



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

**“Análisis Comparativo de Destiladores de Agua
con Cubierta de Plástico Versus Cubierta de
Vidrio”**

PROYECTO DE GRADO

**Previo a la Obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO**

Presentado por:

Juan Carlos Patiño López

Guayaquil, Ecuador

1989

AGRADECIMIENTO

AL ING. MARCOS PAZMIÑO,
DIRECTOR DE PROYECTO DE
GRADO, POR SU AYUDA Y CO
LABORACION PARA LA REALI
ZACION DE ESTE TRABAJO.

DEDICATORIA

FACULTAD

- A MIS PADRES

- A MIS HERMANOS



.....
ING. MARCOS TAPIA
SUBDECANO
FACULTAD DE ING. MECANICA



.....
ING. MARCOS PAZMIÑO
DIRECTOR
DE PROYECTO DE GRADO



.....
ING. FRANCISCO ANDRADE
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



.....
ING. MARIO PATIÑO
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTE PROYECTO DE GRADO, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(REGLAMENTO DE TOPICO DE GRADUACION DE LA ESPOL).

JUAN CARLOS PATIÑO LOPEZ

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo consiste en realizar un estudio teórico - práctico del material de la cobertura de un destilador solar.

Para lo cual se busca un material que garantice mejor eficiencia y mejor producción de condensado.

Las pruebas se realizaron con vidrio de alta calidad, una película solar importada de los EEUU y plástico común de mantel.

Las pruebas experimentales se efectuaron en el Laboratorio de Energía Solar de la ESPOL en el destilador solar tipo cascada.

De las pruebas obtenidas se establece que una mayor producción de condensado se registra con la cubierta de vidrio, obteniéndose de ésta, eficiencias que van del 36 al 51 por ciento.

Los resultados de las pruebas efectuadas fueron tabulados y expuestos gráficamente para su mejor comprensión.

INDICE GENERAL

	PAGS.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE TABLAS	IX
INDICE DE GRAFICOS	X
INTRODUCCION	11
CAPITULO I	
GENERALIDADES	
1.1 Objetivo	12
1.2 Justificación del Proyecto	13
1.3 Alcance del Proyecto	14
CAPITULO II	
DESTILACION	
2.1 Funcionamiento del destilador	15
2.2 Clasificación de los destiladores	17
2.3 Eficiencia de los destiladores	19
2.4 Propiedades de las coberturas	20
2.4.1 El vidrio	22
2.4.2 Plásticos duros	25
2.4.3 Películas o filmes	26
2.4.4 Poliésteres reforzados	27
CAPITULO III	
SISTEMA EXPERIMENTAL	
3.1 Descripción del sistema	31

3.2 Recopilación de datos	31
3.3 Cálculo de la eficiencia	32
3.4 Análisis de datos	34
3.5 Análisis comparativo: Eficiencia de la cubierta de vidrio versus eficiencia de la cubierta de plástico de los sistemas	34
CAPITULO IV	
ANALISIS ECONOMICO	
4.1 Costo de materiales de construcción	36
4.2 Costo de mano de obra	38
4.3 Economía del proceso	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
APENDICE	44
BIBLIOGRAFIA	55

INDICE DE TABLAS

Nº		PAG.
1	PROPIEDADES DE 2 TIPOS DE VIDRIOS	24
2	PROPIEDADES DE LOS PLASTICOS DUROS	25
3	PROPIEDADES DE PELICULAS O FILMES	26
4	PROPIEDADES DE POLIESTER REFORZADO	27
4.1.1	COSTO DE MATERIALES	36
4.2.1	COSTO DE CONSTRUCCION	38
4.2.2	COSTO TOTAL DEL MODELO	39
A.1.1 a A.1.3	DATOS DE PRUEBAS CON VIDRIO Y CON LA PELICULA SOLAR	46
A.1.4 a A.1.5	DATOS DE PRUEBAS CON VIDRIO Y PLAS- TICO COMUN	49
A.2.1	CUADRO DE EFICIENCIAS DEL DESTILADOR SOLAR	51

INDICE DE GRAFICOS

FIG.		PAG.
B.1.2	TEMPERATURA AMBIENTE Y TEMPERATURA DEL AGUA VS. TIEMPO. PRUEBAS CON CUBIERTA DE VIDRIO	53
B.1.4	TEMPERATURA AMBIENTE Y TEMPERATURA DEL AGUA VS. TIEMPO. PRUEBAS CON CUBIERTA DE VIDRIO	54

INTRODUCCION

En las comunidades campesinas de nuestro país, se ingiere el agua impura de nuestros rios y esteros sin hervirla, de esta forma se producen los parásitos agravando las condiciones de salud del hombre del área rural, mermando así su rendimiento en el trabajo agrícola.

Conscientes de la riqueza en energía solar de estos lugares y del éxito obtenido en otras partes del mundo, algunas de éstas con menor irradiación que nuestras costas, se decidió construir un destilador solar tipo cascada utilizando materiales de fácil adquisición, y de bajo precio. En su construcción tampoco se usó mano de obra especializada.

En este equipo es posible obtener agua potable a partir de agua turbia o salda, utilizando radiación solar.

El objetivo de este trabajo es el determinar con que cubierta se consigue mejor eficiencia si con el plástico o con el vidrio.

CAPITULO I

1 GENERALIDADES

1.1 OBJETIVO

El presente trabajo tiene como objetivo principal el estudio teórico-práctico del material de la cobertura de un destilador solar.

Se encontrará un material para el cual la eficiencia del destilador será mayor y en consecuencia las pérdidas serán menores y este será el material óptimo.

La obtención de agua potable a partir de agua turbia o salada, utilizando radiación solar, es técnicamente posible y representa la forma mas simple y antigua de obtener agua potable.

En un bien diseñado destilador, las pérdidas de energía que se producen en el sistema, debidas a las diferencias de temperaturas existente entre la placa absorbadora y el medio exterior deben ser mínimas.

1.2 JUSTIFICACION DEL PROYECTO

Las comunidades campesinas de nuestro país ingiere el agua impura de los rios y esteros sin hervirla, de esta manera van acrecentando el número y el tipo de parásitos alojados en el intestino agravando las condiciones de salud del hombre del área rural que por la parasitosis intestinal que cuando no destruye la vida del hombre debilita sus fuerzas, promueve el cansancio y disminuye por consiguiente el rendimiento del trabajo agrícola.

Cuando la humanidad quiera expandirse hacia tierras áridas se facilitará con la conversión del agua de mar o salada en agua potable en los lugares donde no exista ahora agua.

La conversión de agua salada en agua dulce es relativamente sencilla.

La conversión de agua salada en agua dulce puede ser útil y un éxito económico si se suministran 4 litros por persona y día para beber o de 20 a 40 litros por persona por día para usos generales.

Entonces será importante analizar cual de las cubiertas resulta mas efectiva y duradera.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

En los destiladores solares, agua potable es generada por medio de un proceso de evaporación seguido de una condensación y recolección en una botella.

El destilador solar básico consiste de una bandeja de poca profundidad provista de una cubierta de vidrio, el calor solar promueve la evaporación, condensándose sobre la parte inferior de la cubierta.

Su construcción es muy simple, pero su producción muy limitada.

Pruebas anteriores realizadas en la ESPOL demuestran que para el área de Guayaquil la producción de un destilador simple es 2.5 a 3 litros de agua por día y por metro cuadrado.

En el presente proyecto se tratará de evaluar la producción de un destilador con cubierta de vidrio y la producción de un destilador con cubierta de plástico.

CAPITULO II

2 DESTILACION

2.1 FUNCIONAMIENTO DEL DESTILADOR

El destilador básico consiste en un recipiente en que el agua mantiene poca profundidad y se evapora por la acción del calor solar que incide sobre ella.

El recipiente se encuentra dotado de una cubierta de vidrio o plástico, transparente que permite el paso de la energía solar y por otro provee de una superficie en cuya cara interior es condensado el vapor de agua. La construcción es relativamente simple y requiere poco mantenimiento. El destilador solar esta destinado a trabajar con agua de mar, río o pozo.

El principio es sencillo, el agua que se encuentra en la bandeja debido a la incidencia de la radiación solar sobre esta, experimenta una elevación de temperatura, el aire en el interior empieza a humedecerse hasta que alcanza su punto de saturación, de tal forma que el espacio entre la cubierta de vidrio y la superficie del agua es llenado por una mezcla de vapor de agua y aire, el vapor de agua se condensa en la cara interior del techo y corre hacia los canalones que conducen el agua destilada a un recipiente apropiado.

La cubierta de vidrio funciona como una trampa para el calor, es transparente a la luz solar incidente pero opaco a la radiación infrarroja emitida por el agua caliente, además impi-

de que se escape el vapor y que los vientos enfrien el agua salada. El agua humedece la cara inferior del vidrio formándose una película uniforme del líquido.

Se utiliza un techo con cierta inclinación de tal manera que ofrezca la mayor ganancia de calor (captación de la energía solar) para obtener un alto rendimiento y por ende una mayor producción de condensado en comparación con el destilador convencional.

La cantidad de vapor de agua contenido en la mezcla depende fundamentalmente de las temperaturas de las superficies de evaporación y condensación se produce en una fina capa de la mezcla de vapor de agua-aire próxima a la superficie del agua y la cubierta respectivamente, y se encuentran relacionadas de tal forma que un cambio en la evaporación afecta a la condensación y viceversa, por la que estos procesos se analizan en conjunto.

El agua remanente debe vaciarse cada pocos días, antes que la cristalización de la sal de comienzo, y se llena la bandeja con agua nueva.

En este tipo de destilador de compensación interna no se pue de utilizar doble cubierta porque el techo debe mantenerse en ellos relativamente frío para que se produzca la condensa ción del vapor de agua.

2.2 CLASIFICACION DE LOS DESTILADORES

1- Destilador solar de gran profundidad

Estos destiladores se colocan directamente sobre el suelo arenoso sin aislamiento interpuesto. El terreno seco es mal conductor del calor, y la superficie del destilador permite únicamente una pérdida relativamente pequeña de calor por los bordes. Los 30 cm de agua y el terreno seco debajo, mantienen el calor durante la noche. La destilación continúa a un ritmo constante durante las 24 horas del día.

Para construir uno de estos destiladores se nivela y prepara el terreno para recibir una capa de asfalto negro en el fondo y los lados, que son ligeramente redondeados. Sobre ésta se coloca directamente soportes fabricados con bloques de hormigón armado sobre los que descansan las láminas de vidrio sencillo colocados sobre una superficie inclinada con la horizontal. Los canalones de acero inoxidable transportan el agua condensada.

2- Destilador solar con paños

Son fabricados de madera, sostenidos con estructura de hierro y formando un ángulo mayor de 10° con la horizontal. En el fondo aislante se coloca una hoja de plástico impermeable sobre el que se coloca un paño negro y sobre él una cubierta de plástico o vidrio. El agua fluye lentamente desde la parte superior del paño y parte de ella se evapora y condensa en el

interior de la cubierta.

El resto baja hacia la parte inferior en donde se concentra hasta que deposita las sales, reflectantes y de color blanco.

3- Destilador esférico de barrido

El destilador esférico de barrido esta formado por una semiesfera de plexiglass y otro material plástico transparente que descansa sobre unos soportes.

En su parte media esta situada la cubeta, aislada por su parte inferior donde contiene el agua a destilar; que puede ser agua de mar, agua contaminada o turbia; esta cubeta descansa sobre tres apoyos de materia plástica situadas en la esfera, dispone de un sistema mecánico de recuperación del agua destilada por medio de un limpia parabrisa movido por un motor eléctrico. La condensación se efectúa sobre la semiesfera superior y el condensado se recoge en la base de la semiesfera inferior.

4- Destilador solar de simple efecto

Está formado por una bandeja con el agua contaminada o turbia, tiene una sola cara expuesta al sol que esta cubierta con un vidrio o plástico.

En estos equipos la energía de entrada es exactamente igual al calor de vaporización del agua, siendo inutilizable la pérdida del calor por condensación respecto al sistema excepto para mantener la temperatura del agua caliente.

5. Destilador solar en cascada

Es un destilador solar inclinado de dos caras, con pequeñas bandejas con agua en cascada, colocados a una corta distancia de la cubierta de vidrio. La profundidad media efectiva del agua es pequeña. Este equipo es modular y puede ser separada la una cara de la otra es completamente independiente.

Una pequeña masa de agua se calienta más rápido que una gran masa de agua sometida a las mismas condiciones. Como la temperatura de la capa superficial del agua determina la presión del vapor de agua, su temperatura debe ser tan alta como sea posible, estas características son consecuencia de la distancia corta entre la cubierta de vidrio y la capa de agua contaminada o turbia.

2.3 EFICIENCIA DE LOS DESTILADORES

Un destilador solar es un tipo especial de intercambiador de calor, por medio de su eficiencia total de transmisión y de la intensidad de calor en el destilador, es posible determinar su rendimiento bajo diferentes condiciones de uso.

La eficiencia global de un destilador está definida como la relación de la transferencia de calor en el destilador por evaporación-condensación a la radiación solar incidente sobre el destilador.

$$\eta_0 = \frac{Q_e}{H_c}$$

Esta es generalmente integrada sobre un período extenso (día o mes) para indicar el rendimiento para períodos largos. Si hay algunas pérdidas del agua producida con el fondo dentro del destilador (por goteo desde la cubierta o escape del canal de recolección), menos producto podrá estar disponible.

La eficiencia de mediciones experimentales es:

$$\eta_{me} = \frac{\dot{m}_p \cdot h_{fs}}{H_c}$$

Donde \dot{m}_p es la tasa con la cual el destilado es producido en el destilador, que puede ser menor a la ideal, h_{fs} es el calor latente de caporización promedio del agua durante el período de prueba.

H_c = Intensidad de radiación solar incidente

2.4 PROPIEDADES DE LAS COBERTURAS

Las propiedades de los materiales son alteradas por constituyentes menores como son el contenido de óxido de hierro, estabilización, etc., o también debido a la técnica de los procesos de manufactura.

La propiedad mas importante de un material de cubierta es su transmisión de la radiación solar, la cual depende de:

- Longitud de onda de la radiación
- Composición química del material
- Espesor del mismo
- Angulo de incidencia de la radiación

Es importante que el material sea altamente transparente a las longitudes de onda de la luz solar incidente, y es mas conveniente si este es opaco a las longitudes de onda larga térmica, que son re-irradiadas por la placa absorbadora.

Un material de cubierta ideal debería tener las siguientes características:

- Alta transmitancia para la radiación solar incidente ($\tau = 1$)
- Baja transmitancia para la radiación térmica ($\tau_r \approx 0$)
- Baja absorptividad ($\alpha = 0$), para la radiación solar.
- Gran durabilidad (que no le afecte las condiciones ambientales)
- Bajo costo

Además debe tener ciertas propiedades mecánicas, como son:

- Baja conductividad ($k \approx 0$)
- Alta resistencia al impacto
- Alta resistencia térmica
- Bajo peso
- Excelente resistencia a los agentes químicos
- Difícilmente combustionable
- Fácil de cortar
- Manejable

Diferentes tipos de materiales son usados en las cubiertas, es tos varían en su forma de transmitir la luz solar y atrapar ca lor; para que el material sea realmente efectivo tiene que ser

por lo menos un 88 a 92 por ciento translucido.

En la práctica hay solamente una corta lista de alternativas proporcionada por la National Solar Heating And Cooling, que cumplen esta condición.

En esta lista podemos ver que compañías norteamericanas como la Dupont, CYRO, 3M, han desarrollado nuevos plásticos de los que se espera un mayor rendimiento bajo continuas exposiciones a la luz solar.

2.4.1 EL VIDRIO

Es el material mas antiguo transparente hecho por el hombre, el cual es usado ampliamente en aplicaciones solares. Este es una combinación de silica y cal a la que se le agrega soda o potasa. Es estable a altas temperaturas de incidencia solar, bastante resistente a ser rayado y a las inclemencias del medio ambiente circundante. Su desventaja es que tiene que ser manipulado con mucho cuidado, es quebradizo y resulta relativamente mas pesado.

Este puede ser química y térmicamente temperado, lo cual depende de su espesor, para incrementar su resistencia a la tensión. Este tratamiento le permite ser mas estable y resistente a las rugosidades del clima como viento, lluvia, granizo, etc.

El vidrio es resistente a muchos alcalinos y químicos,

puede ser fabricado por tres básicos procesos, como son el laminado, moldeado y pulido. Algunos tipos de vidrios son mas apropiados que otros, existen en diferentes espesores y resistencias.

Los de alta calidad tienen un bajo contenido de hierro, lo cual significa que refleja la menor cantidad de luz, normalmente pueden absorber un 3 a 4 por ciento de radiación que pasa a través de estos, mientras que los de baja calidad podrían absorber un 6 o más porcientos.

Para juzgar la calidad de vidrio hay que mirarlo por su borde, el mejor vidrio aparece claro como el agua o de un matiz ligeramente azulado, mientras que el de inferior calidad tiene un tinte verdoso, siendo los últimos mas baratos pero menos convenientes.

Algunos métodos son usados para alcanzar el incremento de la eficiencia del vidrio, uno es reducir la energía desde éste, otro es el uso de vidrio de bajo contenido de hierro, o menor espesor, o también como una combinación de estos, o sea por ejemplo usar un vidrio de espesor mínimo con una capa antireflectiva.

La Tabla Nº 1 resume las propiedades de dos tipos de vidrios.

TABLA Nº 1

PROPIEDAD	VIDRIO ORDINARIO (COMUN DE VENTANA)	VIDRIO CLARO BLANCO-AGUA
PORCENTAJE DE OXIDO DE HIERRO (Fe_2O_3)	0,12 (alto)	0,01 (bajo)
INDICE DE REFRACCION (n)	1,52	1,51
COEFICIENTE DE EXTINCION (pul ⁻¹)	0,194	0,174
TRANSMITANCIA (%)	79 a 88 %	91,2 a 91,6 %
ESPESOR (pul)	0,25 a 0,125	0,2 a 0,125
TEMPERATURA MAXIMA (°F)	400	400
AÑOS DE VIDA APROXIMADA	500	500

2.4.2 PLASTICOS DURES

Estos son en buena parte mas claros que el vidrio y son mas fáciles de cortar y manipular. Entre los mas conocidos de este tipo, tenemos el plexiglass. Son relativamente baratos pero pueden ser usados solo en coberturas exteriores cuando hay una capa de material diferente de bajo de ellas. Esto porque si calienta podrían doblarse o pandear.

Estos plásticos no son mejores que el vidrio, ya que se destruyen en un tiempo relativamente corto, debido a la incidencia de los rayos ultravioletas sobre ellos, pero existen plásticos con características especiales superiores que los hace ser mas convenientes en su empleo, comparados con el vidrio.

Ver Tabla Nº 2

TABLA Nº 2

PROPIEDAD	PLASTICO DURO
	PLEXIGLASS
TRANSMITANCIA (τ)	89 - 97 %
INDICE DE REFRACCION (n)	1,49 - 1,56
ESPESOR (pul)	0,125 - 0,25
TEMPERATURA MAXIMA (°F)	180
AÑOS DE VIDA	15

2.4.3 PELICULAS O FILMES

La disponibilidad de delgadas láminas resistentes de plásticos, con propiedades particulares es importante en el desarrollo del uso de la energía solar.

El teflón que es un fluoropolimero esta incluido en este grupo, se encuentra en una única y muy pequeña clase de polimeros orgánicos que no tienen hidrógeno, el fluoride reemplaza este elemento.

De las propiedades de teflón podemos decir que posee una alta transmitancia de la luz, muy transparente, transmite mas luz ultravioleta, visible e infrarroja que cualquier vidrio, es altamente flexible, responde a la expansión térmica, es de interes su bajo índice de refracción, bajo peso, durabilidad y su poco espesor.

Sus propiedades se indican en la Tabla Nº 3

TABLA Nº 3

PROPIEDAD	POLIVINIL FLUORIDE TEDLAL	TEFLON
ζ (%)	90	96
ESPESOR (pul)	0,004	0,001-0,002
K (pul ⁻¹)	3,55	3,396
n	1,45	1,34
TEMP MAXIMA (°F)	300	400
AÑOS DE VIDA	10	15 - 20

2.4.4 POLIESTERES REFORZADOS

Muchos de estos son conocidos en el comercio como "Fiber Glass", en la práctica a la fibra de vidrio se le agregan reforzadores, de tal forma que las láminas de espesores mínimos adquieren rigidez.

Este tipo de materiales son tan buenos como el vidrio y en algunos casos mejores, algunas de sus propiedades son semejantes. No se parten o rompen en condiciones normales, pueden ser cortados con serruchos de regular potencia, taladrados y clavados. Entre los mas conocidos tenemos los que se citan en la Tabla No. 4

TABLA Nº 4

PROPIEDAD	poliester acrilico	fiber glass
	laminado	premiun II
	flexigard	sun-lite
ϵ (%)	89 - 91	85 - 90
ESPESOR (pul)	0,011 - 0,007	0,04 - 0,025
TEMP.MAX. ($^{\circ}$ F)	275	225
n		1,58
AÑOS DE VIDA	10	20

ANALISIS DE LAS COBERTURAS

El uso de materiales con mejores propiedades, tiende a limitarse por su costo, ya que resultan estos plásticos especiales mucho mas caros comparados con vidrios ordinarios.

La facilidad de trabajarlos y su manuabilidad es una gran ventaja de los plásticos duros, los cuales vienen en planchas de medidas normalizadas, las de menor espesor vienen en rollos de longitud variable.

Rompimiento ruptura, rajamiento, estiramiento, descoloramiento, etc., son algunos de los daños mas comunes en los materiales de coberturas, siendo la causa que generalmente los produce esfuerzos térmicos, impactos accidentales o condiciones ambientales rigurosas.

La elección del material correcto para una cubierta es crucial para el éxito en el funcionamiento del destilador solar. Esta basada principalmente en las características de transmitancia de la radiación solar, ciclo de vida total, absorptancia y reflectancia del material.

De estos tres factores a considerar la transmitancia es la mas importante propiedad de todas, esto a su vez depende directamente del indice de refracción del material (n), conociendo estos valores sabremos como mas o menos se comportará o cumplirá con su función.

Los vidrios son opacos en la región infrarroja, algunos plásticos son altamente transparentes permitiendo que la radiación térmica escape, sin absorberla. Este es uno de los motivos por lo que la cubierta exterior tiene que ser un material de un espesor superior a los de la cubierta interior, con propiedades iguales o mejores que las del vidrio, para atrapar el calor.

Según se diseñe el sistema en el estudio de los materiales a emplearse, es importante conocer su tiempo de vida antes de que se deterioren.

El vidrio es el mas durable de todos, en condiciones normales sin considerar accidentes repentinos, los plasticos tienden a amarillarse por la acción de los rayos ultravioletas cuando han sido expuestas durante cierto período de años.

Los plásticos mas claros son los mas sensitivos a la degradación ultravioleta y pocos pueden tolerar temperaturas superiores a 300^oF sin deteriorarse. El precio de ellos va de acuerdo con sus propiedades. Por otro lado, los plásticos son fuertes, no se rompen fácilmente como el vidrio y son fáciles de transportarlos y trabajarlos.

Por su alto contenido de hierro el vidrio ordinario de ventana nunca debería ser usado en un colector solar. Los vidrios tienen la desventaja que deben ser mas gruesos que los plásticos, su trabajado es mas complicado, no así los plásticos los cuales se los puede cortar, taladrar, etc., con mas facilidad.

En conclusión diremos que como cubierta exterior es mas conveniente el uso de un plástico duro, si consideramos su resistencia al impacto, facilidad de trabajado y propiedades ópticas y el uso del vidrio si tomamos en consideración su tiempo de vida, opacidad a los rayos ultravioletas y costo.

CAPITULO III

SISTEMA EXPERIMENTAL

3.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA

El equipo es instalado sobre la terraza de la ESPOL, en el area dedicada al laboratorio de energía solar.

El equipo es orientado en la dirección Este - Oeste, es decir una cubierta es orientada al Norte y la otra al Sur.

Empleamos agua potable para la experimentación, durante cinco días y con un nivel de ocho milímetros de agua.

Las pruebas se realizan de 9H00 a 16H00 y se lleva control cada hora de los siguientes parámetros:

T_a Temperatura ambiente, °C

T_w Temperatura de agua en la bandeja, °C

T_g Temperatura de la cubierta de vidrio, °C

T_p Temperatura de la cubierta de plástico, °C

G Producción de condensado en litros

H_c Intensidad de radiación solar, watt/m²

3.2 RECOPIACION DE DATOS

Como se dijo anteriormente, la experimentación se lleva a cabo de las 9H00 hasta las 16H00, en el equipo se han instalado termocuplas convenientemente colocadas en los puntos de interes para determinar los parámetros antes citados.

El equipo usado en las pruebas realizadas es:

- Un radiómetro
- Un termómetro digital de 10 canales
- Un termocuplas tipo T
- Recipiente graduado de Pyrex
- Un tanque de alimentación de agua

Una vez instalado el equipo de medición de temperaturas y el recipiente de recolección de condensado vacío, mediante el selector de termocuplas se realiza la toma de datos correspondiente a temperaturas, radiación solar y producción de condensado a intervalos de una hora.

Las pruebas realizadas son cinco días tomados al azar.

Los datos de temperatura ambiente y radiación solar son tomados del registro de la estación metereológica de la ESPOL.

3.3 CALCULO DE LA EFICIENCIA

El cálculo de las eficiencias de mediciones experimentales (n_{me}) son realizados para cada día de prueba, se presentan en el apéndice A Tabla A.2.1

De las pruebas a base de energía solar seleccionamos las Tablas A.1.2 y A.1.4 que corresponden al máximo y mínimo \dot{m}_p obtenido respectivamente.

De la ecuación 2.3.2 tenemos:

$$n_{me} = \frac{h_{fg} \dot{m}_p}{H_c}$$

PRUEBA A.1.2

DATOS

$$h_{fg} = \frac{h_{fg}}{8} = 2.346397,5 \text{ J/kg}$$

$$\frac{Q}{m_p} = \frac{m_p}{7}$$

$$\frac{Q}{m_p} = 0,6571 \text{ kg/m}^2 \times \text{HR}$$

$$H_c = 21'112.488 \text{ J/m}^2$$

ENTONCES

$$\eta_{me} = 51,12 \%$$

PRUEBA A.1.4

DATOS

$$h_{fs} = h_{fs} / 8$$

$$h_{fs} = 2'366.551,25 \text{ J/kg}$$

$$\frac{Q}{m_p} = \frac{Q}{m_p} / 7$$

$$\frac{Q}{m_p} = 0,4171 \text{ kg /m}^2 \text{ HR}$$

$$H_c = 18'728.820 \text{ J/m}^2$$

ENTONCES

$$\eta_{me} = 36,89 \%$$

Las eficiencias calculadas son las máximas y la mínima del sistema correspondiente a los días de prueba, en igual secuencia se procede para el resto de días (Ver Tabla A.2.1)

3.4 ANALISIS DE DATOS

Las tablas que muestran la temperatura ambiental, indican que cuando se realizaron las pruebas se estaba en verano, la temperatura fluctuaba entre 20° - 28°C.

Los registros diarios de producción indican que todas las pruebas varían en cantidad.

El cuadro A.1.2 indica que el destilador trabajando a base de energía solar produce en promedio 2 litros por día, con un nivel de agua de 8 milímetros, lo que da una eficiencia promedio de 44,3 %

Se puede observar que la mayor producción de condensado superior a 2 litros por día fue durante la segunda prueba que concuerda con la mas alta tasa de radiación incidente captada por el destilador.

Así mismo se obtuvo la mas baja cantidad de condensado durante la cuarta prueba de 1,46 litros y que también corresponde al día con mas baja radiación solar.

3.5 ANALISIS COMPARATIVO: EFICIENCIA DE LA CUBIERTA DE VIDRIO VERSUS EFICIENCIA DE LA CUBIERTA DE PLASTICO

La prueba del destilador solar con cubierta de plástico:

En primer lugar se probó por tres días con una película solar (teflón de 0,01 pul) importado de los E.E.U.U., con el cual no se obtuvo producción.

En segundo lugar realizamos dos días de prueba con plástico común de mantel el cual tampoco dio resultado.

En el caso del plástico solar las temperaturas que se alcanzaron eran superiores a las del vidrio, mientras con el plástico común las temperaturas que se obtuvieron fueron menores a las del vidrio.

En la cubierta plástica el agua se condensa en forma de gotas en vez de hacerlo como una película homogénea y continua.

Estas pequeñas gotas se dispersaban, reflejaban parte de la luz solar que llega, y daban al techo un aspecto plateado, además estas gotas caían dentro de la batea de agua salina.

Este fenómeno se acentúa notablemente cuando el techo de plástico no es del tipo rígido, y por lo tanto puede ser fácilmente sacudido por el viento. Una desventaja adicional es el hecho de que el plástico debido a sus propiedades electrostáticas atrae el polvo.

Con todas estas condiciones a pesar de que las propiedades teóricas eran óptimas para la destilación no se obtuvo producción por que el agua no recorrió la ruta deseada.

Las eficiencias para el vidrio dieron como resultado un promedio de 44,3 % tomando en cuenta una sola cubierta.

CAPITULO IV

ANALISIS ECONOMICO

4.1. COSTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION

El destilador solar en cascada es un equipo experimental que se construyó en el taller de modelaje de la Facultad de Ingeniería Marítima de la ESPOL.

El prototipo esta acondicionado para efectuar pruebas experimentales.

En la Tabla 4.1.1 se detallan los rubros que constituyen el costo de materiales que se ha invertido.

TABLA 4.1.1

COSTO DE MATERIALES

CANTIDAD	MATERIAL	S/UNIDAD	TOTAL
1	Plancha de plywood de 4mm	1260	1260
1/2	Litro de laca madera	3600	1800
1/2	Libra de clavos 5/cab.		
	19.05 mm(3/4")	900	450
2	Pliegos de lija	90	180
1	Rollo cinta Maskit 19.05 mm	435	435
1/2	Tarro de cera	172,2	86,10
1/4	Litro desmoldante	1200	300
1	Libra cabosil	1080	1080

CANTIDAD	MATERIA	S/UNIDAD	TOTAL
14	Litros resina	664,5	9597
250	Gramos acelerante	2,4	600
5	m ² fibra MAT	795	3975
1	Unidad brocha	120	120
2	Vidrios 550 x 1030 x 3 mm	1395	2990
1	Silicón Transp. (tubo)	2734,5	2734,5
1	Plumafón 2000 x 1000 x 50mm	4960,8	4960,8
1	Blancola (lt)	405	405
2	Conector con contratuerca 12.7 x 76.6 mm (1/2 x 3")	90	180
2	Conector con contratuerca 12.7 x 50.8 mm (1/2 x 2")	90	180
4	Codos 12.7 mm (1/2")	120	480
2	Neplos 12.7 x 76.6mm (1/2 x 3")	90	180
2	Neplos 12.7 x 50.8mm (1/2 x 2")	90	180
4	Tapones hembra 12.7 mm (1/2")	90	360
1	Rollo teflón	180	180
2.10 m	Perfil al en U	210	420
1 m	Manguera 12.7 mm (1/2")	150	150
2	Ang.L Fe 26.25 x 0,125 x 6000mm	1140	2280
1 lb	Soldadura E-6011	345	345
1/2 lt	Pintura ant. negra	900	450
1	Brocha	120	120
TOTAL			36278,4

4.2 COSTO DE MANO DE OBRA

En la Tabla 4.2.1 se detallan los rubros que constituyen el costo de mano de obra que se ha invertido en la construcción del modelo.

TABLA 4.2.1

COSTO DE CONSTRUCCION

OBRA	MANO DE OBRA CALIFICADA				MANO DE OBRA NO CALF.			
	DIAS	No.OB.	S/DIA	TOT.	DIAS	NoOB	S/DIA	TOT.
A	1	1	3000	3000				
B					1	1	2400	2400
C				3000				
								5400

A = Molde de madera

B = Soldadura estructura

C = Subtotal

D = Total

TABLA 4.2.2

COSTO TOTAL DEL MODELO

COSTO	SUCRES
Costo de materiales	32278,4
Costo de mano de obra	5400,0
Imprevistos y otros	4.167,86
TOTAL	45846,26

4.3 ECONOMIA DEL PROCESO

El costo es analizado considerando los siguientes parámetros:

- 1.- Capital invertido
- 2.- Costo de operación, mantenimiento y reparación
- 3.- Producto obtenido

En procesos corrientes de destilación de agua de mar el costo de la energía es bastante elevado y es un parámetro muy significativo, en nuestro caso sin embargo es el capital invertido en la construcción el que representa el total del costo de producción.

El costo será obtenido usando la siguiente relación:

$$c = \frac{CI (PA + MR + I) + O.L.}{D_a \quad A_d}$$

Donde:

CI= Capital invertido, sucres

$$PA = r \cdot 1 + \frac{1}{1 + \frac{r}{100}^{n-1}} \quad \% \text{ año}$$

PA= Pago anual

r= Porcentaje de interés anual

MR= Mantenimiento y reparación, % año

n= Período de amortización, año

I= Imprevisto % año

O= Labor de operación, horas-hombre/año

L= Labor de limpieza, sucres/hora/hombre

D_a= Destilado anual, litros/m² - año

A_d= Area del destilador, m²

En nuestro sistema:

CI = 45846,24

r = Se asume un interés del 30 % anual

n = 25 años, vida útil del destilador

PA = 30,04 % anual

MR = 1% anual del capital invertido

I = 4% anual del capital invertido

O = Se estima un control 0.150 horas-hombre/día

= 54.75 horas-hombre/año

L = 0.05% del CI/horas-hombre

= 22.92 sucres/horas-hombre

O.L= 1255 sucres/año

Destilado obtenido en período de prueba: 192.620 litros/m²-mes.

Agregando un 20 % que es obtenido fuera de las horas de prueba:

231.144 litros/m² - mes

DA = 2773 - 73 litros/m² - año

Ad = 1 m²

Donde:

C = 6,24 sucres/litro

En nuestro medio, el agua que se distribuye en tanqueros en el Guasmo y Suburbio de Guayaquil tiene un costo de 450 sucres, 600 sucres y hasta 900 sucres los 50 galones cuando el desabastecimiento es grande, o lo que es lo mismo 2,25 sucres/litro, 3 sucres por litro y 4,5 sucres/litro; en promedio 3,25 sucres/litro, es decir un precio menor al nuestro. Por otra parte, en la zona peninsular el agua de pozo que se distribuye de la misma manera y que es de menor calidad, tiene un costo de 150 sucres los 5 galones o 7,5 sucres por litro, un precio muy superior al que hemos obtenido con energía solar.

La ventaja económica esta a la vista.

La producción del sistema dependerá del área del destilador; con 1 m² de área obtenemos alrededor de 7 litros por día, y el tamaño del destilador solar a instalarse estará en función de ello.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las óptimas condiciones de trabajo del sistema deberá ser aquellas que permitan captar la mayor parte de la radiación solar incidente al mismo tiempo que la temperatura de la cubierta se mantenga lo mas baja posible, para ello debe existir un diferencial óptimo entre las temperaturas del agua, de la cubierta, por lo tanto se debe experimentar en lugares donde se tenga velocidades de viento mayores.

Las pruebas se realizaron con agua potable, se pudo comprobar que no se presentó sedimentación en la bandeja.

El retorno por goteo de la película es prácticamente nulo en la cubierta de vidrio.

La eficiencia puede elevarse mejorando los sellor y mejorando la nivelación de la bandeja colectora de energía.

No requiere materiales sofisticados para su construcción. La mano de obra no requiere mayor tecnificación, en la cubierta de plástico no rígida el agua se condensa en forma de gotas, en vez de hacerlo como una película homogénea.

La calidad del material plástico juega un papel muy importante respecto a la utilización práctica.

Sería muy importante que la superficie del plástico utilizado permita una adherencia homogénea del líquido, pues en caso contrario, el agua se condensa en forma de pequeñas gotas que disipan

la luz y tienden a caer nuevamente dentro de la cubeta de agua sa
lina.

Sólo se deberá utilizar plástico rígido para que no sea afectado
por el viento y las ondulaciones que se presentan en el material.

A P E N D I C E S

A P E N D I C E A

RECOPIACION DE TABLAS

TIEMPO	TEMPERATURA °C					G	H _c
	VIDRIO			PELICULA SOLAR			
HORA	T _A	T _w	T _G	T _{wP}	T _p	L _T	W/m ²
9H00	20	40	35	40	38	0	315
10H00	23	60	50	66	58	0,350	505
11H00	24	70	59	72	66	0,525	631
12H00	24	90	80	94	85	0,8	1167
13H00	24	85	72	88	72	1,2	1041
14H00	27	75	66	78	75	1,46	694
15H00	27	80	69	82	75	1,86	851
16H00	28	65	58	170	68	2,155	536

TABLA A.1.1

ESTADO DEL TIEMPO: Miércoles 23 de Agosto de 1989

MAÑANA: Parcialmente cubierto

TARDE : Semisoleado

TIEMPO	TEMPERATURA °C					G	HC
	VIDRIO			PELICULA SOLAR			
	HORA	T _A	T _W	T _G	T _{WP}	T _P	L _T
9H00	20	40	35	45	37	0	315
10H00	22	55	40	60	42	0,24	473
11H00	25	64	53	70	57	0,6	694
12H00	24	70	60	76	63	1,02	788
13H00	26	66	57	70	60	1,32	631
14H00	25	85	75	88	78	1,67	1167
15H00	28	82	72	84	75	2,00	1009
16H00	27	70	60	75	65	2,3	788

TABLA A.1.2

ESTADO DEL TIEMPO: Jueves 24 de Agosto de 1989

MAÑANA: Semisoleado

TARDE : Despejado

TIEMPO	TEMPERATURA °C					G	H _c
	VIDRIO			PELICULA SOLAR			
HORA	T _A	T _W	T _G	T _{WP}	T _P	LT	W/m ²
9H00	21	40	35	42	38	0	378
10H00	22	50	40	52	50	0,4	473
11H0	23	66	56	70	60	0,66	536
12H00	24	70	62	73	65	0,97	631
13H00	24	75	65	77	66	1,34	788
14H00	25	65	60	75	64	1,61	631
15H00	26	84	75	90	80	1,80	1004
16H00	25	80	72	85	75	2,01	977

TABLA A.1.3

ESTADO DEL TIEMPO: Viernes 25 de Agosto de 1989

MAÑANA: Semicubierto

TARDE : Semicubierto

TIEMPO	TEMPERATURA °C					G	H _c
	VIDRIO			PLASTICO COMUN			
HORA	T _A	T _W	T _G	T _{WP}	T _P	L _T	W/m ²
9H00	24	35	30	28	25	0	158
10H00	24	40	35	30	28	0,045	473
11H00	25	47	41	40	35	0,145	820
12H00	25	62	54	52	40	0,245	914
13H00	27	86	70	59	55	0,58	1009
14H00	27	85	62	57	50	0,88	946
15H00	27	58	50	54	45	1,16	505
16H00	26	53	46	40	30	1,46	378

TABLA A.1.4

ESTADO DEL TIEMPO: Lunes 28 de Agosto de 1989

MAÑANA: Cubierto

TARDE : Cubierto

TIEMPO	TEMPERATURA °C					G	Hc
	VIDRIO			PLASTICO COMUN			
HORA	Ta	Tw	Tg	Twp	Tp	LT	W/m ²
9H00	20	30	25	28	23	0	378
10H00	22	36	28	30	28	0,09	473
11H00	25	55	47	40	35	0,22	977
12H00	25	61	55	52	40	0,425	1041
13H00	28	76	65	65	50	0,665	1072
14H00	26	58	45	50	40	0,9	441
15H00	27	60	50	52	44	1,21	505
16H00	27	54	48	46	42	1,51	473

TABLA A.1.5

ESTADO DEL TIEMPO: Martes 29 de agosto de 1989

MAÑANA: Cubierto

TARDE : Cubierto

TABLA A.2.4

CUADRO DE EFICIENCIAS DEL DESTILADOR DE AGUA

PRUEBA	\dot{m}_p	H_c	h_{fg}	η_{me}
	Kg/hr-m ²	W/m ²	KJ/Kg	%
1	0,6157	5738,46	2336,0875	48,74
2	0,6571	5864,58	2346,3975	51,12
3	0,5743	5517,75	2347,0675	47,5
4	0,4171	5202,45	2366,5512	36,89
5	0,4314	5360,1	2377,8525	37,21

PROMEDIO: $\eta_{me} = 44.3\%$

A P E N D I C E B

RECOPIACION DE GRAFICOS

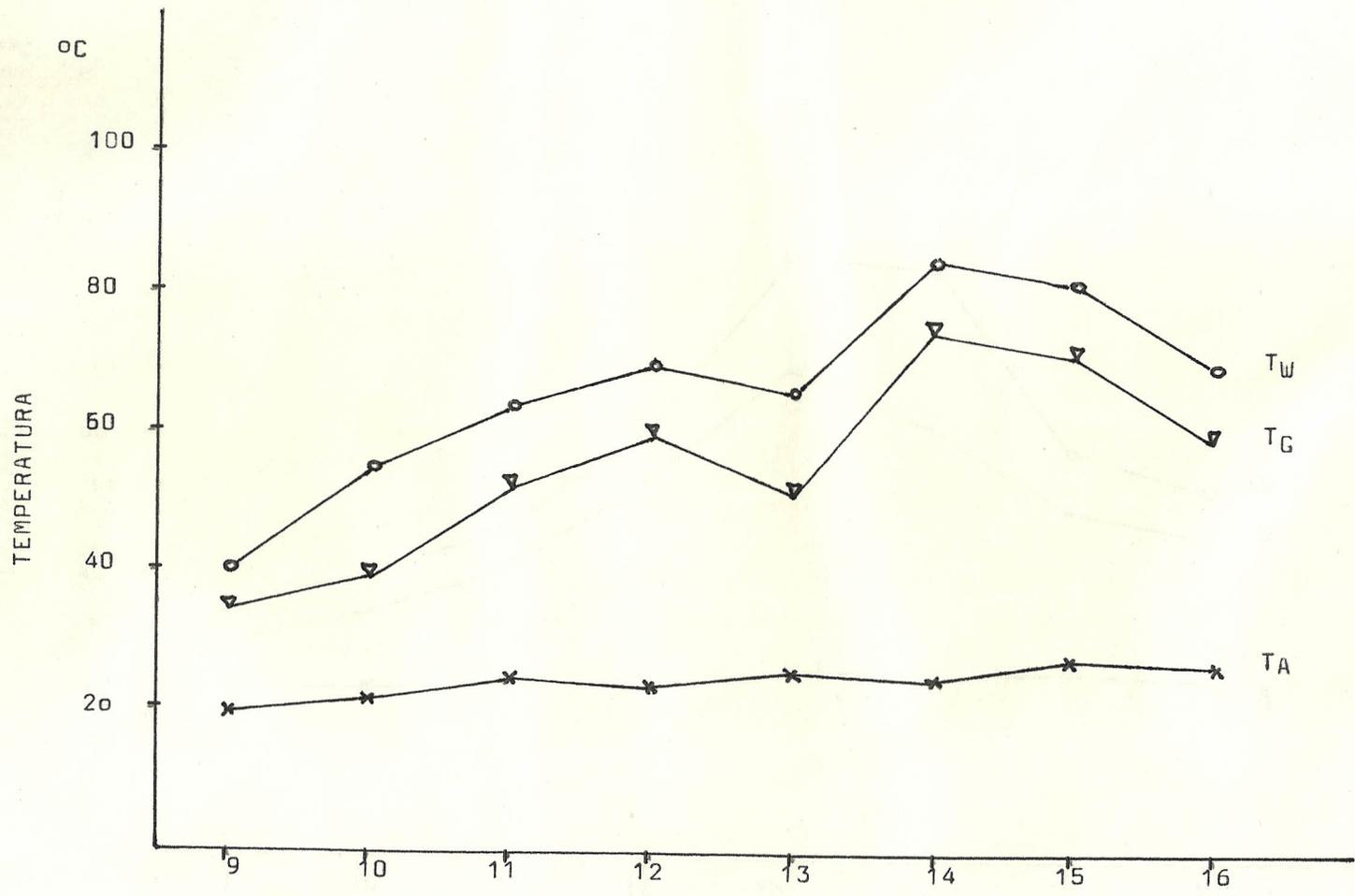


GRAFICO B.1.2 TEMPERATURA AMBIENTE, TEMPERATURA DEL AGUA VS. TIEMPO
(PRUEBAS CON CUBIERTA DE VIDRIO)

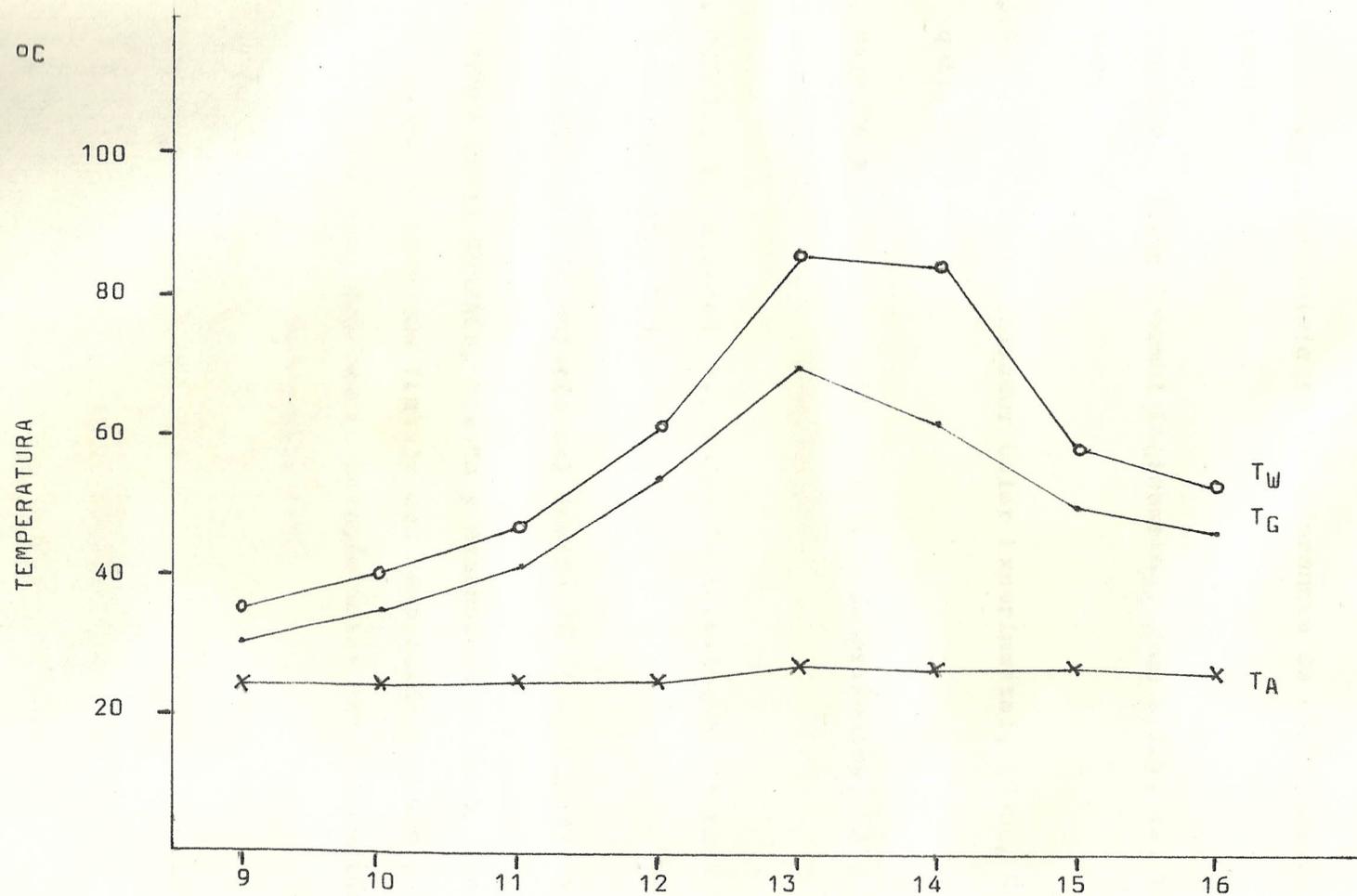


GRAFICO B.1.4 TEMPERATURA AMBIENTE, TEMPERATURA DEL AGUA VS. TIEMPO
(PRUEBAS CON CUBIERTA DE VIDRIO)

BIBLIOGRAFIA

1. ALBUJA, Diseño y Construcción de un Destilador Solar tipo Cascada, ESPOL, Guayaquil, 1988
2. KREITH, F., Principio de transferencia de calor, México, 1970
3. LUNDE P., Solar Thermal Engineering, Jhon Wiley, New York, 1980
4. PAZMIÑO M., Desalinizador Solar Experimental, ESPOL, Guayaquil, 1979
5. PAZMIÑO M., Energía Solar Teoría y Experimentos, ESPOL, Guayaquil, 1981
6. DUFFIE, J., BECKMAN, W., Solar Engineering of Thermal Processes, New York, 1980
7. THRELKELD J., Ingeniería del Ambito Térmico, España, 1973
8. ZABALA ORTIZ GONZALO, Diseño y Pruebas de un Destilador Evaporativo de Agua que Trabaja con Combustión de Leña y Biogas usando como Suplemento Energía Solar con Aplicación a Uso Rural, ESPOL, Guayaquil, 1985