificó el inicio y elaboración del presente trabajo en el Campus de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el que se creó un Prototipo modelo de Colector Solar Plano y un Acumulador de Calor para absorber energía solar y transformarla en energía térmica útil en los laboratorios ayudando en varias funciones prácticas, como para aumentar la solubilidad de residuos orgánicos en el lavado de cristalería, en la realización de reacciones químicas que necesitan temperaturas adecuadas en baños de maría, para conexiones directas al destilador de agua, reduciendo el trabajo y costo de e-

energía necesaria para destilar agua e incrementar su vida media. Se consideró conveniente dicha realización por ser un importante tema de actualidad e interés nacional, al buscar fuentes de energía económica a nuestro medio y contribuir como fuente de información sencilla y resumida en forma técnica, práctica y económica para su aplicación efectiva.

El uso de la energía solar se vuelve estratégica, se investiga alternativas que minimicen la dependencia de los energéticos tradicionales. La tecnología propuesta se adecuó a los materiales locales, así como a sus sistemas de fabricación y construcción lo mismo que a la organización del potencial humano y los recursos socialmente existentes para producir. Por lo tanto fué importante reconsiderar todas las formas en que la ciencia y la tecnología pueden ayudar a convertir en algo práctico y real el uso directo de la Energía Solar, representando una fuente de energía natural inagotable. Su uso no está determinado por ningún sector de la Humanidad, trasciende consideraciones geopolíticas y no está sujeta a posibles controversias ecológicas por razones de desechos indeseables: es una fuente de energía limpia.

II. OBJETIVOS

1. Utilizar y convertir la tecnología solar al alcance de nuestro país para usos prácticos y reales en el edificio de laboratorios de la Facultad de Agronomía.
2. Diseñar, construir y evaluar económicamente con respecto a otros sistemas convencionales un Prototipo de Colector Solar Plano utilizando Tecnología Apropiaada.
3. Diseñar, construir y evaluar económicamente con respecto a otros sistemas convencionales un modelo de Acumulador de Calor construido con materiales locales, baratos y sencillos.

III. REVISION DE LITERATURA

III.1 LA ENERGIA DEL SOL:

El Sol es una esfera gaseosa que contiene en sus capas exteriores un 75% de Hidrógeno, 23% de Helio y una cantidad residual de otros gases incandescentes. En realidad es el horno luminoso de mayor potencia que conocemos. Su densidad media es de $1,400 \text{ Kg/m}^3$, el radio solar es de 700,000 kilómetros y el radio terrestre es de 6,400 kilómetros. La masa representa el 99.85% de la masa total del sistema solar y a su vez 333,000 veces la de la Tierra. Se estima que su edad es del orden de 6,000 millones de años y su probable duración de vida es de similar magnitud (7,2,24).

El sol es una masa en rotación sin embargo la parte ecuatorial gira en 24 días mientras que las partes más próximas a los polos dan la vuelta en 30 días. En el seno del sol se producen reacciones nucleares en las que el hidrógeno se transforma en helio, liberando 4 millones de toneladas por segundo de energía masa. Considerando dicha cantidad a escala humana, su radiación puede considerarse practicamente inagotable. Una ínfima parte se recogen en la cara luminada de la Tierra, atravesando la atmósfera y sufriendo algunos cambios en cuanto a su intensidad, composición espectral y dirección, llegando a la superficie terrestre unicamente una porción aprovechable para nuestro uso (8,9,14).

A su vez la radiación que llega a la superficie terrestre puede ser de dos formas; directa que es aquella radiación que como su nombre lo indica la recibimos del sol en línea directa y sin cambios de dirección y la radiación difusa que por el contrario la recibimos de varias direcciones debido a la dispersión y absorción de la atmósfera (2,7,10,12).

Se define el término masa de aire como la variable m que mide la longitud o espesor de la atmósfera que un haz de luz solar atraviesa a diferentes ángulos y distancias, $m = 1$ para un ángulo de incidencia de 0° respecto a la vertical y a la altura del nivel del mar, $m = 2$ para un ángulo de incidencia de 60° ; $m = \sec \theta$

III.2 RADIACION SOLAR E INSOLACION:

El monto total anual de la radiación solar, recibida en la superficie de la Tierra de un lugar determinado se denomina Insolación y está en función de:

- Latitud Geográfica: en la zona ecuatorial es bastante uniforme, mientras que en las latitudes más altas la época estacional es importante y en verano tiende a ser mayor la radiación.

- Factores climáticos locales: en especial la nubosidad y los días de lluvia.

La intensidad de la radiación solar sobre una superficie horizontal depende del ángulo de altitud solar, de la altura sobre el nivel del mar y en el caso de superficies no horizontales también depende de la inclinación respecto a la horizontal y a la inclinación de la superficie (11,15,19).

Si bien existen diferencias en la insolación hacia la Tierra debido a los factores de variación de la distancia del Sol a la Tierra, mínimas diferencias en la emisión de radiación por el sol es aceptado un valor constante de insolación solar que se define como la energía radiada por el sol por unidad de tiempo recibida en una unidad de área en la tierra, perpendicular a la radiación en el espacio a la distancia media de la tierra al sol. Esta constante la identificamos como I_{sc} (Constante de Insolación Solar) con un valor de:

$$I_{sc} = 1,940 \text{ Cal/cm}^2\text{-min.}$$

$$= 1,353 \text{ Watt/m}^2$$

En una completa distribución geográfica de la radiación, los científicos examinan las regiones del planeta donde existe una cantidad mayor de energía solar para aplicación directa. En general las cantidades mayores de energía solar se encuentran entre dos anchas bandas que rodean la Tierra entre 15° y 35° de Latitud Norte y Sur. En las mejores regiones hay una radiación mínima mensual media de $348.7 \text{ Kw-m}^2\text{-día}$ y una variación mensual total menor de $174.3 \text{ Kw-m}^2\text{-día}$. Estas regiones están situadas en las zonas ecuatoriales de la Tierra. (15,24).

La radiación emitida por el sol está compuesta por varias longitudes de onda divididas en tres porciones que son:

Rayos Ultravioleta _____ $\lambda < 0.38 \text{ um}$

Rayos Visibles _____ $0.38 < \lambda < 0.78 \text{ um}$

Rayos Infrarojos _____ $\lambda > 0.78 \text{ um}$

Sin embargo a la superficie terrestre sólo llega una porción de todo el espectro y que para aplicaciones prácticas la podemos considerar como la comprendida entre 0.29 y 2.5 micrones. Esto es debido a la absorción y dispersión ocasionada por los componentes y configuraciones de nuestra atmósfera.

- DISPERSION:

La dispersión de la radiación es el fenómeno por el cual los rayos irradiados por el sol a la tierra efectúan cambios de dirección al chocar con moléculas y partículas de diferentes componentes de la atmósfera. Este fenómeno ocasiona la existencia de una radiación difusa que se mencionó con anterioridad. Los principales componentes que ocasionan ésta dispersión de la radiación son:

Aire (O_2 , N, CO_2)

Vapor de Agua (H_2O)

Polvo

Para efectuar el cálculo de la dispersión por la longitud de onda se aplican las fórmulas siguientes:

$$\mathcal{T}_{a\lambda} = 10^{-0.00389\lambda^{-4}}$$

Coefficiente de dispersión por el vapor de agua:

$$\mathcal{T}_{w\lambda} = 10^{-0.075\lambda^{-2}}$$

Coefficiente de dispersión por el polvo:

$$\mathcal{T}_{d\lambda} = 10^{-0.0353\lambda^{-0.75}}$$

Para una concentración de polvo en el suelo de 800 partículas por centímetro cúbico.

Para resumir en un valor global que nos mida la dispersión atmosférica por radiación directa utilizaremos el siguiente término que se define como:

$$\mathcal{T}_{\lambda(s)} = \left[(\mathcal{T}_{a\lambda})^{P/760} (\mathcal{T}_{w\lambda})^{w/200} (\mathcal{T}_{d\lambda})^{d/800} \right]^{71}$$

$\mathcal{T}_{\lambda(s)}$ = Transmitancia monocromática atmosférica para radiación directa considerando únicamente dispersión a la longitud de onda.

P = Presión atmosférica en milímetros de Mercurio.

w = Altura de agua precipitable en milímetros.

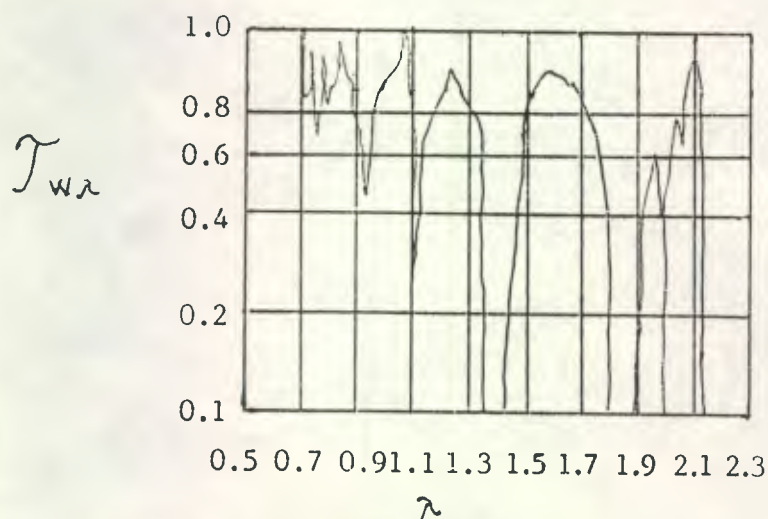
d = Concentración de polvo en el suelo en partículas por centímetro cúbico.

- ABSORCION:

La absorción de radiación solar en la atmósfera se debe principalmente al ozono en el rango del ultravioleta y al vapor de agua en el infrarojo. El factor de transmisión asociado con la absorción de radiación ultravioleta por ozono por longitud de onda se define como $T_{o\lambda}$ y se dan los siguientes valores:

λ (um)	$T_{o\lambda}$
0.29	0
0.30	0.10
0.31	0.50
0.33	0.9
0.35	1.0

El factor de transmisión asociado con la absorción de radiación infrarroja por vapor de agua por longitud de onda se define como $T_{w\lambda}$ y se presenta la siguiente gráfica en que se muestran sus valores:



GRAFICA No. 1 El factor de transmisión asociado con absorción de radiación infrarroja por vapor de agua por longitud de onda.

Finalmente podremos definir el término:

T_{λ} = Factor de transmisión monocromática atmosférica de radiación directa.

$$T_{\lambda} = T_{\lambda(s)} T_{(abs)} = T_{\lambda(s)} \cdot T_{o\lambda} \cdot T_{w\lambda}$$

Hemos de notar que $T_{(abs)}$ es el coeficiente de transmisión debido a absorción y que representa alguno de los dos factores $T_{o\lambda}$ para el ozono y $T_{w\lambda}$ para el agua dependiendo de la longitud de onda donde querramos medir su transmitancia, ya que ninguno de ellos se traslapa.

La dirección e intensidad de la radiación difusa es difícil de medir y calcular ya que es una variable dependiente de las condiciones atmosféricas y climáticas de cada lugar en particular.

A continuación se muestra un gráfico donde se muestra la intensidad de la radiación extraterrestre y la intensidad en la superficie de la tierra para una masa de aire igual a 1

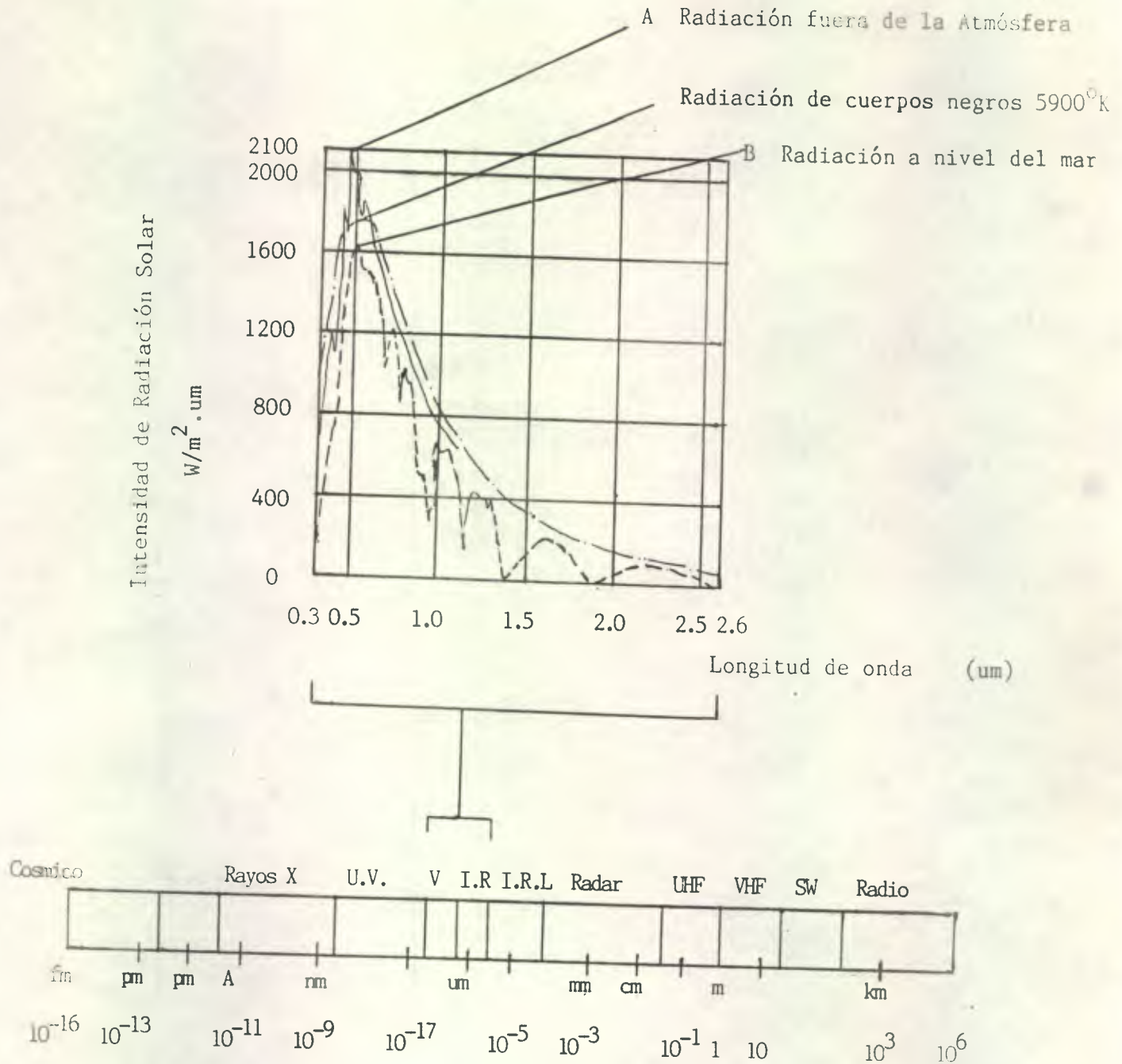


Figura No. 1

Composición del Espectro electromagnético.

Gráfica No. 2

Intensidad de radiación solar por longitud de onda en nuestra atmósfera.

Para completar la información de disponibilidad de energía es necesario relacionar los datos de intensidad de radiación en watt-m^2 con la duración del día, la variación existente debida principalmente a la declinación solar y la latitud del lugar. Para efectos prácticos los datos de intensidad de radiación en potencia por unidad de área, se relaciona con la duración del día, en tiempo, para obtener el valor de flujo medio diario de radiación, energía diaria por unidad de área.

En las tablas siguientes se muestran los valores del flujo medio de radiación para los departamentos representativos de Huehuetenango, Guatemala y Jutiapa.

III.3 DISPONIBILIDAD DE ENERGIA SOLAR EN VARIAS AREAS DE GUATEMALA:

Para fines prácticos de medición de la radiación solar total recibida en diferentes lugares se utilizan medidores de insolación. En Guatemala existen dos fuentes para obtener estos datos que son el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Metereología e Hidrología -INSIVUMEH- y la Asociación Guatemalteca de Energía Solar -AGES-.

Se seleccionaron las ciudades de Huehuetenango, Guatemala y Jutiapa por ser zonas de diferentes características climáticas y solares. A continuación se presentan los datos de radiación media diaria en meses y años para las regiones anteriormente mencionadas:

CUADRO No. 1 RADIACION MEDIA DIARIA EN HUEHUETENANGO

(W/m²)

MESES	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	PROMEDIO
ENERO	-	530	507	536	512	518	492	562	522
FEBRERO	-	580	553	602	575	594	598	541	578
MARZO	-	606	609	640	582	631	643	675	627
ABRIL	-	626	587	597	600	639	576	565	599
MAYO	587	555	420	490	531	510	603	507	525
JUNIO	580	546	574	537	530	562	478	564	546
JULIO	534	608	567	625	591	577	610	643	594
AGOSTO	548	559	569	591	580	608	619	616	586
SEPTIEMBRE	488	493	557	602	510	497	573	548	533
OCTUBRE	513	606	531	413	478	498	474	527	505
NOVIEMBRE	446	490	497	465	520	456	395	470	467
DICIEMBRE	484	528	495	487	511	513	479	-	500
ANUAL	-	552	538	549	543	550	545	-	549

FUENTE: Algunas Características de la Radiación Solar en Guatemala, Guatemala, 1978. Estación: Huehuetenango

CUADRO No. 2 RADIACION-MEDIA DIARIA EN GUATEMALA
(W/m²)

MESES	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	PROMEDIO
ENERO	-	-	442	472	474	493	434	480	457
FEBRERO	-	-	499	526	527	520	513	485	512
MARZO	-	-	577	567	529	544	572	566	559
ABRIL	-	-	557	508	566	587	537	532	543
MAYO	-	-	496	485	492	493	533	507	501
JUNIO	-	-	476	402	450	458	367	447	433
JULIO	-	-	467	477	495	483	537	565	504
AGOSTO	-	-	476	448	485	440	513	494	476
SEPTIEMBRE	-	-	469	420	372	478	444	449	439
OCTUBRE	-	-	469	421	435	522	458	466	462
NOVIEMBRE	-	-	430	497	470	553	447	512	485
DICIEMBRE	-	-	435	535	423	511	466	-	473
ANUAL	-	-	483	480	476	500	485	-	487

FUENTE: Algunas Características de la Radiación Solar en Guatemala,
Guatemala, 1978.
Estación: Guatemala

CUADRO No. 3 RADIACION MEDIA DIARIA EN JUTIAPA

(W/m²)

MESES	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	PROMEDIO
ENERO	-	-	-	460	446	398	386	413	421
FEBRERO	-	-	-	492	512	430	462	458	471
MARZO	-	-	-	506	507	432	457	500	480
ABRIL	-	-	-	483	508	421	408	495	463
MAYO	-	-	-	412	478	393	489	461	447
JUNIO	-	-	-	485	-	412	376	467	435
JULIO	-	-	-	470	508	-	478	568	506
AGOSTO	-	-	-	476	522	406	444	543	478
SEPTIEMBRE	-	-	-	321	462	339	462	449	407
OCTUBRE	-	-	-	434	478	381	-	-	431
NOVIEMBRE	-	-	-	470	597	372	-	485	481
DICIEMBRE	-	-	-	441	388	393	-	-	407
ANUAL	-	-	-	454	-	-	-	-	452

FUENTE: Algunas Características de la Radiación Solar en Guatemala,
Guatemala, 1978

Estación: Montufar

III.4 FUNDAMENTOS BASICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y TERMODINAMICA APLICADOS A SISTEMAS SOLARES DE CALENTAMIENTO DE AGUA:

El Sistema Solar de Calentamiento de Agua lo podemos definir como un equipo diseñado y creado por el hombre hecho para calentar agua utilizando la energía proveniente del sol. Consta básicamente de cuatro elementos que son:

- Colector de Energía Solar
- Acumulador de Calor
- Sistemas Auxiliares
- Sistemas de Control

El Colector de Energía Solar es un equipo hecho para absorber energía radiada por el sol por medio de un fluido generalmente, aunque en la actualidad existen colectores de celdas fotovoltaicas que transforman la energía solar en energía eléctrica directamente y la acumulan en una pila de reserva. En éste trabajo sólo se consideraron únicamente aquellos que trabajan con fluidos y más precisamente con agua y que transforman la energía radiada en energía térmica por ser los más apropiados para la aplicación en áreas rurales soleadas en que se centra el trabajo.

El Acumulador de Calor mantiene un volumen determinado de agua calentada por el colector para su utilización posterior, por el mismo se abastece de agua fría y suple el agua caliente al servicio.

Los sistemas auxiliares son fuentes externas de trabajo o calor para complementar su funcionamiento y los sistemas de control son los dispositivos que regulan toda la operación del calentador.

FORMAS DE TRANSMISION DEL CALOR

- RADIACION:** Es una forma de transmitir calor por medio de fotones.
- CONDUCCION:** Es una forma de transmitir calor por medio de vibración y rotación molecular.
- CONVECCION:** Es una forma de transmitir calor por medio de un fluido en movimiento.

CUADRO

No. 4 FORMULAS Y TERMINOLOGIA BASICA DE LAS FORMAS DE TRANSMISION DE CALOR

RADIACION

TÉRMINO	SÍMBOLO	DIMENSIONALES
Calor Radiado	Q_r	Kcal/hr
Resistividad Térmica	R_r	$^{\circ}\text{K} \cdot \text{hr} / \text{Kcal}$
Emitancia Promedio	$\bar{\epsilon}$	%
Constante de radiador perfecto	σ	$\text{Kcal} / \text{hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4$
Temperatura	T	$^{\circ}\text{K}$
Area de radiación	A	m^2
Factor de transmisión de radiación entre superficies 1 y 2	f^{1-2}	%

FORMULAS: - Para un radiador perfecto:

$$Q_r = A \sigma T^4 \therefore \sigma = 4.877 \times 10^{-5} \text{ Kcal/hr} \cdot \text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K}^4$$

- Para una superficie:

$$Q_r = \bar{\epsilon} A \sigma T^4$$

CUADRO No. 5 FORMULAS Y TERMINOLOGIA BASICA DE LAS FORMAS DE TRANSMISION DE CALOR

CONDUCCION

TERMINO	SIMBOLO	DIMENSIONALES
Calor transmitido por conducción	Q_k	Kcal/hr
Factor de transmisión de calor por conducción	K	Kcal/hr.m. $^{\circ}$ K
Area de transmisión de calor	A	m ^{2}
Espesor de transmisión de calor	h	m
Temperatura	T	$^{\circ}$ K
Resistencia térmica a la conducción	R_k	$^{\circ}$ K.hr/Kcal

FORMULAS

$$Q_k = \frac{KA}{h} (T_1 - T_2)$$

$$Q_k = \frac{T_1 - T_2}{R_k} \therefore R_k = \frac{h}{KA}$$

CUADRO No. 6 FORMULAS Y TERMINOLOGIA BASICA DE LAS FORMAS DE TRANSMISION DE CALOR

CONVECCION

TERMINO	SIMBOLO	DIMENSIONALES
Calor transmitido por convección	Q_c	Kcal/hr
Coeficiente de película	h_c	Kcal/hr.m ² .°K
Area de convección	A	m ²
Temperaturas	T	°K
Resistividad térmica	R_c	°K.hr/Kcal

FORMULAS

$$Q_c = h_c A (T_1 - T_2)$$

$$Q_c = \frac{T_1 - T_2}{R_c} \therefore R_c = \frac{1}{h_c A}$$

EXPLICACION DEL CICLO TERMODINAMICO DE UN CALENTADOR DE AGUA SOLAR SENCILLO

Para lograr una mayor comprensión del correcto funcionamiento de un calentador solar sencillo tomemos como ejemplo el sistema termosifón y analizaremos el intercambio de energía térmica y trabajo en un ciclo completo.

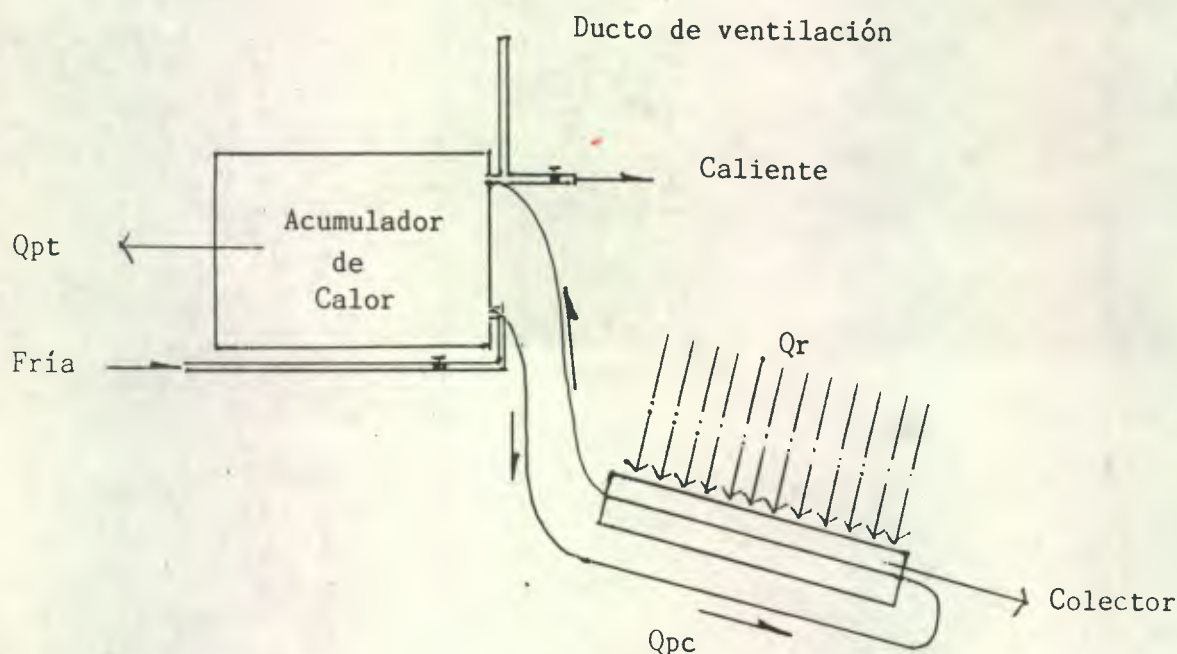


Figura No. 2 ESQUEMA DEL SISTEMA TERMOSIFON

Este sistema puede operar por gravedad o presión de línea de agua, consiste de un colector solar del tipo cerrado, un acumulador de calor y un sistema de recirculación entre el acumulador y el colector.

El agua fría de abastecimiento descarga en la parte inferior del acumulador donde está el nivel de agua más fría. De esta parte inferior del acumulador conecta un tubo hacia la parte inferior del colector, donde el agua recibe el calor radiado por el sol y desemboca en la parte superior del mismo donde está conectado un tubo que va hacia el acumulador a una altura aproximada de $2/3$ de la altura total.

El agua caliente de servicio sale por la parte superior del acumulador donde se encuentra el nivel más caliente de agua. El sistema incluye válvulas de alivio de presión y temperatura por cualquier sobrecalentamiento o exceso de presión.

El agua recircula en el sistema por una diferencia de densidades en el agua, ocasionada por la diferencia de temperaturas del agua fría que baja de la parte inferior del acumulador hasta la parte inferior del colector y la caliente sube por el mismo hasta depositarse en el acumulador.

El agua en el colector incrementa su temperatura y pierde densidad, por lo que empieza a ascender dentro del mismo ganando más temperatura y perdiendo densidad, así hasta que desemboca en el acumulador de calor. Este principio se conoce como termosifón o recirculación por convección natural.

Es de hacer notar que a una mayor radiación existe una recirculación con flujo mayor entre colector y acumulador. Para una operación apropiada el acumulador debe de situarse al menos 0.60 m. sobre el borde superior del colector para evita una circulación inversa durante las noches cediendo calor al exterior.

Definiendo los términos a emplear y formulando la primera Ley de Termodinámica para éste sistema:

Q_r = Calor radiado por el sol disponible

Q_{pc} = Calor perdido por el colector

Q_{pt} = Calor perdido por el acumulador o tanque

Q_o = Calor obtenido por el sistema

W_r = Trabajo de recirculación tanque-colector

χ_t = Eficiencia del sistema

Tenemos que acorde a la Primer Ley de Termodinámica lo siguiente:

$$\oint Q = \oint W \quad (1)$$

$$Q_r - Q_{pc} - Q_{pt} - Q_o = W_r \quad (2)$$

Eliminado el término W_r por ser 0 en éste caso, tenemos:

$$Q_r - Q_{pc} - Q_{pt} = Q_o \quad (3)$$

Para evaluar la eficiencia de éste sistema formulemos la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia total} = \frac{Q_o}{Q_r} = \frac{\text{Calor obtenido}}{\text{Calor disponible}} \quad (4)$$

Sustituyendo según ecuación anterior:

$$\text{Eficiencia total} = \frac{Q_r - Q_{pc} - Q_{pt}}{Q_r} \quad (5)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_{pc} + Q_{pt}}{Q_r} \quad (6)$$

Para poder mejorar la eficiencia total del sistema será necesario reducir el calor perdido en el colector y el calor perdido en el acumulador ya que no tenemos control sobre el calor disponible, variable que depende de factores naturales como son las condiciones climáticas.

Las pérdidas de calor del sistema se componen:

- COLECTOR:

Pérdida de calor por el sol a través de la cubierta del colector.

Los rayos solares al incidir sobre la cubierta transparente del colector se transmiten hacia el interior, sin embargo parte de la radiación es reflejada hacia el exterior y parte es absorbida por el material propio de la cubierta.

- Calor reradiado por el colector.

La placa de absorción del colector recibe el calor de la radiación solar y la transmite al agua que fluye por el mismo, sin embargo cuando existen disminuciones en la radiación solar por nubes el colector irradia calor de la superficie del colector hacia el exterior.

- Calor perdido por convección al espacio de aire rentre el colector y cubierta y cedido al exterior por la última.

La placa de absorción cede calor por convección al aire que se encuentra dentro de la cubierta el cual lo transmite a la cubierta y es cedido por convección al ambiente. Parte del calor recibido por la placa del colector es transmitido hacia el exterior por los aislamientos laterales e inferior.

- ACUMULADOR DE CALOR:

- Calor transmitido por el agua hacia el exterior del tanque.

El agua en el tanque transmite parte del calor ganado hacia las paredes, aislamiento y exterior del tanque. Es preciso hacer notar aquí que entre mayor sea la relación entre el calor obtenido y el calor disponible η mayor será la eficiencia del sistema, según ecuación (6) y ésta relación se maximizará en la medida que el calor perdido se minimize. De aquí la importancia del diseño y la escogencia de materiales para la manufactura del sistema de tal forma que se balancee en el diseño el criterio de que es tan importante ganar una caloría como preservarla. Buenos con-

ductores y aislantes deberán ser seleccionados en su debida proporción y arreglo para satisfacer éste criterio de eficiencia energética.(11,13,14,16).

III.5 LOS SISTEMAS SOLARES DE CALENTAMIENTO DE AGUA

Principales tipos de Colectores Solares existentes y preselección de los más adaptables a nuestro medio.

Existen muy variadas clases de colectores solares para diversas aplicaciones y se presentan a continuación varias divisiones para su mejor comprensión.

III.5.1 POR EL FLUIDO QUE INTERCAMBIA CALOR:

A. Gas

B. Líquido

Esta es la mayor divisipón que existe y los colectores solares que utilizan algún gas, generalmente aire son utilizados para calefacción de ambientes y otros usos. Este tipo de colector puede ser utilizado para calentamiento de agua por medio de un intercambiador de calor, sin embargo, no será considerado en ésta Tesis ya que está diseñado espeicalmente para calefacción y es utilizado para calentamiento de agua como función auxiliar o parcial únicamente.

El otro tipo, por medio de líquido que por lo general utiliza agua es la variedad que utilizaremos para nuestra aplicación y que ha su vez se subdivide en varias clasificaciones que se describen seguidamente.

III.5.2 POR EL TIPO DE CONSTRUCCION DEL INTERCAMBIADOR:

A. Abierto

B. Cerrado

En el tipo de colector Abierto se le puede llamar tambien por escurrimiento debido a que el agua escurre por gravedad sobre la placa de absorción recibiendo el calor de ésta y la radiación directa del sol.

Este tipo de colectores puede ser utilizado eficientemente para aplicación de calentamiento de agua y se muestra un esquema de funcionamiento en el gráfico 3.1

En el tipo de colector Cerrado es el más conocido en el cual un intercambiador tipo manifold totalmente cerrado está colocado junto a la placa de absorción, el fluido al pasar por el intercambiador recibe la energía térmica por conducción y convección en vez de recibir la radiación directa del sol como en el caso anterior.

Este tipo de colectores es muy utilizado y eficiente para nuestros propósitos, existen gran variedad de diseños y se muestran algunos de ellos en el gráfico 3.1

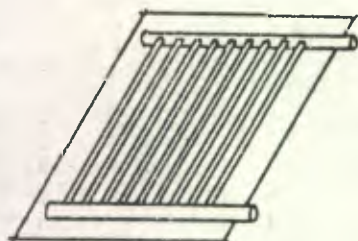
III.5.3 POR LA FORMA DEL COLECTOR:

A. Planos

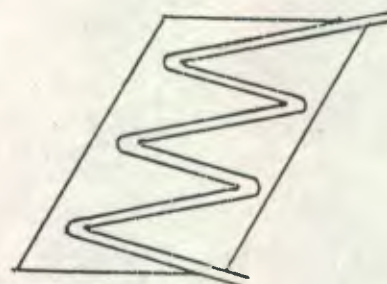
B. Paraboloides

En los Planos es la variedad más conocida de colectores solares y que tiene una forma rectangular normalmente cara al sol y un espesor relativamente pequeño, utilizan un marco que sirve como estructura y está aislado por la parte lateral e inferior, luego esta la placa de absorción con su intercambiador cerrado en forma de serpentin o manifold o abierto y cubriendo esta placa se encuentra una cubierta

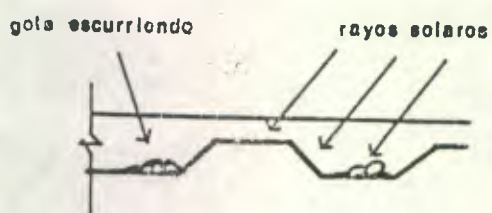
VARIEDAD DE COLECTORES



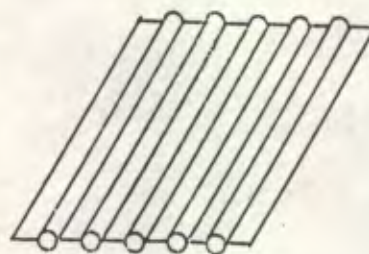
colector cerrado en
forma de paralelas



colector cerrado en forma
de camino sinuoso



seccion de un colector abierto



colector cerrado integrado

Figura No. 3 Representación de variedad de colectores solares planos.

transparente o semitransparente de vidrio u otro material de características similares.

En el tipo de colectores Paraboloides o de Concentración se caracterizan por sus efectos de concentración de la radiación solar por medio de una o varias superficies reflectivas hacia los focos de las mismas, donde se encuentra un intercambiador generalmente de tipo cerrado por donde circula el fluido que absorbe la energía térmica.

Después de considerar los principales tipos de colectores podemos mencionar a los más adaptables a nuestro medio y que por su sencillez, funcionalidad y versatilidad para muchas aplicaciones merecen ser seleccionados.

Colectores Tipo Líquido:

Estos colectores son los más susceptibles para nuestra necesidad ya que por lo general se utiliza el agua misma y evita la utilización de intercambiadores de calor que complican y encarecen los sistemas. Dentro de ésta división seleccionaremos por su importancia a:

A. Colectores Planos Cerrados

B. Colectores Planos Abiertos

Colectores Planos Cerrados: Esta variedad es sencilla y funcional además de ser empleada en múltiples aplicaciones como por ejemplo es empleado en el sistema Termosifón y en sistemas de circulación forzada. Dentro de éste tipo específico existen dos clases marcadas de diseño o arreglo de tubos en el intercambiador, uno emplea tubos en paralelas con un colector de entrada y otro de salida de agua; el

otro es un arreglo de tubo en forma de camino sinuoidal. El primero es por lo general más eficiente al ofrecer una menor resistencia al flujo del agua y es preferiblemente usado en el Sistema Termosifón. El segundo puede ser de costo menor y ser utilizado en sistemas de circulación con bomba, podrá ser usado en sistemas Termosifón siempre que se permita un flujo ascendente por convección natural.

Colectores Planos Abiertos: Estos colectores son de fácil construcción y podrán ser más aplicables en sistemas grandes de mucha área de colección donde su selección puede significar ahorros económicos. Tiene como desventaja que tiene que ser utilizado sólo en sistemas de circulación con bomba, además presenta mayores problemas que los cerrados en cuanto a la condensación de agua en cubiertas, instalaciones y mantenimiento.

Dentro de éste trabajo no se considerarán a los colectores por concentración de radiación ya que si bien pueden ser efectivos a temperaturas mayores el uso más complicado y hasta peligroso, requiriendo de graduación periódica constante para la concentración de radiación en el foco.

FUNCIONAMIENTO DE ELEMENTOS, SUBISTEMAS Y CONJUNTO DEL CALENTADOR SOLAR DE AGUA

Todo calentador de agua solar sencillo o compuesto consta de cuatro elementos principales que son:

- A. Colector de Energía Solar
- B. Acumulador de Calor o Tanque de almacenaje
- C. Sistemas de Control
- D. Sistemas Auxiliares

A. EL COLECTOR DE ENERGIA SOLAR:

Esta es la unidad principal del sistema que cumple con la función de incrementar la temperatura del agua que fluye a través de él. Podemos expresar la capacidad general de un colector en base al resultado de su funcionamiento que es de incrementar la energía de un volumen de agua que se encuentra a determinada temperatura dividida por el área del colector.

La capacidad la determinamos por el incremento de la temperatura de la unidad de masa por unidad de área.

$$\text{Capacidad} = \frac{\Delta E}{A} = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta t}{A}$$

Esta es una medida de la capacidad del colector que es necesario maximizar dentro de límites económicos. Dependiendo de la aplicación es demandado una mayor cantidad de agua con un incremento menor de temperatura como es el caso de una piscina, o es demandado un menor volumen de agua con un incremento mayor de temperatura como la aplicación en usos domésticos.

Dependiendo de estas variables, volumen, temperatura así será el diseño del colector. Para el primer caso se suelen usar colectores de concentración o planos de tipo cerrado con o sin cubierta, y para el segundo caso generalmente se usan planos con cubierta.

A.1 EL ABSORVEDOR O PLACA DE ABSORCION:

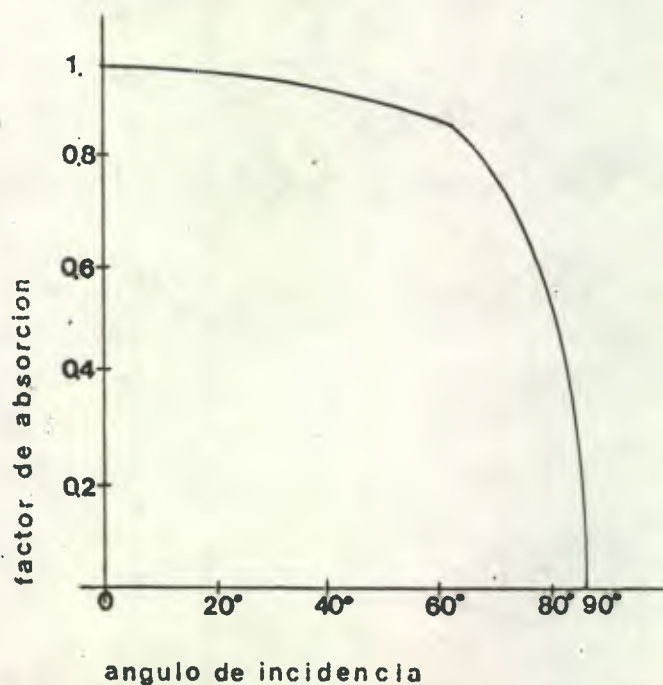
Esta es la parte básica del colector y consiste de un intercambiador por donde fluye el agua en forma de serpentín o tubos en paralelo soldados o unidos íntimamente a una placa pintada de color negro

La radiación al incidir sobre la placa y el intercambiador pintados de negro eleva la temperatura de los mismos por ser buenos conductores térmicos, el agua al fluir por el mismo toma calor de él por convección e incrementa su temperatura, es muy importante que el intercambiador esté soldado o unido firmemente a la placa para que pueda existir una conducción de calor de la placa al serpentín y éste último lo pueda ceder al agua.

La absorción de radiación por el colector depende del material de que esté hecha la pintura utilizada de recubrimiento y el ángulo de incidencia de los rayos solares. A continuación se muestra el efecto del ángulo de incidencia sobre la superficie de absorción.

GRAFICA No. 3

EFFECTO DEL ANGULO DE INCIDENCIA DE LA RADIACION
SOBRE LA SUPERFICIE DE ABSORCION



A.2 AISLANTE DE LA PLACA DE ABSORCIÓN POSTERIOR Y LATERAL:

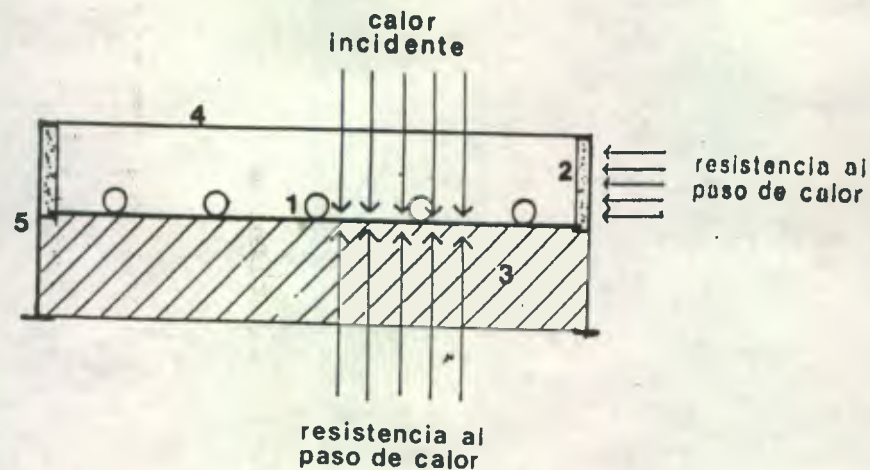
La función de aislar la placa de absorción por la parte posterior es esencial. Este material aislante ofrece una resistencia al paso del calor hacia afuera y fuerza a transmitirlo más rápidamente hacia los tubos por donde fluye el agua. La baja densidad y conductividad térmica son las cualidades más importantes en el aislante posterior de un colector. La baja densidad ofrece un menor peso al colector y facilita su manejo y no da problemas para su montaje en estructuras de techos.

Una baja conductividad térmica en el aislante posterior incrementa la capacidad de absorción de calor del colector incrementando su eficiencia general. En nuestro medio existen gran cantidad de materiales de aislamiento que pueden obtenerse en el área rural como lo son el aserrín, cascabillo de café y arroz, lana mineral o fibra de vidrio, espuma de polyuretano y duropore. El aislante lateral tiene la función de reducir el escape por los costados del colector entre la cubierta y la placa de absorción del colector.

En el espacio de aire entre placa y cubierta existe calor que toma el mismo aire por convección de la placa negra de absorción y la colocación de resistencias térmicas a su alrededor forzan a mantener una temperatura mayor en el colector con una mejora en la eficiencia del mismo.

En la siguiente gráfica se muestra la posición de los aislantes y su efecto de resistencia al paso del calor lo que concentra la energía aprovechable en la placa colectora por donde fluye el agua.

Figura No. 4 Posición de los aislantes y su resistencia al paso de calor

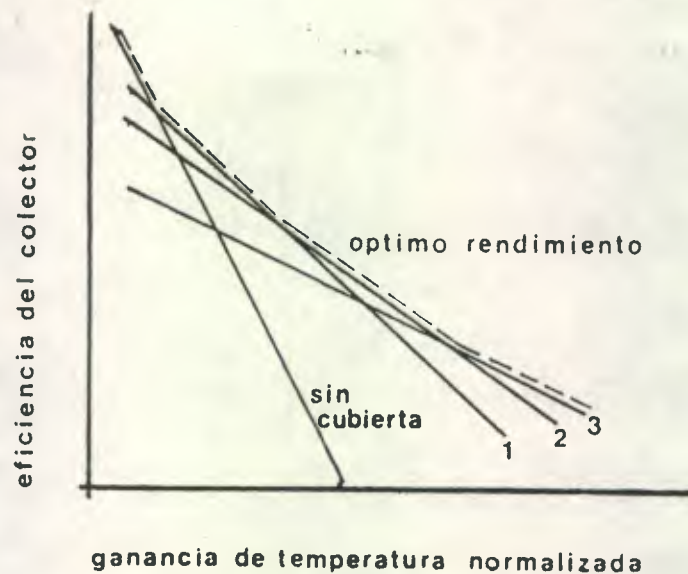


- A. Placa colectora
- B. Aislante Lateral
- C. Aislante Posterior
- D. Cubierta del Colector
- E. Estructura del Colector

A.3 LA CUBIERTA DEL COLECTOR:

La cubierta del colector consiste en una placa que puede ser preferiblemente de vidrio u otro material transparente o semitransparente que permita que los rayos solares incidan sobre la superficie del colector, su función principal es aislar el calor absorbido por el colector del medio ambiente. Esta cubierta protege al colector del viento, medio por el cual el calor se disiparía rápidamente. La cubierta mantiene en su interior un aire tranquilo que reduce las pérdidas de calor por convección, al incrementarse el coeficiente de película.

Al incrementar la temperatura del colector aumenta la eficiencia, sin embargo es necesario aislar este calor por medio de una cubierta o varias, la gráfica a continuación muestra el efecto en la eficiencia al utilizar varias cubiertas.



Gráfica No. 4 Eficiencia del colector solar y ganancias de temperaturas al utilizar varias cubiertas. Para temperaturas elevadas se puede justificar el uso de más de una cubierta ya que por la elevada temperatura del colector una doble o triple cubierta aísla mejor el calor del medio ambiente.

Es muy importante la altura en que la cubierta debe situarse sobre el colector pues entre ellas existe un espacio de aire. Estudios experimentados han mostrado que el rango óptimo es de 4 a 7 cms., donde se obtiene un buen efecto aislante; a la vez que el efecto de sombra causado por el marco del colector no reduce sensiblemente el área efectiva de insolación del colector.

A.4 CUBIERTA POSTERIOR:

La utilización de una cubierta posterior en el colector para protección

del aislante puede noser indispensable cuando el colector se monte sobre una superficie que puede cumplir la lmisma función; sin embargo, dependiendo del aislante usado es conveniente colocar una cubierta posterior que soporte y proteja el aislante del deterioro aumentando así la vida útil del colector. Es importante que ésta cubierta selle el colector por la parte posterior evitando el intercambio gaseoso con el medio externo.

A.5 ESTRUCTURA DEL COLECTOR:

El marco o caja que sirve de estructura al colector es un elemento cuya función primordial es ligar físicamente a los diferentes elementos del colector que se han mencionado anteriormente. El perfil de éste marco deberá estar diseñado para soportar la cubierta del colector a través de una junta empacada que ofrezca un sello dentro del colector, fijar la placa colectora, los aislamientos y la cubierta posterior de protección.

Es importante además preveer el uso de diversos tipos de soportes, patas o parriles que permitan fijar el colector en la orientación propia de óptimo funcionamiento. La rigidez en la estructura es altamente imortante ya que estará sometida a fuertes y variables cargas por vientos además de su propio peso. Otras importantes cualidades de la estructura deben ser livianas, anticorrosivas, fáciles de ensamblar y afinidad a los otros materiales utilizados para su fijación (15.17.19).

B. ACUMULADOR DE CALOR O TANQUE DE ALMACENAMIENTO:

La función que debe cumplir un tanque de almacenaje es mantener una cantidad o volúmen determinado de agua caliente para poder suplirlo de manera efectiva durante cualquier hora del día o la noche.

Este deberá estar dotdo de un volúmen relativamente grande para poder compensar las situaciones en las cuales la radiación solar decrece por las condiciones climáticas. Podemos considerar dos clases de tanques: unos son aquellos que funcionan solamente a la presión atmosférica y otros los que pueden trabajar a presión manométrica; ambos pueden ser utilizados en calentadores de agua solares.

Existen tanques diseñados para operar con el colector en el sistema termosifón, otros utilizan un sistema de circulación forzada por una bomba, ambos sistemas ofrecen ventajas y desventajas en cuanto a instalación y operación por lo que en ciertos casos se justificará uno más que el otro. En la siguiente página se muestran en el gráfico ambos tipos de tanques.

Figura No. 5 Esquema del Acumulador utilizando un sistema de Gravedad

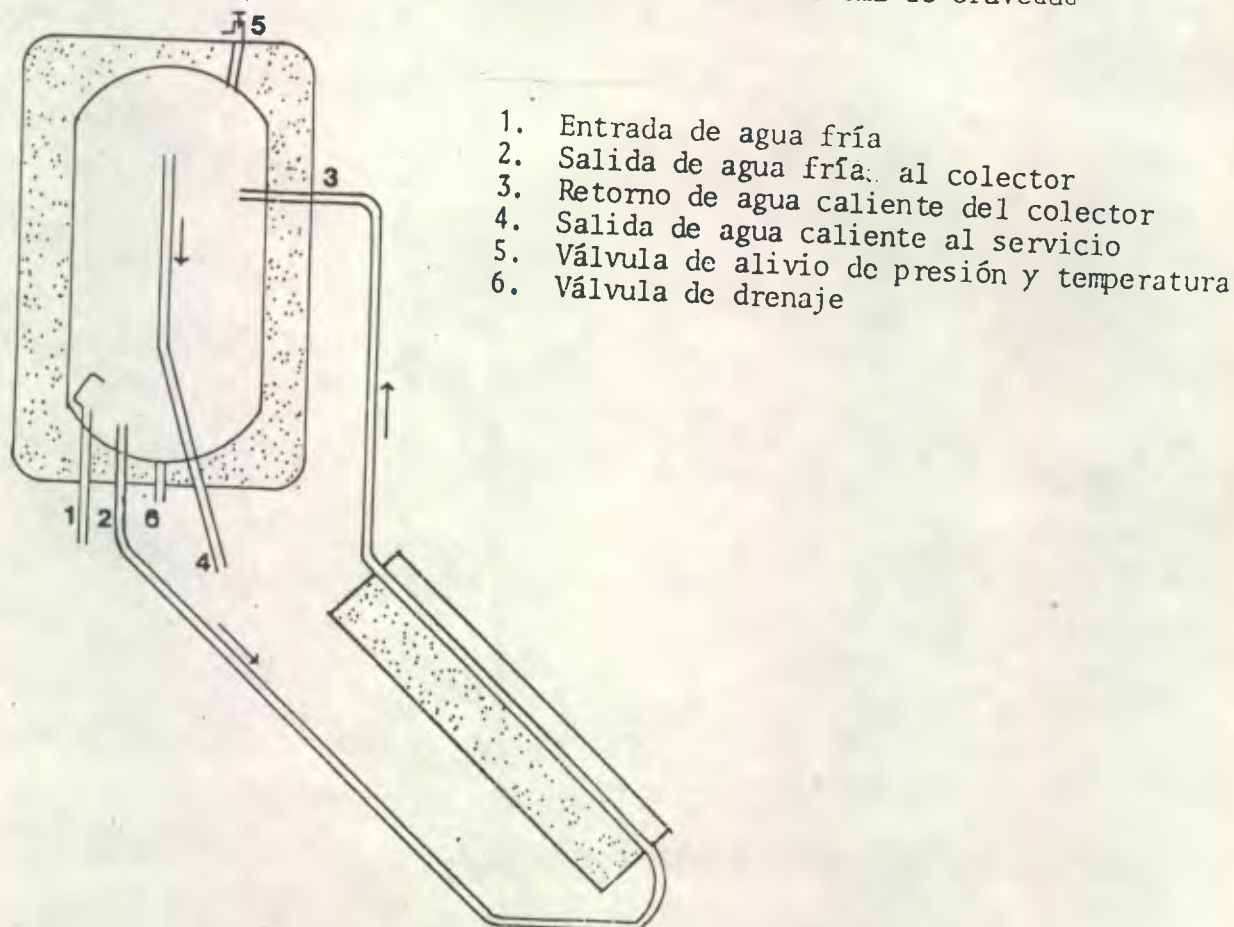
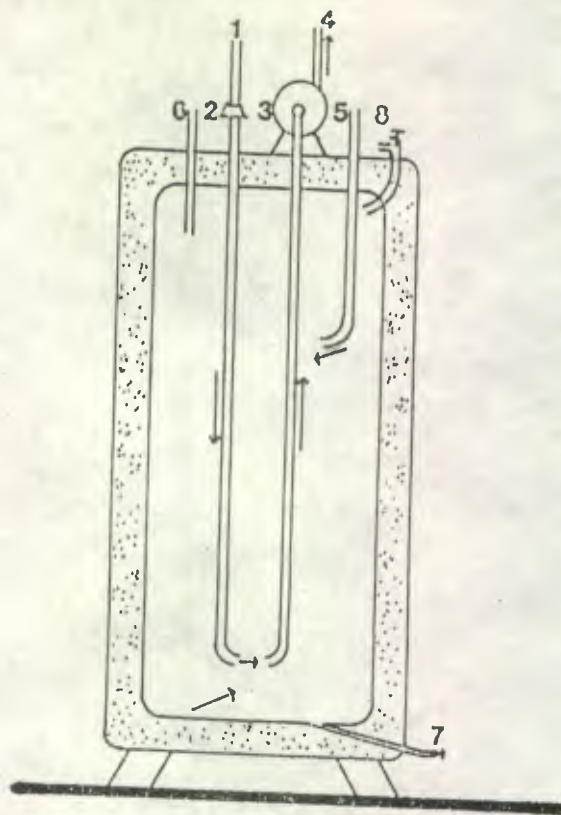


Figura No. 6 TANQUE UTILIZADO EN UN SISTEMA DE CIRCULACION FORZADA



1. Ingreso de agua fría
2. Elemento filtrante de partículas sólidas
3. Bomba de circulación
4. Salida hacia colector
5. Retorno del colector
6. Salida de agua caliente al servicio
7. Válvula de drenaje
8. Válvula de alivio de presión y temperatura

Ahora diferenciamos las características y funcionamiento de cada uno de ellos. Tenemos que notar que el tanque del sistema termosifón se tiene que situar sobre el colector a una distancia no menor de 0.60 m. para evitar un proceso de circulación inverso en los períodos nocturnos; en contraposición un tanque con sistema de circulación forzada puede situarse en cualquier lugar donde su montaje no ofrezca problemas; sin embargo, este tipo necesita sistemas más sofisticados para su regulación y control, amplia ventaja que se obtiene con el sistema termosifón que es totalmente autorregulable.

En las dos clases de tanque la forma del funcionamiento es similar. El agua a mayor temperatura se sitúa en la parte superior del tanque y la más fría en la parte inferior; cuanto menos sea la turbulencia existente dentro del mismo menos serán las pérdidas de calor por convección al exterior debidas al movimiento de las moléculas de agua adyacentes a las paredes interiores. De ésta razón se deriva la similitud en la posición interna de la toma y desemboque de las diferentes tuberías de abastecimiento, servicio y circulación con el colector.

Los tanques de almacenaje de agua caliente están diseñados para soportar la presión del propio peso del agua y la presión menométrica de trabajo del sistema según sea la clase de tanque por gravedad y a presión respectivamente; ambos casos las paredes están expuestas al calor que les transmite el agua. Por ésta razón el tanque deberá ser cosntruído de un material resistente a la tensión y protegido contra la corrosión que provocan las sales y agentes químicos disueltos en el agua a alta temperatura.

En el cuerpo del tanque deberán estar fijadas todas las conezziones de las diferentes tuberías de ingresos y salidas de agua y las válvulas de drenaje y seguridad de alivio de presión y temperatura. Al cuerpo del tanque se fijan además sus soprtes que son de acuerdo a la clase de instalación, existiendo básicamente dos formas de montaje. Los tanques de termosifón se deben situar sobre el colector por lo que se instalan sobre estructuras colocadas en techos o terrazas principalmente. Los tanques de sistemas de circulación forzada generalmente se colocan sobre el suelo. Un aislamiento exterior del tanque por todos lados es imprescindible para mantener el calor, cuanto más aislado esté mejor funcionará el sistema y se obtendrán mejores rendimientos del mismo.

Rodeando al aislante deberá existir una cubierta impermeable y protectora del aislante y el tanque en general. Esta cubierta externa es de suma importancia en instalaciones expuestas a la intemperie. En algunos casos los tanques pueden ser contruídos de un sólo material que ofrezca todas las cualidades de anticorrosivo, resistente a la presión de diseño, impermeable y resistente a las condiciones climáticas externas. Tales tanques suelen ser hechos de concreto, bloques de arcilla u otros materiales similares revestidos de pinturas e impermeabilizantes en su interior y exterior.

Este tipo de tanque puede ser utilizado en diversas aplicaciones, sin embargo está limitado su uso por ser únicamente operado a presión atmosférica y su montaje a elevadas alturas puede constituir problemas por su peso (14,16,30).

B.1 INGRESO DE AGUA FRÍA:

Esta es la tubería por la cual se abastece el calentador solar, es recomendable que cuente con un elemento filtrante de partículas sólidas que evite posibles obstrucciones dentro de las tuberías del sistema. La descarga del ingreso de agua fría tiene un deflector que orienta al flujo hacia la salida de agua fría al colector. Este elemento ayuda a que el agua al ingresar al tanque entre directamente en el sistema de circulación con el colector si éste está funcionando.

Este deflector mejora la eficiencia instantánea del colector en éste período por la mayor diferencia de temperatura entre el agua que ingresa y el colector. En ambos tipos de tanques, de termosifón y de circulación forzada el agua fría de abastecimiento descarga en la parte inferior del tanque, donde está el nivel de agua más fría (ver gráfico).

B.2 SALIDA DE AGUA FRÍA AL COLECTOR:

La tubería de salida para el colector parte del nivel frío del tanque a una altura de aproximadamente 7 cm. sobre el nivel inferior del mismo. De éste modo el colector toma el agua más fría del tanque para calentarla, es importante respetar la altura de 7 cm. para evitar tomar sedimentaciones del fondo del tanque que vayan hacia el colector.

En el sistema termosifón ésta tubería debe conectar al tanque con el colector con una trayectoria suave y sin cambios abruptos de dirección, de tal forma que su resistencia sea mínima al flujo impulsado por la convección natural. En todos los casos la tubería deberá estar aislada térmicamente para reducir las pérdidas de calor durante el proceso de circulación tanque-colector.

B.3 RETORNO DEL COLECTOR:

En ésta tubería retorna al tanque el agua calentada por el colector y deberá estar bien aislada a fin de reducir al mínimo las pérdidas de calor, además estará dotada de una válvula de alivio de presión y temperatura a la salida del colector para poder prevenir cualquier sobrecalentamiento. El retorno del colector se sitúa en el tanque a $2/3$ de altura aproximadamente, existiendo dos razones principales para justificar esta proporción. Primeramente el agua descargará en el tanque a una temperatura similar a la existente en ese nivel del tanque, lo cual no provocará mayor turbulencia ni su efecto negativo en pérdidas de calor. En segundo término deberemos reconocer que el agua de retorno del colector estará a mayor temperatura que la que está dentro del tanque por lo que transmitirá calor en dirección hacia la porción de agua superior del mismo, formando así un volumen determinado de agua a una temperatura relativamente uniforme disponible para su uso.

B.4 SALIDA DEL AGUA CALIENTE AL SERVICIO:

La salida de agua al servicio está conectada en la parte superior del tanque donde está localizada el agua almacenada a mayor temperatura. Es muy importante indicar que ésta tubería debe estar bien aislada con el fin de poder conducir el agua al lugar de su uso con el mayor contenido calórico posible

B.5 VALVULA DE ALIVIO DE PRESION Y TEMPERATURA O DUCTO DE VENTILACION:

Este es el elemento de seguridad que protege al tanque de almacenaje y la línea de retorno del colector contra excesos de presión o temperatura con los que fueron diseñados. Como elementos de seguridad previene las posibilidades de explosión del depósito y consecuentes posibles daños a las personas o materiales. Esta válvula permite al vapor o agua sobrecalentada y exceso de presión salir al exterior

Como elemento substitutivo a ésta válvula en los tanques que operan por gravedad, se utiliza un ducto de ventilación por el que puede salir el vapor de agua y mantener el tanque a la presión atmosférica.

B.6 VALVULA DE DRENAJE:

Esta válvula es utilizada únicamente para funciones de servicio de limpieza y mantenimiento genral del tanque. Esta drena los sedimentos del tanque que pueden constituirse en obstrucciones de las líneas del sistema o el colector mismo. ocasionando pérdidas en el rendimiento y reducción de la vida útil del equipo.

Podremos resumir que los tanques de almacenaje son necesarios en algunos casos como el uso doméstico-hotelería y servicios turísticos, en aplicaciones agro-industriales donde la amplia disponibilidad de agua sea imprescindible, sin embargo en otros casos como precalentadores de agua utilizados para diversos usos en nuestras

industrias alimenticias, textiles y misceláneas, la utilización de tanques puede ser obviada en algunos casos específicos solamente.

C. SISTEMAS DE CONTROL:

Existen diferentes sistemas de control desde los más sencillos hasta muy sofisticados utilizando todos ellos diferentes métodos o principios. Se explican a continuación los principales sistemas de control que por su adaptabilidad nuestro medio y sencillez se pueden aplicar para los usos más comunes.

- TERMOSTATO DIFERENCIAL:

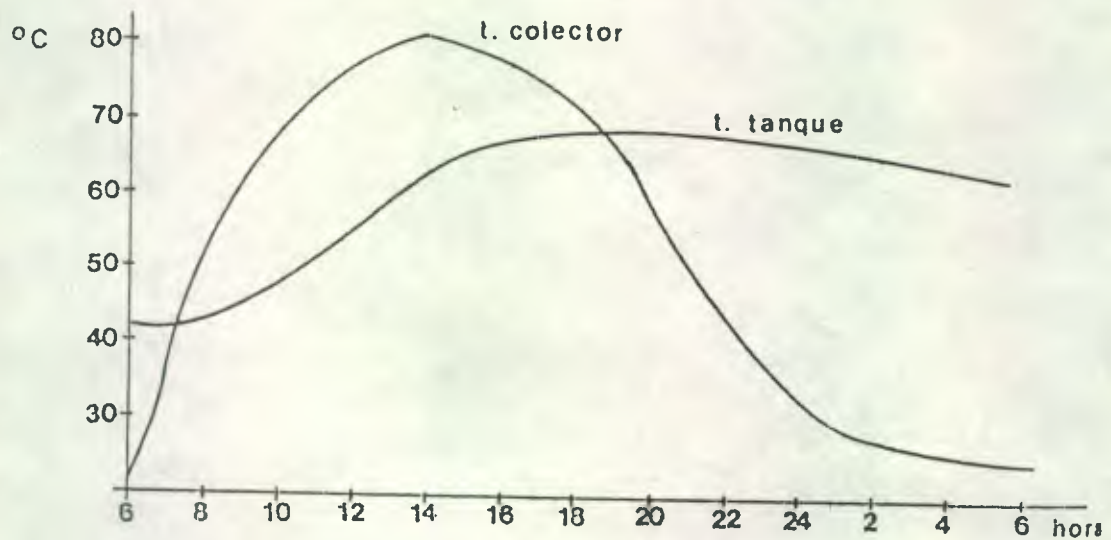
La mayor parte de los sistemas de circulación forzada utilizan éste eficiente y sencillo sistema para controlar la operación del circulador. Este sistema utiliza dos sensores. Uno mide la temperatura del agua al salir del colector y el otro la temperatura del agua en el tanque de almacenaje. Cuando la temperatura del agua a la salida del colector supera a la del tanque en una cantidad pre-establecida (10°C en usos domésticos y 3° para piscinas) el sistema activa la bomba de circulación que forza al agua a fluir por el colector.

El sistema desactiva la bomba cuando la diferencia de temperatura entre colector y tanque decrece a un límite establecido (en la mayor parte de los casos 2°C) De ésta forma el agua fluye en el colector a velocidad constante siempre que el circulador esté activado.

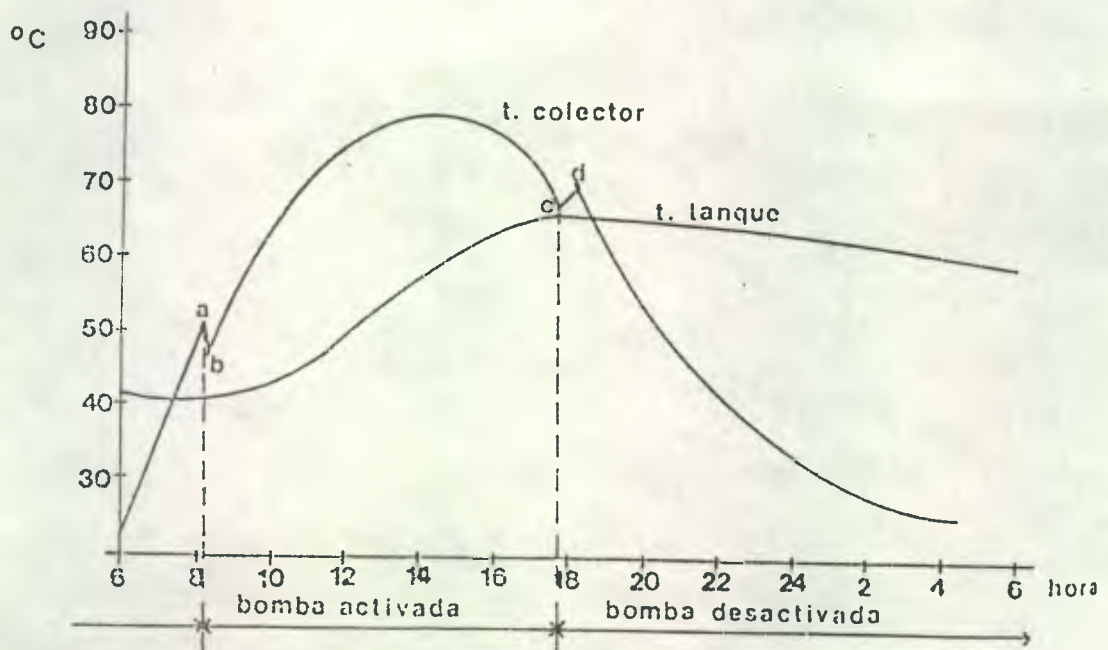
Este sistema ha sido lmejado mediante la implantación del control de flujo proporcional al diferencial de temperatura. Se le denomina control de flujo proporcional según sea la diferencia de temperatura medida por los sensores, el sistema regula el flujo de circulación de tal forma que se optimiza el rendimiento del co-

lector haciéndolo trabajar a su máximo coeficiente de transmisión térmica. En las gráficas siguientes se muestran comparativamente los rendimientos de un sistema termosifón que es autocontrolable y un sistema de circulación forzada controlado por un sistema de termostato diferencial simple.

GRAFICA No. 5 AUTOCONTROLADO



GRAFICA No. 6 CONTROLADO POR UN TERMOSTATO DIFERENCIAL



El rendimiento en el sistema de circulación natural se inicia cuando la temperatura del colector supera a la del tanque; esto ocurre a eso de las 7:30 AM. durante el transcurso de la mañana se incrementa la temperatura del colector incrementando el flujo de circulación por lo que la temperatura del tanque sube rápidamente. A la 1:00 PM el colector ha alcanzado su máxima temperatura y empieza a decrecer por lo que la temperatura del tanque aumenta pero a un ritmo menor. A las 6:00 PM el tanque obtiene su temperatura máxima y el proceso de circulación termina debido al rápido descenso de la temperatura del colector por falta de energía solar disponible.

Durante el período de las 6:00 PM hasta las 7:30 AM del día siguiente la temperatura decrece al ritmo que permita el aislamiento del depósito.

Analizando el sistema controlado por el termostato diferencial podremos notar que a las 8:00 AM la temperatura del colector ha superado a la temperatura del tanque en los 10°C preestablecidos por lo que hay un regulador que cierra el circuito de activación de la bomba, el agua fría al fluir provocará una caída en la temperatura del colector al punto b donde se regulariza el sistema en forma similar al termosifón. A las 18:00 PM aproximadamente la diferencia de temperatura decrece a su límite de 2°C en el punto c y se abre el circuito desactivando la bomba; el agua al dejar de fluir incrementará ligeramente la temperatura del colector al punto d, sin embargo no lo suficiente como para activar la bomba nuevamente.

Podremos considerar como elementos del sistema de control a las válvulas de alivio de presión y temperatura, filtros, válvulas de drenaje, válvulas de flote y de compuerta para control del agua de abastecimiento y servicio, manómetros y termómetros. Todos estos elementos cumplen con funciones de medición, regularización, servicio y control general del sistema.

D. SISTEMAS AUXILIARES:

Los sistemas auxiliares son fuentes de energía externa necesarias para lograr el funcionamiento total del sistema. Dentro de los sistemas auxiliares contamos con la bomba de circulación que utiliza energía eléctrica para su funcionamiento. La introducción de una resistencia eléctrica dentro del tanque o algún quemador de combustible constituye otro sistema auxiliar como fuente de energía térmica externa que contribuye a mantener una segura disponibilidad en el servicio dentro de los límites económicos razonables.

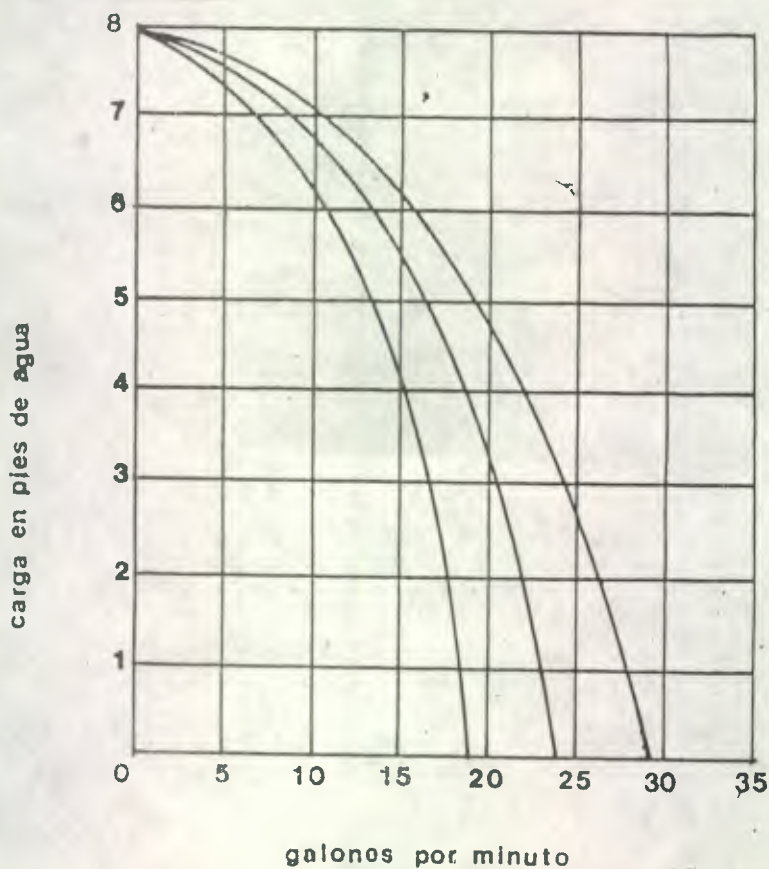
La utilización de sistemas auxiliares puede ser imprescindible en algunos casos, sin embargo serán más justificables en la medida que disminuyan la proporción de éstos versus la energía solar que se está aprovechando. Es también de razonar el utilizar energía no tradicional limpia y económica como medio auxiliar del sistema. Como ejemplo en regiones donde sopla viento regular durante el día es posible utilizar una bomba accionada por viento que impulsa al agua a fluir por el colector o utilizar como fuente auxiliar de calor un reactor de metano que trabaja con basura y desperdicios agropecuarios o residuos de cosechas y de ganado bovino, equino, etc.

Estas son posibles alternativas a usar dentro del marco de integración de energía no tradicional de beneficios en el orden social ecológico y económico, particularmente para áreas rurales de nuestro país.

D.1 BOMBA DE CIRCULACION:

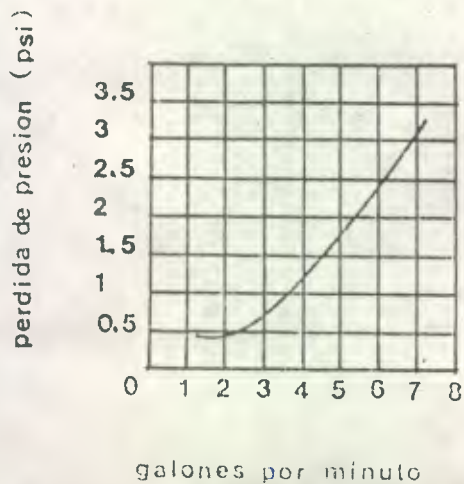
Esta unidad es necesaria en todos los sistemas de circulación forzada, no así en el sistema de termosifón que no necesita bomba. Esta bomba de circulación de agua caliente está diseñada para forzar el agua a fluir en el colector al caudal óptimo de operación para un aprovechamiento máximo de la energía solar radia

da al colector, para lograr tal cometido la bomba está dotada de diferentes y sofisticados sistemas de control que se mencionaron anteriormente. La bomba está construida de materiales anticorrosivos y para funcionar a alta temperatura, a continuación se muestra una curva del rendimiento de una bomba comercial utilizada para éste propósito.



GRAFICA No. 7

PERDIDA DE CARGA EN UN COLECTOR COMERCIAL



III.6 MATERIALES, INSTALACION Y MANTENIMIENTO DEL CALENTADOR SOLAR EN NUESTRO MEDIO

III.6.1 MATERIALES

Podremos mencionar muchos materiales que son usados para la fabricación de sistemas solares, sin embargo principalmente el diseño propio del sistema y su método de construcción determinarán cuáles son los de mayor utilidad. Por ésta razón y por orden metodológico dividiremos el estudio de los materiales en la siguiente clasificación:

- . Materiales Conductores para Colectores
- . Materiales para Cubiertas de Colectores
- . Materiales para Estructura de Colectores
- . Materiales Aislantes
- . Materiales para Depósitos
- . Materiales para Estructuras de Sistemas
- . Otros Materiales

. MATERIALES CONDUCTORES PARA COLECTORES:

Los colectores tienen que ser hechos de materiales de alta conductividad térmica para que faciliten la transmisión de calor al agua, además de ésta primordial condición, los materiales de preferencia deberán ser resistentes a la corrosión. A continuación se listan los materiales más comúnmente usados:

CONDUCTIVIDADES TERMICAS

SUSTANCIAS		K (cal.cm/seg.°C)
METALES:	PLATA	0.974
	COBRE	0.918
	ORO	0.700
	ALUMINIO	0.480
	ZINC	0.265
	LATON	0.260
	HIERRO	0.161
	ESTAÑO	0.155
	ACERO	0.120
	PLOMO	0.083
	MERCURIO	0.020
SOLIDOS:	AMIANTO	0.0001
	CORCHO	0.0001
	FIELTRO	0.0001
	HIELO	0.0042
	LADRILLO ROJO	0.0015
	MADERA	0.0003
	VIDRIO	0.002
GASES:	AIRE	0.000057
	HELIO	0.00034
	HIDROGENO	0.00033
	OXIGENO	0.000056

CUADRO No. 7 Conductividades térmicas de diferentes metales, sólidos y gases.

El colector generalmente se compone del serpentín intercambiador y la lámina o placa colectora, por lo que es factible combinar un material con otro, generalmente se usa el cobre para el serpentín unido sobre lámina de cobre, aluminio, latón, zinc o acero. Los colectores siempre están recubiertos de pintura negro mate. Existen en la actualidad diferentes pinturas negras para aplicación solar, a continuación se presentan los factores de absorción de energía de algunas de las más usuales.

NOMBRE	FACTOR DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA SOLAR*
Esmalte negro	0.83
Alquitrán	0.86
Negro Nickel	0.92
Ollín de Carbón	0.93

Para seleccionar los materiales para fabricar un colector habrá que tomar en cuenta primero las características de alta conductividad ya que esto es lo esencial, sin embargo, habrá que ponderar otros factores que principalmente son de orden económico, método de fabricación, afinidad de materiales, resistencia a la corrosión y durabilidad.

MATERIALES PARA CUBIERTAS DE COLECTORES.

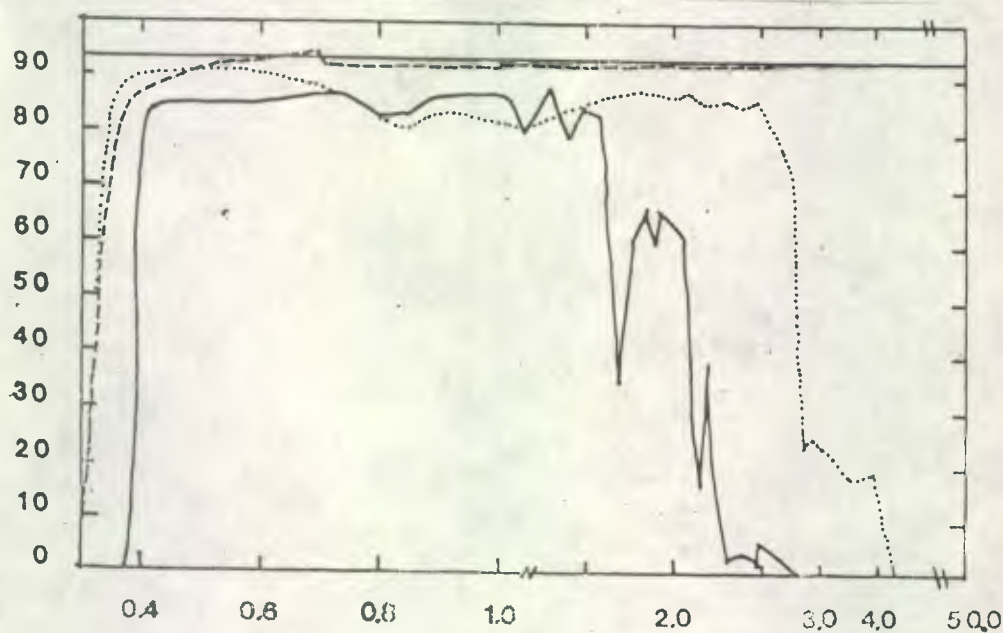
Existen importantes características que deben reunir los materiales para cubiertas. La alta transmitividad de radiación en la cubierta anterior del colector es lo principal, bajos factores de reflectividad y absorción de radiación y

* Medidas a temperaturas típicas de colectores planos.

baja conductividad térmica del material contribuyen a la eficiencia global del colector por lo que son características deseables. Es importante que este material sea durable, resistente a la degradación o decoloración por radiación solar, resistente a impactos y a las cargas por viento, lluvia, granizo y ceniza volcánica que son muy usuales en nuestro medio.

En las gráficas siguientes se muestran las características principales de algunos materiales usados para aplicaciones solares: vidrios, láminas de fibra de vidrio reforzado, lienzos de poliéster y teflón.

GRAFICA No. 8
TRANSMITIVIDAD DE RADIACION SOLAR (%) PARA ALGUNOS MATERIALES USADOS COMO CUBIERTAS
DE COLECTORES PLANOS



Longitud de onda en micrones

- Lámina de fibra de vidrio de 1.5 mm.
- Vidrio plano de 2.5 mm.
- · — · Lienzo de teflón de 0.125 mm.

Para la Cubierta Posterior del Colector la resistencia a la flexión, impermeabilidad y durabilidad son las cualidades que deben poseer los materiales para ésta cubierta dentro de los materiales que pueden ser utilizados satisfactoriamente se pueden listar:

- La Madera: en sus diversas formas de reglas, tableros, plywood y de partículas
- Lámina de Hierro
- Lámina de Asbesto Cemento
- Pliegos de Plástico

La Madera puede ser usada favorablemente por sus buenas cualidades y su bajo costo, pues prácticamente en cualquier lugar de la república encontramos madera de buena calidad. El plástico en pliego es más barato pero su colocación puede constituir problemas en algunos casos. La lámina de hierro es recomendable cuando existan muy severas condiciones y la resistencia y durabilidad sean factores preponderantes. La lámina de asbesto cemento es de bajo costo, aislante y rígido pero su defecto es la fragilidad por lo que su durabilidad es incierta.

MATERIALES AISLANTES:

La principal característica de éstos materiales es ser resistente a la transmisión de calor; otros factores de importancia son: baja densidad, resistentes a alta temperatura y durabilidad.

A continuación se listan algunos de los aislamientos más comúnmente usados en la construcción de colectores y acumuladores.

CUADRO No. 8 Aislamiento más comúnmente usado en construcción de colectores.

MATERIAL	DENSIDAD	CONDUCTIVIDAD TERMICA
	Kg/m ³	W . m . °C
Lana Mineral	13	0.0322 - 0.0404
Poliuretano	24	0.0245
Poliestireno	16	0.0649
Aserrín	13 - 24	0.0649
Paja	10 - 13	0.0576

Los aislantes laminados rígidos ofrecen facilidades para la fabricación de colectores planos. Otros materiales como la fibra de vidrio y el poliuretano que son moldeables ofrecen también ventajas en la manufactura de los colectores y tanques cilíndricos. Los aislantes a granel como la paja, cascabillos de café y arroz pueden ser utilizados satisfactoriamente en colectores y depósitos con costos menores.

MATERIALES PARA ESTRUCTURA DE COLECTORES:

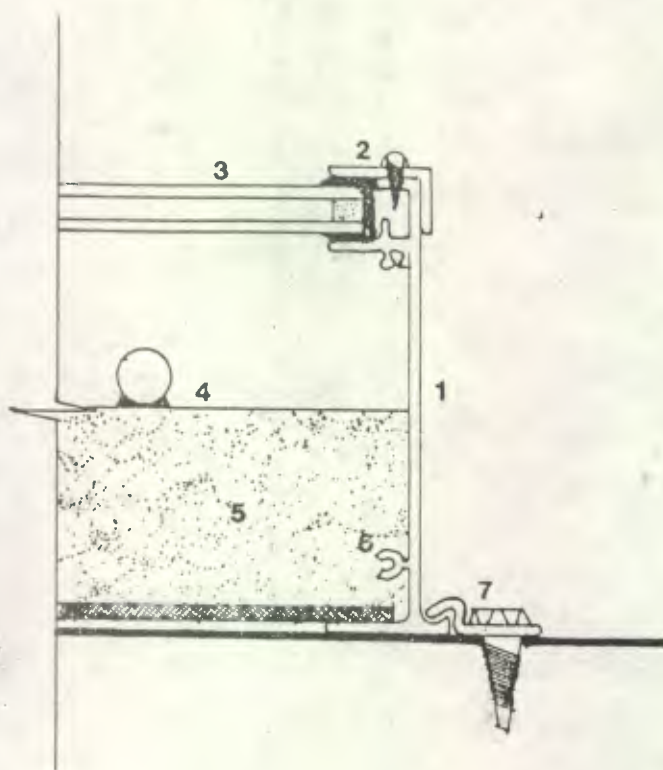
Las características esenciales que deben poseer los materiales para estructuras son resistencia a esfuerzos de flexión, de fácil manejo para su instalación, anti-corrosivos, durables y de afinidad a otros materiales para la fijación de componentes del calentador. Los metales, madera y algunos materiales sintéticos se emplean frecuentemente en la manufactura de los colectores, seguidamente se describen algunos de los principales que ofrecen mejores ventajas.

- Aluminio extruído: en la actualidad se fabrican extrusiones de aluminio similares a los utilizados para ventanería con perfiles diseñados para éste propósito o bien en la construcción de escaleras.

El Aluminio ofrece ventajas en cuanto a su poco peso y de gran facilidad para el ensamblaje de los colectores. En la gráfica siguiente se puede apreciar mejor.

FIGURA No. 7 Perfil de la estructura de un colector solar de un materia de aluminio.

COLECTOR SOLAR



1. Perfil de aluminio extruido
2. Marco de anclaje de la cubierta
3. Cubierta de doble vidrio
4. Colector
5. Aislante
6. Perfil para el ensamble con tornillos
7. Anclaje del colector

- Perfiles de hierro: en forma similar se pueden hacer estructuras de colectores con sencillos perfiles de hierro que se venden comercialmente como angulares, tees hembras. Es necesario un recubrimiento anticorrosivo el cual es durable y afín a muchos materiales. Todas estas cualidades hacen que sea susceptible utilizarlo.
- La Madera: puede ser utilizada en las estructuras de colectores, siendo recomendable recubrirla de una material impermeable y antinflamable preferiblemente. La madera se trabaja fácilmente, es económica y resistente a las cargas del colector. Su resistencia y durabilidad puede ser prolongada con tratamientos de secado y recubrimientos de selladores o barnices.
- Fibra de vidrio moldeada: la fibra de vidrio moldeada es otro material empleado como estructura de colectores, es resistente, durable y sumamente versátil. Como desventaja podemos mencionar su fragilidad. Su versatilidad permite mayor libertad de diseño, amplia ventaja que inteligentemente se puede aprovechar en mejorar la eficiencia a la vez de obtener algunos ahorros en otros materiales.

. MATERIALES PARA DEPÓSITOS:

Los materiales para depósitos deberán resistir los esfuerzos mecánicos producidos por la presión del agua, en depósitos por gravedad, los esfuerzos son apreciablemente menores que en los tanques a presión manométrica.

- Tanques por Gravedad: estos pueden ser de gran variedad de materiales dentro de los que cabe mencionar con singular importancia por su uso los siguientes:

Concreto

Asbesto Cemento

Hierro y otros metales afines

Fibra de vidrio

Plásticos

- Tanques a Presión: Los materiales para éstos tanques son más reducidos y podemos contar básicamente con los siguientes:

Acero y otros metales

Plásticos especiales

Materiales combinados

Para la manufactura de éstos tanques se recomiendan observar las normas ASTM.

. MATERIALES DE ESTRUCTURAS DE SISTEMAS:

Podremos utilizar como estructura del sistema tanque y colector los siguientes materiales:

Acero en perfiles

Madera

Aluminio

La estructura deberá ser rígida y resistente a las cargas de peso propio, viento, ceniza volcánica a que están sujetos el colector y el tanque. La estructura sujeta a la intemperie deberá estar recubierta o protegida contra la corrosión y deterioro por el tiempo, según la aplicación, alcance, durabilidad deseada.

. OTROS MATERIALES:

Se pueden emplear los materiales que por tener características propias pueden utilizarse.

- Selladores: existen para sellar los colectores materiales aglutinantes o cintas adhesivas diseñadas especialmente para éste propósito. A continuación se mencionan los selladores que se utilizan en las cubiertas de los colectores.

CUADRO No. 9 Materiales con características apropiadas para sellar.

SELLADOR	RANGO DE T° DE SERVICIO
Butilos	- 29°C a 82°C
Polisulfidos	- 40°C a 93°C
Silicones	- 51°C a 121°C

- Afijadores: Los materiales para fijar las diversas partes del colector tales como tornillos, abrazaderas, clavos, etc., deberán ser resistentes a la corrosión se pueden mencionar el material de aluminio, acero con recubrimiento anticorrosivo.

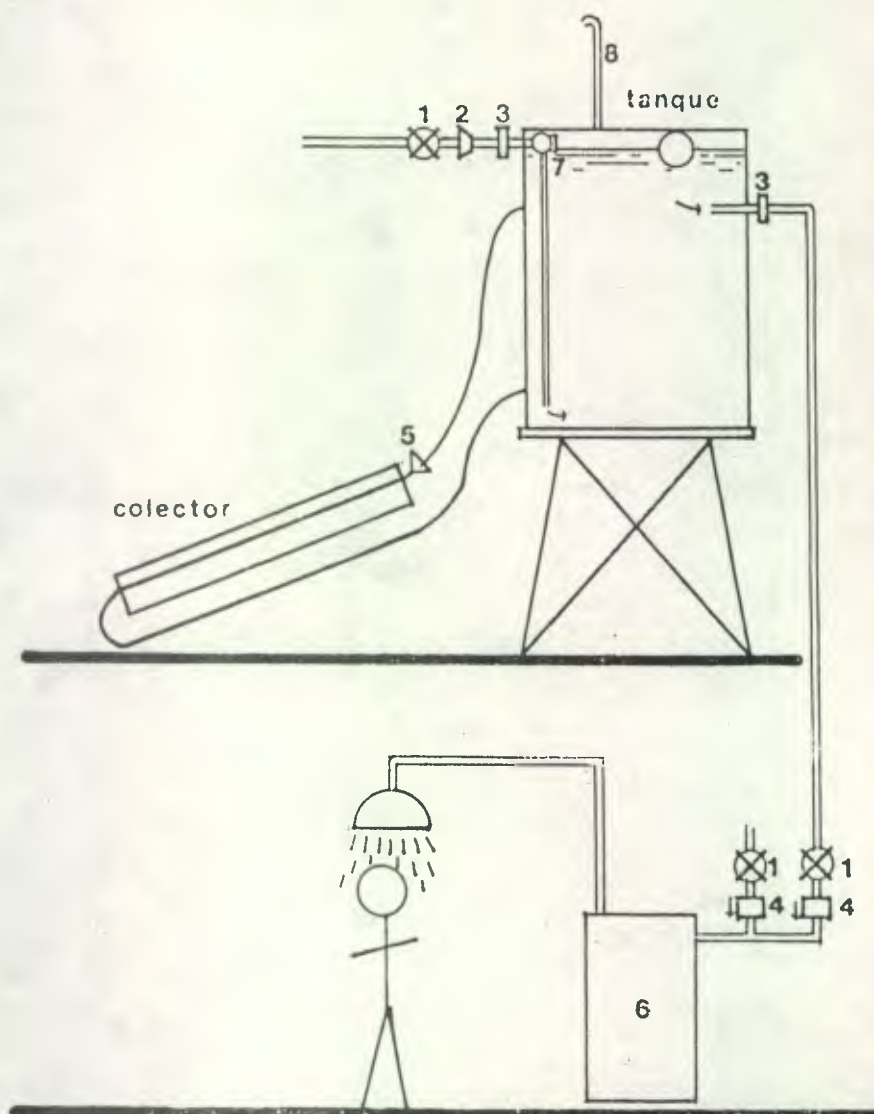
III.6.2 INSTALACION DEL SISTEMA

Básicamente en nuestro medio son utilizados dos tipos de instalación de los servicios de agua fría y caliente, tanto para usos domésticos como en los de tipo comercial, turismo, agropecuario e industrial:

- . Gravedad de depósitos elevados
- . Presión por sistema hidroneumático o distribución municipal a presión.

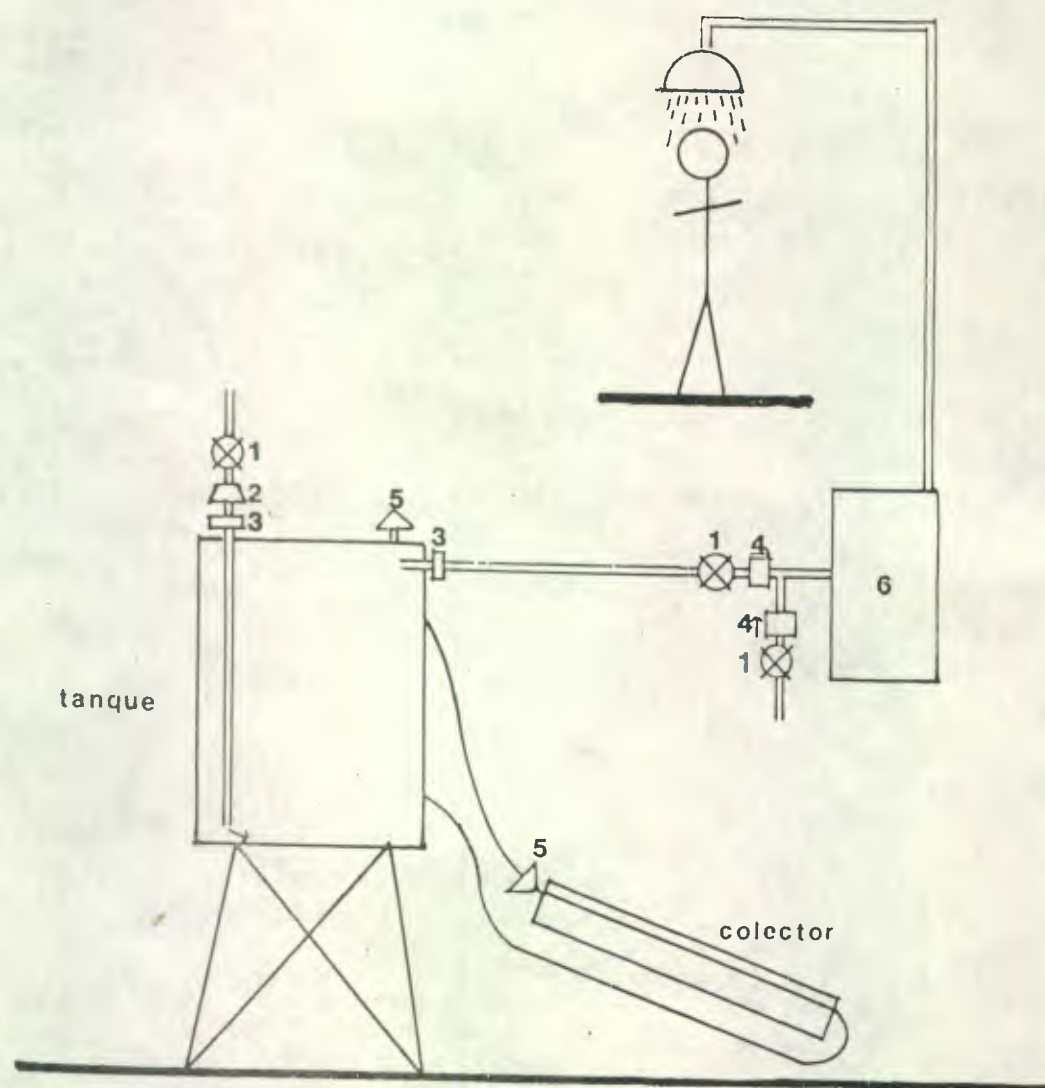
Hemos conocido de los sistemas termosifón y circulación forzada, estos sistemas se pueden integrar a cualquier tipo de instalación de servicio de agua por gravedad o presión según sea la fuente principal o caso particular. En los gráficos siguientes se pueden apreciar detalles esquemáticos de la instalación de calentadores solares para cada tipo de instalación de servicio de agua.

FIGURA No. 8

INSTALACION DEL SISTEMA TERMOSIFON POR GRAVEDAD

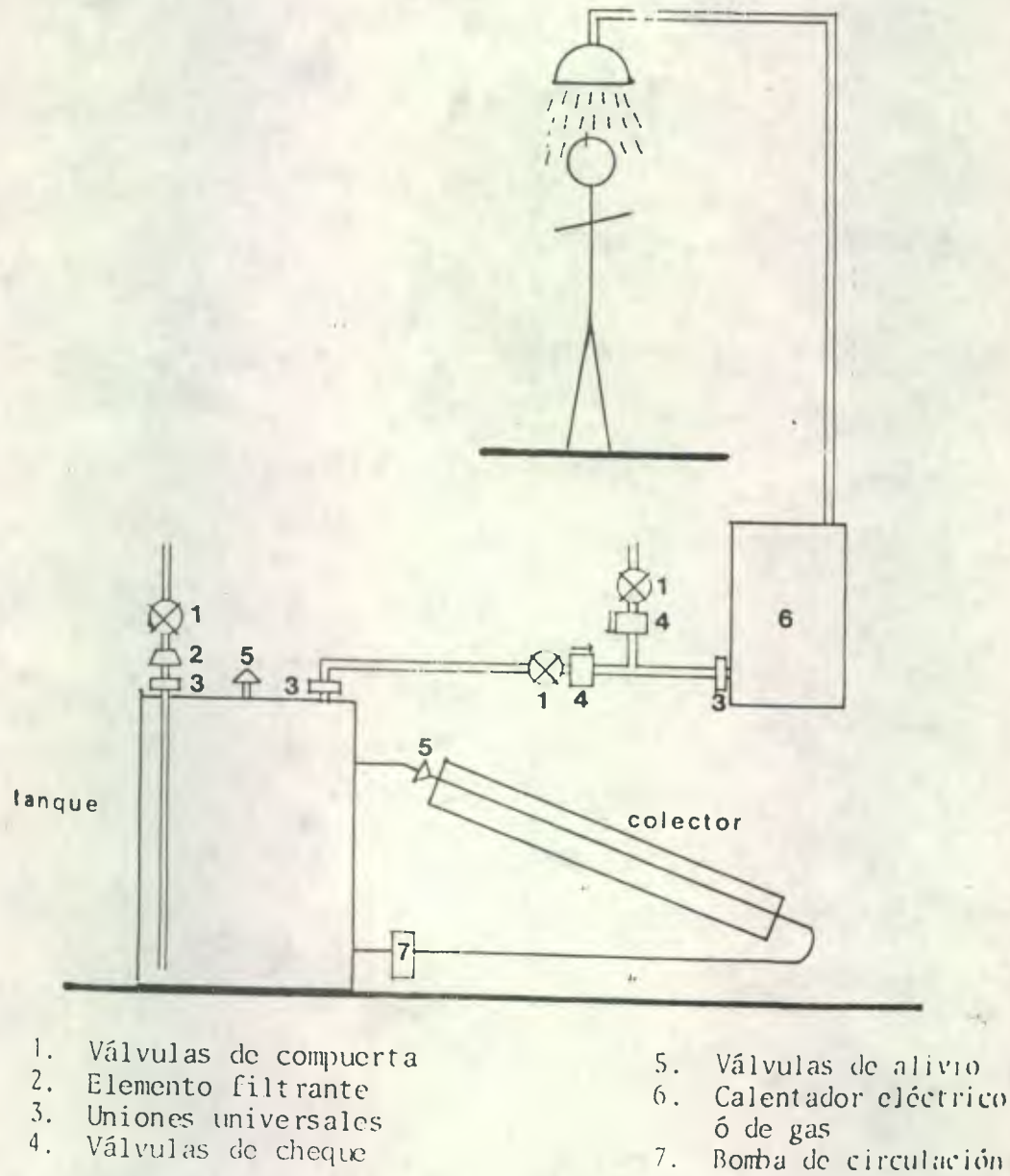
1. Válvulas de compuerta
2. Elemento filtrante
3. Uniones universales
4. Válvulas de cheque
5. Válvula de alivio
6. Calentador de gas ó eléctrico
7. Válvula de flote
8. Respiradero

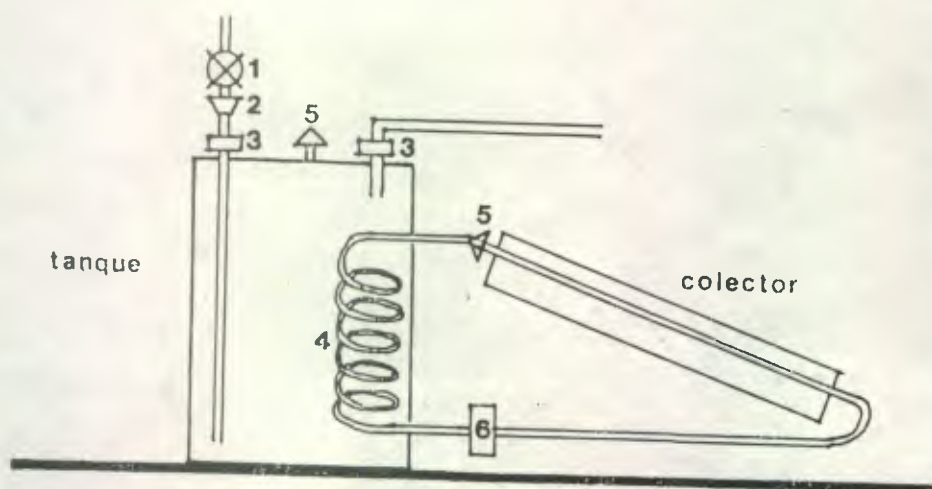
FIGURA No.10 INSTALACION DEL SISTEMA TERMOSIFON A PRESION



1. Válvulas de compuerta
2. Elemento filtrante
3. Unión universal
4. Válvulas de cheque
5. Válvulas de alivio
6. Calentador eléctrico o de gas

FIGURA
No.11 INSTALACION DEL SISTEMA DE CIRCULACION FORZADA A PRESION



INTERCAMBIADOR

1. Válvula de compuerta
2. Elemento filtrante o coladera
3. Unión universal
4. Intercambiador
5. Válvula de alivio
6. Bomba de circulación

FIGURA No. 12 Instalación de un intercambiador dentro del Acumulador de Calor.

III.6.3 MANTENIMIENTO

El mantenimiento requerido por los calentadores de agua solares es mínimo, se indica que una limpieza periódica cada 3 meses en las cubiertas externas de los colectores es recomendable para quitar el polvo que pueda obstaculizar el paso de la radiación al interior del colector.

Un lavado interior en el depósito y ductos del colector en períodos semestrales o anuales constituye una práctica que contribuye a la larga duración del equipo, eliminando posibles obstrucciones en el equipo. Se deberán inspeccionar y mantener en buenas condiciones los revestimientos anticorrosivos, aislamientos térmicos y la pintura exterior del sistema solar.

En sistemas de circulación forzada es necesario además, un mantenimiento cada 12 meses de la bomba de circulación, así como inspecciones del funcionamiento correcto de los sensores, platinos del contacto y el sistema eléctrico de control general (9,17).

IV. MATERIALES Y METODOS

Los estudios preliminares de investigación bibliográfica, consultas con personas con conocimientos en Energía Renovable, determinaron que la experiencia se realizara en el Campus de la Facultad de Agronomía, bajo condiciones severas de la estación de Invierno, con nublados parciales y lluvias intermitentes.

Los materiales para medición de las constantes climáticas se obtuvieron en el Centro de Investigaciones de Ingeniería -CII- de la Facultad de Ingeniería, en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología - INSIVUMEH- y la Asociación Guatemalteca de Energía Solar -AGES-.

Esto determinó que el Sistema de Termosifón es sencillo, funcional, auto-regulable y fácilmente aplicable a nuestro medio sub-tropical. La funcionalidad del sistema y su sencillez son las cualidades que facilitaron un criterio de Diseño y Construcción del Prototipo Solar, involucrando materiales baratos y accesibles en los mercados nacionales y mano de obra con destreza mínima de nuestro medio.

Se logró un rendimiento y eficiencia razonable, con costos relativamente menores que otros sistemas más sofisticados que utilizan Energía no Renovable y son importados al país, siendo una fuente en gasto de divisas, para nuestro país representa una pérdida de su capacidad de producir y exportar productos netamente nacionales.

IV.1 UBICACION GEOGRAFICA DEL CAMPO DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en el Campus de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, jurisdicción del departamento de Guatemala, en la República de Guatemala, América Central.

Las coordenadas geográficas del campo de estudio donde se realizó la Construcción y evaluación del sistema experimental solar son:

LATITUD: 14° 35' 11" NORTE

LONGITUD: 90° 31' 58" OESTE

ALTITUD: 1502 MSNM

El área donde se montó el ensayo está localizada contiguo al Edificio T-8 de la Facultad de Agronomía. El estudio fué conducido en el jardín del Campus, alejado de obstáculos, permientiendo así recibir una suficiente radiación global. En el techo del edificio se llevó a cabo la medición de la intensidad de radiación, el cual tiene una superficie plana para colección y captación de energía radiante, suficientemente amplia dada la amplitud de la losa puede obtenerse un adecuado suministro de energía térmica al resto de unidades de docencia practica. El estudio se inició en la primera quincena del mes de Septiembre de 1985 y finalizó en la primera quincena del mes de Junio de 1986.

HEMISFERIOS, ZONAS TERRESTRES



FIGURA No. 13 Mapa Mundial: ubicación geográfica de la República de Guatemala en C.A.

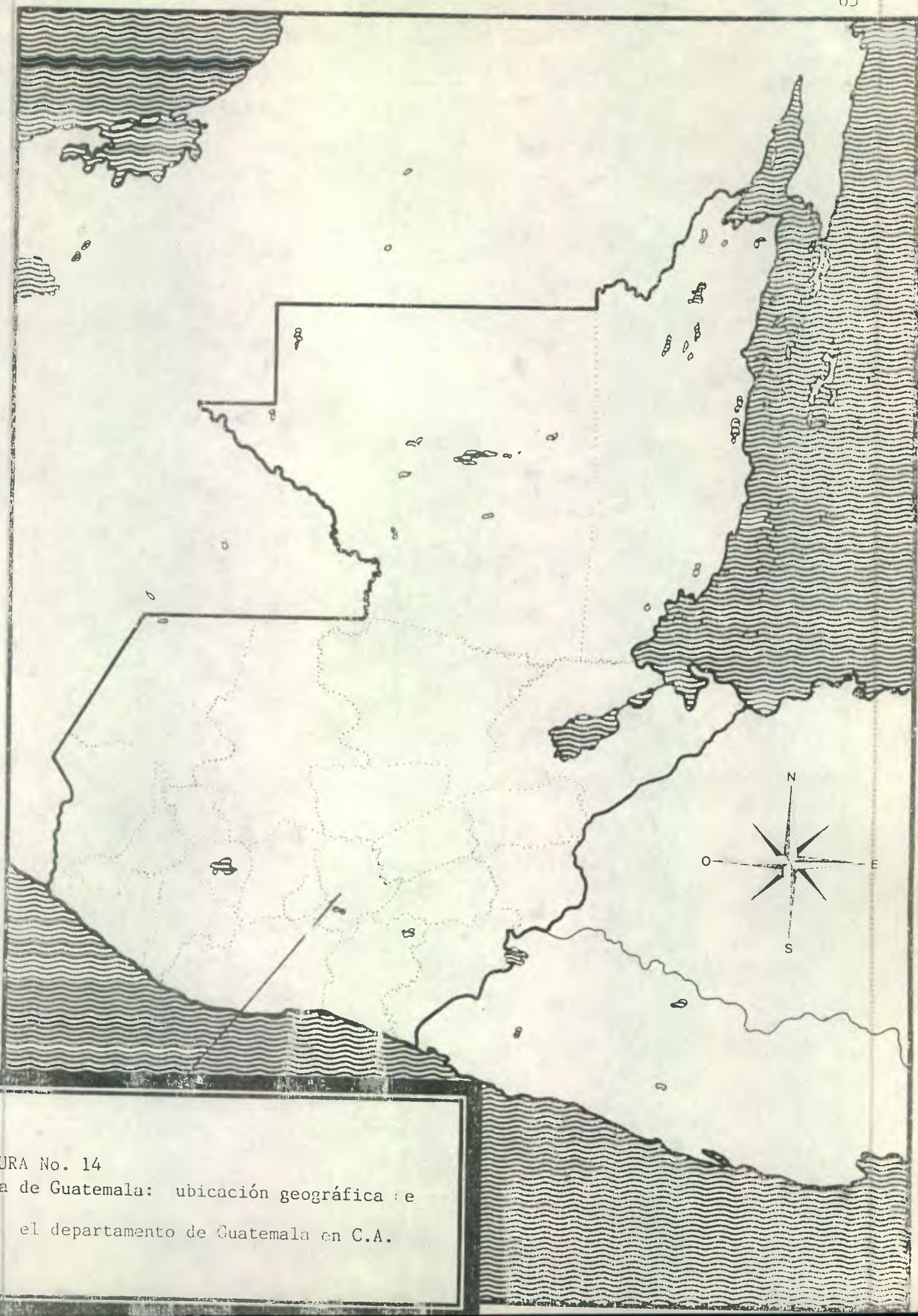


FIGURA No. 14
Mapa de Guatemala: ubicación geográfica de
el departamento de Guatemala en C.A.

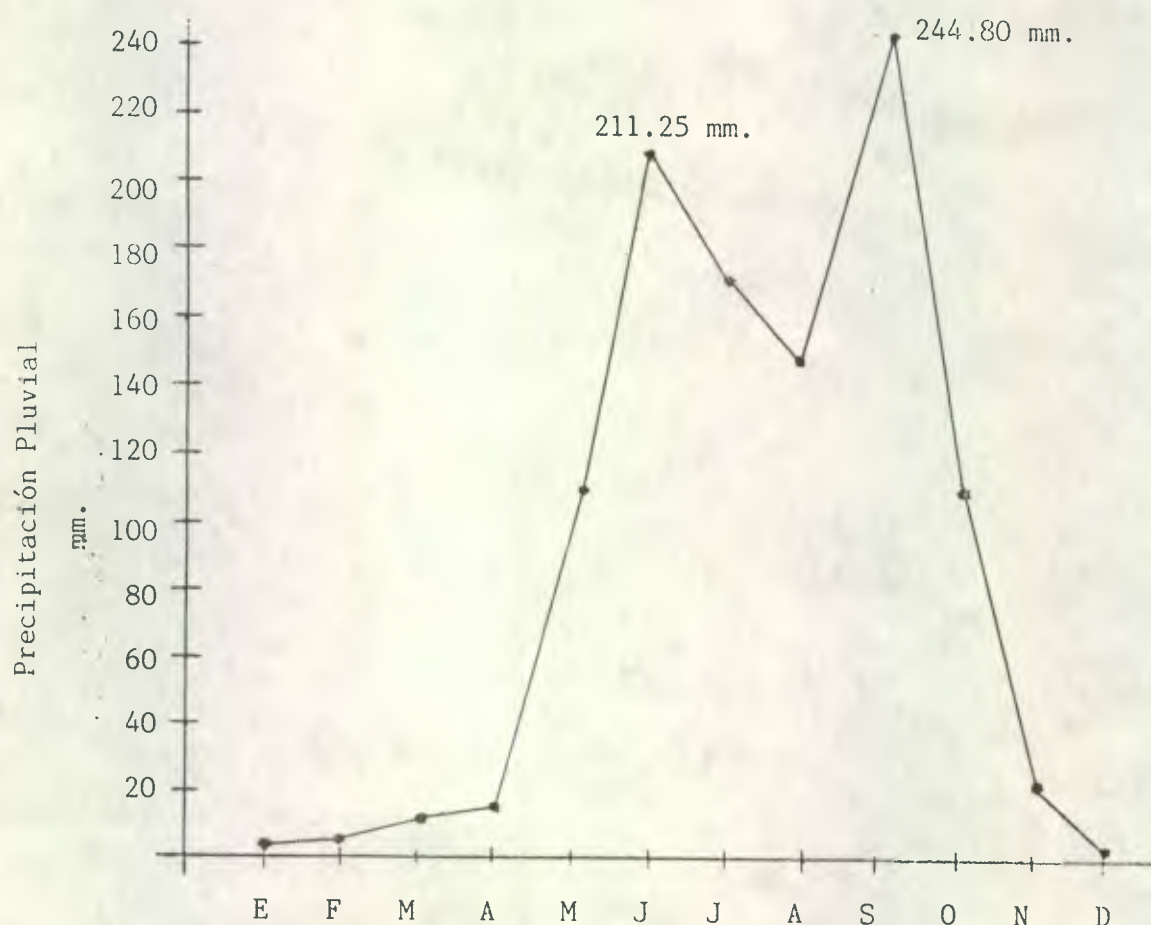
GUATEMALA



IV.2 CLIMATOLOGIA Y ZONA DE VIDA

IV.2.1 PRECIPITACION PLUVIAL:

Las lluvias que se presentan en el Campus son de tipo Frontal, iniciándose el Invierno en el mes de Mayo. Las máximas intensidades de lluvia se registran en los meses de Junio y Septiembre con valores de 211.25 mm. y 244.80 mm. y con 21 y 22 días de lluvia respectivamente. El promedio anual de lluvia es de 1070.6 mm. repartidos en 118.9 días. En el mes de Octubre se reduce la intensidad del Invierno, hasta la entrada del Verano en el mes de Enero. La época de verano se prolonga hasta el mes de Abril, siendo Enero el de menor precipitación pluvial para ésta región.



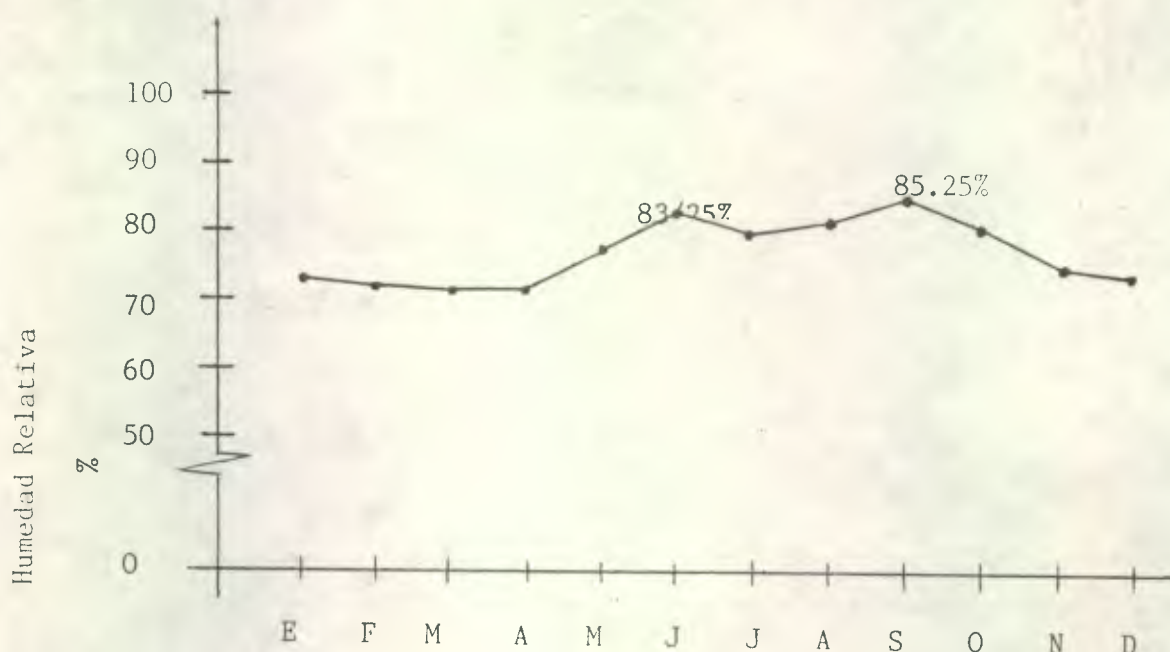
Gráfica No. 9 Distribución de la Precipitación Pluvial media en el año para el área de la Facultad de Agronomía



FIGURA No. 16 Isopletas anuales promedio en Junio para Guatemala.

IV.2.2 HUMEDAD RELATIVA:

Las dos estaciones climáticas, bien diferenciadas en la región, establecen el grado de humedad en el ambiente y por ende, determinan la perturbación atmosférica. De Junio a Septiembre se reportan valores de 83.25% y 85.50% de Humedad Relativa media y de Enero a Mayo 73% y 77% respectivamente. La Humedad Relativa mínima es de 72.3% y la máxima de 86%, siendo los meses más húmedos Junio y Septiembre.



Gráfica No. 10 Comportamiento de la Humedad Relativa media mensual para el área del Campus de la Facultad de Agronomía.

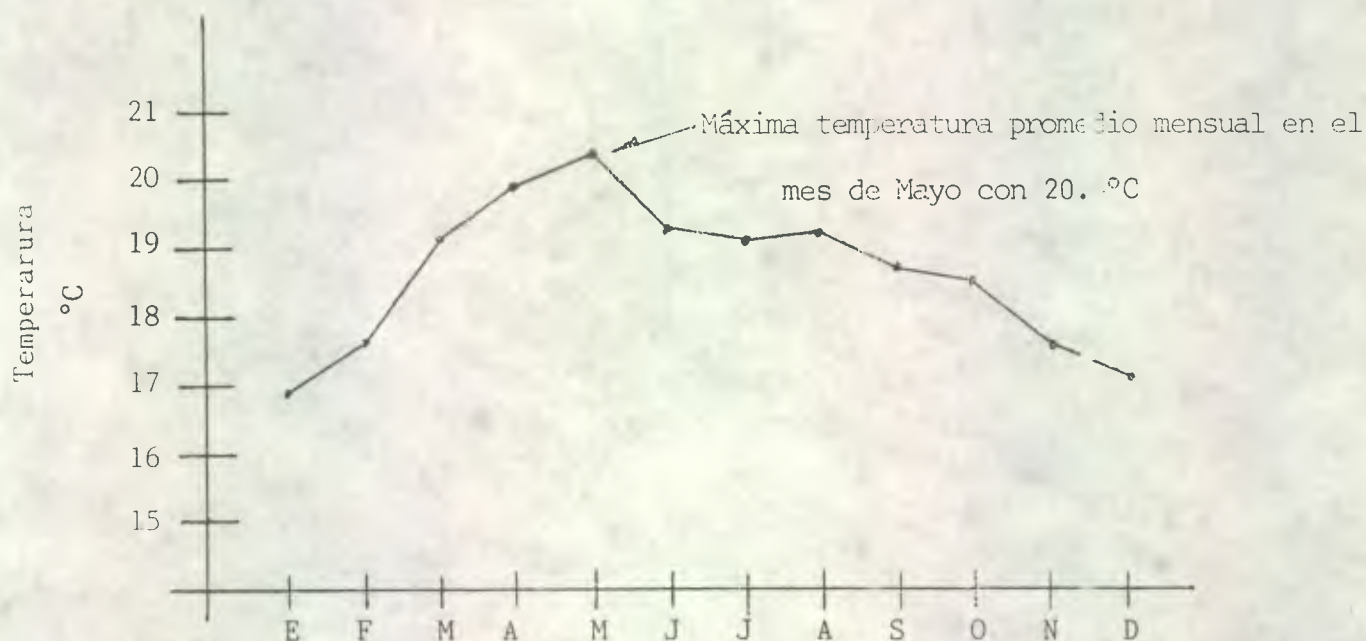
FUENTE: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- Tarjetas de control de la estación meteorológica de Guatemala. 1970-1986.



FIGURA No. 17 Isohidras anuales promedio en Junio para Guatemala.

IV.2.3 TEMPERATURA:

La temperatura media anual es de 18.7°C . Los meses de Abril y Mayo reportan las temperaturas promedio máximas con valores de 20°C y 20.4°C para ambos meses. La temperatura promedio mínima se registra en los meses de Diciembre y Enero con 17.2°C y 16.9°C respectivamente.

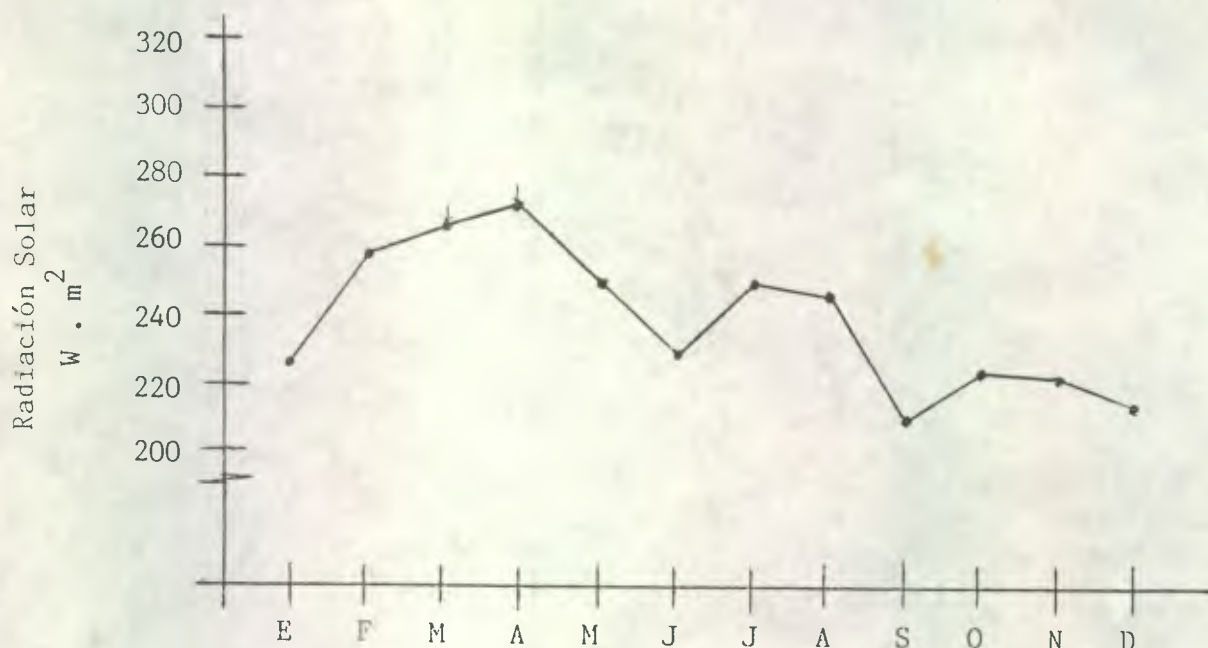


Gráfica No. 11 Variación de las Temperaturas medias mensuales por el área del Campus de la Facultad de Agronomía.

FUENTE: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- Tarjetas de control de la estación meteorológica de Guatemala. 1970-1986.

IV.2.4 RADIACION SOLAR:

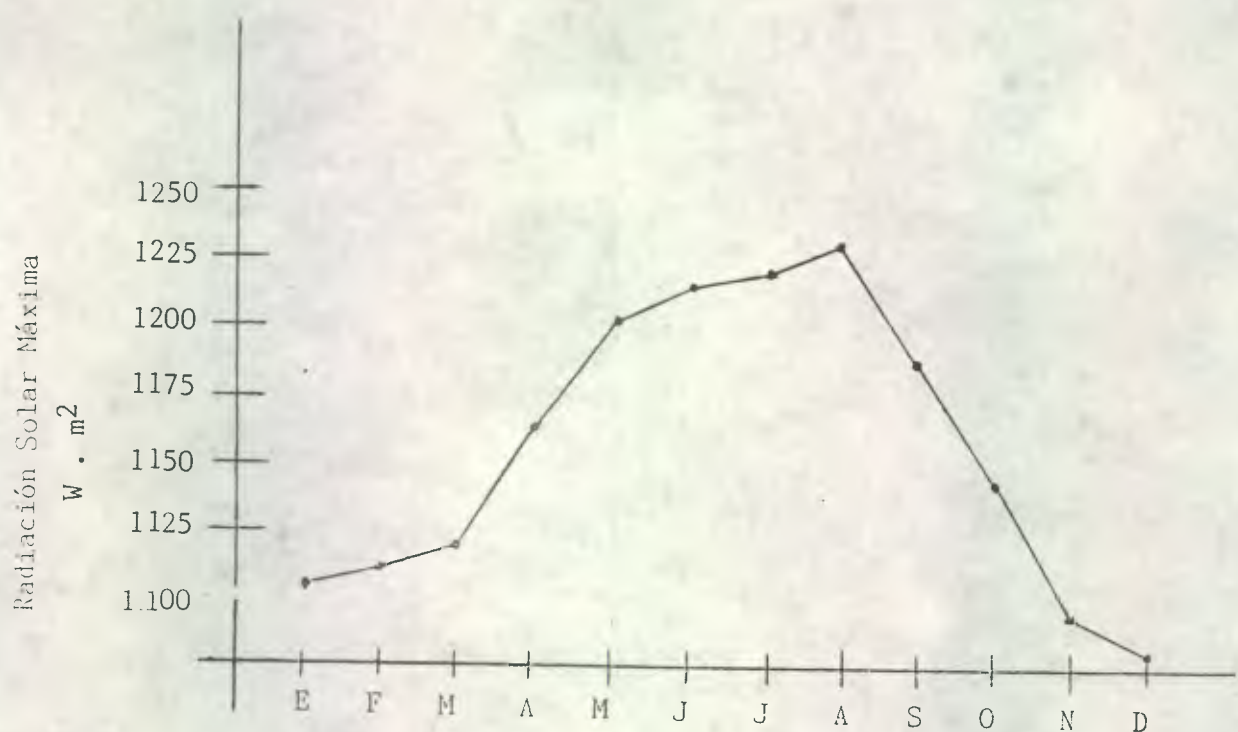
Los registros de Radiación Solar que es recibida en el valle de Guatemala, indican que los meses de Mayor radiación solar media son Marzo y Abril con 266.4 W. m^2 y 272.0 W. m^2 y con un flujo de radiación de $11,507.6 \text{ KJ. m}^2$ y $11,808.9 \text{ KJ. m}^2$ para ambos meses de menor radiacion media durante el año son Junio y Septiembre con 226.6 W. m^2 y 209.2 W. m^2 y un flujo de radiación de $9,790.5 \text{ KJ.m}^2$ y $9,037.4 \text{ KJ.m}^2$



Gráfica No.12 Comportamiento de la Radiación Solar media anual recibida en el Campus de la Facultad de Agronomía

FUENTE: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología - INSIVUMEH - Tarjetas de control de la estación meteorológica de Guatemala. 1970-1986.

Los registros de la Radiación Solar máxima promedio que recibe el valle de Guatemala nos indican que en los meses de Julio y Agosto se reciben en promedio 1222.4 W.m^2 y 1230.2 W.m^2 . El flujo de radiación para ambos meses está en el orden de $52,808.5 \text{ KJ.m}^2$ y $52,597.6 \text{ KJ.m}^2$ respectivamente.

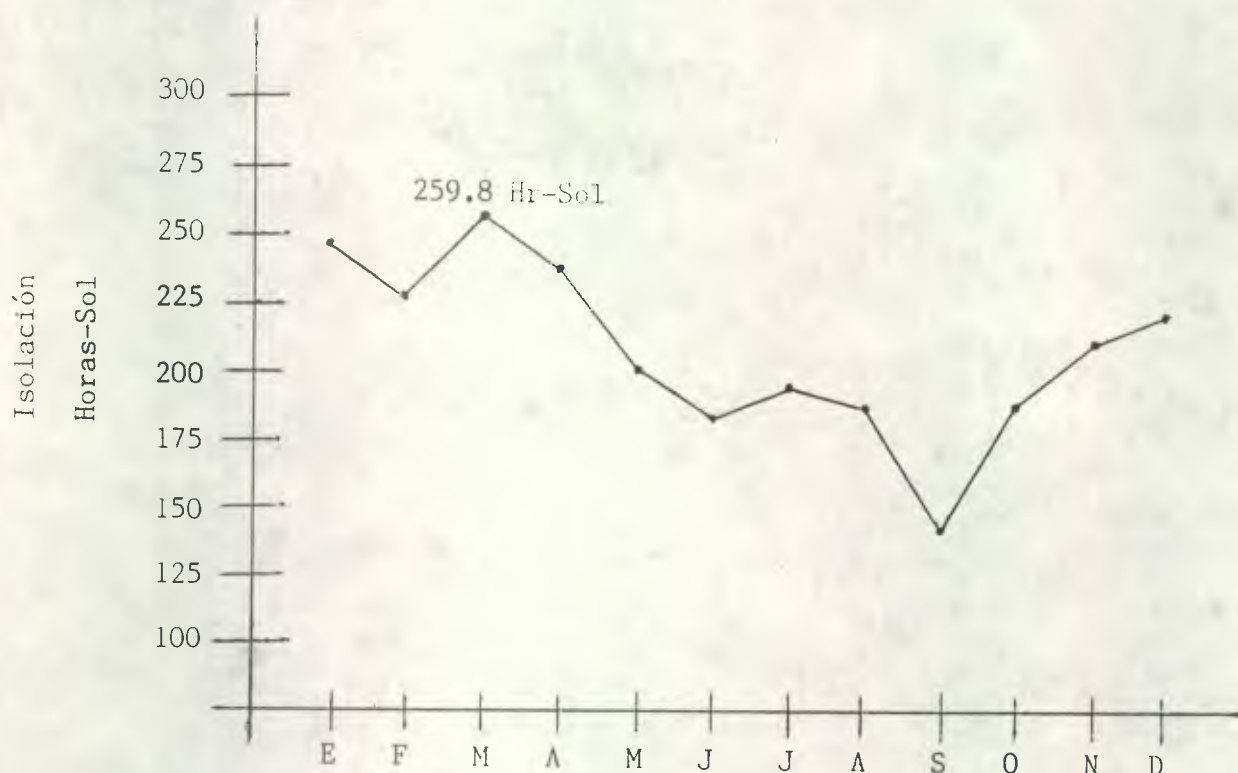


Gráfica No. 13 Comportamiento de la Radiación Solar máxima promedio anual recibida en el Campus de la Facultad de Agronomía.

FUENTE: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- Tarjetas de control de la estación meteorológica de Guatemala. 1970-1986.

IV.2.5 INSOLACION:

Acorde a los registros de 16 años, Guatemala tiene una abundante Radiación Solar por su ubicación geográfica. Los meses de Enero y Marzo tienen 249.8 horas-sol y 259.8 horas-sol media mensual. La tendencia a descender hacia la mitad del año se debe a la presencia de masas de humedad por la llegada del Invierno, debido al alejamiento del Sol por la Tierra en su movimiento de Traslación. Existe un promedio de 2479.9 horas-sol por año para la ciudad de Guatemala.

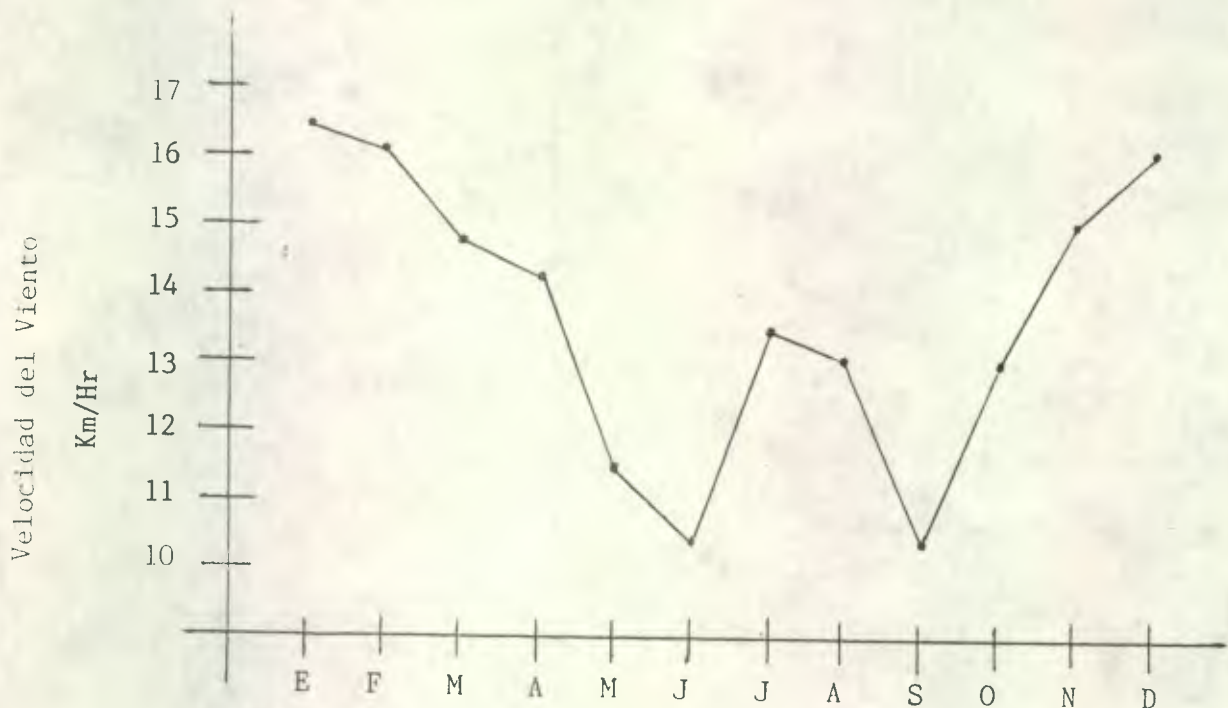


Gráfica No. 14 Comportamiento del día solar durante el año para el Campus de la Facultad de Agronomía.

FUENTE: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología - INSIVUMEH - Tarjetas de control de la estación meteorológica de Guatemala. 1970-1986.

IV.2.6 VELOCIDAD DEL VIENTO:

La velocidad= del viento media es de 13.8 Km/Hora para el área de la ciudad de Guatemala. Los meses de mayor intensidad eólica se registran en Enero y Diciembre con 16.5 Km/Hr y 16.1 Km/Hr. respectivamente. Los meses de menor intensidad eólica se registran en Junio y Septiembre con 10.6 Km/Hr. y 10.5 Km/Hr. respectivamente. Estos datos coinciden con los meses de mayor Precipitación Pluvial, por lo tanto reducen la intensidad de los vientos.



Gráfica No. 15 Comportamiento de la intensidad eólica media anual para el Campus de la Facultad de Agronomía.

FUENTE: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- Tarjetas de control de la estación meteorológica de Guatemala. 1970-1986.

IV.2.7 CLASIFICACION CLIMATICA:

Acorde a Thornthwaite (1966) el Campus de la Facultad de Agronomía está clasificado con los símbolos B'2 b' B i que caracterizan un clima templado, con invierno benigno, húmedo y vegetación natural característica de Bosques y lluvias con inviernos secos.

Jerarquia de Temperatura		
Símbolo		Carácter del Clima
B'2		Templado
Tipo de Variacion de la Temperatura		
Símbolo		Carácter del Clima
b'		Con Invierno benigno
Jerarquia de Humedad		
Símbolo	Carácter del Clima	Vegetacion Natural Caracteristica
B	Húmedo	Bosque
Tipo de distribución de Lluvia		
Símbolo		Carácter del Clima
i		Con Invierno seco

Cuadro No.10 Clasificación Climática para el Campus de la Facultad de Agronomía, según el sistema Thornthwaite.

FUENTE: Sección de Climatología. Departamento de Sistemas Atmosféricos
 -INSIVUMEH- Atlas climatológico de la República de Guatemala. 1986

IV.2.8 ZONA DE VIDA:

Según De la Cruz (4) el área de la Facultad de Agronomía se encuentra comprendida en su mayor parte dentro de lo que es el Bosque Húmedo Sub-Tropical (templado) - bh - S (t) - Es muy extensa y tiene muchas asociaciones edáficas a diferentes alturas. El período en que las lluvias son mas frecuentes corresponde a los meses de Mayo a Noviembre, variando en intensidad según la situación orográfica que ocupan las áreas de la zona. La precipitación pluvial oscila entre 1100-1349 mm. como promedio total anual. La Biotemperatura media anual para ésta zona, varía entre 20°C y 26°C. La relación de evapotranspiración potencial es de alrededor de 1:0.

IV.3 MATERIALES DE MEDICION

Los materiales utilizados para llevar los registros de la prueba experimental fueron de valiosa ayuda para un control real del funcionamiento del sistema solar.

- Termómetros: registraron la temperatura del agua caliente y la ambiental °C
- Piranómetro 848 Marca Eppley: detectan la radiación solar global
- Integrador computarizado 412 Marca Eppley: mediante pulsaciones eléctricas recibe información detectada por el Piranómetro y la acumula utilizando el sistema internacional de medidas de Watt-Hr/m².
- Tarjetas de control de acumulación de la radiación recibida y la temperatura dentro del sistema y en el ambiente.
- Cable blindado conector: une la información colectada del Piranómetro al Integrador.
- Cables de Conexión: une el integrador a una alimentación eléctrica.

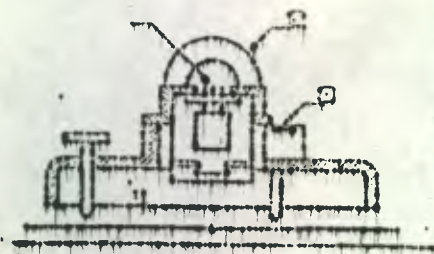
EQUIPOS DE MEDICION;

Para fines prácticos de medición de la radiación solar global recibida en diferentes lugares se utilizan medidores de inslación. En Guatemala existen dos fuentes para obtener éstos datos y son:

-El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH,

-La Asociación Guatemalteca de Energía Solar AGES.

El Piranómetro es un aparato que convierte la energía de la radiación en otra forma de energía que puede ser medida de manera más conveniente. (1) La Termopila o célula fotoeléctrica detecta la radiación que pasa a través de una doble semi-esfera (2) de vidrio. Este aparato mide únicamente la radiación global, es decir se utilizan para determinar el valor de la radiación directa (I), y de la radiación difusa (D), insidiendo sobre un plano horizontal que se ajusta por un nivel (3).



PIRANOMETRO EPPLEY 848

El Heliógrafo es el instrumento utilizado para la determinación de las horas-sol o insolación. (1) La esfera de vidrio concentra la radiación en un punto sobre el papel especial (2) que se quema en 6 puntos (3) cuya longitud es proporcional a la dirección de la insolación,

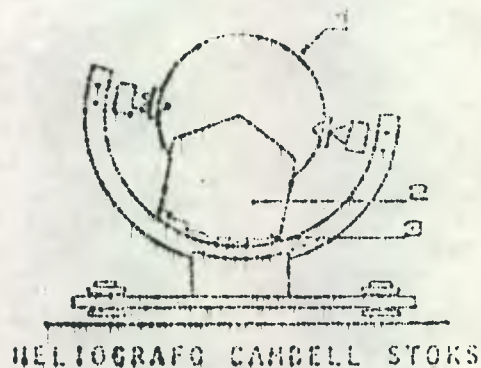


FIGURA No. 19 Equipo para medición de la radiación solar.

IV.4 METODO DE EVALUACION DE RENDIMIENTOS Y EFICIENCIAS

La metodología para evaluar los rendimientos y eficiencias del sistema experimental se basó en tres prácticas durante tres días consecutivos en la época de lluvia en la primer quincena de Junio de 1986. Se realizaron extracciones periódicas de agua caliente a intervalos de una hora con reposición de agua fría al sistema solar. Las pruebas se iniciaron el día miércoles 11, jueves 12 y viernes 13 de Junio de 1986, de las 6:00 AM a las 6:00 PM con el objetivo de observar el rendimiento del sistema experimental bajo condiciones de consumo y recuperación con reposición de agua fría.

El procedimiento evaluado en ésta prueba consistió en tomar lecturas de temperatura del calentador solar y del acumulador de calor cada hora, efectuandose las extracciones en ese mismo instante. La temperatura del agua de extracción es igual a la temperatura media del colector solar y del acumulador de calor registrada a la hora correspondiente. También se procedió a tomar lecturas del Piranómetro para registrar la radiación solar global incidiendo a cada hora y del Integrador computarizado que acumula la información recibida por la foto-pila del Piranómetro Eppley.

IV.4.1 METODO DE EVALUACION DE RENDIMIENTO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL

IV.4.1.1 CONTROL DE RENDIMIENTO DE LA PRIMERA PRUEBA

La primera prueba se llevó a cabo el día miércoles 11 de Junio de 1986, iniciándose al alba a las 6:00 AM y finalizando al atardecer a las 6:00 PM. El día se inició con una condición climática de poca nubosidad en la mañana y parcialmente nublado por la tarde, con zonas de actividad eléctrica y viento del Norte con baja intensidad. Durante éste día se simuló un consumo típico para los laboratorios, efectuandose extracciones cada hora de un volumen de 9 litros. Se incrementaron las extracciones a 12 litros después de las 11:00 AM hasta las 16:00 simulando un consumo típico fuerte para las prácticas docentes de los laboratorios.

La temperatura media del colector estuvo en el rango de 19°C mínima a las 6:00 AM y alcanzó una sorprendente alza máxima de 65°C a las 11:00 AM es decir 3.42 veces la temperatura del agua fría. La temperatura media del acumulador de calor fue de una mínima de 22°C a las 6:00 AM y una máxima de 52.1°C es decir 2.37 veces la temperatura de abastecimiento de agua fría, a las 12:00 AM.

Durante el día se extrajeron un total de 135 litros a una temperatura media de 42.1°C que equivalen a 67.5% del volumen total del Acumulador de Calor. Se presentó una radiación media de $475.80 \text{ Watts} \cdot \text{m}^2$, un día solar de 10.2 horas-sol, un flujo de radiación de $17,471.37 \text{ KJ} \cdot \text{m}^2$, una temperatura ambiente media de 21.4°C , un viento promedia de 13.2 Km/Hr, con dirección NNE, una humedad relativa de 57.3% durante el período de conducción del experimento.

IV.4.1.2 CONTROL DE RENDIMIENTO DE LA SEGUNDA PRUEBA:

La segunda prueba se llevó a cabo el día jueves 12 de Junio de 1986 iniciándose a las 6:00 AM y finalizando a las 6:00 PM. El día se inició con una condición climática de poca nubosidad por la mañana y parcialmente nublado por la tarde, con una insolación intermitente a partir de las 15:30 PM y viento NNE de baja intensidad. Durante el día se continuaron las extracciones periódicas durante un sol radiante durante cada hora para observar la recuperación del sistema y obtener de él el máximo de recuperación de agua caliente a temperaturas racionales. Se extrajeron un total de 142 litros de agua caliente durante éste período experimental, lo que equivale a 71% del volumen total del Acumulador de Calor. Este incremento en extracción se debió a un sol radiante al zenith, hecho que coincide con el horario de laboratorios de la facultad, simulando el período de conducción de prácticas, para observar el comportamiento del rendimiento del sistema una temperatura promedio de 45.4°C.

La temperatura media del Acumulador de Calor era mínima a las 6:00 AM de 35.4° y la temperatura media del día anterior fué de 40.6°C, lo que equivale a decir que perdió 5.1°C durante toda la noche, en la cual hubo ausencia de radiación solar. La temperatura media del Colector Solar estuvo en el rango de 19.1°C mínima a las 6:00 AM y una máxima de 68.0°C a las 11:00 AM. Estas temperaturas fueron sorprendentes a pesar de la bruma presente en el día y la intermitencia de Insolación a partir de las 15:30PM. La temperatura media del Acumulador de calor fué de 35.4°C mínima a las 6:00 AM y de 55.2°C máxima a las 15:00 PM.

Hubo una radiación media de 508.52 Watts . m², una Insolación de 9.0 horas-sol un flujo de radiación de 16,479.29 KJ . m², una temperatura ambiente media de 21.1°C, un viento medio de 12.4 Km/Hr. con dirección NNE, una Humedad Relativa de 58.2% durante el período de conducción del experimento.

IV.4.1.3 CONTROL DE RENDIMIENTO DE LA TERCER PRUEBA:

La tercer prueba se realizó el día viernes 13 de Junio de 1986, iniciándose con pocos destellos de luz a las 6:00 AM y finalizando con lluvia a las 6:00 PM. El día se inició con una condición climática de Baja Presión, con nubosidad densa por la mañana y bastante nublado por la tarde con zonas de actividad eléctrica y lluvias intermitentes con vientos Norte de intensidad baja.

Se continuaron las extracciones periódicas a intervalos de cada hora de un volumen de 8 litros a pesar de las condiciones atmosféricas que fueron bastante severas por la ausencia de radiación directa. Se extrajeron un total de 104 litros de agua caliente durante éste período experimental, equivaliente a 52.0% del volumen total del Acumulador de Calor. Se realizó una prueba severa al sistema solar para evaluar el comportamiento en condiciones de muy poca intensidad de luz, bastante brumoso, siendo la temperatura promedio de 33.36°C.

La temperatura media del Acumulador de Calor a las 6:00 AM era de una mínima de 39.0°C y la temperatura media del día anterior fué de 45.35°C, ésto nos indica que durante la noche perdió 6.34°C por efectos de lluvia, viento y falta de radiación solar. La temperatura media del Colector Solar fué de 18.7°C mínima a las 6:00 AM y una máxima de 48.6°C a las 12:00 AM. La temperatura media del Acumulador de Calor fué de 33.4°C mínima a las 6:00 AM y 39.2°C máxima a las 9:00 AM.

Se registró una radiación media de 363.34 Watt.m², una Insolación de 3.5 horas-sol con intermitencia a partir de las 8:15 AM, un flujo de radiación de 4 458.38 KJ.m² una temperatura media ambiental de 18.9°C, un viento de 13.04 Km/Hr medio con dirección NNE y una Humedad Relativa de 84.6% y 0.9 mm. de Precipitación Pluvial.

IV.4.2 METODO DE EVALUACION DE EFICIENCIA DEL SISTEMA EXPERIMENTAL

El calor obtenido por el sistema experimental durante las pruebas realizadas corresponden al ganado por toda la masa de agua del depósito - (200Kg) de un día hacia el otro, más la suma del calor de cada extracción, con reposición de agua fría cuya temperatura media se estima en 2.8°C menor que la temperatura ambiente media. Esta estimación se basó en pruebas efectuadas a diversas horas del día. Este método se aplicó a todas las pruebas realizadas, por lo que:

$$\begin{array}{rclcl}
 \text{Calor obtenido} & & \text{Cambio interno en} & & \text{Calor extraído} \\
 \text{del Sistema} & = & \text{el Sistema} & + & \text{del Sistema} \\
 Q_p & & M C_p \Delta t & + & M_e C_p \Delta t_e
 \end{array}$$

La metodología aplicada para cada una de las pruebas para obtener el cambio interno en el sistema para los tres días es:

$$\begin{array}{rclcl}
 Q_{p \ 11} & = & 200 \times 1 \times (35.4-22.0) & + & M_e C_p \Delta t_e \\
 & = & 2,680 \text{ Kcal} & + & M_e C_p \Delta t_e \\
 Q_{p \ 12} & = & 200 \times 1 \times (39.0-35.4) & + & M_e C_p \Delta t_e \\
 & = & 720.0 \text{ Kcal} & + & M_e C_p \Delta t_e \\
 Q_{p \ 13} & = & 200 \times 1 \times (30.8-39.0) & + & M_e C_p \Delta t_e \\
 & = & - 1,640.0 \text{ Kcal} & + & M_e C_p \Delta t_e
 \end{array}$$

V. RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos de disponibilidad de energía fueron obtenidos de la Asociación guatemalteca de Energía Solar -AGES-, del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, de la Dirección General de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía -DGFN y RE -, del Centro de Investigaciones de Ingeniería -CII- del Instituto Nacional de Electrificación -INDE- y del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial -ICAITI-.

La metodología adoptada para el cálculo del potencial energético solar se ha desarrollado basada en instituciones como la Organización Latinoamericana de Energía -OLADE- y la Organización de Estados Americanos -OEA-.

V.1 ESPECIFICACIONES DE LA CONSTRUCCION DEL SISTEMA SOLAR:

Se describen las especificaciones del Prototipo del Colector Solar plano y del modelo de Acumulador de Calor construido con materiales accesibles, renovables y baratos.

- COLECTOR SOLAR:

- Tipo de Sistema: Termosifón
- Tipo de estructura: Cerrado Plano
- Estructura del Colector: Absorbedor de lámina galvanizada de techo de zinc y hierro de 0.81 x 2.05 mts. de un Área de colección de 1.68 m^2 y 7 mm de espesor.

- Sistema de Conducción del Flujo de Calor: 20.32 mts. de tubería de cobre tipo M de 13 mm de espesor en el flujo de agua y 19 mm en conectores a la red de distribución de agua.
- Cubierta: tres rectángulos de vidrio de 0.84 x 0.71 m y 5 mm de espesor.
- Aislamiento: material de desecho de duropore espolvoreado.
- Estructura del soporte: armado con reglas de cedro Cedrella odorata L. de dimensiones 0.10 x 0.02 m obtenible en la localidad.
- Tipo de sello: tiras de hule a lo largo del vidrio y aglutinante de silicon.
- Dimensiones del colector solar: 0.85 x 2.14 x 0.15 m.

Estos materiales sirvieron de base estructural para la construcción del Colector Solar Plano y del Acumulador de Calor. A continuación se ilustran las figuras de la secuencia de construcción y el resultado del sistema solar ya terminado puesto a funcionar en el Campus central de la Facultad de Agronomía.



FIGURA 20 Vista del Colector Solar Plano inclinado acorde a la Latitud Geográfica de Guatemala. Se aprecia el Absorvedor y la tubería del flujo de agua.



FIGURA 21 Vista de los acoples de la tubería aislada y las válvulas de control de paso de agua caliente hacia el Acumulador de Calor.

ACUMULADOR DE CALOR:

- Tipo de Sistema: acúmulo de la mezcla por termosifón y gravedad
- Capacidad: 200 litros.
- Aislamiento: desecho de duropore espolvoreado, adherido y fibra de vidrio.
- Tipo de Sello: pliego de plástico negro para salinas y cinta adhesiva de plástico polyester.
- Tipo: Tonel de acero de almacenaje de jabón con plástico interior.
- Dimensiones del Acumulador de Calor: 0.58 x 0.88 m.

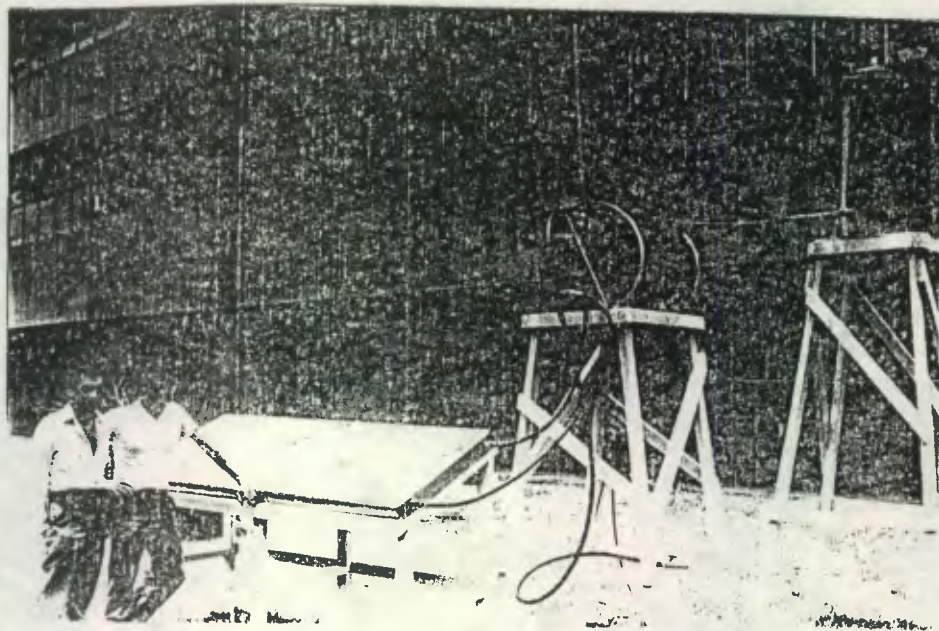


FIGURA 22 Ilustración del Acumulador de Calor con sus sistemas de control y seguridad y el tanque de alimentación auxiliar de almacenamiento.

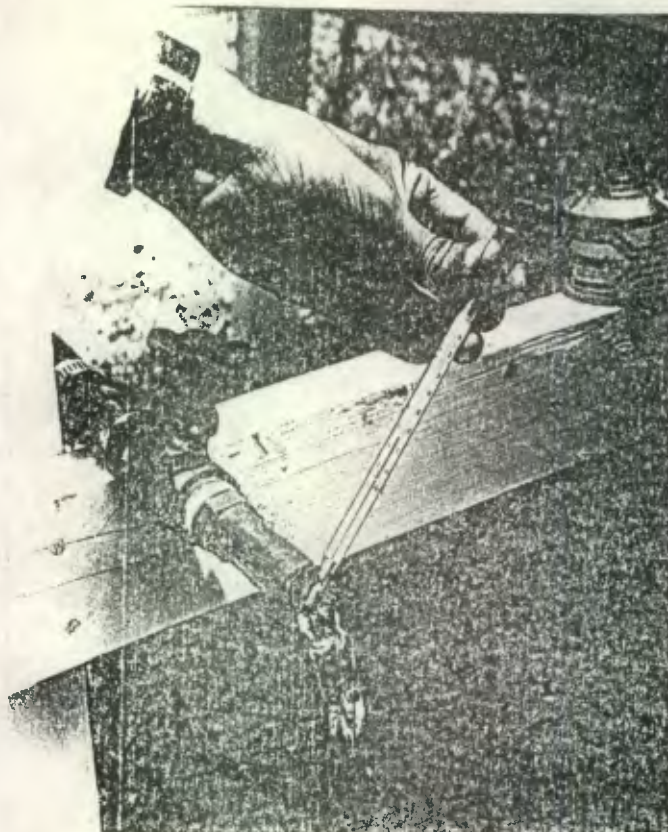


FIGURA 23 Agua caliente generada mediante energía solar proveniente del Acumulador de Calor. Se aprecian 48.3°C generadas mediante una fuente limpia.



FIGURA 24 Extracciones periódicas de agua caliente para verificar el rendimiento del sistema experimental en la época de Invierno bajo condiciones fuertes.



FIGURA 25 Ilustración del Sistema Solar en pleno funcionamiento y completamente aislado.

CUADRO RESUMEN DE REGISTRO DE COSTOS DEL SISTEMA SOLAR DE TERMOSIFON EXPERIMENTAL
No. 11

I. COLECTOR SOLAR:

VALOR EN QUETZALES Q.

Estructura de madera de cedro <u>Cedrella odorata</u> L.	Q. 16.00
Absorvedor de lámina galvanizada de zinc para techo	18.56
Materiales de la tubería de Cobre	130.76
Materiales de fijación de la tubería y colector	4.62
Recubrimiento de la superficie del absorvedor	5.81
Selladores y aglutinantes	19.80
Cubiertas de lámina galvanizada de zinc posterior y lateral	30.90
Cubierta de vidrio para la superficie anterior	88.35
Aislante	<u>18.39</u>
	Q. 335.89

II. ACUMULADOR DE CALOR:

Tonel de acero y refuerzo con plastico interior	25.00
Recubrimiento con pintura exterior anticorrosiva	8.51
Recubrimiento de plastico negro salinero	11.94
Accesorios de Plomería	8.29
Aislante	<u>24.34</u>
	78.08

Sub-total 413.97

III. SISTEMA DE CIRCULACION DE FLUJO ENTRE ACUMULADOR-COLECTOR:

Acoples de flujo	Q. 11.40
Tubería de mangueras de polyducto negro	7.00
Recubrimiento de la red de distribución	13.14
Accesorios de Plomería	6.90
Aislante	<u>24.46</u>
	62.90

IV. ABASTECIMIENTO, DESCARGA, SISTEMAS DE SEGURIDAD Y CONTROL:

Acoples y ductos de ventilacion	15.09
Válvulas de paso de agua	<u>38.42</u>
	Q. 53.51
	=====
Sub-total	Q. 116.41

RESUMEN:

I. Colector Solar	Q. 335.89
II. Acumulador de Calor	78.08
III. Sistema de circulación de flujo entre Acumulador-colector	62.90
IV. Abastecimiento, descarga, sistemas de seguridad y control	<u>53.51</u>
	Q. 530.38

CUADRO No. 12

CONTROL DE RENDIMIENTO

Día: Miércoles 11 de Junio de 1986

Radiación Total: 6,185.42 W . m²

Insolación : 10.2 Horas-Sol

Radiación Media Disponible: 475.80 W . m²

Temperatura ambiente media : 21.4°C

Flujo de Radiación durante el día: 17,471.37 KJ . m²

Viento: NNE 13.2 Km/Hr.

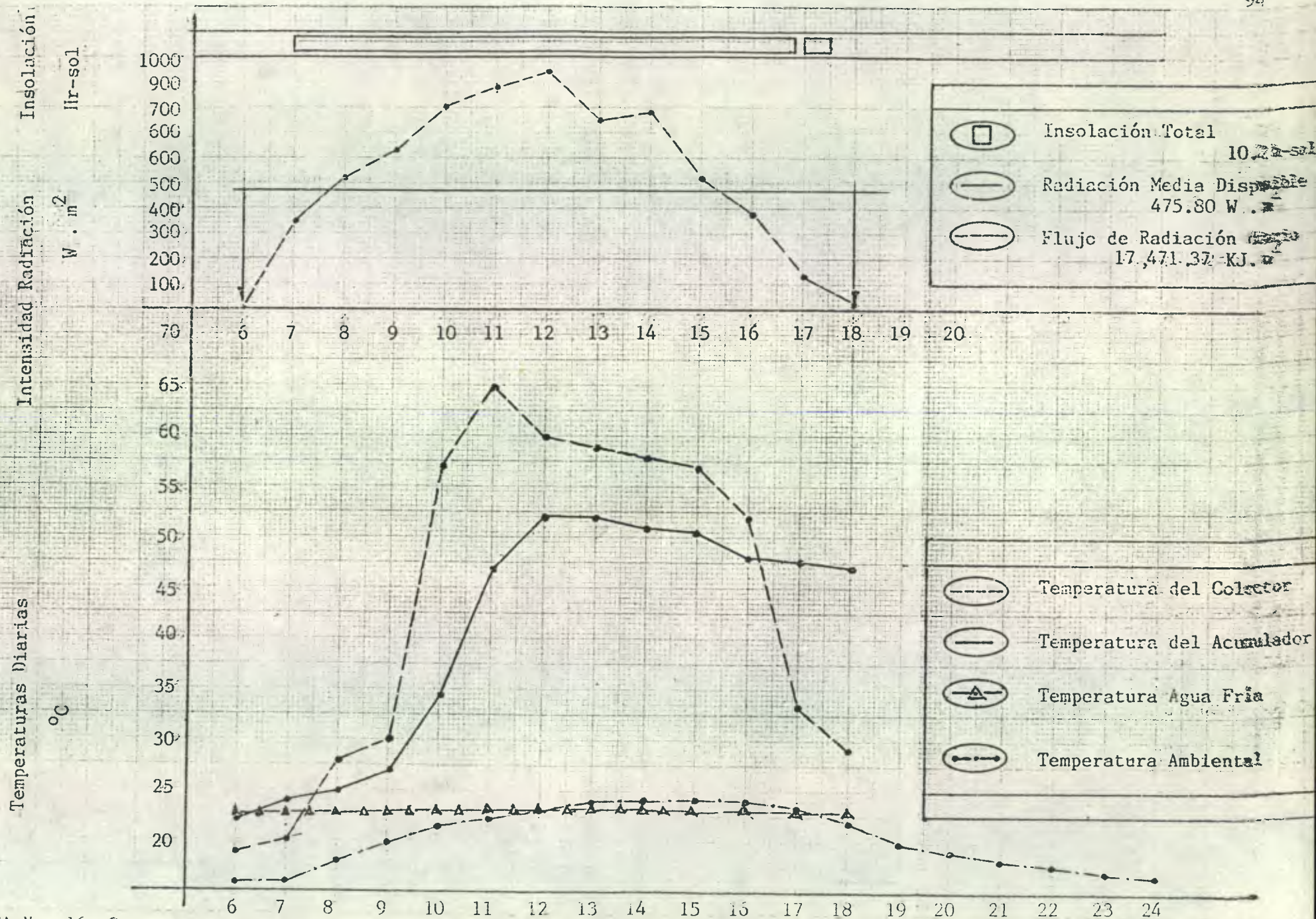
Humedad Relativa : 57.3%

DATOS REGISTRADOS

Hora	Radiación Diaria Watt-Hr/m ²	T°Colector °C	T°Acumulador °C	T°Ambiente °C	T°Agua Fría °C	Extracción Litros
6:00 AM	000.00	19.0	22.0	16.0	22.7	9
7:00 AM	348.67	20.3	24.0	16.0	22.8	9
8:00 AM	522.99	28.0	25.0	18.0	22.8	9
9:00 AM	634.57	30.0	27.0	19.6	23.0	9
10:00 AM	801.93	57.0	32.0	22.0	23.0	9
11:00 AM	841.69	65.0	47.0	22.6	23.1	12
12:00 AM	941.40	60.0	52.1	23.2	23.1	12
13:00 PM	732.20	59.0	52.0	24.0	23.2	12
14:00 PM	781.01	58.0	52.0	24.0	23.1	12
15:00 PM	523.00	57.0	50.8	24.4	23.0	12
16:00 PM	383.53	52.0	48.2	24.0	23.4	12
17:00 PM	139.47	33.8	48.7	23.8	23.1	9
18:00 PM	34.87	29.1	47.1	22.0	23.0	9

Día Jueves 12 de Junio de 1986

6:00 AM	104.60	19.1	35.4	16.0	22.7
---------	--------	------	------	------	------



GRAFICA No. 16 Comportamiento del Sistema experimental para la primera prueba.

CUADRO No. 13

CONTROL DE RENDIMIENTO

Día : Jueves 12 de Junio de 1986

Radiación Total : 6,610.68 W . m²

Insolación: 9.0 Horas-Sol

Radiación Media Disponible : 508.52 W . m²

Temperatura ambiente media: 21.1°C

Flujo de Radiación durante el día: 16,479.29 KJ.m²

Viento : NNE 12.4 Km/Hr.

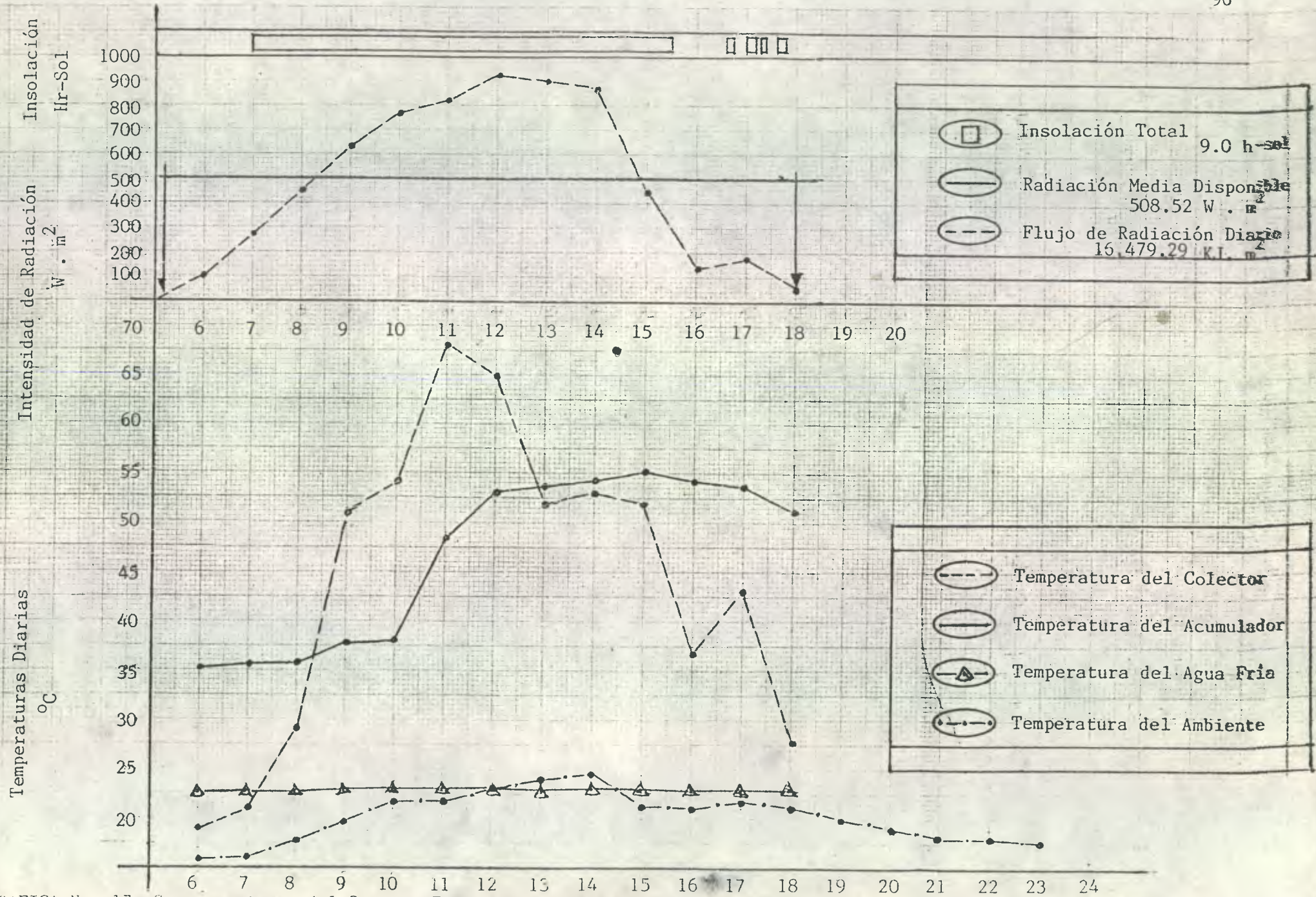
Humedad Relativa : 58.2%

DATOS REGISTRADOS

Hora	Radiación Diaria Watt-Hr/m ²	T°Colector °C	T°Acumulador °C	T°Ambiente °C	T°Agua Fría °C	Extracción Litros
6:00 AM	104.60	19.1	35.4	16.0	22.7	9
7:00 AM	278.93	21.0	35.7	16.4	22.8	9
8:00 AM	453.26	29.2	35.8	17.8	22.9	10
9:00 AM	627.60	51.0	37.9	19.8	23.0	10
10:00 AM	767.06	54.0	38.1	21.8	23.0	12
11:00 AM	836.80	68.0	48.5	21.8	23.1	12
12:00 AM	927.45	65.0	53.2	23.0	23.2	12
13:00 PM	906.53	52.0	53.8	24.0	23.1	12
14:00 PM	871.66	53.0	54.2	24.6	23.1	12
15:00 PM	453.26	52.0	55.2	21.4	23.1	12
16:00 PM	146.44	36.9	54.0	21.2	23.0	12
17:00 PM	174.33	43.2	53.9	21.8	23.0	10
18:00 PM	62.76	27.9	51.0	21.2	23.0	10

Día Viernes 13 de Junio de 1986

6:00 AM	000.00	18.7	39.0	15.2	22.6
---------	--------	------	------	------	------



GRAFICA No. 17 Comportamiento del Sistema Experimental para la segunda prueba.

CUADRO No. 14

CONTROL DE RENDIMIENTO

Día: Viernes 13 de Junio de 1986

Radiación Total: 4,246.08 W. m²

Insolación: 3.5 Horas-Sol

Radiación Media Disponible: 363.34 W. m²

Temperatura ambiente media: 18.9°C

Flujo de Radiación durante el día: 4,458.38 KJ. m²

Viento: NNE 13.04 Km/Hr.

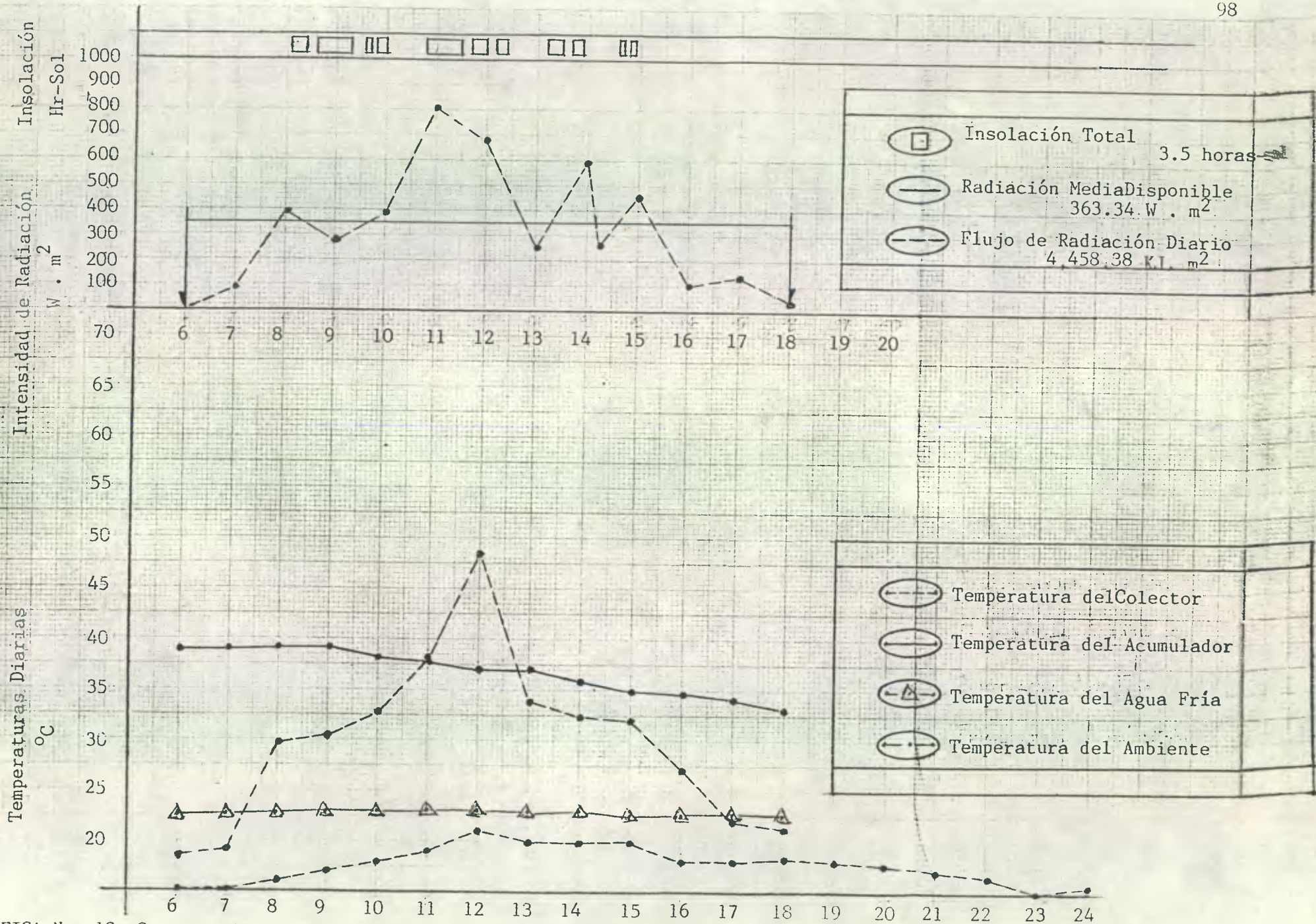
Humedad Relativa: 84.6%

DATOS REGISTRADOS

Hora	Radiación Diaria Watt-Hr/m ²	T°Colector °C	T°Cumulador °C	T°Cambiente °C	T°Cagua Fría °C	Extracción Litros
6:00 AM	00.00	18.7	39.0	15.2	22.6	8
7:00 AM	83.68	19.2	39.1	15.2	22.7	8
8:00 AM	383.93	29.8	39.2	16.0	22.9	8
9:00 AM	278.93	30.4	39.2	17.2	23.0	8
10:00 AM	583.53	32.8	38.0	18.0	23.0	8
11:00 AM	801.93	38.2	37.9	19.0	23.0	8
12:00 AM	666.46	48.6	37.9	21.0	23.1	8
13:00 PM	244.07	34.0	37.0	20.0	23.0	8
14:00 PM	592.73	32.5	36.0	20.0	23.0	8
15:00 PM	453.26	32.0	35.0	20.0	23.0	8
16:00 PM	104.60	27.2	34.9	18.2	22.7	8
17:00 PM	132.49	22.0	34.2	18.2	22.8	8
18:00 PM	34.87	21.4	33.4	18.4	22.8	8

Día Sábado 14 de Junio de 1986

6:00 AM	000.00	18.9	30.8	16.7	22.5
---------	--------	------	------	------	------



GRAFICA No. 18 Comportamiento del Sistema Experimental para la tercera rueba.

Día : Miércoles 11 de Junio de 1986

Hora	$M_e C_p \Delta t_e$
6:00 AM	9x1 (22-18.6) = 30.6
7:00 AM	9x1 (24-18.6) = 48.6
8:00 AM	9x1 (25-18.5) = 57.6
9:00 AM	9x1 (27-18.6) = 75.6
10:00 AM	9x1 (32-18.6) = 120.6
11:00 AM	12x1 (47-18.6) = 340.8
12:00 AM	12x1 (52.1-18.6) = 402.0
13:00 PM	12x1 (52-18.6) = 400.8
14:00 PM	12x1 (52-18.6) = 400.8
15:00 PM	12x1 (50.8-18.6) = 386.4
16:00 PM	12x1 (48.2-18.6) = 355.2
17:00 PM	9x1 (47.1-18.6) = 256.5
	3,146.4 +
	<u>2,680.0</u>
	<u><u>5,826.4</u></u>

El calor disponible es el flujo de radiación solar durante el día multiplicado por el área del colector del sistema.

$$Q_r = 17,471.37 \times 1.819 = 31,780.42 \text{ KJ.}$$

$$Q_r = 31,780.42 = 7,592.07 \text{ Kcal}$$

$$\text{Ef.} = \frac{5,826.4}{7,592.07} = 0.767$$

Día: Jueves 12 de Junio de 1986

Calor obtenido del Sistema	=	Cambio Interno en el Sistema	+	Calor Extraído del Sistema
Q_p		$MC_p \Delta t$	+	$M_e C_p \Delta t_e$
		$= 200 \times 1 (39.0 - 35.4)$		
		$= 720.0 \text{ Kcal}$	+	$M_e C_p \Delta t_e$
Hora				
6:00 AM				$9 \times 1 (35.4 - 18.3) = 153.9$
7:00 AM				$9 \times 1 (35.7 - 18.3) = 156.6$
8:00 AM				$10 \times 1 (35.8 - 18.3) = 175.0$
9:00 AM				$10 \times 1 (37.9 - 18.3) = 196.0$
10:00 AM				$12 \times 1 (38.1 - 18.3) = 237.6$
11:00 AM				$12 \times 1 (48.5 - 18.3) = 362.4$
12:00 AM				$12 \times 1 (53.2 - 18.3) = 418.8$
13:00 PM				$12 \times 1 (53.8 - 18.3) = 426$
14:00 PM				$12 \times 1 (54.2 - 18.3) = 430.8$
15:00 PM				$12 \times 1 (55.2 - 18.3) = 442.8$
16:00 PM				$12 \times 1 (54.0 - 18.3) = 428.4$
17:00 PM				$10 \times 1 (53.9 - 18.3) = 356$
18:00 PM				$10 \times 1 (51 - 18.3) = 327$
				<u>4,111.3</u>
				<u>720.0</u>
				<u>4,831.3</u>

El calor disponible es el flujo de radiación solar durante el día multiplicado por el área del colector del sistema.

$$Q_r = 16,479.29 \times 1.819 = 29,975.82 \text{ KJ}$$

$$Q_r = 29,975.82 \text{ KJ} = 7,160.97 \text{ Kcal}$$

$$\text{Ef.} = \frac{4,831.3}{7,160.97} = 0.675$$

Día: Viernes 13 de Junio de 1986

Calor obtenido del Sistema	Cambio interno en el Sistema	Calor extraído del Sistema
Q_o	$= M C_p \Delta t$	$+ M_e C_p \Delta t_e$
	$= 200 \times 1 (30.8 - 39) = -1,640$	$+ M_e C_p \Delta t_e$
Hora		
6:00 AM		$8 \times 1 (39 - 16.1) = 183.2$
7:00 AM		$8 \times 1 (39.1 - 16.1) = 184.0$
8:00 AM		$8 \times 1 (39.2 - 16.1) = 184.8$
9:00 AM		$8 \times 1 (39.2 - 16.1) = 184.8$
10:00 AM		$8 \times 1 (38.0 - 16.1) = 175.2$
11:00 AM		$8 \times 1 (37.9 - 16.1) = 174.4$
12:00 AM		$8 \times 1 (37.9 - 16.1) = 174.4$
13:00 PM		$8 \times 1 (37.0 - 16.1) = 167.2$
14:00 PM		$8 \times 1 (36.0 - 16.1) = 159.2$
15:00 PM		$8 \times 1 (35.0 - 16.1) = 151.2$
16:00 PM		$8 \times 1 (34.9 - 16.1) = 150.4$
17:00 PM		$8 \times 1 (34.2 - 16.1) = 144.8$
18:00 PM		$8 \times 1 (33.4 - 16.1) = 138.4$
		2,172.2
		<u>1,640.0</u>
		<u>532.2</u>

El calor disponible es el flujo de radiación solar durante el día multiplicado por el área del colector del sistema.

$$Q_r = 4,458.38 \times 1.819 = 8,109.79 \text{ KJ}$$

$$Q_r = 8,109.79 \text{ KJ} = 1,937.36 \text{ Kcal}$$

$$\text{Ef.} = \frac{532.2}{1,937.36} = 0.275$$

Para la prueba con extracción de los tres días consecutivos 11, 12 y 13 de Junio de 1986, la eficiencia del sistema fué:

$$\text{EFICIENCIA} = \frac{Q_o}{Q_r} = \frac{5,826.4 + 4,831.3 + 532.2}{7,592.07 + 7,160.97 + 1937.2} = \frac{11,189.9}{16,690.4} = 0.6704$$

$$\text{Donde: } \overline{Q_o} = 2,673.17 \text{ Kcal/día} = 3.10 \text{ Kw-hr/día}$$

$$\text{y } \overline{Q_r} = 3,987.19 \text{ Kcal/día} = 4.62 \text{ Kw-hr/día}$$

La variación en las eficiencias calculadas para cada día de prueba, se debe principalmente a dos factores a considerar, uno de los factores es el tipo de prueba que se discute posteriormete. El otro factor es la disponibilidad de radiación solar, observándose que en la prueba primera hubo una eficiencia del 76.7%, en la segunda prueba la eficiencia fué de 67.5% y la última prueba hubo una eficiencia del 27.4%.

La diferencia de eficiencia de 6.9% del miércoles con respecto al jueves se debe a las variaciones de intensidad y flujo de radiación. Y es aún más diferente entre el jueves y viernes con un valor de 39.1%, debido principalmente a la diferencia de intensidad y flujo de radiación entre ambos días.

Las variaciones de intensidad de la radiación, flujo de radiación, insola-ción, temperatura ambiental, humedad relativa y precipitación pluvial tienen in-fluencia en la disponibilidad de calor, parámetros que determinan la eficiencia de un sistema experimental. Tales cambios en las características solares y climá-ticas del día afectaron sensiblemente la eficiencia del sistema bajo un mismo tipo de prueba.

El incremento en la eficiencia de los días de la prueba se debe a que hubo extracción de agua caliente con reposición de agua fría en la parte inferior del

acumulador de calor ocasionando un gradiente de temperatura mayor en el acumulador forzando una circulación mayor entre el colector y acumulador por el principio de termosifón, tal situación ocasiona una transferencia de calor más efectiva en todo el sistema.

Hemos de notar entonces que el sistema termosifón operará en la realidad con extracciones periódicas, según la demanda real y estas harán que opere a los niveles más altos de eficiencia. Debemos procurar que se practiquen las extracciones a las horas del día solar para que el sistema pueda recuperarse fácilmente y obtener éste beneficio de eficiencia del sistema solar experimental. La afirmación anterior nos indica que para nuestro medio es muy útil su uso en aplicaciones domésticas, educativas, comerciales, agrícolas, ganaderas e industriales.

Finalmente de acuerdo a las consideraciones anteriores podemos estimar la eficiencia del sistema experimental con consumo para el día solar medio en la ciudad de Guatemala de la siguiente manera:

FLUJO DE RADIACION SOLAR

Día miércoles 11 de Junio de 1986:	17,471.37 KJ.m ²	Eficiencia : 0.767
Día jueves 12 de Junio de 1986:	16,479.29 KJ.m ²	Eficiencia: 0.675
Día viernes 13 de Junio de 1986:	4,458.38 KJ.m ²	Eficiencia: 0.275

Se observa que para los días de la prueba del sistema solar experimental se obtuvo un promedio de eficiencia de 57.23% lo que le convierte en una alternativa para usos potenciales reales supliendo energéticos foráneos. El flujo de radiación solar medio diario en la ciudad de Guatemala comparado con el flujo de radiación solar medio para la prueba experimental nos da la eficiencia aproximada de 60.8% para el Campus de la Facultad de Agronomía.

V.2 ANALISIS ECONOMICO COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE ENERGIA SOLAR Y OTRAS FUENTES DE ENERGIA TRADICIONAL:

En éste capítulo se presenta la evaluación de los costos de la producción de agua caliente por medio de la Energía Solar y por medio de los energéticos tradicionales comparando así las evidencias de la economía de los sistemas solares.

Se han seleccionado los integrantes significativos del costo de producción de agua caliente y que son los interesantes de comparar y no aquellos que su estimación pueda ser incierta, no significativa en la comparación de lo importante.

La evaluación de los costos de producción de agua caliente por diferentes sistemas se computará al flujo anual de gastos del sistema para una cantidad de agua estandard producida en términos de energía por año; una relación entre ellos nos dará el valor en quetzales por unidad neta de calor producida para cada sistema.

Para efectuar la comparación de los costos de energía solar con otras fuentes de energía tradicional se emplea el rendimiento y el costo del sistema experimental evaluado en el capítulo anterior con sistemas domésticos, agrícolas e industriales tradicionales, tales como el calentamiento por medio de gas propano y el calentamiento por medios eléctricos.

La comparación se plantea para comprobar cuán justificable es la inversión inicial y los gastos anuales de mantenimiento del equipo solar con los ahorros obtenidos por uso de energía no renovable desplazada.

COSTOS DE PRODUCCION DE AGUA CALIENTE:

Para establecer los costos de producción de agua caliente por medio de Energía Solar y otros sistemas tradicionales se consideró una medida razonable de consumo diario para aplicación en pequeña escala industrial, semejando el consumo típico de los laboratorios de la Facultad de Agronomía. Esta medida estandard de consumo para todos los sistemas permite su evaluación a un mismo nivel, tales como bienes-servicios competitivos cada uno de los otros y/o complementarios.

Para fines prácticos en el cálculo sobre todo para someter a la prueba económica al sistema experimental se tomó como base de consumo el doble de la capacidad del sistema al doble del costo del mismo por ser capacidad media aproximada a un consumo en pequeña escala industrial.

El valor de consumo, como el volumen de agua a determinada temperatura es medido en términos de energía producida por los diferentes sistemas de acuerdo a sus eficiencias correspondientes. Acorde a lo anterior el consumo estandard para la evaluación es:

Disponibilidad Anual de Energía Solar:

$$21038 \text{ KJ.m}^2.\text{día} \times 365 \text{ días.año} = 7,678,870 \text{ KJ.m}^2.\text{año}$$

Calor obtenido Anual por el Sistema Experimental:

Disponibilidad x Area x Eficiencia

$$7,678,870 \text{ KJ.m}^2 \times 1.819 \text{ m}^2 \times 0.67 = 9,358,469.2 \text{ KJ}$$

$$= 2,235,659.2 \text{ Kcal}$$

$$= \underline{2,593.3 \text{ Kw-hora}}$$

El doble del sistema

$$= 4,471,318.3 \text{ Kcal}$$

$$= \underline{5,186.7 \text{ Kw-hora}}$$

Este valor en términos de volumen de agua caliente a una temperatura de 29°C superior a la temperatura del agua fría ambiental es:

$$E = m \cdot C_p \cdot \Delta t$$

$$4,471,318.3 = m \cdot 1 \cdot 29^\circ\text{C}$$

$$m = 154,183.39 \text{ litros anuales}$$

$$= 422.42 \text{ litros diarios}$$

$$= 111.75 \text{ galones diarios.}$$

En los cálculos se aplicó un 14% de Interés compuesto anual como un valor normal del costo del Capital aplicado por el Banco de Guatemala en el año de 1986. Los gastos de mantenimiento se estimaron en 4% anual sobre el valor de la inversión inicial para todos los sistemas. Se consideró una tasa de inflación del 6% anual sobre el valor de la energía eléctrica y el precio del gas propano, si bien esta tasa puede ser variable el 6% constante anual es estimación conservadora. La vida útil para los equipos solar y tradicionales se estimó en 15 y 20 años y el valor de rescate nulo al final de éstos períodos.

Las variables y términos a emplear en el cálculo para los diferentes sistemas se presentan en el siguiente cuadro:

	SOLAR	ELECTRICO	GAS PROPANO
Inversión inicial	Is	Ie	Ig
Gastos anuales de operación	O	Oe	Og
Gastos anuales mantenimiento	Ms	Me	Mg
Tasa anual inflación energética	O	e	g
Vida útil del equipo	N	N	N
Tasa de interés compuesto	i	i	i

CUADRO No. 18 Variables para el cálculo de los diferentes sistemas.

- FACTORES DE INTERES COMPUESTO:

Para los cálculos efectuados en éste capítulo se han empleado diferentes factores de Interés Compuesto obtenidos de tablas calculadas, siendo la nomenclatura de éstos factores y su significado matemático el siguiente:

Factor de Recuperación del Capital: (Capital Recovering Factor)

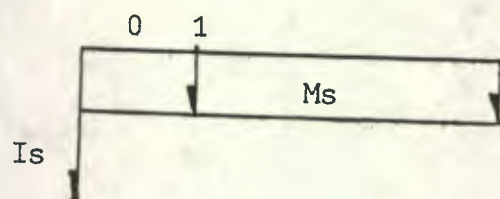
$$Crf - i - N = \frac{i (1 + i)^N}{(1 + i)^N - 1}$$

Factor del Valor presente de un Gradiente: (Gradiente Present Worth Factor)

$$gPwf - i - N = \frac{1}{i^2} - \frac{1 + N \cdot i}{i^2 \cdot (1 + i)^N}$$

V.2.1 COSTOS DE CALENTAMIENTO DE AGUA POR EL SISTEMA SOLAR:

El modelo económico para el Calentador Solar es el que se describe a continuación:



$$Is = Q. 530.38 \times 2 = Q. 1060.76$$

$$Ms = 4\% \text{ de } Q. 1060.76 = Q. 42.43$$

$$N = 15 \text{ y } 20 \text{ años}$$

$$i = 14\%$$

$$e = 0\%$$

$$FA = Ms + Is (Crf - 14\% - N)$$

$$FA_{N=15} = Q. 42.43 + 1060.76 (0.16280) = Q. 179.60$$

$$FA_{N=20} = Q. 42.43 + 1060.76 (0.15066) = Q. 166.20$$

$$\text{Costo de Producción} \quad CP = \frac{FA}{SS}$$

$$CP_{N=15} = \frac{Q. 179.60}{2351.4} = Q. 0.07637$$

$$CP_{N=20} = \frac{Q. 160.20}{2351.4} = Q. 0.07068$$

V.2.2 COSTOS DE CALENTAMIENTO DE AGUA POR EL SISTEMA ELECTRICO

En la evaluación se tomó como base un calentador eléctrico con depósito de 50 galones y potencia de 3,000 watts, siendo éste un tamaño usual en aplicaciones domésticas en nuestro país. El precio medio en el mercado es de Q. 1,162.02 y opera con una eficiencia global aproximada del 85%. El valor no incluye conexiones ni instalación.

Los gastos correspondientes de consumo eléctrico por operación del equipo se computan así:

$$\frac{\text{Valor de consumo estandar}}{\text{Eficiencia}} = \text{Energía eléctrica consumida}$$

$$\frac{2,351.4 \text{ Kw-hr}}{0.85} = 30.53 \text{ Kw-hr/mensual}$$

Acorde a la tarifa R-1 del servicio de la Empresa Eléctrica actualizada al 17 de Junio de 1986, el consumo mensual cuesta:

Características	Kw-Hora	Costo
Consumo base	200	16.94847
Complementarios	42.80	2.4731
Sub-Total	242.80	19.42157
Total		22.6094

Total Q. 271.20/año

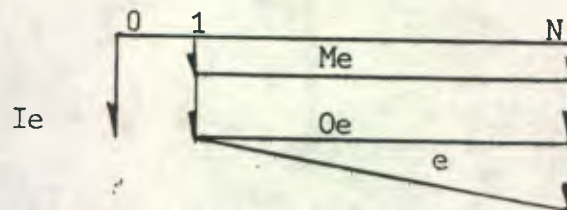
El incremento en los gastos anuales de operación debido a la inflación energética es:

$$6\% \text{ de Q. 271.20} = \text{Q. 16.27}$$

Los gastos de mantenimiento para el equipo eléctrico son de :

$$4\% \text{ de Q. 1,162.02} = \text{Q. 46.48}$$

El modelo económico para el Calentador Eléctrico es el que se describe a continuación:



$$Ie = \text{Q. 1,162.02}$$

$$Me = \text{Q. 46.48}$$

$$Oe = \text{Q. 271.20}$$

$$N = 15 \text{ y } 20 \text{ años}$$

$$e = \text{Q. 16.27/año}$$

$$FA = Me + Oe + Ie (\text{crf} - 14\% - N) + e (\text{gpwf} - 14\% - N) (\text{crf} - 14\% - N)$$

$$FA_{N=15} = 46.48 + 271.20 + 1,162.02 (0.16280) + 16.27 (27.79) (0.16280) = \text{Q. 580.48}$$

$$FA_{N=20} = 46.48 + 271.20 + 1,162.02 (0.15066) + 16.27 (36.91) (0.15066) = \text{Q. 583.22}$$

$$\text{Costo de Producción } CP = \frac{FA}{CS}$$

$$CP_{N=15} = \frac{\text{Q. 580.48}}{2351.4 \text{ Kw-hr}} = \text{Q. 0.24686/Kw-hr}$$

$$CP_{N=20} = \frac{\text{Q. 583.22}}{2351.4 \text{ Kw-hr}} = \text{Q. 0.24803/Kw-hr}$$

V.2.3 COSTOS DE CALENTAMIENTO DE AGUA POR EL SISTEMA DE GAS PROPANO

En la evaluación se seleccionó un calentador de gas propano de 17,4 Kw, de un flujo de 10 lts/min, con capacidad de incrementar 35°C la temperatura del flujo de agua, y un consumo aproximado de 3.0 lbs/hr. El precio medio aproximado en el mercado nacional es de Q. 1,007.12 y opera a una eficiencia aproximada del 83%. El valor no incluye conexiones ni instalación. El precio medio aproximado al consumidor de gas propano en Guatemala es de Q. 28.30 por 100 libras de gas, existiendo variaciones entre empresas distribuidoras de éste energético no renovable. El precio se incrementa además con el regulador, la tubería y el cilindro. Para efectos de cálculo tomaremos el precio base del calentador.

100 lbs. de gas generan 526,296 Kcal equivalentes a 610.5 Kw-hr a Q. 28.30 nos dan un valor de Q. 0.04624 . Los gastos correspondientes de consumo de gas propano por operación del equipo se computan así:

$$\frac{\text{Valor de consumo standard}}{\text{Eficiencia}} \times \text{Valor gas} = \text{Energía de gas consumida}$$

$$\frac{2351.4 \text{ Kw-hr}}{0.83} \times 0.04624 = \text{Q. 130.99/año}$$

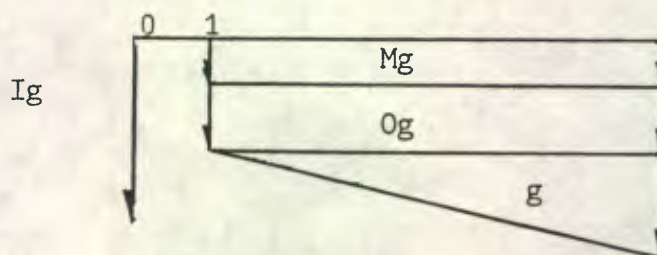
El incremento en los gastos anuales de operación por concepto de inflación serán:

$$6\% \text{ de Q. 130.99} = \text{Q. 7.85}$$

Los gastos anuales de mantenimiento se estiman en:

$$4\% \text{ de Q. 1,007.12} = \text{Q.40.28}$$

El modelo económico para el Calentador de Gas es el que se describe a continuación:



$$I_g = Q. 1,007.12$$

$$M_g = Q. 40.48$$

$$O_g = Q. 130.99$$

$$B = 15 \text{ y } 20 \text{ años}$$

$$g = Q. 7.85$$

$$FA = M_g + O_g + I_g (Cr_f - 14\% - N) + g (gpwf - 14\% - N) (crf - 14\% - N)$$

$$FA_{N=15} = 40.28 + 130.99 + 1,007.12 (0.16280) + 7.85 (27.79) (0.16280) = Q. 370.74$$

$$FA_{N=20} = 40.28 + 130.99 + 1,007.12 (0.15066) + 7.85 (36.91) (0.15066) = Q. 366.65$$

$$\text{Costo de Producción } CP = \frac{FA}{CS}$$

$$CP_{N=15} = \frac{Q. 370.74}{2351.4 \text{ Kw-hr}} = Q. 0.15767/\text{Kw-hr}$$

$$CP_{N=20} = \frac{Q. 366.65}{2351.4 \text{ Kw-hr}} = Q. 0.15593/\text{Kw-hr}$$

CUADRO No. 19

RESUMEN DE COSTOS DE PRODUCCION DE AGUA CALIENTE SOLAR Y OTROS SISTEMAS TRADICIONALES

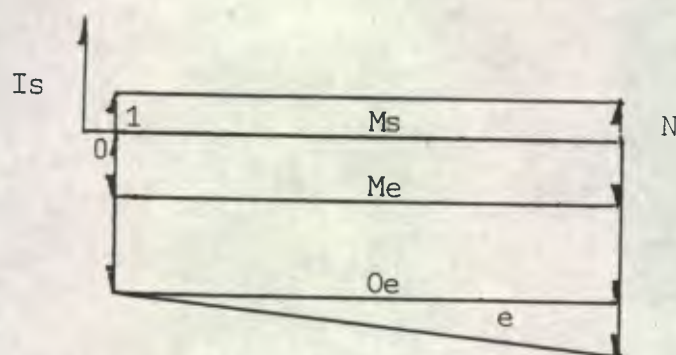
Inversión inicial		Q. 1,060.76	Q. 1,162.02	Q. 1,007.12
Gastos anuales de				
Operación		0	271.20	130.99
Gastos anuales de				
Mantenimiento		42.43	46.48	40.28
Incremento anual por				
Inflación energética		0	16.27	7.85
Tasa de Interés compuesto				
Aplicada		14%	14%	14%
Vida útil del				
equipo		15-20 años	15-20 años	15-20 años
Flujo Anual	15 años	179.60	580.48	370.74
de gastos	20 años	166.20	583.22	366.65
Costo de	15 años	0.07637	0.24686	0.15767
Produccion Kw	20 años	0.07068	0.24803	0.15593
Eficiencia		67%	85%	83%

Consumo estimado en la evaluación : 422.42 litros diarios de agua caliente con 29 °C de incremento de temperatura en el Sistema Solar de Termosifón.

Existen dos formas básicas de efectuar una comparación entre los sistemas solares y los sistemas tradicionales, una de ellas es seleccionar al calentador solar como una alternativa a un calentador eléctrico o de gas, o sea como una unidad independiente. La otra forma básica se plantea teniendo un calentador eléctrico o de gas determinando cuan justificable es la inversión inicial de un equipo solar y sus gastos anuales de mantenimiento por los ahorros obtenidos en los consumos de energía eléctrica o gas, tomando al calentador solar como una unidad en conjunción con otros sistemas, tal como se muestra en las gráficas de instalación.

V.2.4 ANALISIS ECONOMICO DEL CALENTADOR SOLAR CON EL CALENTADOR ELECTRICO:

Consideramos a ambos como unidad independiente. Calculemos el tiempo de retorno en que el calentador solar se paga, comparado con el calentador eléctrico. Se establece un diagrama diferencial entre ambos:



Igualando el flujo anual de gastos del modelo anterior a cero obtenemos el tiempo de retorno N. $FA=0$

$$(Is - Ie) (crf - 14\% - N) + Ms - Me - Oe - e (gpwf - 14\% - N) = 0$$

$$101.26 (crf - 14\% - N) + 42.43 - 46.48 - 271.20 - 16.27 (gpwf - 14\% - N) = 0$$

$$N = 2.84 \text{ años} \quad 2 \text{ años con 10 meses}$$

Lo que equivale a decir que en un período de 2 años y 10 meses el equipo solar pagó su inversión y gastos de mantenimiento al desplazar al equipo eléctrico con gastos totales de operación mayores.

Calculando los ahorros anuales obtenidos y el ahorro total por la vida útil del equipo al seleccionar un equipo solar en vez del eléctrico:

$$\begin{aligned}
 \text{Ahorro anual} &= \text{FA eléctrico} - \text{FA solar} \\
 \text{AA} &= \text{Q. } 580.48 - \text{Q. } 179.61 \\
 \text{N=15} &= \text{Q. } 400.88 \\
 \text{Ahorro en 15 años} &= \underline{\text{Q. } 6,013.2}
 \end{aligned}$$

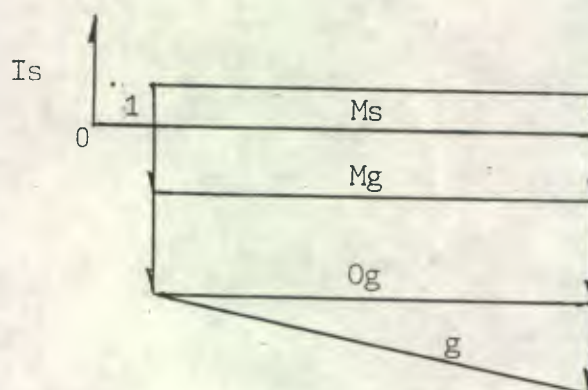
$$\begin{aligned}
 \text{AA} &= \text{Q. } 583.22 - \text{Q. } 166.20 \\
 \text{N=20} &= \text{Q. } 417.02 \\
 \text{Ahorro en 20 años} &= \underline{\text{Q. } 8,340.4}
 \end{aligned}$$

Se analiza la evidencia de la economía del equipo solar con ahorros totales de Q, 6,013.20 para 15 años y Q. 8,340.40 para 20 años. Es de notar que existe una diferencia de Q. 2,327.2 de los 15 a los 20 años, éste ahorro tan grande en los últimos años se debe a que el precio de la electricidad en ese tiempo será mayor que el actual, dada la dependencia de nuestro país en combustible no renovables.

V.2.5 ANALISIS ECONOMICO DEL CALENTADOR SOLAR CON EL CALENTADOR DE GAS PROPANO:

Consideramos a ambos como unidad independiente. Calculemos el tiempo de retorno en que el calentador solar se paga comparandolo con el calentador de gas propano.

Se establece un diagrama diferencial entre ambos:



Igualando el flujo anual de gastos del modelo anterior a cero obtenemos el tiempo de retorno N. $FA=0$

$$(I_s - I_g) (\text{crf} - 14\% - N) + M_s - M_g - O_g - g (\text{gpwf} - 14\% - N) = 0$$

$$53.64 (\text{crf} - 14\% - N) + 42.43 - 40.28 - 130.99 - 7.85 (\text{gpwf} - 14\% - N) = 0$$

$$N = 4.29 \text{ años} \quad 4 \text{ años con 3 meses}$$

Lo que equivale a decir que en un período de 4 años y 3 meses el equipo solar pagó su inversión y gastos de mantenimiento al desplazar al equipo de gas con gastos de operación mayores.

Calculando los ahorros anuales obtenidos y el ahorro total por la vida útil del equipo al seleccionar un equipo solar en vez de uno de gas propano:

$$\text{Ahorro Anual} = \text{FA gas propano} - \text{FA solar}$$

$$\text{AA} = \text{Q. } 370.74 - \text{Q. } 179.60$$

N=15

$$= \text{Q. } 191.14$$

$$\text{Ahorro en 15 años} = \text{Q. } 2,867.1$$

$$\text{AA} = \text{Q. } 366.65 - \text{Q. } 179.60$$

N=20

$$= \text{Q. } 187.05$$

$$\text{Ahorro en 20 años} = \text{Q. } 3,741.0$$

Se analiza la evidencia de la economía del equipo solar con ahorros totales de Q, 2,867.10 para 15 años y Q. 3,741.0 para 20 años. Es de notar que existe una diferencia de Q. 873.9 de los 15 a los 20 años.

Se puntualizan los factores siguientes que se han contemplado al hacer la comparación de los diferentes sistemas evaluados:

- El Prototipo Solar evaluado corresponde a un diseño experimental. Si se produjera en masa comercialmente, definitivamente se puede mejorar su eficiencia y reducir aún más su costo de inversión inicial.
- Se ha estimado una tasa inflacionaria de un 6%, que es un valor conservador, según las variaciones en aumento de dicha tasa, dadas las imposiciones del Fondo Monetario Internacional y del Banco Mundial, pueden determinar los análisis a mayor favor del sistema solar.
- La dependencia de un energético foráneo, cuyo precio es incierto, es una medida de riesgo mayor que no se ha valorado en la comparación.
- La instalación de un sistema eléctrico y más aún de un sistema de gas propano, representan mayor riesgo de peligros por fugas e incendios que el sistema solar.
- El sistema solar ofrece un mayor beneficio ecológico.

VI. CONCLUSIONES

- 1 - La disponibilidad de Energía Solar total en el territorio guatemalteco es amplia, ya que se cuenta con mas de 2,000 horas-sol en toda la república, permitiendo utilizarla y convertirla en una forma fácil y sencilla para su uso, sin mayores complicaciones tecnológicas.
- 2 - El calor radiado fué de Q_r 3,987.19 Kcal/día y el calor obtenido fué de Q_o 2,673.14 Kcal/día, lo que nos dá una eficiencia de 67.04%. La evidente efectividad de los colectores solares planos para nuestra república, por su sencillez y eficiencia para captar radiación directa y difusa, determinan la funcionalidad comprobada en el sistema.
- 3 - Las variaciones de intensidad de radiación, flujo de radiación, insolación, temperatura ambiental, Humedad Relativa, Precipitación pluvial tienen influencia en la disponibilidad de calor, parámetros que determinan la eficiencia de un sistema solar.
- 4 - El diseño, construcción y evaluación del sistema solar proporcionan un ahorro significativo de Q 8,340.40 con respecto al sistema eléctrico y de Q 3,741.00 con respecto al sistema de gas propano para un período de 20 años de funcionamiento. Estas comparaciones evidencian la economía de el calentador solar para agua lo que hace posible su uso en la actualidad en forma rentable, práctica y efectiva.

VII. RECOMENDACIONES

- 1 - Se recomienda la creación y desarrollo de un laboratorio de Energía Solar Agrícola para la Facultad de Agronomía, en donde se puedan realizar trabajos de evaluación de radiación solar para el Campus universitario y sus fincas regionales.
- 2 - Se recomienda estructurar las prácticas de laboratorio con diseños, construcciones y evaluaciones de calentadores de agua, destiladores de agua, secadoras solares para cosechas agrícolas en granos básicos, plantas medicinales, madera, sistemas de aire acondicionado, obtención de sal, bombeo de agua, calefacción, refrigeración en donde la Energía Solar ha mostrado su competencia y puede perfectamente hacer uso de ésta tecnología adaptándola a nuestro medio haciendo uso del beneficio que nos brinda nuestro clima.
- 3 - Se recomienda a ingenieros, arquitectos, constructores, médicos, un aprovechamiento de los sistemas solares integrándolos al diseño de construcciones como parte estructural de techos y/o paredes orientadas apropiadamente.
- 4 - Se recomienda a la industria aceitera el uso de sistemas solares en sus actividades de extracción de aceites y el pre-calentamiento de calderas e investigación en las etapas del proceso de destilación.
- 5 - Se recomienda el desarrollo de plantas eléctricas solares para uso en comunidades rurales que carecen de servicio eléctrico.
- Se recomienda la investigación en campos importantes como la fotoquímica. No existe ninguna reacción fotoquímica práctica aún para almacenar la energía solar o convertirla en trabajo, aunque no hay razones teóricas para las que no se pueda encontrar. Hay que pensar que todos nuestros combustibles presentes y nuestros alimentos se han hecho a través de la fotosíntesis.

- 7 - Se recomienda a las autoridades gubernamentales y al Congreso de la República el estudio y puesta en práctica de leyes e incentivos que fomenten la Energía Solar como una fuente efectiva para contrarestar la inflación y fuga de divisas en energéticos.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. BRACAMONTE, E. Evaluación de las constantes climáticas en la República de Guatemala. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1983. 30 p.
2. CASTILLO, V.A. Energía solar, posibles aplicaciones para Guatemala en el campo de la tecnología apropiada. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1981. 134 p.
3. CALVIN, M. The photosynthetic cycle. USA, University of California, Radiation Laboratory, 1962. s.p.
4. CRUZ, J.R. DE LA. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR, 1982. 41 p.
5. DARMSTADTER, J. Ahorro de energía: problemas, oportunidades, perspectivas. USA, University of Colorado, 1976. 24 p.
6. FARRINGTON, D. Uso directo de la energía solar. Madrid, España, Blume 1981. 301 p.
7. GUATEMALA. INSTITUTO DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Atlas climatológico de Guatemala. Guatemala, 1979-1986. s.p.
8. HALACY, D. Tierra, agua, viento, sol, nuevas alternativas energéticas. México, Nuevo México, 1977. 38 p.
9. HANDBOOK OF Homemade Power; the mother earth news, some concrete answers to the energy crisis. USA, Bantam books Inc, 1978. pp. 205-270.
10. HARGREAVES, H.G. Clima y agricultura. Honduras, Ministerio de Recursos Hidraulicos, Publicación no. 145, 1978. 220 p.
11. HAY, J.E. Study of short-wave radiation on non-horizontal surfaces. Canadá, Canadian climatic center. Report no. 79. 1979. 72 p.
12. HAYES, D. Rays of hope: the transition to a post-petroleum world. USA, The worldwatch Institute, 1977. 11 p.
13. HOTTEL, N.C. Performance of flat-plate solar energy collectors, space heating earth solar energy. Cambridge, Massachussets, Massachussets Institute of Technology, 1984. s.p.
14. HOWELL, Y. & BERENY, J.H. Engineer's guide to solar energy. USA, Solar Energy Information Services, 1979. s.p.

15. KERN, J. & HARRIS, I. The optimum tilt of a solar collector. *Solar Energy* 17: 97-102. 1979
16. KREIDER, J. Medium and high temperature solar processes. USA, Academic Press, 1979. 175 p.
17. KREITH, F. Principles of solar engineering. New York, USA, York Inc. 1978. 72 p.
18. MANES, A. & LANETZ, A. Solar irradiance on non-horizontal surfaces and optimum exposure of solar collectors. Bet-Dagan, Israel, Ministry of transport, Research & Development Division. Papers D-38. 1982. 51 p.
19. NOGUCHI, T. Recent developments in solar energy in Japan. *Solar Energy* 21: 1-5. 1973.
20. PAYA, M. Aislamiento térmico y acústico. 5a. ed. Barcelona, España, CEAC, 1972. 172 p.
21. PHYSICS FOR science and engineering. New York, USA, Harper & Row Publishers Inc, 1978. 585 p.
22. PUERTO RICO. CENTER FOR ENERGY AND ENVIRONMENT RESEARCH. Annual report. Puerto Rico, University of Puerto Rico, 1983. 32 p.
23. RAU, H. Heliotechnik sonnenenergie in praktischer anwendug. Rep. Federal de Alemania, Udo Pfreiner Verlag GmbH, 1981. 215 p.
24. RUANO, P.M. Proyecto sobre aprovechamiento de la energía solar. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1977. 156 p.
25. SALAZAR, R.H. Estudio sobre algunas características de la radiación solar en Guatemala. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1978. 42 p.
26. SANCHEZ, J.L. Caracterización de las heladas en Guatemala. Guatemala, INSIVUMEH, Sección de Agrometereología, 1986. 43 p.
27. SEARS, W.F. & ZEMANSKY, M.V. University physics. 2nd. ed. Massachussets USA, Addison & Wesley Publishing, 1975. 1056 p.
28. SOLAR CATALOG, solar components. USA, Solar Corporation, 1982. 67 p.

29. TALFESTAS, S.G. & SPYRIDONOS, A.V. & NOUMOUTSOS, N.G. Finite difference modeling identification and simulation of a solar water heater. Solar Energy 22: 1-5. 1974
30. THAILAND. RENEWABLE ENERGY RESOURCES INFORMATION CENTER. Seminar on applications of solar energy in south and southeast asia. Bangkok, Thailand, Asian Institute of Technology, 1979. s.p.
31. US. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Supplement on energy for rural developing countries. Washington, D.C., 1981. 238 p.
32. YGLESIAS, V.A. La energía solar y el agua caliente. Tesis Arq. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Arquitecturas, 1980. 85 p.

*Vo. Bo.**Patruale*

CAPITULO IX

APENDICE

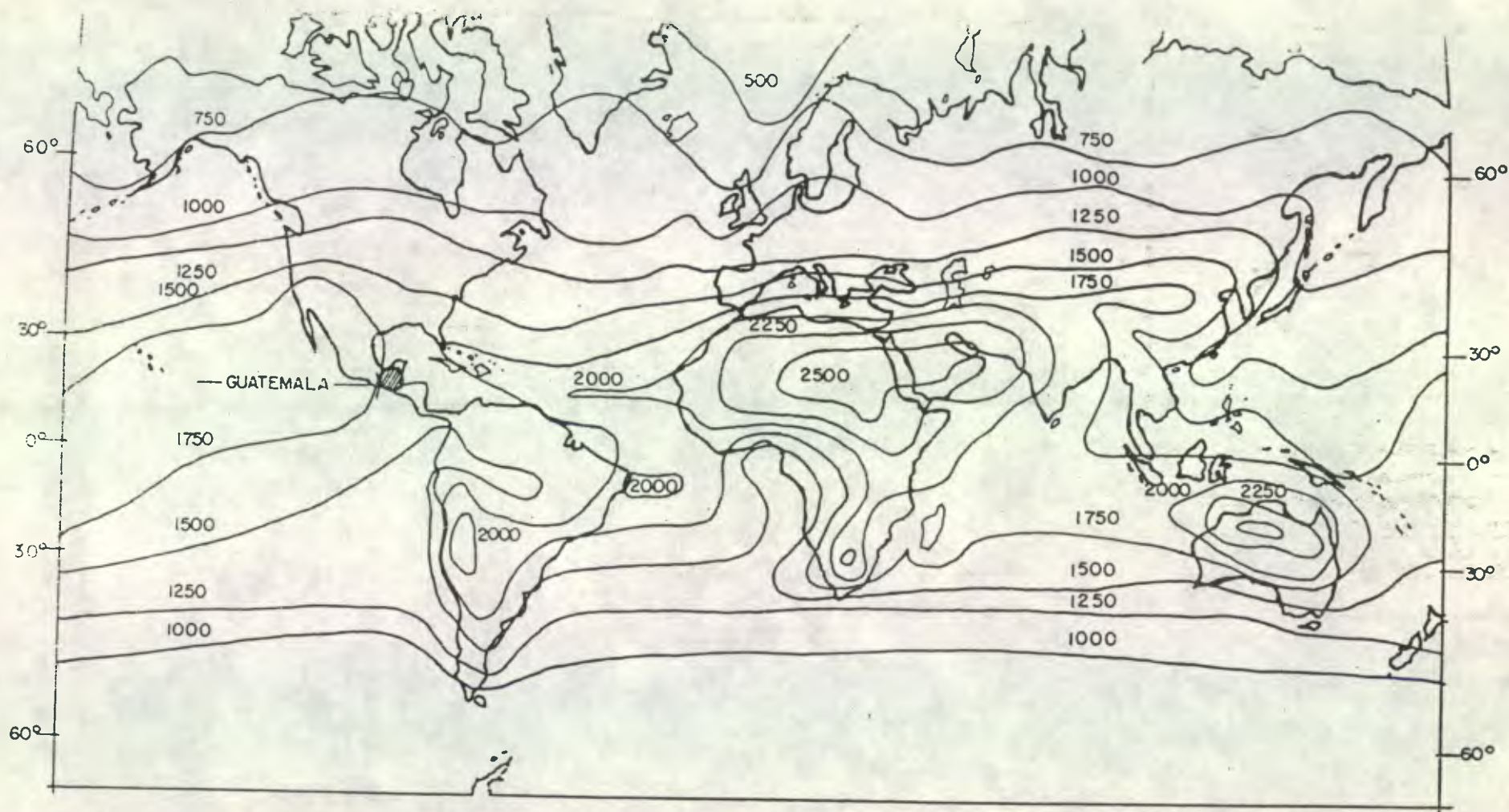


FIGURA No. 20

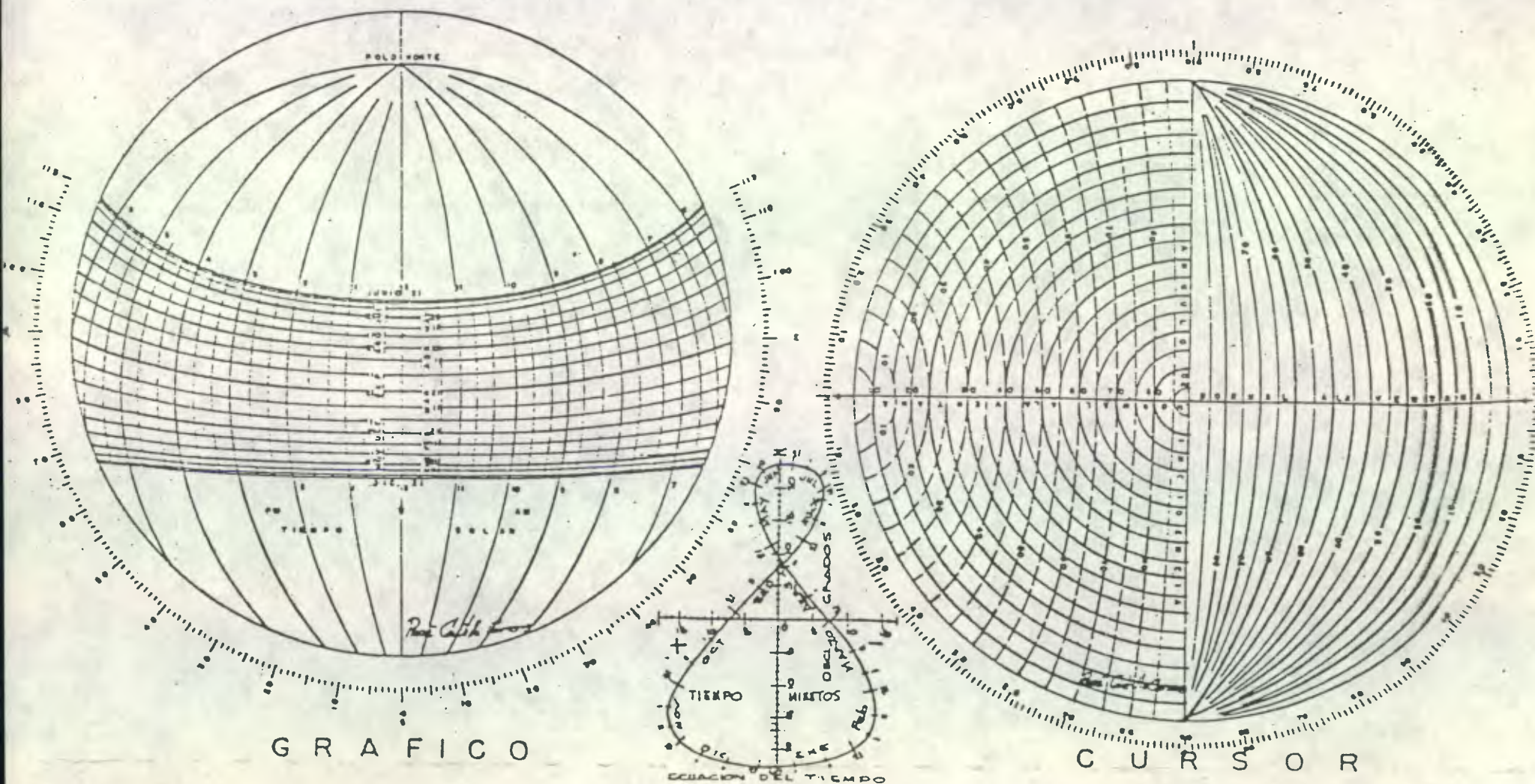
MAPA MUNDIAL DE RADIACION SOLAR.

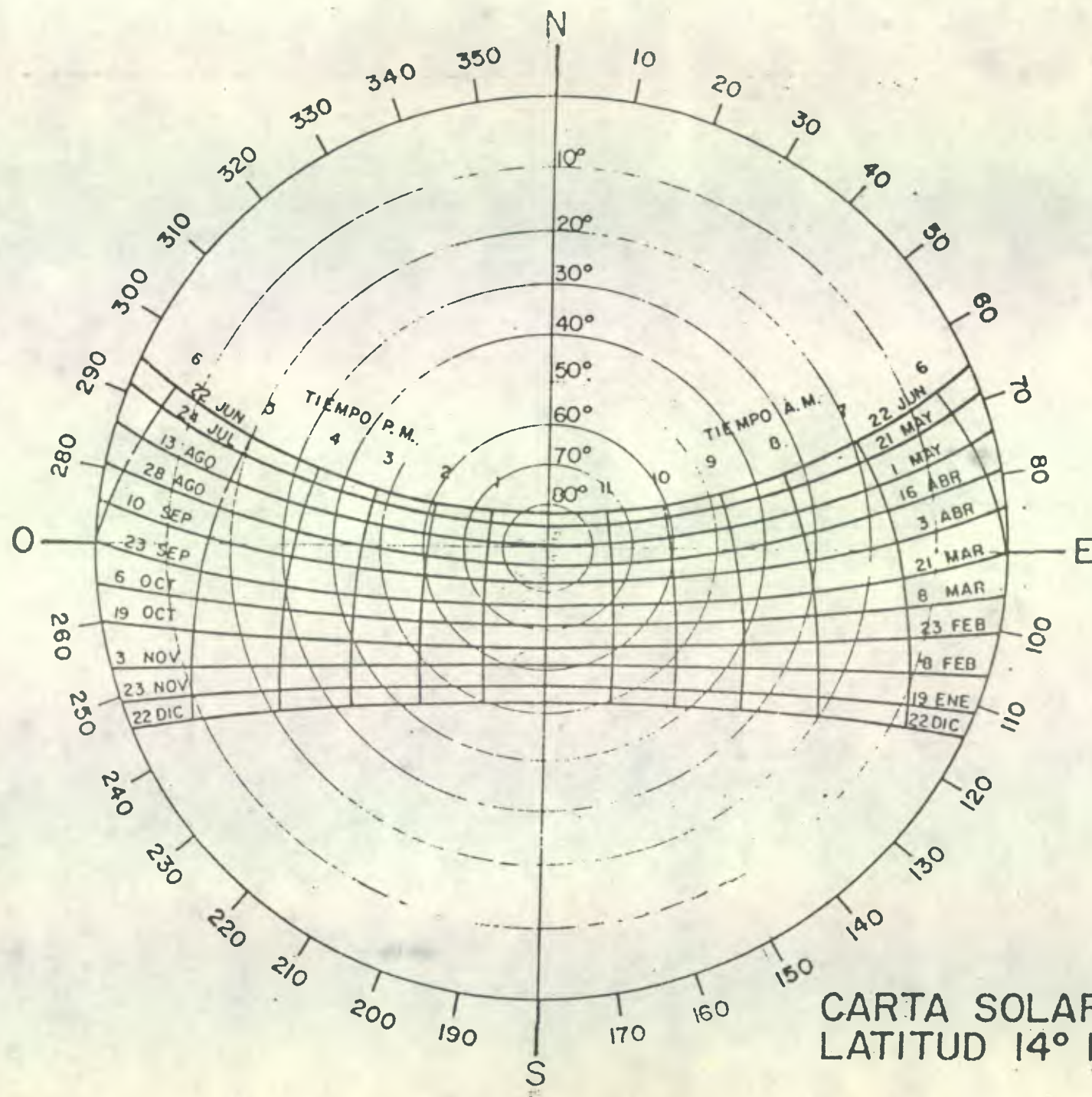
RADIACION TOTAL ANUAL MEDIA EN KWh/m² AÑO.
 GUATEMALA ESTA ENTRE 1500 y 1750 KWh/m², AÑO.

GRAFICA No. 19

G R A F I C A
L A T I T U D

S O L A R
1 4 ° 3 0'





CARTA SOLAR
LATITUD 14° NORTE

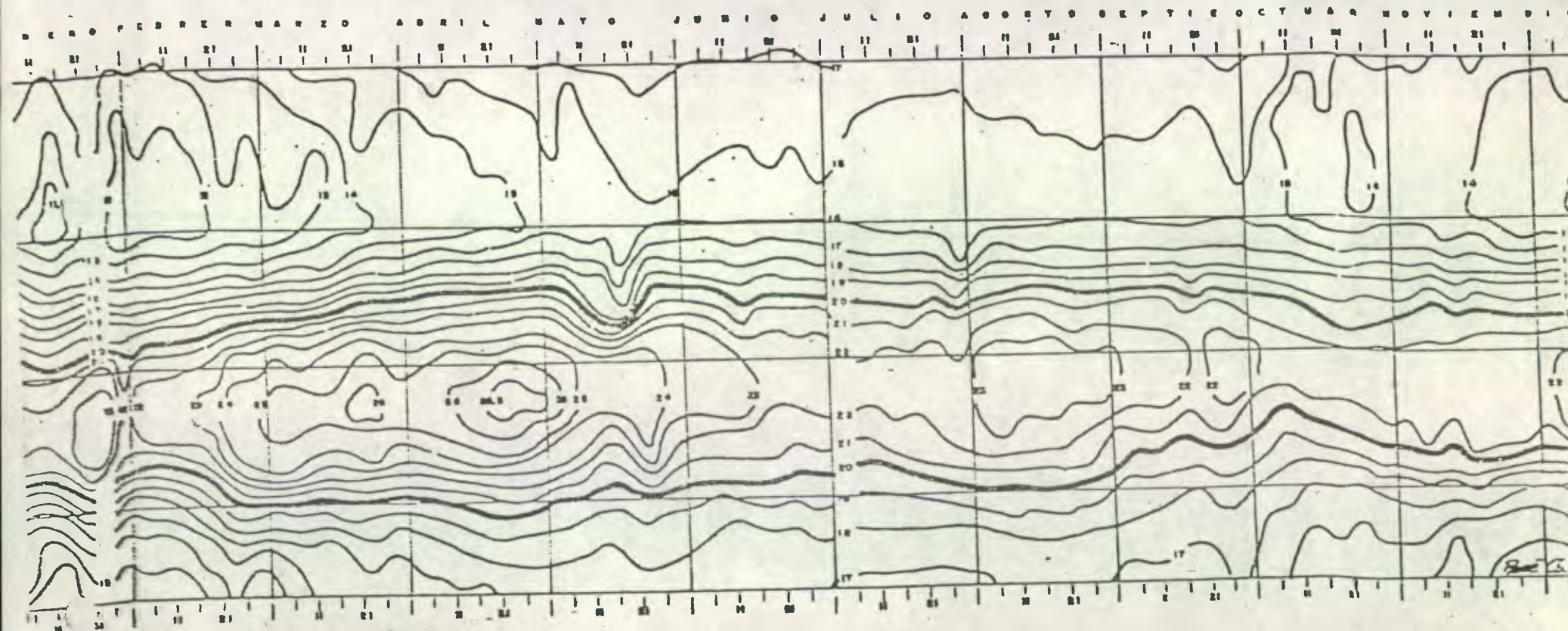
ORGANIZACIONES DE ENERGIA SOLAR

1. AUSTRALIA International Solar Energy Society -ISES-
191, Royal Parade, Parkville, Melbourne, Victoria
Con 14 grupos en otros países.
2. AUSTRIA Österreichische Gesellschaft für Sonnenenergie
Garnisongasse, 7 A-1070 Viena
3. ALEMANIA Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie -DGS-
Goethstrasse, 28 D-8000 Munich 2
Presidente: Dr. Ulf Bossel fundada en 1973 con 5000 socios
4. CANADA Solar Energy Society of Canada Inc.
P.O. Box 1353, Winnipeg, Manitoba R3C2Z1
5. EEUU Solar Energy Research Institute -SERI-
Golden, Colorado.
6. FRANCIA Coopération Méditerranéenne pour l'Energie Solaire COMPLES
Palais de la Bourse, Marsella
Presidente: Prof. M. Perrot fundada en 1961
7. TAILANDIA Renewable Resources Information Center
G.P.O. Box 2754, Bangkok, 10501 Thailand.

8. SUIZA Schweizerische Vereinigung für Sonnenenergie
Leonardstrasse, 27 CH- 8001 Zurich
Prof. Fernalloz
9. INDIA Solar Energy of India Care-Sri-Aurobindo Ashaan
Pondicherry 605-02

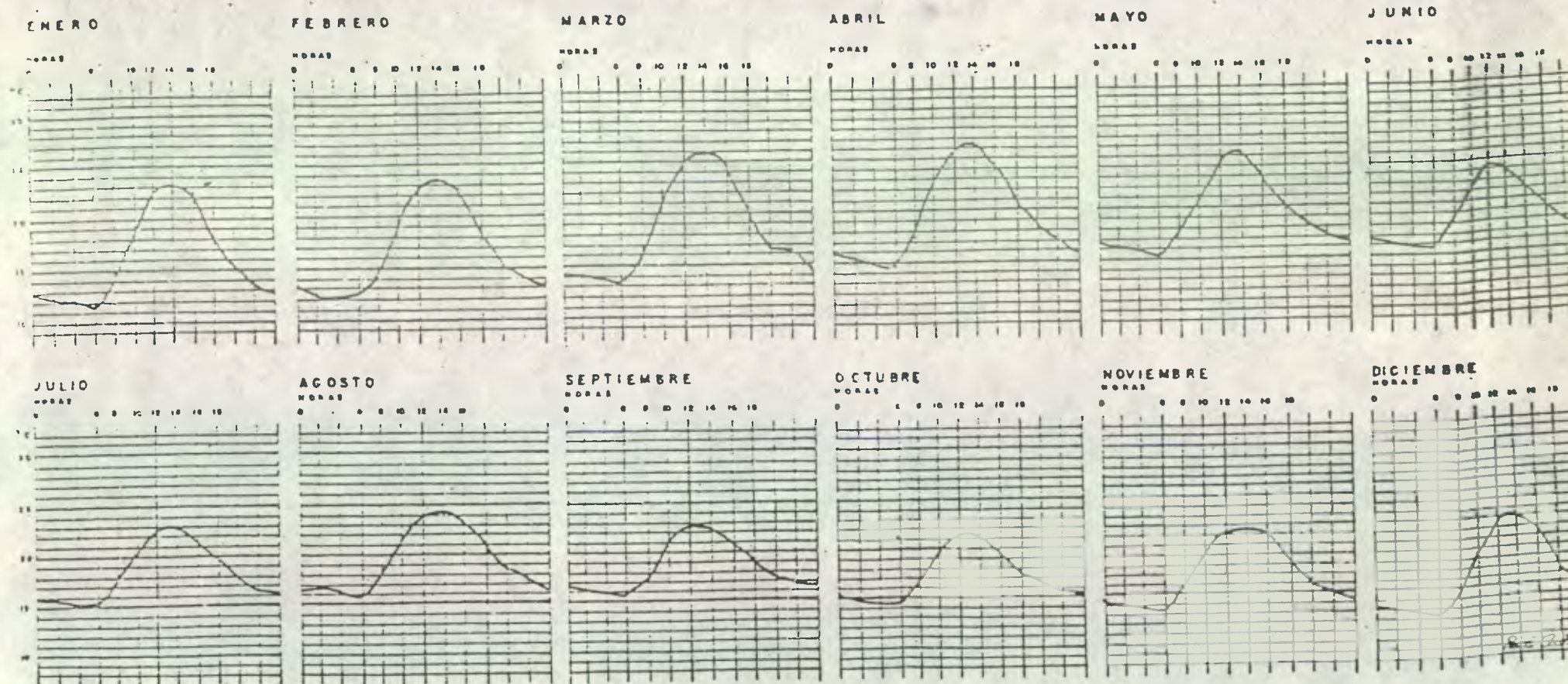
I S O T E R M I C A S

130



GRAFICA No. 21 Isotermas y su comportamiento anual.

TEMPERATURA HORARIA



GRAFICA No. 22 Comportamiento de la temperatura horaria.

FACTORES DE CONVERSION

- TEMPERATURA

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \ 5/9$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$$

$$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} + 32) \ 9/5$$

- ENERGIA

$$1 \text{ cal} = 4.1855 \text{ J} = 4.1855 \text{ Ws}$$

$$1 \text{ Kcal} = 1,000 \text{ cal} = 4185.5 \text{ J} = 4185.5 \text{ Ws} = 0.00116 \text{ Kw-hr}$$

$$1 \text{ Mcal} = 1,000 \text{ Kcal} = 4185.5 \text{ KJ}$$

$$1 \text{ Gcal} = 1,000 \text{ Mcal} = 1,000,000 \text{ Kcal} = 4185.5 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ cal.cm}^2.\text{min} = 697.33 \text{ Kjoules}$$

$$1 \text{ KJoule} = 239 \text{ calorías}$$

$$1 \text{ Kw} = 1,000 \text{ vatios} = 1.359 \text{ ps} = 102 \text{ kgm/s}$$

$$1 \text{ Kw-h} = 1,000 \text{ vatios-h} = 860 \text{ Kcal} = 3595 \text{ KJ} = 3414 \text{ BTU}$$

- POTENCIA

$$1 \text{ HP} = 0.745 \text{ Kw}$$

$$1 \text{ BTU/H} = 0.293 \text{ W}$$

$$1 \text{ Kw} = 14.3 \text{ Kcal.min}$$

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto

"IMPRIMASE"

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'C. Castañeda S.', written over a circular stamp.



ING. AGR. CESAR A. CASTAÑEDA S.
D E C A N O