



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**ANALISIS DINAMICO EN
DESTILADORES SOLARES**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

BARAJAS CAÑIBE RENE ALEJANDRO
RUIZ MEDINA JESUS EDMUNDO

**FACULTAD DE
INGENIERIA**



U N A M

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Este trabajo es la conclusión de varios años de esfuerzo personal que fue auxiliado por la comprensión familiar, especialmente de nuestras madres que con su ejemplo y esfuerzo fueron partícipes de este; por el apoyo de los maestros que con sus conocimientos y experiencias en su vida profesional nos enriquecieron durante el tiempo que estuvimos en esta institución.

A su vez, este trabajo marca el principio de nuevos retos por alcanzar en la vida profesional, y estamos seguros que en todo momento, contaremos con el apoyo recibido hasta ahora.

Agradecemos al Dr José Luis Fernández Zayas por la asesoría prestada en la realización de esta tesis, al Dr Alejandro Rodríguez Valdés por la motivación dada en sus cursos y a todas aquellas personas que de alguna manera colaboraron con nosotros.

Finalmente, queremos agradecer de una manera especial a nuestra querida Universidad, que a pesar de sus problemas nos permitió realizar un sueño con el que podremos servir a México.

Índice

Nomenclatura	i
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Modelo matemático	11
4. Modelo numérico	17
5. Validación del modelo	21
6. Conclusiones, comentarios y recomendaciones	27
Referencias	31
Apéndice	33

Nomenclatura

T	temperatura	$^{\circ}\text{C}$.
P	presión parcial de vapor de agua	kPa .
$\frac{h}{L}$	coeficiente de transferencia de calor	$\text{W/m}^2\text{K}$
k	conductividad térmica	W/m K
M	masa	kg
Cp	calor específico	J/kg K
h_{fg}	entalpia de evaporación	kJ/kg
t	tiempo	seg
H_s	intensidad solar	W/m^2
V	velocidad del viento	m/s
Q	calor	W/m^2
U	coeficiente global de transferencia de calor	$\text{W/m}^2\text{K}$
Ac	energía acumulada	W/m^2
It	inerencia térmica	$\text{W/m}^2 \text{K}$

letras griegas

α	absortancia	
σ	constante de Stefan-Boltzmann	$\text{W/m}^2 \text{K}^4$
ρ	densidad	kg/m^3

ϵ	espesor	m
τ	transmitancia	
ν	viscosidad cinemática	m^2/s

subíndices

wc	flujo convectivo desde la base hasta la cubierta de vidrio
we	flujo evaporativo desde la base hasta la cubierta de vidrio
bamb	flujo convectivo de la base hacia el ambiente
cond	flujo evaporativo hacia el condensador pasivo
x	flujo convectivo desde la cubierta de vidrio hacia el ambiente
raw	flujo radiado de la base hacia la cubierta de vidrio
rad	flujo radiado de la cubierta de vidrio hacia el ambiente
g	cubierta de vidrio
w	salmuera
b	base
amb	ambiente
air	aire
i	intervalo de tiempo
*	índice alternado g,w,b

1. Introducción

El sol como fuente de energía ha sido utilizado desde los inicios de la humanidad. Actualmente, la energía solar representa una opción viable para la producción de energía eléctrica así como para el calentamiento o bien la destilación de agua salobre, ya que no produce contaminación y los costos para aprovechar dicha energía son bajos.

La desalinización del agua de mar es un proceso que se ha practicado en destiladores solares desde 1872, cuando una planta construida sobre una superficie de 4757 m^2 en Las Salinas, Chile producía $19 \text{ m}^3/\text{día}$. Desde entonces dichos dispositivos han sufrido varios cambios en geometrías y diseños a fin de obtener un mejor aprovechamiento.

Dentro de los parámetros importantes a considerar en un destilador solar para su funcionamiento son:

- a) Intensidad solar
- b) Temperatura ambiente
- c) Tirante de agua
- d) Forma e inclinación de la cubierta
- e) Pérdidas de calor de la base y de la cubierta
- f) Espesor de la base
- g) Velocidad del viento

De los parámetros antes presentados y de otros que más adelante se mencionarán, se presenta un análisis numérico realizado al destilador solar convencional o simple. Dicho destilador ha sido objeto de diversos estudios por parte de diversos investigadores que han logrado grandes avances en el conocimiento de su comportamiento. Es preciso advertir que dicho proceso de investigación deberá continuar hasta obtener un modelo que maneje todas las variables que intervienen en la destilación a fin de poder predecir resultados muy cercanos a los reales.

El análisis numérico que se presenta en este documento pretende representar el comportamiento que presentan los distintos elementos que componen al destilador cuando este opera en condiciones reales. Para poder efectuar dicha simulación es necesario plantear un balance térmico en el que intervengan todas las variables involucradas del sistema en estudio, por lo cual fue necesario considerar desde las expresiones más simples para la conducción del calor hasta las expresiones más complejas del fenómeno de convección.

A lo anterior cabe agregar que el análisis permitió adentrarse más profundamente en el problema de abastecimiento de agua en México así como el aprovechamiento de fuentes alternativas de energía para obtener un producto de utilización inmediata que puede ser almacenado para un uso posterior.

Aunque se hacen esfuerzos en el país por abastecer de agua a las grandes ciudades y poblados rurales, es necesario orientar dicho esfuerzo al uso de destiladores solares a fin de obtener agua dulce a partir de agua de mar y ser utilizada para el riego de cosechas o como agua potable en regiones costeras.

2. Antecedentes

El análisis del destilador solar fue iniciado con la lectura de diferentes artículos científicos con el fin de sintetizar el trabajo de diversos investigadores. En esta sección se analizan solamente los aspectos más relevantes de cada artículo.

Una importante obra de referencia para el inicio es la de Yadav y Prasad [1]. El análisis propuesto por dichos autores considera lo siguiente: que las inercias térmicas de la cubierta de vidrio y de la base son despreciables comparadas con la del agua; que no existe un gradiente de temperaturas en el vidrio y en la base por ser ambos muy delgados; que la superficie del agua y de la cubierta de vidrio están en paralelo; que es un sistema aire-vapor cerrado herméticamente y que existe aislamiento en el fondo y en los costados del destilador. Es importante hacer notar, que este análisis considera que la radiación solar es recibida por la base, siendo esta la que determina el comportamiento del dispositivo.

Con estas suposiciones, el balance de energía para los elementos del sistema es:

para el vidrio:

$$h_{wc}[T_w - T_g] = h_x[T_g - T_{amb}]$$

para el agua:

$$\dot{h}_b = M_w(dT_w/dt) + h_{wc}[T_w - T_g]$$

para la base:

$$\alpha_b H_s = h_b[T_b - T_w] + U_b[T_b - T_{amb}]$$

donde:

$$U_b = [(\epsilon_b/k_b) + (1/h_{bamb})]^{-1}$$

Los resultados obtenidos al resolver el balance anterior muestran diferentes variables que afectan el comportamiento del destilador solar. Se puede ver que la radiación solar y la temperatura ambiente son senoidales (Fig 2.1); que la eficiencia aumenta si la temperatura inicial de la salmuera es alta, esto ocasiona que la diferencia de presiones parciales de vapor de agua entre la cubierta de vidrio y la superficie de la salmuera sea mayor desde el comienzo de la operación, lo que provoca que exista producción desde el inicio.

Se comenta que la producción disminuirá con el incremento de la masa de agua pues la inercia térmica de esta aumenta y se requiere más calor para elevar la temperatura de la salmuera.

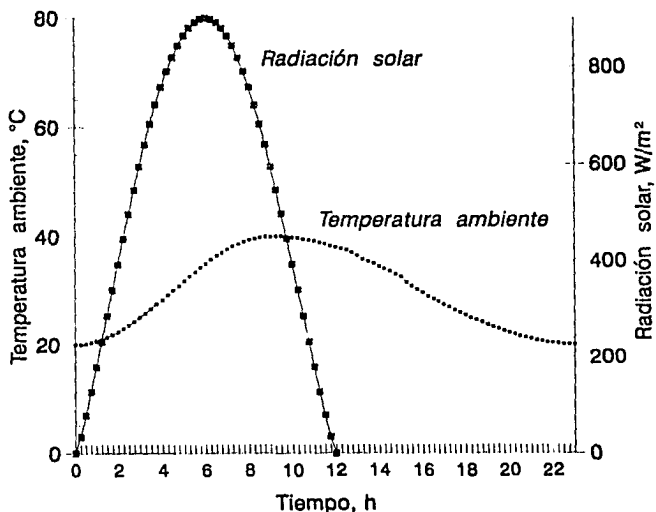


Fig 2.1 Variación horaria de la radiación solar y de la temperatura ambiente durante el día. (Yadav y Prasad [1])

Por su parte, Fath y Elsherbiny [2] analizan los modos de transferencia de calor y masa que se realizan dentro de un destilador con un condensador pasivo integrado.

El vapor se transmite por difusión, que es provocada por la diferencia de concentraciones de vapor, por la diferencia de presiones parciales de vapor de agua y por la diferencia de temperaturas entre la cubierta y la salmuera. Se ha visto que el segundo mecanismo es el más importante de los tres.

Las consideraciones para este análisis son: la existencia de superficies pulidas que permitan una mayor reflectancia hacia el agua así como un área unitaria. Se despreciaron el efecto de la salinidad sobre las propiedades del agua, la reflexión de la cubierta de vidrio y la variación de la temperatura del agua.

Con lo anterior, se obtienen los siguientes balances de energía:

para el vidrio:

$$M_g C_{p_g} (dT_g/dt) = \alpha_g H_s + Q_{wc} + Q_{we} + Q_{rad} - Q_{amb} - Q_{cond}$$

para el agua:

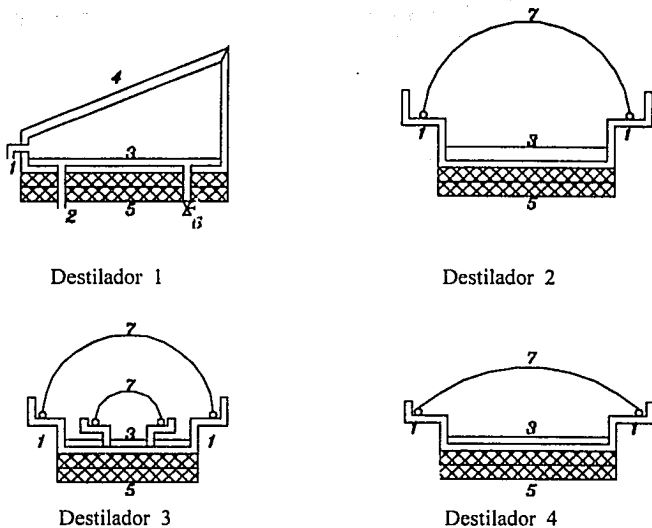
$$M_w C_{p_w} (dT_w/dt) = B H_s - Q_{wc} - Q_{we} - Q_{raw} - Q_b$$

donde:

$$B = \tau_g \alpha_w + \tau_g \tau_w \alpha_b$$

Dicho artículo plantea que el agua absorbe la mayor cantidad de energía siendo esta la que determina el comportamiento del sistema. También plantea que se deben considerar las absorbancias y transmitancias del vidrio y del agua a lo largo del día con el fin de corregir la energía absorbida por el agua, esto puede observarse en la expresión que define a B .

Tayeb [3] muestra una comparación realizada a cuatro distintos destiladores con el fin de observar sus comportamientos de acuerdo con la geometría y al material de la cubierta como se muestra en la Fig 2.2.



1.- Salida de agua destilada; 2.- Sobreflujo; 3.- Agua salada; 4.- Cubierta de vidrio; 5.- Aislamiento térmico; 6.- Válvula de limpieza del destilador, 7.- Cubierta de Plexiglass

Fig 2.2 Diferentes diseños de destiladores. (Tayeb [3])

Este trabajo permite comprobar que el área de la cubierta o de condensación es un factor importante en la producción: si el área aumenta, la producción también aumenta, aunque no en la misma proporción.

Se comenta que cuando el agua escurre sobre el vidrio, se tiene una menor tensión superficial que cuando la superficie es de plástico. Así pues, como se muestra en la Fig 2.3, se escogió el diseño del destilador 1 por presentar un mayor rendimiento, tener una mayor estabilidad térmica y ser de geometría sencilla (Tabla 2.1)

Destilador #	Material de la cubierta	Forma de la cubierta	Área de evaporación m^2 *	Área de condensación m^2 *	Ac/Ac	Eficiencia %
1	Vidrio	Placa plana	0.24	0.267	1.113	21.8
2	Plexiglass	Medio cilindro	0.24	0.377	1.57	18.6
3	Plexiglass	2 medios cilindros	0.24	0.565	2.355	20.6
4	Plexiglass	Suavemente curvado	0.24	0.309	1.287	14.9

*en la referencia se indica como cm^2 pero se cambió a m^2 por considerar que es error de impresión.

Tabla 2.1. (Tayeb[3])

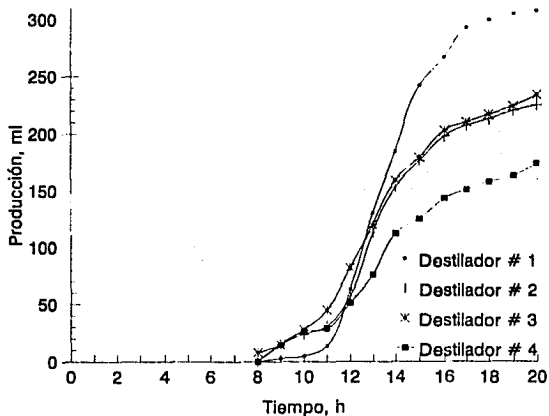


Fig. 2.3 Producción de los diferentes tipos de destiladores Tayeb [3]

En el trabajo de Cooper [4] se indican con mayor detalle algunos comportamientos que se presentan en el proceso de destilado como son: que la absorción de la radiación solar en la cubierta de vidrio y en el agua variará con el día del año, la hora del día, pendiente de la cubierta, tipo de vidrio, orientación del destilador, tirante de agua, reflectancia en la superficie del agua, velocidad del viento y temperatura ambiente.

Un aspecto interesante que se menciona es la aparición de una delgada capa de agua debajo de la superficie del vidrio cuando se tiene algún tiempo de operación. Esta delgada capa origina una mayor transmisión de calor del vidrio hacia el tirante de agua.

Cooper corroboró que la distribución de la radiación solar es senoidal, así como los distintos mecanismos de transferencia de calor dentro del destilador, esto se observa en la Fig 2.4.

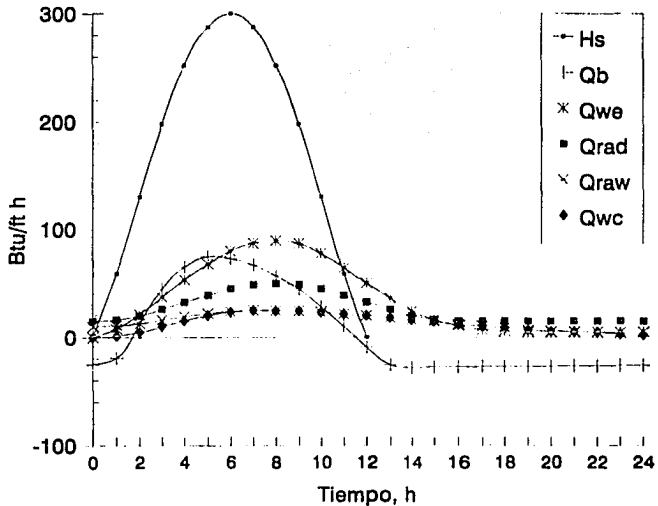


Fig 2.4 Mecanismos de transferencia de calor horaria para cualquier día. (Cooper [4])

Demostó que la transferencia de calor por evaporación depende de la temperatura inicial de la salmuera así como de la diferencia de temperaturas y presiones parciales de vapor entre la salmuera y la cubierta de vidrio, siendo este último el mayor mecanismo de transmisión de calor en el sistema. Para ello se utilizaron las ecuaciones que definen a Q_{we} y Q_{wc} en $Btu/ft^2 \text{ hr}$.

$$Q_{wc} = 0.128 [(T_w - T_g) + (P_w - P_g)(T_w + 460)/(39 - P_w)]^{1/3} (T_w - T_g)$$

$$Q_{we} = 0.0254 [(T_w - T_g) + (P_w - P_g)(T_w + 460)/(39 - P_w)]^{1/3} (P_w - P_g) h_{fg}$$

En la Fig 2.5 se observa que la convección es considerablemente menor que la transferencia de calor por el transporte de masa evaporativo por lo cual dicho mecanismo provocará el fenómeno de destilado.

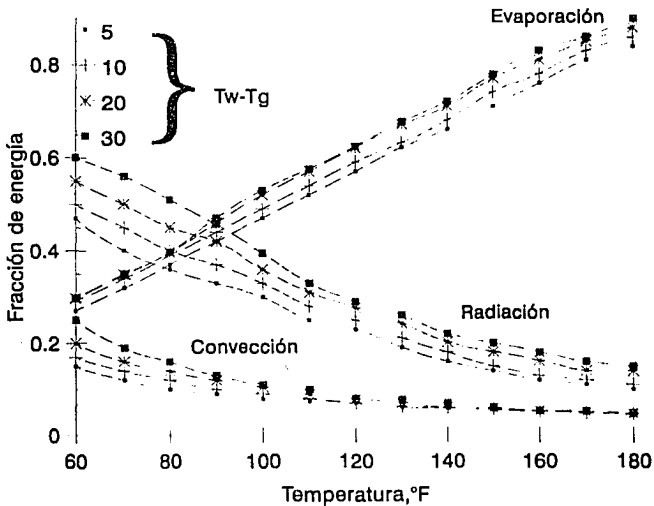


Fig 2.5 Fracciones de energía para transferencias de calor evaporativo, convectivo y radiado. (Cooper [4]).

Se menciona también que la producción disminuye si el tirante de agua aumenta esto se debe a que la inercia térmica del agua aumenta, o si no existe un aislamiento térmico debajo del agua ya que las pérdidas de calor hacia el ambiente aumentan.

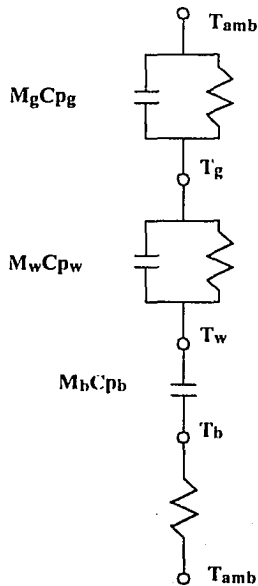
Se comenta que para cierto rango de velocidades de viento, se provoca que exista una mayor diferencia de temperaturas entre la salmuera y el vidrio, lo que aumenta la cantidad de destilado; para velocidades mayores a ese rango, la producción disminuirá.

Finalmente, si se aumenta la pendiente de la cubierta, el área de condensación aumenta y la producción baja, esto es debido a que conforme se varíe la inclinación del vidrio, los índices de absorción y transmitancia variarán en una proporción decreciente ocasionando un aumento en la reflectancia. Además, el agua destilada tenderá a caer a la salmuera antes de llegar al canal de salida.

3. Modelo matemático

El análisis que a continuación se realiza tiene como objetivo principal simular los fenómenos tanto de transferencia de masa como de transferencia de calor en un destilador solar cuando opera en condiciones reales.

Para realizar dicha simulación fue necesario identificar los elementos y factores que intervienen en el proceso de destilado, una vez identificados se procedió a generar un modelo simple que explique sus comportamientos. Para esta situación en particular se utilizó un circuito eléctrico RC serie-paralelo a fin de poder destacar ciertos efectos. Se consideran los efectos dinámicos de los elementos del destilador (*vidrio, agua y base*), para ello se utilizan capacitores para indicar efectos de almacenamiento de energía y resistencias para indicar efectos de transferencia de masa y de calor en sus tres mecanismos, así como de las propiedades físicas de los materiales que conforman al destilador.



Al considerar los modos de transferencia de calor y de masa, se obtienen las ecuaciones que rigen el comportamiento de cada elemento que constituye al destilador solar. Estas a su vez se relacionan simultáneamente durante el proceso de destilado.

para el vidrio:

$$M_g C_{p_g} (dT_g/dt) + (k_g/\epsilon_g) T_g + Q_{amb} + Q_{rad} = \alpha_g H_s + Q_{wc} + Q_{we} + Q_{raw}$$

para el agua:

$$M_w C_{p_w} (dT_w/dt) + (k_w/\epsilon_w) T_w + Q_{wc} + Q_{we} + Q_{raw} + Q_b = \alpha_w H_s$$

para la base:

$$M_b C_{p_b} (dT_b/dt) + Q_{bamb} = Q_b$$

El esquema de la figura 3.1 ilustra los términos de cada uno de los balances de energía.

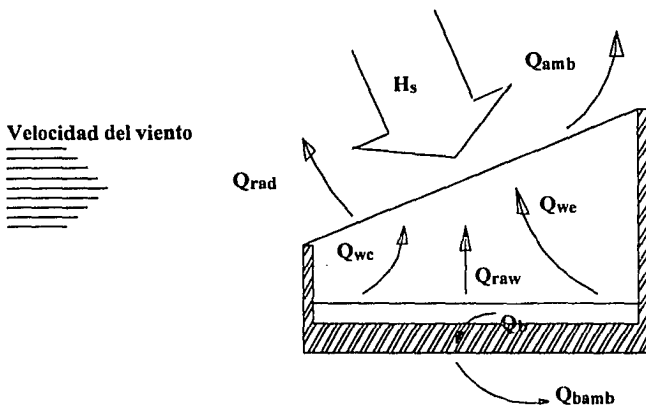


Fig 3.1 Esquema del destilador solar con los principales flujos de calor.

El calor perdido por el vidrio debido a los efectos convectivos tiene gran relevancia en el proceso de destilado, ya que gracias a la diferencia de temperaturas que existe entre la salmuera y el vidrio es posible el transporte de masa por medios puramente difusivos. La velocidad del viento así como el ángulo de inclinación de la cubierta se deben considerar para el cálculo de dicha pérdida de calor. De esta manera, la pérdida de calor por efectos convectivos está determinada por la ecuación:

$$Q_{amb} = h_x [T_g - T_{amb}]$$

donde:

$$h_x = 1.16 \rho_{air} C_{pair} V / Re^{0.5} \quad \text{Ref [5]}$$

En el interior del destilador se desarrollan dos fenómenos de gran relevancia: el calor transmitido del agua al vidrio por efectos puramente convectivos y el efecto de transferencia de masa, que es el responsable del proceso de destilado.

Debido a que estos fenómenos ocurren en un lugar cerrado, es lógico suponer que estos están sujetos tanto a las presiones parciales de vapor como a las temperaturas que se presentan en dicho instante.

Para el cálculo del calor transferido del agua al vidrio se utilizará la ecuación:

$$Q_{wc} = h_{wc} [T_w - T_g]$$

donde:

$$h_{wc} = 0.884 [(T_w - T_g) + (P_w - P_g)(T_w + 273)/(268.27 - P_w)]^{1/3} \quad \text{Ref [4]}$$

Para el fenómeno de transferencia de masa por efectos difusivos se encuentra una correlación entre las presiones parciales de vapor de agua y las temperaturas. La diferencia de presiones entre el vidrio y el agua origina el flujo másico de vapor desde la superficie de la salmuera hasta la cubierta del destilador sin más vehículo de transporte que el aire contenido entre el agua y la cubierta de vidrio. Cabe recordar que si el vidrio se encuentra a una mayor temperatura que el agua, no existirá ningún efecto de transferencia de masa. Esto se puede explicar ya que al existir una temperatura mayor en la cubierta de vidrio se genera un gradiente de presiones negativo que impide el flujo de vapor hacia la cubierta de vidrio, no así si el agua se encuentra a una temperatura más alta.

Al expresar lo anterior en forma de ecuación se tiene:

$$Q_{we} = h_{we} [P_w - P_g] h_{fg}$$

donde:

$$h_{we} = 6.17 \cdot 10^{-3} [(T_w - T_g) + (P_w - P_g)(T_w + 273)/(268.27 - P_w)]^{1/3} \quad \text{Ref[4]}$$

En el estudio que se hizo se consideró que el agua absorbe la mayor parte de la radiación solar, por tanto, el calor transmitido del agua hacia la base será afectado tanto por un coeficiente convectivo de transferencia de calor, como por las propiedades del material aislante de la base.

Al expresar lo anterior en forma de ecuación se tiene:

$$Q_b = U_b [T_w - T_b]$$

donde:

$$U_b = [(1/h_b) + (\epsilon_b/k_b)]^{-1}$$

Como el coeficiente convectivo h_b depende de las propiedades del agua, es necesaria la utilización de números adimensionales que permitan asociar diferentes propiedades físicas y expresar dicho coeficiente en función de ellas, para ello se utiliza los números **Gr**, **Pr**, **Ra** y **Nu**.

$$Gr = v_w^2 g \beta \epsilon_w^3 [T_w - T_b]$$

$$Pr = C_{pw} \mu_w / k_w$$

$$Nu = h_b \epsilon_w / k_w$$

$$Ra = Gr Pr$$

finalmente se tiene que:

$$Nu = 0.54 Ra^{0.25}$$

Ref [9]

de donde se obtiene el coeficiente de transferencia de calor buscado:

$$h_{vb} = 0.54 \text{ Ra}^{0.25} k_w/\epsilon_w$$

Las pérdidas por radiación del vidrio hacia el ambiente Q_{rad} o del agua al vidrio Q_{raw} son calculadas mediante las expresiones:

$$Q_{rad} = \sigma [T_g^4 - T_{amb}^4]$$

$$Q_{raw} = \sigma [T_w^4 - T_g^4]$$

que dan como resultado magnitudes del orden 10^{-6} , por lo que fueron despreciadas.

Finalmente, el calor perdido de la base hacia el ambiente depende de la posición del destilador solar, si este se encuentra despegado del suelo, el calor será principalmente convectivo y se definirá como:

$$Q_{bamb} = h_{bamb} [T_b - T_{amb}]$$

donde:

$$h_{bamb} = 1.16 \rho_{air} c_{p,air} V / R_e^{0.5} \quad \text{Ref [5]}$$

Si está asentado sobre el piso, el calor perdido es casi nulo debido a que el mismo suelo actúa como un aislante.

4. Modelo numérico

Para el desarrollo del modelo numérico primero fue necesario estructurar cada uno de los factores que intervienen en el proceso de destilado. Ejemplo de ello es el cálculo de presiones parciales de vapor tanto en el vidrio como en la salmuera, el cálculo de los coeficientes de transferencia de calor y de las temperaturas de cada uno de los componentes.

El programa de simulación se encuentra dividido en tres partes principales: la primera parte consiste en una base de datos que puede ser modificada por el usuario a fin de poder adaptar el programa a sus necesidades, en esta base de datos se encuentra la información de las propiedades y características geométricas de los elementos que conforman al destilador así como los datos climáticos y geográficos de la zona; la segunda parte consiste en el cálculo y despliegue de las variables de interés, como son: temperatura de cada uno de los elementos, distribución de la radiación solar, concentración de la salmuera, la producción del destilado instantánea, así como la producción global acumulada, las inercias térmicas de los elementos, tirante y masa de salmuera; la última parte consiste en la presentación gráfica de los resultados obtenidos.

Dentro del estudio que se hace en esta sección se considera sólo la segunda parte del programa, ya que en este punto radica la solución del problema planteado. Para entender con mayor claridad es necesario recordar los balances térmicos de los componentes del sistema:

para el vidrio:

$$M_g C_{p_g} (dT_g/dt) + (k_g/\epsilon_g) T_g + Q_{amb} = \alpha_g H_s + Q_{wc} + Q_{we}$$

para el agua:

$$M_w C_{p_w} (dT_w/dt) + (k_w/\epsilon_w) T_w + Q_{wc} + Q_{we} + Q_b = \alpha_w H_s$$

para la base:

$$M_b C_{p_b} (dT_b/dt) + Q_{bamb} = Q_b$$

Al poner las ecuaciones en función de las temperaturas, se obtienen las siguientes expresiones:

$$M_g C_{p_g} (dT_g/dt) + (k_g/\epsilon_g) T_g + h_x [T_g - T_{amb}] = \alpha_g H_s + 16.7 h_{wc} [T_w - T_g] + h_{we} [P_w - P_g] h_{r_g}$$

$$M_w C_{p_w} (dT_w/dt) + (k_w/\epsilon_w) T_w + 16.7 h_{wc} [T_w - T_g] + h_{we} [P_w - P_g] h_{r_g} + U_b [T_w - T_b] = \alpha_w H_s$$

$$M_b C_{p_b} (dT_b/dt) + h_{bamb} [T_b - T_{amb}] = U_b [T_w - T_b]$$

este sistema de ecuaciones diferenciales se debe satisfacer para T_g , T_w y T_b , para ello, de la base de datos se tomarán las condiciones iniciales de operación y mediante un proceso iterativo se obtiene la solución del sistema.

La solución numérica del sistema de ecuaciones comenzó con la utilización de paquetería como el Grapher y el Matlab con la finalidad de obtener una serie de polinomios que representaran distintas propiedades físicas del aire y del agua en función de la temperatura y que auxiliaran en el cálculo de los coeficientes de transferencia de calor. Dichas propiedades fueron: calor específico, viscosidad cinemática, densidad, conductividad térmica, coeficiente de expansión volumétrica definido como β , presiones parciales de vapor de agua y entalpías. Ref [10].

Con los polinomios anteriores y con una temperatura de referencia, se procedió a un cálculo aproximado de los distintos coeficientes de transferencia de calor. Los coeficientes h_{wc} y h_{we} están en función de las presiones parciales y de las temperaturas que serán modificadas posteriormente en el proceso de iteración. Para el caso de los coeficientes h_x y h_{bamb} , ambos están afectados por la temperatura ambiente y la velocidad del viento que imperen en el momento del análisis. El coeficiente h_b variará de acuerdo con la temperatura del agua y de la base así como por la posición del destilador como se mencionó anteriormente.

Para lograr lo anterior, se recurrió al uso de variables auxiliares que representan las inercias térmicas de cada elemento, dichas variables fueron discretizadas en periodos de tiempo de quince minutos o novecientos segundos, y se definen como:

$$I_{t_g} = (1/900) M_g C_{p_g} + k_g/\epsilon_g$$

$$I_{t_w} = (1/900) M_w C_{p_w} + k_w/\epsilon_w$$

$$I_{tb} = (1/900)M_b C_p b$$

También se utilizaron como variables auxiliares la energía que se acumula en cada elemento durante el intervalo de tiempo, estas se definen como:

$$Ac_g = \alpha_g H_s + 16.7 \dot{h}_{wc} [T_{wi} - T_{gi}] + \dot{h}_{wc} [P_{wi} - P_{gi}] H_{fg} - \dot{h}_x [T_{gi} - T_{ambi}]$$

$$Ac_w = \alpha_w H_s - 16.7 \dot{h}_{wc} [T_{wi} - T_{gi}] - \dot{h}_{wc} [P_{wi} - P_{gi}] H_{fg} - U_b [T_{wi} - T_{bi}]$$

$$Ac_b = U_b [T_{wi} - T_{bi}] - \dot{h}_{bamb} [T_{bi} - T_{ambi}]$$

Las expresiones anteriores incluyen el factor de 16.7 con el fin de ajustar el análisis a resultados experimentales. Si se relacionan las definiciones anteriores se tiene que:

$$I_{tg} [T_{gi} - T_{gi-1}] = Ac_g$$

$$I_{tw} [T_{wi} - T_{wi-1}] = Ac_w$$

$$I_{tb} [T_{bi} - T_{bi-1}] = Ac_b$$

de donde se obtiene:

$$\Delta T_g = Ac_g / I_{tg}$$

$$\Delta T_w = Ac_w / I_{tw}$$

$$\Delta T_b = Ac_b / I_{tb}$$

A partir de la temperatura de referencia que se tomó inicialmente y con los incrementos obtenidos para cada uno de los elementos se encuentra una nueva temperatura que será utilizada para calcular nuevos coeficientes de transferencia de calor y de masa, y así alterar nuevamente las variables auxiliares I_{tg} , I_{tw} , I_{tb} , Ac_g , Ac_w y Ac_b . Esto se puede ver de la siguiente manera:

$$T_{g2} = (T_{ambi} + T_{wi-1})/2 + \Delta T_g$$

$$T_{w2} = T_{wi-1} + \Delta T_w$$

$$T_{b2} = T_{wi-1} + \Delta T_b$$

Los resultados obtenidos para las nuevas temperaturas (T_{*2}) son comparados con las temperaturas previamente calculadas (T_{*1}), si estos tienen un error menor o igual al 0.001 se considera que el resultado es correcto y se continúa con el siguiente cálculo, de lo contrario se toma la temperatura calculada y es corregida (T_{*1}). Esto se puede ver más explícitamente de la siguiente forma:

$$\text{Si } T_{g1} - T_{g2} > 0.001 \text{ entonces } T_{g1} = [3T_{g1} + 4T_{g2}]/7$$

$$\text{Si } T_{w1} - T_{w2} > 0.001 \text{ entonces } T_{w1} = [3T_{w1} + 4T_{w2}]/7$$

$$\text{Si } T_{b1} - T_{b2} > 0.001 \text{ entonces } T_{b1} = [3T_{b1} + 4T_{b2}]/7$$

Con la nueva temperatura corregida (T_{*1}) se obtienen nuevamente los coeficientes de transferencia de calor y se evalúan los balances térmicos de cada elemento del sistema, para obtener un nuevo incremento de temperaturas y así calcular una nueva T_{*2} , repitiéndose el ciclo. Cabe señalar, que durante este procedimiento, el intervalo de temperatura se reduce por ambos extremos, así, se reduce el tiempo de convergencia.

5. Validación del modelo

Para poder afirmar que el análisis y la técnica propuesta en este documento son válidos, fue necesario compararlo con otros modelos previamente establecidos. Los modelos considerados fueron el de Yadav y Prasad [1] y el de Fernández [6].

En [1] se observa que el tratamiento dado al problema por Yadav y Prasad no toma en cuenta los efectos dinámicos de cada uno de los elementos que intervienen en el proceso de destilado, sin embargo, plantean un modelo numérico que maneja una ecuación diferencial que sólo involucra la inercia térmica del agua y que se representa como:

$$dT_w/dt + \alpha T_w = f(t)$$

donde:

$$\alpha = (1/M_w) \{ (\dot{h}_{w,c} \dot{h}_{w,c} + \dot{h}_{i,x}) - \dot{h}_{w,c}^2 / (\dot{h}_{w,c} + \dot{h}_{i,x}) + (\dot{h}_{i,b} (\dot{h}_{i,b} + U_b) - \dot{h}_{i,b}^2) / (\dot{h}_{i,b} + U_b) \}$$

$$f(t) = M H_s + N T_{amb}$$

$$M = \dot{h}_{i,b} \alpha_b / (M_w (\dot{h}_{i,b} + U_b))$$

$$N = (1/M_w) [(\dot{h}_{i,b} U_b) / (\dot{h}_{i,b} + U_b) + (\dot{h}_{w,c} \dot{h}_{i,x}) / (\dot{h}_{w,c} + \dot{h}_{i,x})]$$

al resolver dicha ecuación se encuentra que la expresión que rige el comportamiento del agua en todo periodo de tiempo es:

$$T_w = T_{w_0} e^{-\alpha t} + f(t)/\alpha [1 - e^{-\alpha t}]$$

Dicha expresión al ser evaluada en condiciones similares a las de este trabajo da como resultado discrepancias tanto en temperaturas como en producción de agua. En el modelo de Yadav y Prasad la diferencia máxima de temperaturas entre la salmuera y la cubierta de vidrio es de 25°C, que comparada con los resultados del presente trabajo, es muy alta. Referente a la producción de destilado, ellos obtienen resultados muy inferiores a los datos experimentales.

Esto se debe al uso de coeficientes de transferencia de calor constantes, a la no consideración de las inercias térmicas del vidrio y de la base, y a que el modelo fuerza a las temperaturas de los elementos a ser iguales a la temperatura ambiente a partir del ocaso.

Para el programa de Fernández se obtuvieron temperaturas de cubierta y de agua muy elevadas respecto a la temperatura ambiente, con una diferencia máxima de temperaturas entre vidrio y agua de $11\text{ }^{\circ}\text{C}$. La cantidad de agua destilada se acerca a datos reales para condiciones similares a las de este análisis, aunque tiene la desventaja de no converger rápidamente y de no ser versátil.

Para el procedimiento planteado en este trabajo existe una diferencia de temperaturas en todos los elementos, siendo la máxima diferencia de temperaturas entre la cubierta de vidrio y la salmuera de $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. El cálculo de la producción es parecida a la obtenida por Fernández, aunque tiene la ventaja de converger más rápido y de tener más versatilidad.

En la Fig 5.1 se muestra una comparación de los tres modelos para condiciones similares.

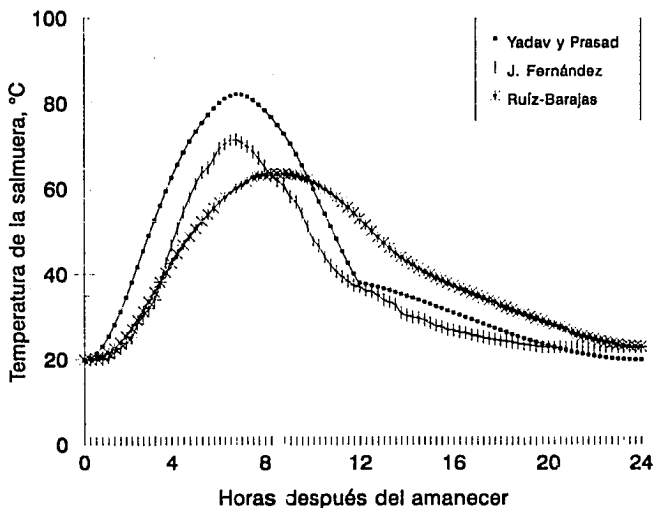


Fig 5.1 Comparación de los diferentes modelos

Como se puede observar en la Fig 5.1 se comparan las temperaturas obtenidas a lo largo del día con los tres diferentes modelos, en donde se puede observar que tanto el modelo de Yadav y Prasad como el de Fernández tienen un comportamiento parecido en cuanto a la hora en que se presenta la máxima temperatura mientras que el modelo propuesto en el presente trabajo presenta un defasamiento con respecto a los anteriores. Además se observa también que la temperatura máxima es menor para el modelo propuesto..

En lo referente a la producción obtenida por cada modelo se tiene que:

Yadav y Prasad	3.195 lts
Fernández	4.18 lts
Ruiz-Barajas	4.164 lts

Para establecer la validez del modelo se observan las tendencias de un análisis de sensibilidad. Así, se presentan algunas gráficas que muestren el comportamiento de la producción para condiciones climáticas y geométricas iguales.

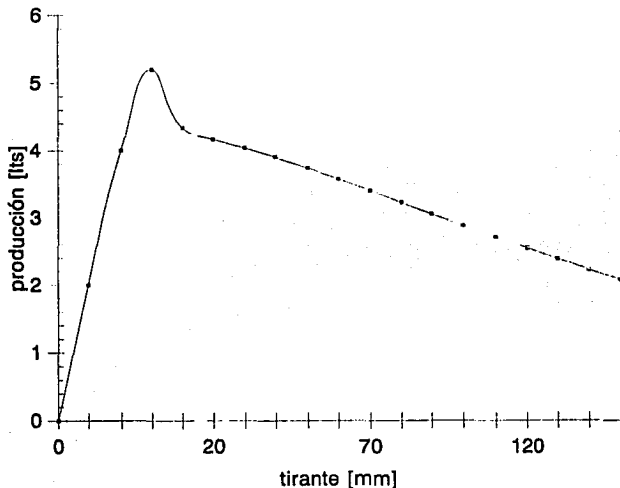


Fig 5.2 Producción vs Tirante de salmuera.

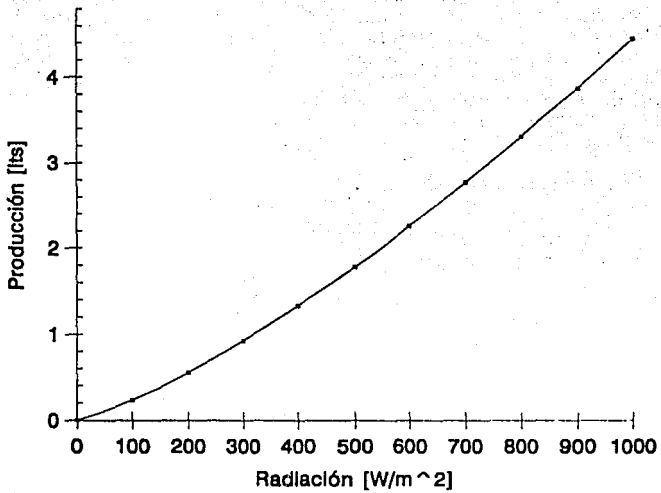


Fig 5.3 Producción vs Radiación.

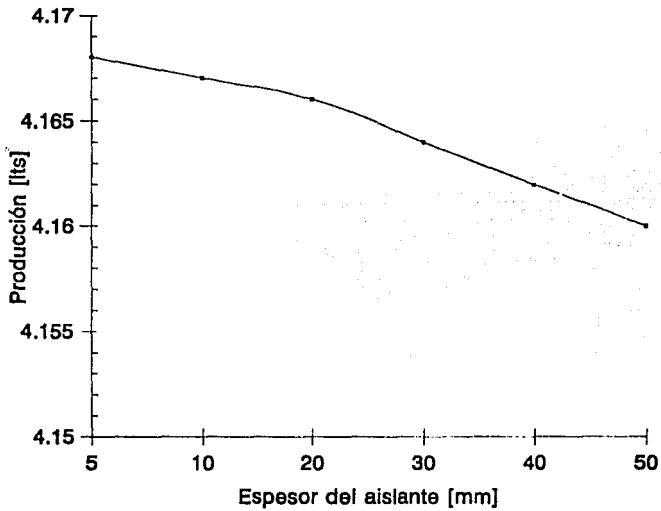


Fig 5.4 Producción vs Espesor de aislante.

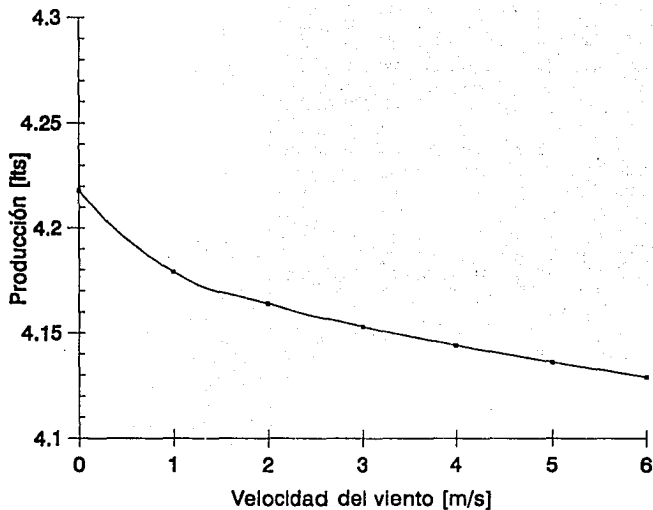


Fig 5.5 Producción vs Velocidad del viento.

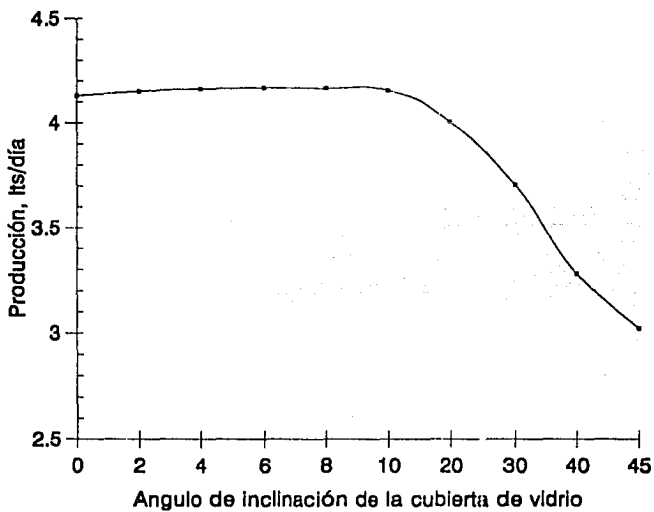


Fig 5.6 Producción vs Ángulo de inclinación de la cubierta.

En la fig 5.2 se puede ver que la producción llega a su máximo cuando se tiene un tirante de cinco milímetros aproximadamente y que esta disminuye conforme el tirante aumenta. Esto comprueba lo que anteriormente se mencionó: al aumentar la masa de agua, aumenta la inercia térmica y la cantidad de energía requerida para aumentar la temperatura de la salmuera es mayor que la que el sistema puede recibir. Para tirantes menores a cinco milímetros, el agua se evaporará completamente debido a que la energía recibida por el sistema es mayor a la que se requiere para evaporar toda el agua.

La fig 5.4 permite ver que no es conveniente colocar grandes espesores de aislante en la base, ya que esto provoca un aumento de la inercia térmica de la base y se absorbe más calor del agua.

En la fig 5.5 se muestra que al aumentar la velocidad del viento, la producción disminuye ligeramente pues la pérdida de calor de la cubierta al ambiente aumenta.

Finalmente, la fig 5.6 comprueba lo expuesto por Cooper: si se aumenta la inclinación de la cubierta, la producción disminuirá, esta disminución es ocasionada por el aumento del área de condensación que provoca el aumento de la inercia térmica de la cubierta.

6. Conclusiones, comentarios y recomendaciones

De acuerdo con los resultados previamente obtenidos, se puede resumir el comportamiento del destilador solar de la siguiente manera:

- 1.- La producción de agua disminuye con el incremento de la masa de la salmuera.
- 2.- No es recomendable utilizar mucho material aislante, pues la cantidad de calor absorbido por el aislante provoca la disminución de la producción.
- 3.- La producción es más alta si se tienen inclinaciones menores a 10° y con superficies planas de vidrio.
- 4.- Una mayor radiación solar corresponde a una mayor producción fig 5.3.
- 5.- La velocidad del viento afecta muy poco la productividad.
- 6.- La convección es el mecanismo principal de transferencia de calor en el dispositivo, seguido de la conducción. La radiación es casi nula.
- 7.- La transferencia de masa es principalmente por difusión fig 2.4
- 8.- La absorptancia, reflectancia y transmitancia de los elementos del dispositivo varían de acuerdo con su posición geográfica, su colocación respecto al sol, y al mes, día y hora del día.
- 9.- Los coeficientes de transferencia de calor varían con respecto a la temperatura y al tiempo.
- 10.- La temperatura ambiente y la radiación solar se pueden aproximar a curvas senoidales para facilitar el estudio del modelo planteado.
- 11.- De acuerdo con la orientación que se le dé al destilador con respecto al sol se obtendrá una mayor o menor productividad.

De los resultados y conclusiones expuestos anteriormente se puede comentar que:

1.- El comportamiento de la producción con respecto a la velocidad del viento no corresponde a lo predicho por Cooper [4]. Dicho autor predice un ligero aumento en la producción al incrementarse la velocidad del viento y este llega a un límite máximo donde se estabiliza la producción. En nuestro caso, la producción disminuye sensiblemente conforme aumenta la velocidad del viento fig 5.5.

2.- Se observa que cuando la inercia térmica de la salmuera se encuentra entre la de la cubierta de vidrio y la de la base se obtienen producciones de destilado tempranas. Cabe mencionar que Yadav y Prasad [1] despreciaron tanto la inercia térmica de la cubierta de vidrio como la de la base, siendo que la inercia térmica del vidrio en ciertos intervalos es mayor que la de la salmuera para tirantes entre 6 y 25 milímetros.

3.- Para el análisis de sensibilidad se mantuvieron los siguientes parámetros constantes de acuerdo con las características de estudio: espesor de la cubierta de vidrio 3.2 milímetros, ángulo de inclinación de la cubierta 4° , radiación solar 950 W/m^2 , temperatura al amanecer 20°C , temperatura máxima del día 40°C , hora de la temperatura máxima 15hrs, área de estudio 1 m^2 , tirante de la salmuera 20 milímetros, velocidad del viento 2 m/s.

4.- Para ajustar los resultados de este análisis a los resultados experimentales fue necesario utilizar un factor de corrección de 16.7 en la expresión dada por Cooper [4], que define al coeficiente de transferencia de calor convectivo h_{wc} , pues se consideró que la transmisión de calor de la superficie de la salmuera a la cubierta de vidrio se realiza principalmente por el mecanismo de convección.

5.- Dentro del proceso de convergencia que emplea este programa (Apéndice) se hace resaltar que cierra el intervalo de convergencia por ambos lados, ocasionándose una respuesta más exacta y precisa que ahorra tiempo de máquina.

6.- Los factores de corrección (4,3 y 7) empleados en el proceso de convergencia se obtuvieron modificándolos hasta obtener el menor número de iteraciones posibles.

De las conclusiones y de los comentarios expresados anteriormente se dan las siguientes recomendaciones:

- 1.- Para la mejor comprensión del fenómeno se necesita analizar con más detalle los mecanismos que controlan la destilación solar, sobre todo el mecanismo convectivo.
- 2.- Realizar una evaluación propia de los resultados experimentales básicos como son temperaturas en la cubierta de vidrio, salmuera y base, radiación solar, temperatura ambiente, velocidades de viento y producciones de agua de modo que se puedan comparar con los resultados obtenidos en la simulación del programa propuesto y así poder corregir factores y métodos a fin de obtener resultados muy cercanos a los experimentales.
- 3.- Evaluar la influencia de las propiedades de transporte en los resultados del modelo, un ejemplo de ello es el cálculo de la variación de la conductividad térmica del vidrio durante el transcurso del día, ya que esta varía y no permanece constante como se supone en el presente documento.
- 4.- El analizar y discutir la necesidad de grandes factores de ajuste empírico **16.7** que ayuden a describir el comportamiento de los mecanismos utilizados en el destilador solar.

Referencias

- 1.- Y.P.Yadav y Y.N.Prasad, Parametric investigations on a basin type solar still, Energy Conversion Management Vol 31, 1 pp 7-16, 1991.
- 2.- Hassan E S Fath y Sammy M. Elsherbiny, Effect of adding a pasive condenser on still performance, Energy Conversion Management Vol 34, 9, pp 63-72, 1993.
- 3.- Aghareed M. Tayeb, Performance study of some designs of solar stills, Energy Conversion Management Vol 33, 9, pp 889-898, 1992.
- 4.- P.I. Cooper, Digital simulation of transient solar still processes, Solar Energy, Vol 12, pp 313-331, 1969.
- 5.- Kreider, Jan F and Frank Kreider, Solar Energy Handbook, McGraw-Hill 1981.
- 6.- Fernández, J.L.; comunicación privada.
- 7.- J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, 2a ed., Wiley-Interscience 1991.
- 8.- White, Frank M, Heat and Mass Transfer, John A. Wiley and Sons. 1988
- 9.- Incropera, Frank P, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley and Sons. 1990.
- 10.- Fernández J.L y Estrada C.V, Cálculo de la radiación solar instantánea en la República Mexicana, serie Instituto de ingeniería U.N.A.M, proy 2139, 1982.

Apéndice

Listado del programa ADDS.PAS

```
Program Solarys;
Uses Crt,Graph;
Const
  tr=900;
Var
  q,s,a:String;
  Tg,Tw,Tb,Hs,Ta,Agg,AWw,Prod,Tiran:Array [0..97] of Real;
  Hwc,Hwe,Hv,Hb,Hx,P,Tw1,Tj;1,Tb1,Ang,I:spw,Lg,Ag,Cin,Cfin:Real;
  Mv,Ig,Itb,Itw,V,Klo,hrs,zx,Conden:Real;
  j,i,r,Gd,Gm,m:Integer;
  Val:Array [1..6] of Real;
  f:Text;
  Twq:Boolean;
  Kj:Char;
Procedure Direc; {Direccionamiento de Archivos}
Begin
  q:= 'C:\Tpack';
  ClrScr;
End;
Procedure Datvid; {Archivo Datos de vidrio}
Begin
  a:= '\Dat_vid';
```

```
Gotoxy(1,1);
Write('Calor espec',chr(161),'fico del vidrio ==>');
Gotoxy(1,2);
Write('Conductividad del vidrio ==>');
Gotoxy(1,3);
Write('Densidad del vidrio ==>');
Gotoxy(1,4);
Write('Espesor del vidrio ==>');
Textattr:=3;
Gotoxy(50,1);
Write(Val[1]:3:2);
Gotoxy(50,2);
Write(Val[2]:3:2);
Gotoxy(50,3);
Write(Val[3]:3:2);
Gotoxy(50,4);
Write(Val[4]:3:2);
Textattr:=7;
Gotoxy(70,1);
Write('J/kg K');
Gotoxy(70,2);
Write('W/m K');
Gotoxy(70,3);
Write('kg/m',chr(252));
Gotoxy(70,4);
Write('mm');
Close(f);
End;
Procedure Dataisl;{Archivo Datos de Aislante}
```

```
Gotoxy(1,1);
Write('Calor espec',chr(161),'fico del aislante ==>');
Gotoxy(1,2);
Write('Conductividad del aislante ==>');
Gotoxy(1,3);
Write('Densidad del aislante ==>');
Gotoxy(1,4);
Write('Espesor del aislante ==>');
Textattr:=3;
Gotoxy(50,1);
Write(Val[1]:3:2);
Gotoxy(50,2);
Write(Val[2]:3:2);
Gotoxy(50,3);
Write(Val[3]:3:2);
Gotoxy(50,4);
Write(Val[4]:3:2);
Textattr:=7;
Gotoxy(70,1);
Write('J/kg K');
Gotoxy(70,2);
Write('W/m K');
Gotoxy(70,3);
Write('kg/m',chr(252));
Gotoxy(70,4);
Write('mm');
Close(f);
End;
Procedure Datclima; {Archivo datos de condiciones Climaticas}
```

```

Gotoxy(1,1);
Write('Temperatura al amanecer ==>');
Gotoxy(1,2);
Write('Hora en la que se presenta la m',chr(160),'x. temp ==>');
Gotoxy(1,3);
Write('Temperatura a dicha hora ==>');
Gotoxy(1,4);
Write('Velocidad promedio del viento ==>');
Textattr:=3;
Gotoxy(50,1);
Write(Val[1]:3:2);
Gotoxy(50,2);
Write(Val[2]:3:2);
Gotoxy(50,3);
Write(Val[3]:3:2);
Gotoxy(50,4);
Write(Val[4]:3:2);
Textattr:=7;
Gotoxy(70,1);
Write(Chr(248),'C');
Gotoxy(70,2);
Write('hrs');
Gotoxy(70,3);
Write(Chr(248),'C');
Gotoxy(70,4);
Write('m/s');
Close(f);
End;
Procedure Datgeom; {Archivo datos Geometricos}

```

```
Gotoxy(1,1);
Write('Tirante inicial de la salmuera ==>');
Gotoxy(1,2);
Write('Largo del destilador ==>');
Gotoxy(1,3);
Write('Ancho del destilador ==>');
Gotoxy(1,4);
Write('Concentraci',chr(162),'n inicial de sal ==>');
Gotoxy(1,5);
Write('Concentraci',chr(162),'n m',chr(160),'x. de sal permitida ==>');
Gotoxy(1,6);
Write('Angulo de inclinaci',chr(162),'n del vidrio ==>');
Textattr:=3;
Gotoxy(50,1);
Write(Val[1]:3:2);
Gotoxy(50,2);
Write(Val[2]:3:2);
Gotoxy(50,3);
Write(Val[3]:3:2);
Gotoxy(50,4);
Write(Val[4]:3:2);
Gotoxy(50,5);
Write(Val[5]:3:2);
Gotoxy(50,6);
Write(Val[6]:3:2);
Textattr:=7;
Gotoxy(70,1);
Write('mm');
Gotoxy(70,2);
Write('m');
```


Procedure Datgeog; {Archivo datos Geograficos}

Begin

a:='\Dat_geo';

s:=concat(q,a);

Assign(f,s);

Reset(f);

For i:=1 to 5 do

Begin

 Readln(f,Val[i]);

End;

Textattr:=2;

Gotoxy(1,1);

Write('Mes (1-12) = =>');

Gotoxy(1,2);

Write('D',chr(161),'a (1-31) ==>');

Gotoxy(1,3);

Write('Latitud ==>');

Gotoxy(1,4);

Write('Longitud ==>');

Gotoxy(1,5);

Write('Radiaci',chr(162),'n solar m',chr(160),'x. --->');

Textattr:=3;

Gotoxy(50,1);

Write(Val[1]:3:2);

Gotoxy(50,2);

Write(Val[2]:3:2);

Gotoxy(50,3);

Write(Val[3]:3:2);

Gotoxy(50,4);

Procedure Option(Var w:Char); {Colocacion y correccion de Datos en Archivos}

Begin

 If w='1' Then

 Begin

 Gotoxy(50,1);

 Readln(Val[1]);

 Gotoxy(50,1);

 Writeln(' ');

 Gotoxy(50,1);

 Write(Val[1]:3:2);

 End;

 If w='2' Then

 Begin

 Gotoxy(50,2);

 Readln(Val[2]);

 Gotoxy(50,2);

 Writeln(' ');

 Gotoxy(50,2);

 Write(Val[2]:3:2);

 End;

 If w='3' Then

 Begin

 Gotoxy(50,3);

 Readln(Val[3]);

 Gotoxy(50,3);

 Writeln(' ');

 Gotoxy(50,3);

 Write(Val[3]:3:2);

 End;

 If w='4' Then

```

    Gotoxy(50,5);
    Readln(Val[5]);
    Gotoxy(50,5);
    Writeln(' ');
    Gotoxy(50,5);
    Write(Val[5]:3:2);
End;
If w='6' Then
Begin
    Gotoxy(50,6);
    Readln(Val[6]);
    Gotoxy(50,6);
    Writeln(' ');
    Gotoxy(50,6);
    Write(Val[6]:3:2);
End;
End;
Procedure Desplieg;{Rotulo de Opciones}
Var
    w:Char;
Begin
    Gotoxy(9,20);
    Textattr:=3;
    Write('Si deseas cambiar alg',chr(163),'n dato teclea el n',chr(163),'mero
deseado ');
    Gotoxy(25,21);
    Write('<Return> para continuar');
    Gotoxy(64,20);
    Repeat
        w:=Readkey;

```

```
ClrScr;
Datvid;
Desplieg;
a:='\Dat_vid';
s:=concat(q,a);
Assign(f,s);
Rewrite(f);
For i:= 1 to 4 do
Begin
Writeln(f,Val[i]:3:2,' ');
End;
Close(f);
End;
If w='2' Then
Begin
ClrScr;
Dataisl;
Desplieg;
a:='\Dat_ais';
s:=Concat(q,a);
Assign(f,s);
Rewrite(f);
For i:=1 to 4 do
Begin
Writeln(f,Val[i]:3:2,' ');
End;
Close(f);
End;
If w='3' Then
```

```
End;
Close(f);
End;
If w='4' Then
  Begin
    ClrScr;
    Datgeom;
    Desplieg;
    a:='\Dat_pro';
    s:=Concat(q,a);
    Assign(f,s);
    Rewrite(f);
    For i:=1 to 6 do
      Begin
        Writeln(f,Val[i]:3:2,' ');
      End;
    Close(f);
  End;
If w='5' Then
  Begin
    ClrScr;
    Datgeog;
    Desplieg;
    a:='\Dat_geo';
    s:=Concat(q,a);
    Assign(f,s);
    Rewrite(f);
    For i:=1 to 5 do
      Begin
```

```

Gotoxy(27,3);
Write(' Propiedades del Vidrio');
Gotoxy(27,5);
Write(' Propiedades de Aislante ');
Gotoxy(27,7);
Write(' Datos Clim',chr(160),'ticos');
Gotoxy(27,9);
Write(' Datos Geom',Chr(130),'tricos');
Gotoxy(27,11);
Write(' Datos Geogr',Chr(160),'ficos');
Gotoxy(27,13);
Write(' Men',chr(163),' Principal');
Gotoxy(9,20);
Textattr:=3;
Write('Si deseas cambiar alg',chr(163),'n dato teclea el n',chr(163),'mero
deseado ');
Gotoxy(64,20);
End;
Procedure Archivo; {Guardado y Reescriturado de Archivos}
Var
wk:Char;
Begin
ClrScr;
Rotuloy;
Repeat
wk:=Readkey;
Op(wk);
Rotuloy;
Until wk='6';
End;

```

```

    Agg[r-1]:=0.0;
    Aww[r-1]:=0.0;
    Tiran[r-1]:=0.0;
    Prod[r-1]:=0.0;
    r:=r+1;
Until r=97;
End;

Procedure TempFlux(Var Hmin,Hpu,Gmax:Real);{Calculo de Temp.Amb y Flujo
de Calor}

Var

Tprom,Ab,Lm,Lt,Tm,Tt,Tmax,Tmin,z,Ld,Hmax:Real;

Val:Array [1..4] of Real;

Begin
a:='\Dat_clim';
s:=concat(q,a);
Assign(f,s);
Reset(f);
For i:=1 to 4 do
Begin
Readln(f,Val[i]);
End;
Tmin:=Val[1];
Hmax:=Val[2];
Tmax:=Val[3];
V:=Val[4];
Twl:=Tmin;
Tgl:=Tmin;
Tbl:=Tmin;
r:=0;
Tprom:=(Tmax+Tmin)/2;

```

```

r:=r+1;
Until r=97;
r:=1;
Hs[0]:=0;
Tt:=Hmin+0.25;
Repeat
  z:=Cos((-Pi/2)+(Pi*(Tt-Hmin)/Ld));
  If Tt<Hpu Then Hs[r]:=Gmax*Exp(1.2*Ln(z));{Distribución Solar en el
día)
  If Tt>=Hpu Then Hs[r]:=0;
  Tt:=Tt+0.25;
  r:=r+1;
Until r=97;
End;

```

Procedure LecValt; {Lectura de Valores y Calculo de Inercia Termica vidrio y base}

Var Cpg,Kg,Rg,Espg,Cpb,Kb,Rb,Espb,Mg,Mb:Real;

```

Begin
a:='\Dat_vid';
s:=Concat(q,a);
Assign(f,s);
Reset(f);
For i:=1 to 4 do
  Begin
    Readln(f,Val[i]);
  End;
Cpg:=Val[1];
Kg:=Val[2];
Rg:=Val[3];
Espg:=Val[4]/1000;
Close(f);

```



```

    Kb:=Val[2];
    Rb:=Val[3];
    Espb:=Val[4]/1000;
    If Espb > 0.0 Then Klo:=Espb/Kb Else Klo:=0.5;
    Close(f);
    a:='\Dat_pro';
    s:=Concat(q,a);
    Assign(f,s);
    Reset(f);
    For i:=1 to 6 do
        Begin
            Readln(f,Val[i]);
        End;
        Espw:=Val[1]/1000;
        Conden:=Espw*1000;
        Lg:=Val[2];
        Ag:=Val[3];
        Cin:=Val[4]/100;
        Cfin:=Val[5]/100;
        Ang:=Val[6]*Pi/180;
        Close(f);
        Mg:=Rg*(1/Cos(Ang))*Espg;
        Mb:=Rb*Espb;
        Itg:=(Mg*Cpg/tr)+(Kg/Espg);
        If Espb > 0.0 Then Itb:=(Mb*Cpb/tr)+(Kb/Espb) Else Itb:=(Mb*Cpb/tr);
    End;
    Procedure Presion(Var T:Real); {Calculo de Presiones}
    Var
        Pq,Pa:Real;
        Begin

```

Procedure Densw(Var Tk:Real);{Calculo densidad de Agua a diferente Temp}

Var De,Dr,T:Real;

Begin

T:=273.2+Tk;

De:=-4.8932637128E-10*EXP(5*LN(T)) + 6.1048372517E-7*EXP(4*LN(T)) -
2.6144817175E-4

*EXP(3*LN(T));

Dr:=3.2889889439E-2*SQR(T) + 4.4663289063*T;

P:=De+Dr;

End;

Procedure Calpw(Var Tk:Real);{Calculo de Calor Esp. Agua a diferente Temp}

Var T,Cs,Cd:REAL;

Begin

T:=273.2+Tk;

Cs:=-6.6492394001E-10*EXP(6*LN(T)) + 1.3369440519E-6*EXP(5*LN(T))

1.1161970467E-3*EXP(4*LN(T));

Cd:=4.9521006705E-1*EXP(3*LN(T)) - 1.2310260275E2*SQR(T) +
1.6251624384E4*T-

8.8564489395E5;

P:=CS+CD;

End;

Procedure Kww(Var Tk:Real);{Calculo de Conductividad termica del Agua}

Var T,Ku,Ki:Real;

Begin

T:=273.2+Tk;

Ku:=-2.8704687454E-12*EXP(6*LN(T)) + 5.6419431360E-9*EXP(5*LN(T)) -
4.6097239204E-6*EXP(4*LN(T));

Ki:=2.0039217910E-3*EXP(3*LN(T))-4.8882840290E-1*SQR(T)+
6.3442398354E1*T

-3.4220299512E3;

```
Procedure Gbnuw(Var Tk:Real);{g beta/nu^2 Agua}
```

```
Var T,Ft,Fr:Real;
```

```
Begin
```

```
T:=273.2+Tk;
```

```
Ft:=-8.9866484314E-8*EXP(6*LN(T))+1.6939440839E-4*EXP(5*LN(T))-  
1.3271535
```

```
889E-1*EXP(4*LN(T));
```

```
Fr:=5.5327399493E1*EXP(3*LN(T))-  
1.2945411387E4*SQR(T)+1.6119185948E6
```

```
*T-8.3449312290E7;
```

```
P:=Ft+Fr;
```

```
End;
```

```
Procedure Pranair(Var Tk:Real);{Prandt aire}
```

```
Var S,We,Ws:Real;
```

```
Begin
```

```
S:=273.2+Tk;
```

```
We:=-9.1415996994E-28*EXP(6*LN(S))+1.3333333352E-  
13*EXP(5*LN(S))-2.3333
```

```
33333E-10*EXP(4*LN(S));
```

```
Ws:=1.5766666667E-7*EXP(3*LN(S))-5.0616666667E-5*SQR(S)+7.4250E-  
3*S+3.4
```

```
899999999E-1;
```

```
P:=We+Ws;
```

```
End;
```

```
Procedure Gbnunair(Var Tk:Real);{g beta/nu^2 aire}
```

```
Var S,Sqa,Sqz:Real;
```

```
Begin
```

```
S:=273.2+Tk;
```

```
Sqa:=1.32E-9*EXP(6*LN(S))-3.045333333E-6*EXP(5*LN(S))+2.9163E-  
3*EXP(4
```

```
*LN(S));
```

```

Procedure Calpair(Var Tk:Real);{Calor específico aire}
Var S,Cv,Cx:Real;
  Begin
    S:=Tk+273.2;
    Cv:=3.5556E-13*EXP(6*LN(S))-7.7333E-10*EXP(5*LN(S))+6.8889E-7*EXP
    (4*LN(S))
    Cx:=8.2676E-2*SQR(S)-1.1153E-1*S+1.617E3;
    P:=Cv+Cx;
  End;
Procedure Nuair(Var Tk:Real);{Nu aire}
Var S,Nb,Nm:Real;
  Begin
    S:=Tk+273.2;
    Nb:=-8.8889E-16*EXP(6*LN(S))+2.2667E-12*EXP(5*LN(S))-2.3222E-
    9*EXP(4*LN
    S));
    Nm:=1.2183E-6*EXP(3*LN(S))-3.3419E-4*SQR(S)+5.274E-2*S-3.12;
    P:=Nb+Nm;
  End;
Procedure Calk;{Calculo de Coeficientes de Transferencia de calor}
Var
  Pw,Pg,X,Dat,Das,C'pa,Nua,Gbn,Prw,Kw,Ra,Nu,lfg:Real;
  Begin
    Presion(Tw1);
    Pw:=P;
    Presion(Tg1);
    Pg:=P;
    X:=(Pw-Pg)*(Tw1+273)/(268.2745286-Pw);
    If X>0 Then Dat:=Exp((1/3)*Ln((Tw1-Tg1)+X)) Else Dat:=0.0;
  End;

```

```

Gbnw(Tw1);
Gbn:=P;
Pranw(Tw1);
Prw:=P;
Kww(Tw1);
Kw:=P;
If Espw<=0.0 Then Ra:=0.0;
If Espw>0.0 Then Ra:=Gbn*1E7*Exp(3*Ln(Espw))*(Tw1-Tb1)*Prw;
If Ra<=0.0 Then Nu:=0.0;
If Ra>0.0 Then Nu:=0.54*Exp((1/4)*Ln(Ra));
If Espw < 0.0 Then Hg:=Nu*Kw/Espw Else Hg:=0;
If Hg>0 Then Hb:=1/((1/Klo)+(1/Hg)) Else Hb:=(1/Klo);
End;

```

Procedure Gravymet(Var Conc:Real);{Calculo de Inercia Termica del Agua}

Var

Tir,Tiri,D,Dw,Pw,Pg,Mwr,Mv,Cpw,Kw,Rw:Real;

Begin

Presion(Tw1);

Pw:=P;

Presion(Tg1);

Pg:=P;

Mv:=Hwe*(Pw-Pg);

D:=(1-Conc)+3*Conc;

If Tg1>Tw1 Then Mv:=0.0;

Tiri:=Espw;

Tir:=Tiri-((Mv)/(Lg*Ag*D*1000));

Calpw(Tw1);

Cpw:=P;

Kww(Tw1);

Procedure Absort(Var q:Real);{Calculo de Absortancia en el vidrio y agua}

Var

Er,Yx,Roa,Rog,Por,Roe,Tag,Xx,Taw,aw:Real;

Begin

Er:=Sin(q)/1.5;

Yx:=ArcTan(Er/Sqrt(1-Sqr(Er)));

Roa:=Sin(q-Yx)/Sin(q+Yx);

Rog:=Sin(q-Yx)/Cos(q-Yx);

Por:=Sin(q+Yx)/Cos(q+Yx);

Roe:=0.5*(Sqr(Roa)+Sqr(Rog/Por));

Tag:=(1-Roe)/(1+Roe);

Agg[r]:=1-Roe-Tag;

Er:=Sin(Yx)/1.33;

Xx:=ArcTan(Er/Sqrt(1-Sqr(Er)));

Roa:=Sin(Yx-Xx)/Sin(Yx+Xx);

Rog:=Sin(Yx-Xx)/Cos(Yx-Xx);

Por:=Sin(Yx+Xx)/Cos(Yx+Xx);

Roe:=0.5*(Sqr(Roa)+Sqr(Rog/Por));

Taw:=(1-Roe)/(1+Roe);

aw:=1-Roe-Taw;

Aww[r]:=Tag*aw+Tag*Taw;

End;

Procedure Incidency(Var d,fg,y,w,g:Real);{Calculo de angulo de incidencia}

Var

Pli,Tre,Ujh,Zxv,Mdt,Xx,x:Real;

Begin

Pli:=Sin(d)*Sin(fg)*Cos(y);

Procedure Angsol;(Calculo de Datos necesarios para los procedimientos anteriores)

Const

p2=0.0172021;

p3=57.295778;

d1=0.406079073;

d2=1.40446929;

d3=0.0132989724;

d4=1.51396507;

t1=0.016797268;

t2=0.0520416347;

t3=19.8500733;

t4=7.40960196;

Var

Val:Array [1..7] of Real;

l1,l2,n,Gmax,z,d5,r1,a1,t5,t6,t,b1 b2,b3,b4,b5,h,h1,h2,c1,c2,c3:Real;

m:Array [1..12] of Integer;

i,j,m1,d:Integer;

s1,s2,s3,r2,a2,c4,r3,a3,df,w,fg:Real;

Begin

a:='\Dat_geo';

s:=Concat(q,a);

Assign(f,s);

Reset(f);

For i:=1 to 5 do

Begin

Readln(f,Val[i]);

End;

m1:=Round(Val[1]);

d:=Round(Val[2]);

```

m[8]:=31;
m[9]:=31;
m[10]:=30;
m[11]:=31;
m[12]:=30;
If l2>109.5 Then z:=8.0;
If (l2<=109.5) And (l2>=95.5) Then z:=6.0;
If l2<95.5_ Then z:=5.0;
n:=0.0;
For j:=1 to m1 do
Begin
n:=n+m[j];
End;
n:=n+d;
d5:=n*p2;
r1:=d1*sin(d5-d2)+d3*Sqr(Cos(d5-d4));
a1:=r1;{Angulo de declinacion}
t5:=n*p2+t1;
t6:=n*p2-t2;
t:=-t3*sin(t5)*cos(t5)-t4*sin(t6);
b1:=-sin(l1/p3)/cos(l1/p3))*sin(r1)/cos(r1));
b2:=-ArcTan(b1/sqrt(-b1*b1+1))+Pi/2;
b3:=b2*12/Pi;
b4:=12-b3-(t/60)-z+l2/15;{Amanecer}
hrs:=b4;
Textattr:=7;
Gotoxy(37,1);
Write(Round(b4),2,',(60*Frac(b4)):2);
b5:=2*-b4;{Ocaso}
Gotoxy(10,22);

```



```

c1:=Cos(l1/p3);
c2:=cos(r1);
c3:=cos(h2);
s1:=sin(l1/p3);
s2:=sin(r1);
s3:=c1*c2*c3+s1*s2;
r2:=ArcTan(s3/Sqrt(-s3*s3+1));
a2:=r2*p3;      {Altitud Solar}
c4:=(s3*s1-s2)/(Cos(r2)*c1);
r3:=-ArcTan(c4/Sqrt(-c4*c4+1))+Pi/2;
a3=Abs(r3*p3);
If h1>0.0 Then a3:=180+a3;
If h1<=0.0 Then a3:=180-a3; {a3 = Azimut Solar}
End;

If Abs(h2)>Abs(b2) Then
Begin
a2:=0.0;
a3:=0.0;
End;

w:=(df-3.75*r)*Pi/180;
fg:=l1*Pi/180;
a3:=a3*Pi/180;
Incidency(a1,fg,Ang,w,a3);
r:=r+1;
Until h>b5;
End;

Procedure Computo; {Procedimiento de Convergencia y Correccion de Temp}
Var
Dtg,Ac,Dtw,Dtb,Tw2,Tg2,Tb2,Pw,Pg,Hfg:Real;
Asq,Wer,Tre:Boolean;

```

```

Hfg:=P;
Ac:=Agg[r]*Hs[r]+Hwc*(Tw1-Tg1)+lwc*(Pw-Pg)*Hfg-Hv*(Tg1-Ta[r]);
Dtg:=Ac/Itg;
Tg2:=(Ta[r]+Tw[r-1])*0.5+Dtg;
Ac:=Aww[r]*Hs[r]-Hwc*(Tw1-Tg1)-lwc*(Pw-Pg)*Hfg-Hb*(Tw1-Tb1);
Dtw:=Ac/Itw;
Tw2:=Tw[r-1]+Dtw;
If Itb > 0.0 Then Dtb:=(Hb*(Tw1-Tb1)-Hv*(Tb1-Ta[r]))/Itb;
If Itb = 0.0 Then Dtb:=(Hb*(Tw1-Tb1)-Hv*(Tb1-Ta[r]))/l6;
Tb2:=Tw2+Dtb;
If (Abs(Tg2-Tg1)) < 0.001 Then Asq:=True Else Tg1:=(3*Tg1+4*Tg2)/7;
If (Abs(Tw2-Tw1)) < 0.001 Then Wer:=True Else Tw1:=(3*Tw1+4*Tw2)/7;
If (Abs(Tb2-Tb1)) < 0.001 Then Tre:=True Else Tb1:=(4*Tb1+3*Tb2)/7;
If (Asq=True) And (Wer=True) Then j:=1 Else j:=0;
If (Wer=True) And (Tre=True) Then i:=1 Else i:=0;
If (j=1) And (i=1) Then Twq:=True;
End;
Procedure Cprex;{Calculo de Espesor de agua y Concentracion de la mezcla}
Var
D,Tir,Sup,Pw,Pg:Real;
Begin
Presion(Tw1);
Pw:=P;
Presion(Tg1);
Pg:=P;
Mv:=Hwc*(Pw-Pg);
D:=(1-Cin)+Cin*3.0;
Textatr:=7;
Gotoxy(58,22);

```

```

    Gotoxy(51,24);
    Write('0.000');
    Gotoxy(19,25);
    Write('Concentraci',Chr(162),'n de Sal m',Chr(160),'xima alcan-
zada');
    Delay(15000);
    Gotoxy(19,25);
    write('
');
    r:=96;
    Espw:=0.000001;
    End;

```

End;

Procedure Inicy;{Condiciones Iniciales de Arranque de programa}

Begin

r:=1;

Tg[0]:=Ta[0];

Tw[0]:=Ta[0];

Tb[0]:=Ta[0];

Prod[0]:=0.0;

Tiran[0]:=Espw;

End;

Procedure Solver;{Procedimiento de Solucion}

Begin

Tg1:=Ta[r];

Tw1:=Ta[r];

Tb1:=Ta[r];

Repeat

Twq:=False;

Calc;

Gravymet(Cin);

```

Begin
  Zx:=Conden;
  Cin:=1;
  Gotoxy(51,24);
  Write('0.000');
  l:nd;

```

End;

Procedure Poncry; {Acomodo de Titulos}

Begin

Textattr:=3;

Gotoxy(2,1);

Write('Temp.Amb ==> ',Chr(248),'C');

Gotoxy(25,1);

Write('Amanecer ==> ');

Gotoxy(48 1);

Write('Ra.liaci',Chr(162),'n Solar ==> W/m',Chr(253));

Gotoxy(5 2);

Write('T.vidrio');

Gotoxy(16,2);

Write('T.agua');

Gotoxy(25,2);

Write('Tirante');

Gotoxy(35,2);

Write('Co:ncentraci',Chr(162),'n');

Gotoxy(52,2);

Write('Producci',Chr(162),'n');

Gotoxy(65,2);

Write('Abso t Agua');

Textattr:=2;

```

Write('Itg ==> W/m',Chr(253),'K');
Gotoxy(23,24);
Write('Itb ==> W/m',Chr(253),'K');
Gotoxy(21,23);
Write('Itw ==> W/m',Chr(253),'K');
Gotoxy(42,22);
Write(' Dens mezcla ==> kg/m',Chr(252));
Gotoxy(42,23);
Write(' T.base ==> ',Chr(248),'C');
Gotoxy(43,24);
Write(' Mw ==> kg');
End;
Procedure Coloca; {Colocacion de valores respectivos}
Var
gfh:Real;
Begin
Textattr:=7;
Gotoxy(1,m);
Write(r:2);
Gotoxy(7,m);
Write(Tg[r-1]:3:3);
Gotoxy(15,1);
Write(Ta[r-1]:3:2);
Gotoxy(68,1);
If Hs[r-1]>0.0 Then Write(Hs[r-1]:3:2) Else Write(Hs[r-1]:3:4);
Gotoxy(11,24);
gfh:=hrs+0.25*r;
If gfh>24 Then gfh:=gfh-24;
Write(Round(gfh):2,':',(60*Frac(gfh)):2:2);

```

```
Gotoxy(28,22);
Write(Itg*Lg*Ag:4:3);
Gotoxy(29,23);
Write(Itw*Lg*Ag:4:3);
Gotoxy(31,24);
Write(Itb*Lg*Ag:4:3);
Gotoxy(55,23);
Write(Tb[r-1]:3:3);
Gotoxy(66,m);

If Aww[r-1]>0.0 Then Write(Aww[r-1]*100:2:4) Else Write(Aww[r-1]*100:2:5);
m:=m+1;
If m=22 Then m:=4;

End;

Procedure Vent2;
Var
xz,gf:Integer;
Begin
SetColor(15);
Rectangle(25,0,625,450);
xz:=0;
gf:=0;
Repeat
xz:=xz+15;
gf:=gf+25;
Line(25,xz,35,xz);
Line(610,xz,625,xz);
Line(gf,0,gf,10);
Line(gf,450,gf,440);
```

```
    OutText('1');
End;
Procedure Vent3;
Var
xz,gf:Integer;
Begin
SetColor(15);
Rectangle(25,0,625,450);
xz:=0;
gf:=0;
Repeat
xz:=xz+15;
gf:=gf+25;
Line(25,xz,35,xz);
Line(610,xz,625,xz);
Line(gf,0,gf,10);
Line(gf,450,gf,440);
Until xz=450;
SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);
Moveto(0,450);
OutText('0');
Moveto(0,0);
OutText('1');
Moveto(0,221);
OutText('0.5');
Moveto(25,460);
OutText('0');
Moveto(620,460);
OutText('24');
```

```
Repeat
  xz:=xz+15;
  gf:=gf+25;
  Line(25,xz,35,xz);
  Line(610,xz,625,xz);
  Line(gf,0,gf,10);
  Line(gf,450,gf,440);
Until xz=450;
SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);
Moveto(25,460);
  OutText('0');
Moveto(620,460);
OutText('24');
Moveto(0,450);
  OutText('0');
  Moveto(0,405);
  OutText('10');
  Moveto(0,360);
  OutText('20');
  Moveto(0,315);
  OutText('30');
  Moveto(0,270);
  OutText('40');
  Moveto(0,225);
  OutText('50');
  Moveto(0,180);
  OutText('60');
  Moveto(0,135);
  OutText('70');
```


Begin

SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);

MoveTo(490,350);

OutText('Tamb');

For xz:=0 to 96 do

Begin

For gf: 1 to 2 do

Begin

SetColor(86);

x:=Round(6.25*xz+25);

y:=Round(450-4.5*Ta[xz]);

Circle(x,y,gf);

End;

End;

End;

Procedure Pluxy;

Var

xz,gf,x,y:Integer;

uop:Real;

Begin

SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);

MoveTo(260,50);

OutText('Radiacion Solar');

uop:=Hs[0];

For xz:=1 to 96 do

Begin

If uop<1Is[xz] Then uop: 1Is[xz];

End;

For xz:=0 to 96 do

Procedure Tvid;

Var

x,y,xz,gf:Integer;

Begin

SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);

MoveTo(45,380);

OutText('Tg');

For xz:=0 to 96 do

Begin

For gf:=1 to 3 do

Begin

SetColor(2);

x:=Round(6.25*xz+25);

y:=Round(450-4.5*1g[xz]);

Circle(x,y,gf);

End;

End;

End;

Procedure Twater;

Var

x,y,xz,gf:Integer;

Begin

SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);

MoveTo(550,280);

OutText('Tw');

For xz:=0 to 96 do

Begin

For gf:=1 to 3 do

Begin

```

x,y,gf,xz:Integer
; Begin
  SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);
  MoveTo(50,265);
  OutText('Tb');
  For xz:=0 to 96 do
  Begin
    For gf:=1 to 3 do
    Begin
      SetColor(7);
      x:=Round(6.25*x./+25);
      y:=Round(450-4.5*Tb[xz]);
      Circle(x,y,gf);
    End;
  End;
End;
Procedure Comparya;
Var
x,y,xz,gf:Integer;
ret,uio:Real;
Begin
  SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);
  MoveTo(60,60);
  OutText('Radiacion vs Produccion');
  ret:=Prod[0];
  uio:=Hs[0];
  For x:=1 to 96 do
  Begin
    If ret<Prod[x] Then ret:=Prod[x];

```

```
End;
End;
End;
Procedure Intercab;
Var
x,y,xz,gf:Integer;
we,gh:Real;
Begin
SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);
MoveTo(280,40);
OutText('Produccion vs Tiempo');
we:=Prod[0];
For x:=1 to 96 do
Begin
If we<Prod[x] Then we:=Prod[x];
End;
For xz:=0 to 96 do
Begin
For gf:=1 to 3 do
Begin
SetColor(Random(245));
x:=Round(6.25*xz+25);
y:=Round(450-Prod[xz]*440/we);
Circle(x,y,gf);
End;
End;
End;
End;
Procedure Interbab;
Var
```

```
    If we<Tiran[x] Then we:=Tiran[x];
End;
For xz:=0 to 96 do
Begin
    For gf:=1 to 3 do
        Begin
            SetColor(Random(45));
            x:=Round(6.3*xz+25);
            y:=Round(450-Tiran[xz]*450/we);
            Circle(x,y,gf);
        End;
    End;
End;
Procedure Cambyos;
Var
w:Char;
Begin
    SetTextStyle(SansSerifFont,HorizDir,1);
    Setcolor(36);
    MoveTo(210,450);
    OutText('<Return> para Continuar');
    Repeat
        w:=Readkey;
    Until w=Chr(13);
End;
Procedure Grafyuc;
Var
w:Char;
Begin
```

```
Vent3;  
SetColor(4);  
Pluxy;  
Cambyos;  
ClearDevice;  
SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);  
Vent1;  
Setcolor(2);  
SetTextStyle(SansSerifFont,HorizDir,1);  
Tvid;  
Cambyos;  
ClearDevice;  
SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);  
Vent1;  
Setcolor(1);  
SetTextStyle(SansSerifFont,HorizDir,1);  
Twater;  
Cambyos;  
ClearDevice;  
SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);  
Vent1;  
Setcolor(7);  
SetTextStyle(SansSerifFont,HorizDir,1);  
Tbasin;  
Cambyos;  
ClearDevice;  
SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);  
Vent1;  
SetTextStyle(SansSerifFont,HorizDir,1);
```

```
ClearDevice;
SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);
Vent2;
Comparya;
Cambyos;
ClearDevice;
Vent3;
Intercab;
Cambyos;
ClearDevice;
Vent3;
Interbab;
Cambyos;
ClearDevice;
CloseGraph;
End;
Procedure Calkiq;{Procedimiento Principal de Iniciacion y Terminacion de Cal-
culo}
Var
w:Char;
dsfl:String;
Begin
ClrScr;
Limp;
LecValt;
Ponery;
Angsol;
Inicy;
m:=4;
```

```
Until w=Chr(13);
End;
Procedure Ordenyt;
Begin
  ClrScr;
  Textattr:=6;
  Gotoxy(25,5);
  Write(' Cambio de Datos Generales');
  Gotoxy(25,7);
  Write(' Corrida del Programa');
  Gotoxy(25,9);
  Write(' Gr',Chr(160),'ficos');
  Gotoxy(25,11);
  Write(' Salida del Programa');
  Gotoxy(25,20);
  Textattr:=3;
  Write('Teclee la opci',Chr(162),'n deseada ');
  Gotoxy(51,20);
  Kj:=Readkey;
  If Kj='1' Then Archyvo;
  If Kj='2' Then Calkiq;
  If Kj='3' Then Grafyuc;
End;
Procedure Portada;
Var
  Qk:Integer;
  w:Char;
Begin
  ClrScr;
```



```

For Qk:=2 to 79 do
  Begin
    Gotoxy(Qk,1);
    Write(CHR(205));
    Gotoxy(Qk,24);
    Write(CHR(205));
  End;
For Qk:=2 to 23 do
  Begin
    Gotoxy(1,Qk);
    Write(CHR(186));
    Gotoxy(80,Qk);
    Write(CHR(186));
  End;
Textatr:=2;
Gotoxy(20,3);
Write('Universidad Nacional Aut',chr(162),'noma de M',Chr(130),'xico');
Textatr:=3;
Gotoxy(28,8);
Write('Facultad de Ingenier',Chr(161),'a');
Textatr:=Random(206);
Gotoxy(28,9);
Write('Instituto de Ingenier',Chr(161),'a');
Textatr:=6;
Gotoxy(19,13);
Write('An',chr(160),'lisis Din',Chr(160),'micos en Destiladores Solares');
Textatr:=8;
Gotoxy(13,16);
Write('Dr. Jos',chr(130),' Luis Fern',chr(160),'ndez Zayas');

```

```
Textattr:=2;
End;
Begin
ClrScr;
Portada;
Direc;
Repeat
Ordenyt;
Until Kj='4';
ClrScr;
Textattr:=7;
Gotoxy(35,11);
Write(chr(173),'Adi',chr(162),'s!');
Delay(2000);
Textattr:=2;
End.
```