

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Análisis Teórico Experimental de un Destilador Solar Tipo Caseta

Т E S I S TITULO QUE PARA OBTENER EL DE:

F S Ŧ - **C** T 0 Ρ

т

Rodolfo Fabián Estrada Guerrero

Director UAM M. en C. Manuel Gordon Sánchez Asesor UNAM Dr. Luis Enrique Sansores Cuevas

MEXICO, D. F.

1993

21 2 e

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



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.

INDICE

CAPITULO I ANTECEDENTES I.1 INTRODUCCION. I.2 DESCRIPCION DE LA DESTILACION SOLAR.

- Deservered by Br Bestincion Sourd.
- I.3 FENOMENOS QUE OCURREN EN LA DESTILACION SOLAR.
- I.4 REVISION BIBLIOGRAFICA.

CAPITULO II FUNDAMENTOS TEORICOS II.1 FORMULACION NUMERICA.

II.2 FORMULACION EN DIFERENCIAS FINITAS.

 CAPITULO III DESARROLLO EXPERIMENTAL

 III.1 DESCRIPCION DEL APARATO EXPERIMENTAL.
 21

 III.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL.
 26

 III.3 CALIBRACION DE TERMOPARES.
 28

 III.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES.
 30

 CAPITULO IV ANALISIS DE RESULTADOS

 IV.1
 DISCUSION DE RESULTADOS NUMERICOS.
 51

 IV.2
 DISCUSION DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.
 55

 IV.3
 ANALISIS DE DATOS EXPERIMENTALES.
 57

 IV.4
 COMPARACION DE RESULTADOS.
 86

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES V.1 CONCLUSIONES. 87 V.2 RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES. 88 BIBLIOGRAFIA. 89

CAPITULO I ANTECEDENTES

I.1 INTRODUCCION

El agua es una necesidad básica del hombre al igual que el aire y los alimentos; el ser humano siempre ha dependido de los ríos, lagos y los manantiales subterráneos para satisfacer sus necesidades de abastecimiento de agua potable. Sin embargo el uso de estas fuentes de agua no siempre es posible o deseable debido a la presencia de sales y materia orgánica.

Las fuentes más extensas de agua son los mares donde el problema principal es su alta salinidad; una forma de resolver este problema es la destilación que da como resultado la desalinación (eliminación de las sales).

Algunos procesos convencionales de destilación tales como la evaporación por efecto múltiple, la destilación por capa delgada, y la electrodiálisis, requieren gran cantidad de energía y no son muy económicos para requerimientos pequeños de agua potable, los desarrollados en el uso de la energía solar han demostrado ser ideales cuando la demanda de agua no es demasiado grande. En regiones áridas ésta es la única alternativa. Lo que se puede decir en favor de la destilación solar es que es una opción viable para proveer de agua potable en pequeñas comunidades donde los procesos convencionales de destilación resultan ser costosos.

Los tipos de destiladores solarres son:

1) Destilador tipo escalera, consiste en un arreglo de contenedores en forma escalonada con una cubierta de vidrio que sirve como superficie de condensación, la alimentación se hace en forma de cascada comenzando a llenar la charola superior.

2) destilador con evaporador de tela, en el se utiliza un trozo de tela negra de un metro cuadrado como superficie evaporadora, la cual se tiene permanentemente húmeda y en ella se produce la evaporación. La cubierta de condensación es de vidrio.

3) Destilador con captador solar auxiliar, éste utiliza un captador para calentar el agua antes de introducirla al destilador, el cual consiste en una charola matálica ennegrecida y una cubierta de vidrio en donde se condensa el destilado.

4) Destilador esférico, consiste en una charola de metal negra que funciona como captedor y contenedor del agua a destilar, la cubierta condensadora es un domo de acrílico transparente semiesférico y tiene en su interior un limpiador semejante al de un automóvil para remover el destilado.

5) Destilador tipo caseta, se construye con una base de metal ennegrecida que sirve como captador y contenedor de agua, la que se encierra en una caseta de vidrio con techo de dos aguas en el cual se condensa el agua destilada.

En el presente trabajo se analiza el destilador solar tipo caseta, el motivo del análisis de este destilador es realizar un experimento para probar el modelo matemático propuesto por Israel Ortega Zamudio en la U.A.M. Azcapotzalco. Se utiliza una red de termopares dentro del destilador por lo que se contará con datos experimentales en cada punto de medición (datos discretos), por lo tanto se utiliza el método numérico de diferencias finitas para la solución teórica, esta solución se compara con los resultados experimentales.

DESCRIPCION DE LA DESTILACION SOLAR

Un destilador solar convencional usualmente se construye de una lámina galvanizada rectangular, dentro de una caseta con una cubierta hecha de cualquier material transparente, la lámina que forma la base se ennegrece para lograr la máxima absorción de la energía solar. El agua salada se coloca dentro del destilador llenando parcialmente la base y se expone a la radiación solar. La cubierta transparente permite que la radiación penetre aldestilador v sea absorbida por la base ennegrecida, consecuentemente el agua se calienta y se vaporiza formando una mezcla de aire y vapor de agua entre la cubierta y la superficie del aqua que se destila; la cubierta se inclina para permitir que el destilado resbale y se recolecte fuera del dispositivo.

El parámetro más importante que interviene en la destilación solar es la intensidad de la radiación solar que incide sobre el destilador, aparte la energía absorbida en la base se trasfiere parcialmente al agua ya queuna pequeña fracción de ella se pierde hacia los alrededores por conducción en la base. Parte de la energía se transfiere del agua hacia la cubierta transparente principalmente por la evaporación de agua que al condensarse en la cubierta transmite esa energía. Una parte de la energía incidente se absorbe y se refleja en la cubierta y luego se transmite por convección y radiación. En la siguiente figura se presenta un diagrama de estos fenómenos (ref 1).







1.3 FENOMENOS QUE OCURREN EN LA DESTILACION

Los fenómenos físicos que intervienen en la destilación solar son convección natural, transferencia de calor por conducción y radiación, evaporación y condensación.

La convección natural o libre, es el resultado del movimiento del fluído debido a cambios de densidad que provienen del proceso de calentamiento. El movimiento del fluído en convección libre, es el resultado de las fuerzas de flotación, cuando su densidad cerca de la superficie de transferencia de calor disminuye debido al calentamiento. Estas fuerzas no estarían presentes si el fluído no sufriera la acción de una fuerza externa como la gravedad. Las fuerzas de flotación que dan lugar a la convección libre se llaman fuerzas de cuerpo. En la convección libre el fluído que se calienta tiene menor densidad y tiende a moverse hacia arriba, el fluído frío tiene menor densidad y tiende a moverse hacia abajo dando orígen a la corriente de convección.

La transferencia de calor por radiación en un destilador es proporcionada por la radiación solar y su intensidad depende en gran parte de las condiciones atmosféricas, la estación del año y el ángulo de incidencia de los rayos solares, la radiación solar total es 1353 Watts/m²conocida como constante solar. La radiación solar se transmite desde la cubierta transparente hacia la base, donde parte de la energía se absorbe y otra se aprovecha para el calentamiento del agua, proporcionándole energía suficiente para la evaporación.

Evaporación : Esta se debe a que las moléculas de la superficie adquieren energía suficiente para abandonar el resto del cuerpo de agua, esta energía la obtienen por el calentamiento del líquido. Solamente las moléculas que tienen energía cinética por encima de un valor particular pueden escapar a la fase gaseosa. A temperaturas más elevadas, un mayor número de moléculas tienen energía suficiente para abandonar la superficie líquida y pasar a la fase gaseosa provocando la evaporación del líquido.

Condensación : Esta fenómeno se realiza cuando un vapor hace contacto con una superficie que está a una temperatura inferior a la temperatura de saturación de vapor. Cuando se forma la condensación el líquido sobre la superficie condensadora resbala

por efecto de la gravedad. El líquido moja la superficie, se esparce y forma una película, a este proceso se le llama condensación en película, si forma gotitas que escurren uniéndose al hacer contacto con otras gotas, la condensación se llama por gotas [ref 2].

I.4

REVISION BIBLIOGRAFICA

Ali M El-Nashar [3] reporta un procedimiento computarizado para la simulación del funcionamiento de una planta destiladora, se describe el modelo matemático utilizado para la simulación de la planta solar destiladora que utiliza evaporadores de etapas múltiples. Concluye que los resultados experimentales medidos diariamente tienen un alto grado de concordancia por lo que la simulación de la planta destiladora solar con el modelo matemático uesado puede predecir la cantidad de agua destilada por día.

J.L. Fernández, Roberto Perez y Rafael Camacho, reportan el análisis de un destilador solar de agua de mar en La Paz Baja California, formulan un modelo matemático dinámico que describe la evolución de las temperaturas, flujos de calor, masa y producción de aqua destilada en un destilador de 23m²de área de captación. El destilador reusa el calor rechazado en periodos de 24 horas, el aqua es precalentada en un sistema de colectores planos, se pasa a los destiladores donde se aprovecha una cantidad adicional de radiación, el calor rechazado en la condensación es recogido por medio de un fluído secundario y se reusa posteriormente. Concluyen aue destilador no reusa el si el calor rechazado en la. condensación la producción de aqua destilada al día es menor. J.L Fernández y Norberto Chargoy [4] reportan un destilador solar de etapas múltiples, donde el calor es proporcionado al recipiente de la parte baja que al igual que los de la parte superior contienen el aqua a destilar, el vapor producido en la parte baja se condensa en el contenedor que esta inmediatamente arriba a menor temperatura produciendo agua destilada y calor que fluye hacia arriba. Concluyen que la destilación por etapas múltiples es de operación simple y se debe investigar el dimensionamiento del destilador sobre todo en el área de captación con la finalidad de aumentar el rendimiento.

Moustafa y Brusewitz [5] reportan que los factores más importantes que afectan la destilación solar son : la temperatura en la base del destilador, la temperatura de la superficie condensadora y la temperatura del medio ambiente. La reflexión y radiación térmica de la superficie de agua que se evapora y la cubierta transparente son las principales fugas de energía térmica. Concluyen que la eficiencia de la destilación solar, puede mejorarse controlando la

pérdida de radiación en la base y reusando el calor latente de condensación.

N. Rudraiah y T.P. Ssikumar reportan que el efecto de transferencia radiativa en la convección térmica, inhibe la convección en un medio poroso, esto es debido al incremento en la conductividad térmica por los efectos combinados de la porosidad del medio y la radiación. En conclusión, la radiación contrae los poros y causa una estabilización y un incremento en el número de Rayleigh definido en términos de la diferencia de temperaturas de las superficies.

J.J. Close y J. Sheridan [7] reportan que la convección natural en una cavidad llena con vapor y un gas no condensable, donde el vapor es generado en una superficie caliente, las ecuaciones encontradas son las mismas que se aplican a un fluído solo, los parámetros que gobiernan el sistema son los números de Grashof y Prandlt, incluyendo modificaciones en los términos para la fuerza boyante y el calor específico, el estudio es teórico y necesitan un respaldo experimental.

H.K. Wee y R.B Keey [8] reportan que la transferencia simultánea de calor y aire húmedo por convección natural en una cavidad que contiene aire, toma en cuenta los números de Prandlt y Schmidt. Las ecuaciones que modelan a la cavidad se resuelven por métodos numéricos (Alternación dinámica de dirección implícita D.A.D.I).Concluyen que la transferencia de calor y aire húmedo en una cavidad vertical y una horizontal considerando flujo ascendente es cinco o nueve veces mayor que el flujo descendente. En el caso de convección natural que resulta de la diferencia de temperatura y concentración de vapor de agua, la fuerza boyante corresponde a la diferencia de temperatura. El acuerdo entre el experimento y el modelo matemático hace que este modelo prediga la transferencia de vapor de agua para cualquier gradiente de temperatura, y se puede extrapolar más allá de los límites experimentales especialmente en la región de baja temperatura y concentración de aire húmedo donde el experimento tiene limitaciones.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS

II.1 FORMULACION NUMERICA

Se considera una mezcla de aire-vapor de agua contenida en el interior de un destilador tipo caseta, como se muestra en la figura. Centraremos nuestra atención en el plano X-Y, es decir consideramos el caso bidimensional.

Inicialmente nuestro sistema se encuentra a la temperatura T_{ℓ} y a la concentración C⁶, como se observa en la misma figura. En el extremo Y=L se tienen las condiciones C'₁Y T'₁. La caída de temperatura que nos interesa es $\Delta T=T'_1-T'_0$ y el cambio en la concentración de la humedad esta dado por $\Delta C=C'_1-C'_0$.

Por conveniencia se definen los siguientes parámetros adimensionales

$$T = \frac{T' - T'_{o}}{T'_{1} - T'_{o}} X = \frac{X}{L} U = \frac{UL}{V}$$

$$C = \frac{C' - C'}{C' - C'} \quad Y = \frac{Y}{L} \quad V = \frac{VL}{V}$$

$$W = W \frac{L^2}{\nu} \quad \varphi = \frac{\varphi'}{\nu} t = \frac{t'\nu}{\tau^2}$$

En donde las cantidades primadas representan las correspondientes cantidades dimensionales (ver nomenclatura).

En este análisis se considera que el destilador es muy largo comparado con las dimensiones en x-y. Esto permite considerar el problema como un caso bidimensional.

Se considera que el fluído tiene densidad y viscosidad constantes, esto es ρ = cte ; ν = cte. Bajo estas condiciones las ecuaciones de Navier-Stokes son, en forma vectorial: [ref 2].

 $\rho \left[\frac{\partial V}{\partial t'} + (V \cdot \nabla) \right] V = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + \rho F - --- Ec1$



10

•

Dividiendo la Ec 1 entre p nos da: $\frac{\partial v}{\partial t}, + (v.\nabla)v = -\nabla \{\frac{p}{2}\} + \nu \nabla^2 v + F$ $\operatorname{con}_{-} \nu = \frac{\mu}{\rho} - - - \operatorname{Ec}_{2} 2$ Usando la identidad vectorial. $(\mathbf{v}.\nabla)\mathbf{v} = \nabla(1/2 \mathbf{v}.\mathbf{v}) - \mathbf{v}\mathbf{x}(\nabla\mathbf{x}\mathbf{v}).$ Y sustituyéndo en la EC 2 tenemos. $\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla (1/2v, V) - vx (\nabla xv) = -\nabla \{\frac{p}{\rho} \} + \nu \nabla^2 v + F. - - - - Ec3$ Como por definición se tiene: w = Vxv. La Ec 3 queda. $\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{v}} + \nabla (1/2\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}) - \mathbf{v} \mathbf{x} \mathbf{w} = -\nabla \{\frac{\mathbf{p}}{\rho}\} + \nu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} - \mathbf{E} \mathbf{c} \mathbf{4}$ Aplicando el operador rotacional a la Ec 4 tenemos. $\nabla \mathbf{x} \quad \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{t}}, \quad + \quad \nabla \mathbf{x} \{ \nabla (1/2 \ \mathbf{v} \cdot \mathbf{v}) \} = - \nabla \mathbf{x} \{ \nabla \{ \frac{\mathbf{p}}{\mathbf{q}} \} \} \quad + \quad \nu \nabla \mathbf{x} (\nabla^2 \mathbf{v}) + \nabla \mathbf{x} \mathbf{F} = - - - \mathbf{E} \mathbf{c} \mathbf{S}$ Recordando que $\nabla x \frac{\partial v}{\partial t}$, $= \frac{\partial}{\partial t}$, $(\nabla x v) = \frac{\partial w}{\partial t}$, y $\nu \nabla x (\nabla^2 v) = \nu \nabla^2 (\nabla x v) = \nu \nabla^2 w.$ Sustituyéndo estas expresiones en la Ec 5 obtenemos. $\frac{\partial w}{\partial t}, + \nabla x \nabla (1/2 \ v.v) - \nabla x (v \ x \ w) = -\nabla x (\nabla \{ \frac{p}{\rho} \}) + \nu \nabla^2 w + \nabla x F \quad --Ec$ 6. Por otro lado las cantidades $\nabla(1/2 \mathbf{v},\mathbf{v}) \mathbf{y} - \nabla\{\frac{\mathbf{p}}{2}\}.$ son gradientes de funciones, y dado que el rotacional del gradiente de una función escalar es cero, se tiene. $\nabla x \{ \nabla (1/2 \ v \cdot v) \} = 0 \qquad Y \qquad -\nabla x \{ \nabla (\frac{p}{\rho}) \} = 0.$ y la Ec 6 se transforma en. $\frac{\partial w}{\partial t}, - \nabla x (v \times w) = \nu \nabla^2 w + \nabla x F.$ Se utiliza la siguiente relación del cálculo vectorial: $\nabla \mathbf{x} (\mathbf{v} \times \mathbf{w}) = \mathbf{v} (\nabla \cdot \mathbf{w}) - \mathbf{w} (\nabla \cdot \mathbf{v}) - (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{w} + (\mathbf{w} \cdot \nabla) \mathbf{v}.$ y como por definición V.w = 0. y además de la ecuación de continuidad 🛛 V.v = 0, la expresión anterior da. $\nabla x (v \times w) = (w.\nabla)v - (v.\nabla)w.$ Sustituyéndo esto en la Ec 7 se tiene

- 11

 $\frac{\partial w}{\partial t}$, + (v. ∇) - (w. ∇)v = $v\sigma^2$ w + ∇xF . -----Ec 8 En el caso bidimensional, que se cosidera, el término (w. ∇)v s anula. Por lo que la ecuación queda:

$$\frac{\partial w}{\partial t}$$
, + (v. ∇) w = $\nu \nabla^2 w$ + ∇xF -------ECUACION DE VORTICIDAD
CASO BIDIMENSIOMAL.

Escribiendo esta ecuación en forma desarrollada tenemos:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} = v \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] + \frac{\partial^2 F_Y}{\partial x} - \frac{\partial F_X}{\partial y} - -Ec9$$

Pero de acuerdo con la definición que se hizo de parámetros adimensionales, se pueden escribir los términos de la ecuación 9 de la siguiente forma:

 $\frac{\partial^2}{\partial y^2} = \frac{1}{L^2} \frac{\partial^2}{\partial y^2}$

 $X = \frac{x}{L} \quad \text{de donde se tiene} \quad x = XL.$ $\frac{\partial}{\partial x} = \frac{1}{L} \quad \frac{\partial}{\partial X} \quad \text{se tiene} \quad \frac{\partial^2}{\partial x^2} = \frac{1}{L^2} \frac{\partial^2}{\partial X^2}$

 $Y = \frac{y}{L} \text{ despejando } y = YL.$ $\frac{\partial}{\partial y} = \frac{1}{L} \frac{\partial}{\partial Y} \text{ de donde se obtiene}$

 $t^2 = \frac{t v}{2}$ despejando t' tenemos t' = $\frac{L t}{v}$ y derivando esta

ecuación:

 $\frac{\partial}{\partial t'} = \frac{\nu}{L^2} \frac{\partial}{\partial t}$

Esto significa que cada término de la ecuación 9 quedará como.

$$\frac{\partial W}{\partial t'} = \left[\begin{array}{c} \frac{\nu}{L^2} & \frac{\partial}{\partial t} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \frac{\nu}{L^2} \\ \frac{\nu}{L^2} \end{array} \right] = \begin{array}{c} \frac{\nu^2}{L^4} & \frac{\partial W}{\partial t} \\ \frac{\partial W}{\partial x} & = \left[\begin{array}{c} \frac{\nu}{L} \\ U \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \frac{1}{L} & \frac{\partial}{\partial X} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \frac{\nu}{L^2} \\ W \end{array} \right] = \begin{array}{c} \frac{\nu^2}{L^2} \\ \frac{\partial W}{\partial X} \\ \frac{\partial W}{\partial Y} & = \left[\begin{array}{c} \frac{\nu}{L} \\ V \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \frac{1}{L} \\ \frac{\partial}{\partial Y} \\ \frac{\partial}{\partial Y} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \frac{\nu}{L^2} \\ W \end{array} \right] = \begin{array}{c} \frac{\nu^2}{L^4} \\ \frac{\partial W}{\partial Y} \\ \frac{$$

Siguiendo un procedimiento análogo para los términos restantes, y ordenando términos semejantes la ecuación 9 queda:

$$\frac{\nu^2}{L^4} \left[\frac{\partial W}{\partial t} + U \frac{\partial W}{\partial x} + V \frac{\partial W}{\partial y} \right] = \frac{\nu^2}{L^4} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right] + \frac{1}{L} \left[\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right]$$

Multiplicando toda la ecuación por L^4/ν^2 se obtiene.

 $\frac{\partial W}{\partial t} + \frac{U}{\partial X} + \frac{\partial W}{\partial Y} + \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} + \frac{U^3}{\nu^2} \left[\frac{\partial F_Y}{\partial X} - \frac{\partial F_X}{\partial Y} \right] = EC - A.$

Si se considera a las fuerzas que actúan sobre el cuerpo como una combinación lineal de ΔT y ΔC , esto es:

$$\begin{split} \mathbf{F}_{\mathbf{x}} &= - \left(\mathbf{T} \boldsymbol{\beta}_{\mathsf{T}} \Delta \mathbf{T} \, + \, \mathbf{C} \boldsymbol{\beta}_{\mathsf{C}} \Delta \mathbf{C} \right) \, \mathbf{g} \, \, \mathbf{Cos} \boldsymbol{\theta} \\ \mathbf{F}_{\mathbf{y}} &= - \left(\mathbf{T} \boldsymbol{\beta}_{\mathsf{T}} \Delta \mathbf{T} \, + \, \mathbf{C} \boldsymbol{\beta}_{\mathsf{C}} \Delta \mathbf{C} \right) \, \mathbf{g} \, \, \mathbf{Sen} \boldsymbol{\theta} \end{split}$$

De manera que si se toma el último término de la Ec--A, y se sustituye en él las expresiones anteriores se tiene:

 $\frac{\partial F_{\mathbf{Y}}}{\partial X} = \frac{\partial}{\partial X} \left[- \left(T\beta_{\mathbf{y}} \Delta T + C\beta_{\mathbf{y}} \Delta C \right) g \operatorname{Sen}\theta \right]$ $\frac{\partial F_{\mathbf{X}}}{\partial Y} = \frac{\partial}{\partial Y} \left[- \left(T\beta_{\mathbf{y}} \Delta T + C\beta_{\mathbf{y}} \Delta C \right) g \operatorname{Cos}\theta \right]$

Si se desarrollan estas expresiones:

 $\frac{\partial F}{\partial X} = -(\beta_{\tau} \Delta TgSen\theta) \frac{\partial T}{\partial X} - (\beta_{c} \Delta CgSen\theta) \frac{\partial C}{\partial X} - ---Eclo$

 $\frac{\partial F_{\mathbf{x}}}{\partial \mathbf{Y}} = -(\beta_{\mathbf{y}} \Delta T \mathbf{g} \mathbf{Cos} \theta) \frac{\partial \mathbf{T}}{\partial \mathbf{Y}} - (\beta_{\mathbf{c}} \Delta C \mathbf{g} \mathbf{Cos} \theta) \frac{\partial \mathbf{C}}{\partial \mathbf{Y}} = -\mathbf{Ecl1}$ Se resta la Ec 11 de la Ec 10 para obtener: $\begin{bmatrix} \partial F_{\mathbf{y}} & -\partial F_{\mathbf{x}} \\ \partial \mathbf{X} & -\partial \mathbf{Y} \end{bmatrix} = -(\mathbf{g} \beta_{\mathbf{y}} \Delta T) \begin{bmatrix} \partial T \\ \partial \overline{\mathbf{X}} & \mathbf{Sen} \theta - \frac{\partial T}{\partial \mathbf{Y}} & \mathbf{Cos} \theta \end{bmatrix} -$

$$\int = -(g\beta_{\uparrow}\Delta \mathbf{T}) \left[\frac{\partial \mathbf{X}}{\partial \mathbf{X}} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial \mathbf{Y}}{\partial \mathbf{Y}} \operatorname{Cos}\theta \right] - -(g\beta_{c}\Delta \mathbf{C}) \left[\frac{\partial \mathbf{C}}{\partial \mathbf{X}} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial \mathbf{C}}{\partial \mathbf{Y}} \operatorname{Cos}\theta \right]$$

Finalmente se multiplica por L^3/ν^2

$$\frac{L^{3}}{\nu^{2}} \left[\frac{\partial F_{y}}{\partial X} - \frac{\partial F_{x}}{\partial Y} \right] = \frac{g\beta_{T}\Delta TL^{3}}{\nu^{2}} \left[\frac{\partial T}{\partial X} Sen\theta - \frac{\partial T}{\partial Y} Cos\theta \right] -$$

$$-\frac{g\beta_{c}\Delta CL^{3}}{2}\left[\frac{\partial C}{\partial X}Sen\theta-\frac{\partial C}{\partial Y}Cos\theta\right]$$

Pero por definición:

$$Gr_{T} = \frac{g\beta_{T}\Delta TL^{3}}{\nu^{2}} YGr_{c} = \frac{g\beta_{c}\Delta CL^{3}}{\nu^{2}}$$

Se sustituyen estas definiciones en la ecuación anterior:

$$\frac{L^{3}}{\nu^{2}} \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial X} y - \frac{\partial F}{\partial Y} \end{bmatrix} = -Gr_{\tau} \begin{bmatrix} \frac{\partial T}{\partial X} Sen\theta - \frac{\partial T}{\partial Y} Cos\theta \end{bmatrix} - -Gr_{c} \begin{bmatrix} \frac{\partial C}{\partial X} Sen\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} Cos\theta \end{bmatrix}$$

Por lo tanto se retoma la ecuación A y seencuentra que.

 $\frac{\partial W}{\partial t} + U \frac{\partial W}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = V^2 W - Gr_{\tau} \left[\frac{\partial T}{\partial X} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial T}{\partial Y} \operatorname{Cos}\theta \right] - -Gr_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial X} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Cos}\theta \right] - -Gr_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial X} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Cos}\theta \right] - -CF_{c} = -Gr_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial X} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Cos}\theta \right] - -CF_{c} = -Gr_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial X} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Cos}\theta \right] - -CF_{c} = -CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial X} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Cos}\theta \right] - CF_{c} = -CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial X} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Cos}\theta \right] - CF_{c} = -CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial X} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Cos}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Cos}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Cos}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Cos}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - \frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta \right] - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y} \operatorname{Sen}\theta - CF_{c} \left[\frac{\partial C}{\partial Y}$

La ecuación B expresa la variación de la vorticidad con respecto al tiempo y a las coordenadas x-y. Siguiendo un procedimiento parecido, se pueden obtener ecuaciones diferenciales parciales adimensionales que son de utilidad. Así, por ejemplo, si se utiliza la aproximación de Boussinesq y se supone disipación viscosa despreciable, que no existen fuentes ni sumideros de calor, se llega a la forma adimensional de la ecuación de la energía, concentración y función corriente. Con esta formulación, se puede escribir el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales parciales acopladas, el cual será el modelo matemático a resolver para analizar el comportamiento deldestilador:

 $\frac{1}{a_{\gamma}} \frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial X} + V \frac{\partial T}{\partial Y} = Pr^{-1} v^2 T \qquad \text{ECUACION DE ENERGIA.}$

 $\frac{1}{a_{C}}\frac{\partial C}{\partial t} + U\frac{\partial C}{\partial X} + V\frac{\partial C}{\partial Y} = 5c^{-1}v^{2}c^{-1} = EUACION DE CONCENTRACION.$

 $\frac{1}{a_{w}}\frac{\partial W}{\partial t}+U\frac{\partial W}{\partial X}+V\frac{\partial V}{\partial Y}=\nabla^{2}W-Gr_{T}\left[\frac{\partial T}{\partial X}Sen\theta-\frac{\partial T}{\partial Y}Cog\theta\right]-$

 $-Gr_{c}\left[\begin{array}{c} \partial C & \partial C \\ -\frac{\partial C}{\partial X} & Sen\theta & -\frac{\partial C}{\partial Y} & Cos\theta \end{array}\right] \quad CORTICIDAD$

 $\frac{1}{a_{\phi}} \frac{\partial \phi}{\partial x} = \nabla^2 \phi + W$ FUNCION CORRIENTE

 $U = \frac{\partial \phi}{\partial \dot{Y}} \qquad V = \frac{\partial \phi}{\partial X}$

Puesto que se considera el,caso estacionario, 8/8t = 0, por lo que las ecuaciones quedan.
$$\begin{split} U \frac{\partial T}{\partial X} + V \frac{\partial T}{\partial Y} &= Pr^{-1}V^{2}T & \text{ECUACION DE ENERGIA.} \\ U \frac{\partial C}{\partial X} + V \frac{\partial C}{\partial Y} &= Sc^{-1}V^{2}C & \text{ECUACION DE CONCENTRACION.} \\ U \frac{\partial W}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} &= V^{2}W - Gr_{1} \begin{bmatrix} \partial T \\ \partial T \\ \partial X \end{bmatrix} Sen \theta - \frac{\partial T}{\partial Y} Cos \theta \\ -Gr_{2} \begin{bmatrix} \partial C \\ \partial X \end{bmatrix} Sen \theta - \frac{\partial C}{\partial Y} Cos \theta \end{bmatrix} - \frac{CUACION DE}{VORTICIDAD} \\ \frac{1}{a_{\phi}} \frac{\partial \phi}{\partial X} &= V^{2}\phi + W & \text{FUNCION CORRIENTE} \end{split}$$

Y DEFINIENDO

 $U = \frac{\partial \phi}{\partial V}$

Para mayor detalle en la obtención de las ecuaciones consultar las referencias 2 y de la 9 a la 14. Las condiciones de frontera usadas para este trabajo están definidas en las siguientes regiones:

 $V = \frac{\partial \phi}{\partial X}$

I) En Y = 0 T = C = 0, para flujo paralelo T = 1, C = 0, o bien T = 0, C = 1 para flujo a contracorriente.

II) En Y = 1 T = C = 1, para flujo paralelo T = 0, C = 1, o bien T = 1, C = 0 para flujo a contracorriente.

III) En X = 0, y dado que en esta superficie hay aislamiento, las condiciones son constantes en la pared del destilador:

$$\frac{\partial T}{\partial X} = \frac{\partial C}{\partial X} = 0$$

IV) En X = H, donde también hay sislamiento, la velocidad es cero, y se tiene:

$$l = V = \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

en donde la dimensión n se refiere a la distancia normal a la pared.

11.2 FORMULACION EN DIFERENCIAS FINITAS

El conjunto de ecuaciones que representa el comportamiento del destilador es:

 $U \frac{\partial T}{\partial X} + V \frac{\partial T}{\partial Y} = Pr^{-1} \nabla^2 T$ ECUACION DE ENERGIA.

 $U \frac{\partial C}{\partial X} + V \frac{\partial C}{\partial Y} = 5c^{-1} y^2 C$ ECUACION DE CONCENTRACION.

$$U \frac{\partial W}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = V^2 W - Gr_T \begin{bmatrix} \partial T \\ \partial \overline{X} & \text{sen}\theta \end{bmatrix} - \frac{\partial T}{\partial Y} \cos\theta = - \frac{\partial T}{\partial Y} \cos\theta$$

 $-Gr_{c} \begin{bmatrix} \frac{\partial C}{\partial X} & \frac{\partial C}{\partial Y} & Cos\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} CUACION & DE \\ VORTICIDAD & VORTICIDAD \end{bmatrix}$

 $\frac{1}{a_{\phi}} \frac{\partial \phi}{\partial X} = \nabla^2 \phi + W$

 $U = \frac{\partial \phi}{\partial V}$

FUNCION CORRIENTE Y

La formulación en diferencias finitas está ampliamente desarrollada en las referencias 15 y 16, aplicando este método a las ecuaciones se tiene lo siguiente.

ECUACION DE ENERGIA

$$U_{i,j} \frac{T_{i,j} - T_{i-1,j}}{\Delta X} + V_{i,j} \frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{\Delta Y} = Pr^{-1} \left[\frac{T_{i-1,j} - 2T_{i,j} + T_{i+1,j}}{\Delta X^2} + \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{\Delta Y^2} \right]$$

Para simplificar esta ecuación y manejarla en forma sencilla tomamos una discretización regular, esto es ΔX = ΔY, y definimos las siguientes constantes:

$$\alpha = \Delta X^{-1}$$
 y $\alpha_{z} = \Delta X^{-1} Pr^{-1}$.

sustituyéndo tenemos:

$$\alpha_{i} U_{i,j} (T_{i,j} - T_{i-1,j}) + \alpha_{i} V_{i,j} (T_{i,j+1} - T_{i,j})$$

$$= \alpha_2(T_{1-1,j} - 2T_{1,j} + T_{1+1,j}) + \alpha_2(T_{1,j+1} - 2T_{1,j} + T_{1,j-1})$$

Factorizando $\alpha_i = y_i \alpha_j$ en ambos lados de la ecuación:

$$\alpha_{1} [U_{i,j} (T_{i,j} - T_{i-1,j}) + V_{i,j} (T_{i,j+1} - T_{i,j})] =$$

1997년 - 1997년 - 1997년 1997년 1997년 1997년 1997년 1997년 1997년 - 1997년 - 1997년 1997년 - 1997년 1997년 1997년 1997년 1997년 1997년 - 1997년 - 1997년 - 1997년 1997년 1997년 1997년 1997년

tomando $\alpha_3 = \alpha_2/\alpha_1$, y factorizando tenemos:

$$T_{i,j}(U_{i,j} - V_{i,j}) = U_{i,j}T_{i-1,j} + V_{i,j}T_{i,j+1}$$

$$= \alpha_{3}(T_{1-1,j} - 4T_{1,j}, T_{j+1,j} + T_{1,j+1} + T_{1,j-1})$$

Reescribiendo la ecuación se tiene:

$$T_{i,j}(U_{i,j} - V_{i,j} + 4\alpha_3) - T_{i-1,j}(U_{i,j} + \alpha_3) + T_{i,j+1}(V_{i,j} - \alpha_3)$$

 $\alpha_{3}T_{i+1,j} - \alpha_{3}T_{i,j-1} = 0$

ECUACION DE CONCENTRACION

Siguiendo un procedimiento similar al de la ecuación de la energía y definiendo las constantes $\beta_1 = \Delta X^{-1}$, $\beta_2 = \Delta X^{-1} S c^{-1}$ y $\beta_3 = \beta_2 / \beta_1$ tenemos:

$$U_{i,j} \frac{C_{i,j} - C_{i-1,j}}{\Delta X} + V_{i,j} \frac{C_{i,j+1} - C_{i,j}}{\Delta Y} = Sc^{-1} \left[\frac{C_{i-1,j} - 2C_{i,j} + C_{i+1,j}}{\Delta X} + \frac{C_{i,j+1} - 2C_{i,j} + C_{i,j-1}}{\Delta Y} \right]$$

Siguiendo los mismos pasos y factorizaciones hechas en la ecuación de la energía se obtiene la ecuación final: $C_{i,j}(U_{i,j} - V_{i,j} + 4\beta_3) - C_{j-i,j}(U_{i,j} + \beta_3) + C_{i,j+1}(V_{i,j} - \beta_3) - C_{j-1,j}(U_{i,j} - \beta_3) - C_{j-1,j}($

 $- \beta_{3}C_{i+1,j} - \beta_{3}C_{i,j+1} = 0.$

ECUACION DE VORTICIDAD

Aplicando el mismo procedimiento que se siguió para la ecuación anterior, definiendo las constantes:

$$\delta_1 = \Delta X^{-1}$$
, $\delta_2 = \Delta X^{-2}$, $\delta_3 = \Delta X^{-1} Gr_1 Sen \theta$, $\delta_4 = \Delta X^{-1} Gr_2 Cos \theta$

 $\delta_5 = \Delta X^{-1} Gr_s Sen \theta$, $Y \delta_5 = \Delta X Gr_c Cos \theta$.

$$\gamma_1 = \delta_2/\delta_1, \quad \gamma_2 = \delta_3/\delta_1, \quad \gamma_3 = \delta_1/\delta_1, \quad \gamma = \delta_5/\delta_1, \quad \gamma = \gamma_5 = \delta_6/\delta_1$$

y haciendo factorizaciones en la ecuación de vorticidad, tenemos:

$$W_{i,j}(U_{i,j} - V_{i,j} + 4\gamma_i) - W_{i-1,j}(U_{i,j} + \gamma_i) + W_{i,j+1}(V_{i,j} - \gamma_i) - W_{i,j+1}(V_{i,j} - \gamma_i)$$

$$\gamma_1 W_{1+1,1} - \gamma_1 W_{1,1-1} + T_{1,1} (\delta_3 + \delta_1) - \delta_3 T_{1-1,1} - \delta_4 T_{1,1+1} +$$

 $C_{1,j}(\delta_{5} + \delta_{6}) - \delta_{5}C_{1-1,j} - \delta_{6}C_{1,j+1} = 0.$

FUNCION CORRIENTE

Sequimos el mismo procedimiento, y ahora definimos $\Omega = \Delta X^{-2}$, y tenemos:

$$\Omega \varphi_{i-1,j} + \Omega \varphi_{i+1,j} + \Omega \varphi_{i,j+1} + \Omega \varphi_{i,j-1} - 4\Omega \varphi_{i,j} + W'_{i,j} = 0.$$

Para las definiciones de U y V, tomamos $K = \Delta X^{-1}$, reescribiendo las ecuaciones y sumándolas se obtiene la siguiente ecuación:

$V'_{i,j} + U'_{i,j} - K\varphi_{i,j+1} + K\varphi_{i-1,j} + 2K\varphi_{i,j} = 0.$

Para mayor detalle sobre la discretización de las ecuaciones consultar referencias 14 a 18.

Existen programas de computadora (software) diseñado para realizar los cálculos correspondientes a la discretización hecha para estas ecuaciones, uno de ellos y el más útil es el código PHOENICS desarrollado por D.B Spalding, J. Ludwing y H. Qin en Inglaterra (ref. 22). Entonces, el desarrollo de éstos programas está fuera de los objetivos este trabajo, por lo cual únicamente presentamos los resultados numéricos que se obtienen al correr el código, su respectivo análisis y su comparación con los resultados experimentales de este trabajo se presentan en el capítulo IV.

CAPITULO III DESARROLLO EXPERIMENTAL

III.1 DESCRIPCION DEL APARATO EXPERIMENTAL

El modelo experimental utilizado en la realización del presente trabajo fué construído en el laboratorio de termofluídos de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

El modelo está construído en acrílico transparente, la base es metálica y en su interior tiene una resistencia eléctrica con la que se simula el calentamiento solar, está eléctricamente aislada para evitar posibles cortocircuitos, también se aisla térmicamente para permitir que solo exista transferencia de calor de la base hacia el agua que se va a destilar; las paredes laterales se aislan con hule espuma para evitar que el agua destilada se condense en ellas. La cubierta es de vidrio transparente y consta de dos placas separadas un centímetro entre las cuales se hace circular agua para refrescarla y provocar que el vapor se condense. Se dispuso de Una toma de agua colocada a 7 cm de la base para alimentar el destilador cada vez que se inicia su uso.

Las dimensiones del destilador son : 47 cm de largo, 7 cm de ancho, y la altura de la cubierta condensadora es variable, en este trabajo se utilizaron tres posiciones de la cubierta con respecto a la superficie de agua. las cuales воп 52cm. 37cm v 22cm. Instrumentación La resistencia utilizada para simular el ٠ calentamiento solar tine un valor de 50 Ohm. Se utilizan termopares de cromel-alumen en parejas de bulbo seco y húmedo en el cuerpo del destilador; cerca de la superficie de aqua se colocan cinco termopares para medir la temperatura del vapor producido; en la cubierta también se tienen cinco termopares para medir 1a temperatura del destilado. Los termopares colocados dentro del cuerpo del destilador están espaciados a intervalos regulares a manera de malla, y miden las temperaturas en esta región con los que se obtienen datos de humedad (concentración de aqua).La tensión eléctrica para calentar la resistencia se proporciona con un variador (variac) con el fin de controlar la temperatura y

producir diferentes calentamientos durante la simulación experimental. Para medir la temperatura de estabilización se coloca un termopar sumergido en el agua que se va a destilar.

La cubierta se inclina para permitir que el destilado resbale y sea colectado fuera del destilador, para colectar el destilado se hace una ranura en el frente para que parte do la cubierta quede fuera y se pueda tener el agua destilada fuera del destilador. En la siguiente figura se muestra un esquema del destilador.

CONSTRUCCION Y ENSAMBLE DEL DESTILADOR

La cubierta consta de dos placas de vidrio de 52cm de largo y 7cm de ancho, la placa superior tiene dos perforaciones un a cada extremo que sirven para alimentarla y drenarla con el agua que la refrosca, estas se pegan dejando un centímetro de separación y se sellan con silicón para evitar fugas.

52 cm placa superior de vidrio 52 cm de las places place interior de vidrio 7 cm 62 cm

Los costados son de acrílico con un espesor de 8mm y miden 47cm de largo y 60cm de alto, uno de ellos tiene una perforación a 7cm de altura que sirve para alimentarlo cada vez que se usa, se aislan con hule espuma de 8cm de espesor para evitar que el vapor se condense en ellos.



La parte frontal y trasera son del mismo acrílico y miden 7cm de ancho y 60cm de alto, la parte frontal tiene tres ranuras para colectar el destilado al variar de posición la cubierta, estas no se aislan para permitir visibilidad.



La base consta de dos placas metálicas de 47cm de largo y 7cm de ancho entre las que se coloca una resistencia eléctica, en la placa superior se tiene una mica térmica para permirtir el paso de calor hacia el agua, en la placa inferior se pone asbesto para proteger el aparato y al usuario de posibles quemaduras.

mica termica 47 cm MMM 47 cm place metallos inferior

Los costados se pegan con las partes frontal y trasera, a ellas se les une la base, la cubierta se deja libre para poder variar la altura, todas las partes pegadas se aislan con silicón para evitar fugas.



III.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

En un destilador solar, la mayor parte de la energía se utiliza en el calentamiento sensible del agua que se va a destilar. Como resultado, el espacio dentro del destilador se llena con una mezcla de aire-vapor. La cubierta está a menor temperatura que la mezcla aire-vapor, como consecuencia el vapor se condensa en la cubierta, este condensado resbala a través de la cubierta inclinada y se colecta fuera del destilador.

Suponemos que el movimiento de la mezcla aire-vapor tiene una regularidad, esto es: la circulación de la mezcla en una cavidad se efectúa por convección natural. Es decir, el proceso de calentar y enfriar (evaporación y condensación) se lleva a cabo en una capa relativamente delgada de la mezcla aire-vapor cerca de la superficie del aqua y la cubierta del destilador.

Para nuestro estudio se construyó el destilador descrito anteriormente. El proceso de transferencia de calor y masa se examina bajo condiciones estacionarias, (independiente del tiempo), el agua se calienta por medio de la resistencia eléctrica, el voltaje se regula con el variac para controlar la temperatura del agua y mantener las condiciones de estado estacionario.

La superficie de condensación (cubierta del destilador), se refresca con agua que circula entre ella, de esta manera el modelo experimental nos permite establecer una diferencia de temperatura presente en un destilador solar convencional.

Las mediciones de la distribución de temperaturas en la superficie del agua, cubierta condensadora y cuerpo del destilador, se hicieron con un arreglo de termopares en forma de malla a lo largo y ancho dentro del destilador. Los termopares en la superficie de agua y en la cubierta son sencillos (un solo termopar), en la cavidad se utilizan los arreglos de parejas de bulbo seco y húmedo con la finalidad de obtener las concentraciones de vapor mediante el uso de cartas psicrométricas. Esto no se usa en al superficie del agua y la cubierta porque en estos lugares la concentración del vapor de agua es del 100%.

El agua se calienta con la resistencia eléctrica a un voltaje

doterminado, esto se hace para alcanzar la temperatura donde se tiene el estado estacionario, el cual se alcanza cuando la temperatura del agua no cambia mientras el destilador funciona.

El voltaje proporcionado con el variac se varió en el intervalo del 50 al 80 % de salida, tomando intervalos del 10% .

La altura de la cubierta condensadora con respecto a la superficie del agua se varió tomando tres posiciones distintas, en cada una de ellas se hacen las mediciones de temperatura en la superficie, cubierta y cavidad del destilador, en cada posición de la cubierta se toman los mismos rangos de calentamianto.

Las posiciones de la cubierta con respecto a la superficie de agua fueron 21 cm, 37 cm y 52 cm con una inclinación de 40 grados con respecto a la horizontal para permitir que el condensado resbale fuera del destilador.

Los termopares se colocan a intervalos regulares de distancia con una separación de 10 cm, la distancia de los termopares que miden la temperatura en la superficie del agua se colocan a 0.5 cm de ella, los que miden la temperatura del condensado se pegan a la cubierta.

Los datos experimentales obtenidos se grafican tomando las diferentes posiciones de la cubierta, con estos datos se localizan puntos de igual temperatura y humedad para determinar los flujos preferenciales del vapor dentro del destilador y las corrientes de convección.

Los datos de las humedades se obtienen con ayuda de cartas psicrométricas, tomando las lecturas de bulbo seco y húmedo para la cavidad del destilador: en la carta psicromoétrica las lecturas se hacen tomando el punto de intersección de la lectura para bulbo seco y la lectura para bulbo húmedo, la lectura de las humedades se hace con la carta que corresponde a la presión atmosférica de la ciudad de México 585 mm de Hg ; pues el experimento se lleva a cabo con esta condición de presión.

III.3 CALIBRACION DE LOS TERMOPARES

Los termopares se construyen con un alambre de cromel y otro de alumen trenzados en uno de los extremos, se funde la trenza para soldarlos y formar un bulbo, no se debe usar soldadura en su construcción porque afecta las mediciones.

Para obtener datos confiables en las mediciones con los termopares, se procedió a calibrarlos a la temperatura de bulbo húmedo. Esto consiste en usar una temperatura equivalente a la de saturación adiabática para mezclas vapor de agua-aire. Para lograr esta calibración se ocupó un higrómetro digital cuyo sensor de humedad es una celda de cloruro de litio y un sensor de temperatura de estado sólido (circuito integrado) encerrados en una caja metálica con ranuras, un termopar para medir la temperatura de bulbo seco, otro para la temperatura de bulbo húmedo y un ventilador para proporcionar un flujo de aire uniforme en todas las mediciones durante la calibración.

Durante las mediciones de calibración se deja que la temperatura de bulbo húmedo se estabilice, se toman las medidas de humedad con el higrómetro y las temperaturas en los termopares de bulbo seco y húmedo. Todos estos datos obtenidos para bulbo húmedo se comparan con los obtenidos en una carta psicrométrica diseñada para la ciudad de México, tomando el dato de humedad del higrómetro y la correspondiente temperatura leída en la carta.

Los datos se analizaron por regresión lineal (mínimos Cuadrados) tomando las lecturas para la lectura de bulbo húmedo con el termopar, y la temperatura de bulbo húmedo obtenida de la carta psicrométrica obteniéndo la siguiente relación:

T_{termopar} = 1.8 + 0.81T_{carta}

con un coeficiente de correlación de 0.91. Este coeficiente se considera bastante aceptable por lo cual cosideramos que los termopares son adecuados para el experimento.

Para mayor detalle sobre la calibración de termopares consultar la referencia 19.



III.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados experimentales se muestran tabulados a continuación, en cada una de las tablas se muestra la temperatura de estabilización. La temperatura leída en los termopares se da en grados centígrados.

De la tabla 1 a la 4 corresponde a la primera posición de la cubierta con respecto a la superficie de agua que es de 52 cm, de la tabla 5 a la 8 corresponde a la segunda posición que es de 37 cm, y de la tabla 9 a la 11 corresponde a la tercer posición que es de 22 cm. Se muestra la cantidad de agua inicial, la cantidad de agua final y la cantidad de agua destilada para cada una de las posiciones; así como el tiempo de duración de cada prueba.

En las medidas hechas para la tercer posición de la cubierta, no se tomaron en cuenta las mediciones para el 80% debido a que el agua alcanzó su punto de ebullición, lo cual no sucede en un destilador solar.

TABLA No.1

TERNOPAR POSICIONES 2 - coc 5. . 1 3 50 **4** - 44 32.6 1 43.0 31.6 37.0 35.0 2 24.3 30.2 24.7 23.6 33.9 28.4 э 27.2 30.5 25.3 34.4 4 HUNEDO 24.1 24.2 28.2 31.5 27.1 . \$700 29.1 28.2 28.8 28.4 33.4 S HUNEDO 25,2 29.8 29.4 30.9 26.4 SECO 32.8 34.7 33.3 31.7 33.6 6 HUNZDO 22.8 23.6 23.5 23.2 22.8 **SECO** 26.3 26.3 26.4 26.4 24.6 7 HUNEDO 25.3 28.1 28.0 26.5 26.3 SECO 27.4 34.9 34.6 34.6 30.9 B HUNEDO 25.5 25.6 26.1 26.1 24.5 SECO 26.3 26.3 25.9 26,1 26.6 9 HUNEDO 33. 1 25.7 33.3 25.4 25.7 SECO 33.9 34.2 35.1 34.0 34.2 10 HUNEDO 26.8 24.9 25.1 27.2 32.4 32.7 SECO 31.8 30.5 31.5 34.6

TEXPERATURA DE ESTABILIZACION

TERMOPARES DE LA CUBIERTA

 26.9	27.2	26.8	26.4	26.7	

La lectura en el variac fué del 50% que corresponde a 61 volts aplicado La potencia suministrada fué de 74.4 Watts.

Volumen de agua inicial 690.9 cm³ Volumen de agua final 625.1 cm³ Volumen de destilado 65.8 cm³

Duración de la prueba en estado estacionario : 5 horas.

TABLA NO. 2

TERNOPAR		PC	SICIONES	1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 -	1
.a. ♥. 241		2	3	•	5
1.	31.3	30.3	32.0	34.0	33.8
2	34.8	26.7	25.8	29.2	30.4
3	34.3	34-1	31.6	32.1	33.4
4 HUNEDO	26.6	25.0	24.7	28.2	28.4
SECO	26.8	28.9	26.1	30.9	30, 3
5 HUKEDO	25.5	29.4	25.4	26.9	23.1
SEC0	30.2	31.6	27.6	29.0	23.7
6 KUKEDO	22. 4	22.1	22.4	23.6	22.3
SECO	34.7	23.4	23.6	32.1	23.1
7 HUNEDO	25.4	24.9	24.5	25.6	25.1
SECO	33.3	27.3	25.2	34.6	34.0
e hunizdo	24.8	24.5	25.9	28,1	26.1
SECO	25.4	25,5	28.4	30,7	26.8
9 HUNEDO	23.9	23.3	23. 3	23.6	23.7
SECO	26.7	34.6	26.7	25.3	24.1
10 HUMEDO	24.7	26.8	25.7	28.2	26.6
SECO	29.5	34.6	34.6	35.3	33.3

TEMPERATURA DE ESTABILIZACION 56.1 °C

TERNOPARES DE LA CUBIERTA

1111111111	34.2	40.2	41.3	39,8	39.8	
	L	l		L		

La lectura en el variac fué 60% que corresponde a 73.2 volts aplicados. La potencia suministrada fué de 107.2 Watts.

Volumen	de	agua	inicial	853.4	CB3
Volumen	de	agua	final	658	cm ³
Volumen	de	desti	llado	197.4	cm ³

Duración de la prueba en estado estacionario : 5 horas.

TABLA No. 3

TEMPERATURA DE ESTABILIZACION

AC10# 63 °C

TERMOPAR		F	OSICIONES		ge el el el el
•	1	2	3	4 Star 12	5
1	27.9	25.4	31.2	28.7	29, B
2	25.0	32.4	29.1	34.2	25.8
3	33.0	28.0	31.0	31.1	29.2
4 HUNGEDO	29.0	31.3	29.5	27.6	29.6
szco	33.9	31.5	32.8	29.7	30,1
5 KRANEDO	30.7	30.2	28.9	26.3	25,0
SECO	33.4	33.3	30.0	26.7	31.3
6 HUNEDO	23.6	23.1	23.6	24.0	25.1
SECO	33.4	31.4	33.2	33.4	29,2
7 HUKEDO	25.4	24.4	25.8	26.8	26.3
SECO	26.9	25.5	32.7	29.9	30.8
8 RINEDO	25.2	23.6	26.1	26.0	25,4
SECO	25.9	28.8	27.2	32.3	28.9
9 HUNEDO	24.1	23.2	25.4	32.3	25.0
SECO	28.9	28.6	26.6	34.8	25.5
10 HUNCEDO	24.0	26.5	30.3	29.2	27.2
SECO	27.7	29.8	30.3	33.3	31.4

TERMOPARES DE LA CUBIERTA

	<i></i>	38.8	39.9	43.3	43. 9	39.4
L						

La lectura en el variac fué 70% que corresponde a 85.4 volts aplicados. La potencia suministrada fué 145.9 Watts.

Volumen	de	agua	inicial	855.4	cm ³ .
Volumen	de	agua	final	65B.O	cm ³ .
Volumen	de	dest	llado	197.4	cm ³ .

Duración de la prueba en estado estacionario : 5 horas.
TABLA No. 4

TEMPERATURA

DE ESTABILIZACION

63 °C

TERMOPAR	Mars Salari et	I	POSICIONES		
	1	2	з	4	5. S.
a i statut	25.9	33. 3	32.3	29.2	·
(2) 2 ≤ 3	29.9	26.1	32.1	24.8	23.6
3	31.3	28.3	29.4	25.3	29.4
4 HUNEDO	25.6	30.1	28.1	28.2	28.2
SECO	25,8	J2.6	28.6	29.9	29.9
5 KUMEDO	23.5	24.0	24.9	22.9	24.4
SECO	28,4	29.4	30.Z	30.2	24.8
6 HUNEDO	27.6	21.7	21.6	21.7	21.6
SECO	J4. 1	34.2	21.9	22.1	29.9
7 HUNCEDO	25.7	25.9	25.4	23.6	24.6
SECO	28.5	26.1	26.0	25.9	34.1
8 HUMEDO	22.9	24.3	23.6	23.1	24.4
SECO	33.9	20.1	26.9	26.4	28.0
9 HUMEDO	28.2	23.3	23.6	22.7	22.8
SECO	33.6	34.6	23.6	23.7	25.4
10 HUMEDO	23.8	26.6	25.4	25.4	24.4
SECO	34.1	29.8	26.8	34.4	34.6

TERMOPARES DE LA CUBIERTA

,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	33.6	34.3	33.7	33.7	34.6
	-				•

La lectura en el variac fué 80% que corresponde a 97.6 volts aplicados. La potencia suministrada fué 190.5 Watts.

Volumen	de	agua	inicial	855.4	cm ³ .
Volumen	de	agua	final	658	cm ³ .
Volumen	de	desti	lado	197.4	cm ³ .

Duración de la prueba en estado estacionario : 5 horas.

TABLA NO. 5

TERMOPAR		. F	OSICIONES	فلأجرئه فيستعبد التراجي والالا		
• •	1	2	3	4	5	
1	40.0	36.1	43.4	43.3	37.1	
2	28.5	24.1	30.4	23.4	23.2	
э [26.4	26.1	26.4	27.2	35.0	
4 HUMEDO	24.3	27.1	27.4	24.9	25.7	
SECO	29.7	29.6	27.6	31.3	30,5	
5 KUNEDO	24.6	26.3	28.7	25.7	26.2	
SECO	31.1	29.5	29.4	28.3	32.1	
6 HUNEDO	26.5	26.8	26.1	25.9	27.4	
SECO	34.7	28.0	26.3	32.1	34.2	
7 HUMEDO	27.2	22.6	26.7	28.6	23.4	
SECO	27.3	31.6	31.8	35.4	34.3	
8 HUNEDO	24.1	23.9	23.0	23.4	23.7	
SECO	34.5	25.2	24.6	24.5	23.8	

°c 43 TEMPERATURA DE ESTABILIZACION

TERMOPARES DE LA CUBIERTA

r					
,	28.6	340.2	29.1	28.7	30,4

La lectura en el variac fué 50% que corresponde a 61 volts aplicados. La potencia suministrada fué 74.4 Watts.

Volumen	de	agua	inicia	1	658.0) cm ³ .	
Volumen	de	agua	final		592.2	cm ³ .	
Volumen	de	desti	ilado		65.8	cm ³ .	
Duración	h de	.)a 1	rueba	AD	estado	ostaci	_

o estacionario : 5 horas.

TABLA	No.	
-------	-----	--

TERNOPAR			POSICIONES	and the March	se parte da
•	1	2	1. 3	. di . ≜7	5.5
1	52.9	38.6	51.2	50.2	52.3
2	34.2	25.0	24.3	35.2	33.9
3	34.9	31.3	35, 1	28,6	29.6
4 HUNEDO	26.8	31.6	30.2	25.3	26.6
SECO	30.1	32.6	30.6	30.2	29.9
5 NUNEDO	29.7	29.7	24.0	24.2	26.6
SECO	32.5	30.7	33.7	26.9	32.3
6 HUNEDO	26.1	29.7	28.2	27.0	27.6
SECO	30.7	30.8	34.3	28.3	28.0
7 HUNEDO	31,3	27.4	25.7	34.8	25.1
SECO	35.1	34.9	26.4	35.3	33.7
B HUMEDO	24.4	25.4	26.1	25.1	24.3
SECO	25.2	25.6	29.1	27.6	33.8

TEMPERATURA DE ESTABILIZACION 56 C

TERMOPARES DE LA CUBIERTA

,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	31.6	35.1	35.5	35,6	34.5

La lectura en el variac fué 60% que corresponde a 73.2 volts aplicados. La potencia suministrada fué 107.2 Watts.

Volumen	de	agua	inicial	658.0	cm ³ .
Volumen	de	agua	final	526.4	cm ³ .
Volumen	de	dest	ilado	131.6	cm ³ .

Duración de la prueba en estado estacionario : 5 horas.

TABLA	No.	7
-------	-----	---

TERNOPAR		P	OSICIONES	the All	
•	1	2	3	1 1	5 AS A
1	59.1	59.7	58.0	58.9	58.2
2	35.4	37.4	35.3	32.6	34.5
3	26.4	24.2	35.4	39.3	24.2
4 IRMEDO	28.5	24.8	27.0	27.6	28.9
SECO	28.7	27.7	28.9	29.9	30.4
5 ITUNEDO	29.7	29.6	27.1	24,4	27.5
SECO	30.0	32.0	30.2	31,4	
6 HUNEDO	29.9	26.7	27.1	26.9	26.8
SECO	31.8	34.0	29.8	27.9	34.4
7 HUNEDO	27.6	26.5	29.1	26.8	24.4
SECO	39.6	30.1	32.4	32.8	34.2
B HUNEDO	27.6	25, 3	24.8	26.5	24.3
SECO	33.7	31, 3	36.1	32.4	24.5

TEMPERATURA DE ESTABILIZACION 63.4 C

TERMOPARES DE LA CUBIERTA

 34.2	44.6	43.6	43.6	45.2

La lectura en el variac fué 70% que corresponde a 85.4 volts aplicados. La potencia suministrada fué 145.9 Watts.

Volumen	de	agua	inicial	658.0	cm'.
Volumen	de	agua	final	559.3	cm ³ .
Volumen	de	dest	lado	98.7	cm ³ .

Duración de la prueba en estado estacionario : 5 horas.

TABLA No.

TERNOPAR	5 m - 1 - 2 - 1 - 1 2 - 1		ISTCIONES	1.195 $h_{\rm eff}$ $h_{\rm eff}$ $h_{\rm eff}$	क स्टूबर केल्ट्राक प्रुप्ते ल
1977 - 1	1	್ಷ. ಇಲ್ಲಿ ಇಲ್ಲಾ	ನಂಗಿತ ್ರಿ ನಿರ್ದೇಶ	-9858 4 (1964) -	25 States 5 States
1	64.4	63,5	64.5	62.9	65.6
2	45.6	34,6	37.8	26.1	32.9
3	34.3	34,6	35.9	35.4	25.9
4 HUKEDO	28.4	25.8	27.1	26.7	27.2
SECO	30.7	28.5	29.4	28,9	28.1
S HUMEDO	26, 9	30.4	30.0 *	31.7	27.6
SECO	32, 9	33.2	31.8	33.6	32.9
6 HUMEDO	27.6	27,6	30.4	34.7	30.4
SECO	28.9	31.6	34.7	42.6	34.7
7 HUNEDO	27.7	25.5	33.4	25.4	31.8
SECO	29.9	30.0	35.2	35.6	35.4
8 KUNEDO	26.7	28.8	30.0	25.0	25. J
SECO	27.1	30.4	30.6	27.1	28. 4

TEMPERATURA DE ESTABILIZACION 70.1

C RECIPARES	DF	LA	CONTRACTA	

La lectura en el variac fué 80% que corresponde a 97.6 volts aplicados. La potencia suministrada fué 190.5 Watts.

Volumen de agua inicial 658.0 cm³. Volumen de agua final 329.0 cm³. 329.0 cm³. Volumen de destilado

Duración de la prueba en estado estacionario : 5 horas.

TABLA No. 9

TERMOPAR			POSICIONES	and the second	<u> 17 -</u> 17 - 19 - 19 - 19 - 19 - 19 - 19 - 19 -	
•	1	2	3	•	5	
1	46.1	41.1	44.5	45.1	44.8	
2 · · ·	30.4	27.2	30.9	34.8	35.4	
3 ·	25.1	26.4	35.1	25.5	26.8	
4 HUNEDO	31.3	24.9	25.2	26.7	25, B	an a
SECO	31.9	33,9	32.1	30.7	33, 3	
5 HUNEDO Seco	28.1 30.2	26.1 26.7	26.1 27.8	24.1 25.1	24.4 27.3	and a start of the second s Second second second Second second
6 HUNEDO	28.1	25.7	27.0	25.6	33.6	
SECO	29.2	34.1	27.3	34.6	35.0	
7 HUNEDO	25.7	24.6	24.1	24.7	24.6	
SECO	31.2	24.7	24.9	28.9	24.9	
8 HUKEDO	27.9	31.2	24.9	25.1	25.7	
SECO	28.8	34.9	31.9	25.1	26.6	

TEMPERATURA DE ESTABILIZACION

50.2 °C

TERMOPARES DE LA CUBIERTA

i	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~					
l					()
	11111111111	33.1	30.1	29.8	28.9	29.9
ł						
2						

La lectura en el variac fué 50% que corresponde a 61 volts aplicados. La potencia suministrada fué 74.4 Watts.

Volumen	de	agua	inicial	658.0	cm ³ .
Volumen	de	agua	final	559.3	cm ³ .
Volumen	de	desti	lado	98.7	ст ³ .

Duración de la prueba en estado estacionario : 5 horas.

TABLA No. 10

TEMPERATURA DE ESTABILIZACION

ON 68.1 °C

TERMOPAR	Statistic (d.	e Pi	SICIONES	이 것을 가 많을 수	
	18 - 18 - 18 - 18 - 18 - 18 - 18 - 18 -	. 2	3	tin taken ta	5
1 2 3	47.3	47.6	55.3	60.6	63.3
	34.9	32.6	33.1	35.3	35.1
	28.3	35.7	33.8	24.4	33.7
4 HUNEDO	25.7	23,6	24,5	23.6	33.4
SECO	31.3	32,3	33.7	33.7	35.0
5 HUXEDO	26.3	25.9	27.2	25.4	23. 2
SECO	29.7	28.6	29.5	32.4	27. 8
6 HUNEDO	26.2	24.5	26.1	29.2	25.1
SECO	27.7	28.2	27.2	29.4	34.6
7 HUNEDO	27.0	23.0	24.1	23.0	22.7
SECO	31.7	24.6	25.7	24.4	23.1
8 HUNEDO	25.2	33.4	25.4	24.8	23.9
SECO	29.8	33.9	27.7	34.0	26.8

 34.2	52.6	52.8	53.3	52.7

La lectura en el variac fué 60% que corresponde a 73.2 volts aplicados. La potencia suministrada fué 107.2 Watts.

Volumen	de	agua	inicial	658.0 0	בm³.
Volumen	de	agua	final	493.5 0	-m ³ .
Volumen	de	dest;	ilado	164.5	cm ⁹ .

Duración de la prueba en estado estacionario : 5 horas.

TABLA NO. 11

TEMPERATURA DE ESTABILIZACION

78.1 °C

- 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1	h			1. 14	
이 이 영화 영화		POSICIONES	11.	ente presta si	TERMOPAR
17 Mar. 5 (1 - 1	1.4	3	2	1.1.1	1990 - 1997
60.6	69.3	62.2	64, 3	59. B	1
25.5	22.5	24.9	29.6	32.4	2
35.5	34.2	34.6	26.8	34.9	. 3
23.6	30.8	25.1	23.2	24.7	4 HUNEDO
25.8	35.2	33.4	33.2	32.1	SECO
23.1	23.6	23.3	24.8	29.0	5 HUMEDO
32.6	27.1	23.7	31.0	29.1	SECO
32.0	25.9	25.1	25.4	25.0	6 HUNEDO
32.0	34.B	34.6	27.2	27.7	SECO
22.6	23.2	23.7	24.0	23.7	7 IJUNEDO
26.3	24.2	26.7	26.7	32.9	SECO
23.1	23.6	23. 3	23,2	24.6	B HUNEDO
32.6	27.1	23.7	25.1	26.1	SECO
-1	25.9 34.8 23.2 24.2 23.6 27.1	25.1 34.6 23.7 26.7 23.3 23.7	25.4 27.2 24.0 26.7 23.2 25.1	25.0 27.7 23.7 32.9 24.6 26.1	6 HUKEDO SECO 7 IRUMEDO SECO 8 HUMEDO SECO

TERMOPARES DE LA CUBIERTA

	32.1	47.2	34.6	35.3	36.7
1					

La lectura en el variac fué 70% que corresponde a 85.4 volts aplicados. La potencia suministrada fué 145.9 Watts.

Volumen	de	agua	inicial	658.0	cm ³ .
Volumen	de	agua	final	493.5	cm ³ .
Volumen	de	desti	lado	164.5	cm ³ .
	-				

Duración de la prueba en estado estacionario : 5 horas.

Las tablas anteriores contienen los datos experimentales de las temperaturas obtenidas de la siguiente manera.

La temperatura de estabilización se mide con un termopar sumergido en el agua, esta nos sirve pare tener las condiciones de estado estacionario y realizar las mediciones en el volumen dentro del destilador, los termopares 1, 2 y 3 miden la temperatura del vapor cerca de la superficie de agua en donde se tiene el 100% de humedad por lo que no es necesario un termopar para bulbo húmedo; esta consideración también se hace para las mediciones en la cubierta. El resto de los datos se obtienen con los termopares dentro del volumen del destilador arreglados en parejas de bulbo seco y húmedo, a uno de los termopares se le une un depósito pequeño con agua y una mecha de algodón que enreda el bulbo para

A continuación se muestran tabulados los datos correspondientes a las concentraciones de humedad obtenidas de la carta psicrométrica, los datos se dan en porcentajes de humedad (concentración de vapor). Las posiciones de la cubierta son las mismas que se utilizaron para medir las temperaturas.

De la tabla 1 a la 4 corresponden a la primera posición, de la 5 a la 8 a la segunda y de la 9 a la 11 a la tercera. Las lecturas correspondientes a el 80% se desecharon por la misma razón que en el caso de las temperaturas. TABLA NO. 1

T	ERHOPAR	1996 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 -		POSICIONES		
		1	2	3	4	5
		6 0	. 68 .	100	85	90
	5	80	72	90	72	55
	6	76		85	90	85
2.92.5	7	85	60	60	55	72
	8	100	90	95	90	100
	9	90	50	95	50	50
	10	57	72	76	100	55

Lectura en el variac 50% correspondiente a 61 volts aplicados. Potencia suministrada 74.4 Watts.

TUDTU UA!	T.	AB	LA	No		2
-----------	----	----	----	----	--	---

TERMOPAR		POSI	CIONES			
	1	2	3	4	5	
4	100	76	90	85	90	
5	68	85	76	85	100	
6	36	90	90	53	90	
7	55	85	90	50	50	
B	100	90	85	76	100	
9	85	40	76	85	90	
10	64	55	50	46	60	

Lectura en el variac 60% correspondiente a 73.2 volts aplicados. Potencia suministrada 107.2 Watts. TABLA NO. 3

TERMOPAR	<u>_ Norden (er </u>	POSI	CIONES	wither the	
	344 - 34 1 7 5	(1) 2 (1) 2 (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	1.5.5 3	$S > 2 \gamma (q_2, q_3, q_4) + 10 \gamma (q_3, q_4)$	lists of 15 to pilor
•	68	200	BO	85	100
5	85	BS	90		65
6	45	64	45	50	72
7	85 ^{- 1} - 1	90	60	76	72
8	100	68	95	68	76
	72	64	90	85	100
10	76	85	100	44	4B

Lectura en el variac 70% correspondiente a 85.4 volts aplicados. Potencia suministrada 145.9 Watts.

TABLA NO. 4

TERHOPAR		POSI C JONES				
	1 1	2	3	6	5	
4	100	56	100	92	92	
5	64	64	64	56	106	
6	60	36	100	90	48	
7	76	, 100	85	90	46	
8	40	68	68	85	68	
9	72	40	100	90	80	
10	40	76	90	49	43	

Lectura en el variac 80% correspondiente a 97.6 volts aplicados. Potencia suministrada 190.5 Watts. TABLA No. 5

TERMOPAR	terretaria. Nationalista	POS	POSICIONES			
	1	2			- saur 1986ar Shi Dushrin	
•	64	85	100	60	72	
5	58	76	90	76	68	
6	55	90	100	60	60	
7	100	46	64	60	40	
8	46	60	90	90	100	

Lectura en el variac 50% correspondiente a 61 volts aplicados. Potencia suministrada 74.4 Watts.

TABLA No. 6

TERROPAR	TERROPAR POSICIONES							
•	1	2	3	4	5			
4	76	95	100	72	76			
5	85	90	50	85	60			
6	76	95	68	95	100			
7	72	60	100	100	55			
B	100	100	85	85	50			

Lectura en el variac 60% correspondiente a 73.2 volts aplicados. Potencia suministrada 107.2 Watts.

TABLA No. 7

1111	TER	NOPAR	Ned Standard (S	POST	C IONES	設備の設備となる方法	
[H	1	2 2	neters o nstances	21 - 21 - 4 - 168 (21 - 11 -	Andreas (S. Projection
	11	4	100	76	25. 48 s.C	高小的 的 系统。	95
		5	100	85	85	58	60
		6	95	55	85	95	55
i.		7	40	72	.85	68	46
Γ		8	68	64	36	68	100

Lectura en el variac 70% correspondiente a 85.4 volts aplicados. Pptencia suministrada 145.9 Watts.

г	ERMOPAR		POSI	C TOMES	ad the product of	and the second	
		1	2	3	1	5	
		95	76	85	85	95	
	5	60	80	85	85	68	
	6	95	76	72	60	72	
	7	85	72	85	46	72	
	8	95	95	100	85	76	

TABLA No. 8

Lectura en el variac 80% correspondiente a 97.6 volts aplicados. Pptencia suministrada 190.5 Watts.

TABLA NO.9

	TERMOPAR		POST	C TOWES		
1		1	2	3	4	5
	47.5	100	50	55	76	55
	5	95	100	95	95	76
	6	95	52	100	52	85
	7	64	100	100	68	100
1.15	8	95	80	55	100	95

Lectura en el variac 50% correspondiente a 61 volts aplicados. Pptencia suministrada 74.4 Watts.

FABLA	No.	10
-------	-----	----

TERMOPAR	_	POSI C IONES			
	1	2	3	4	5
4	64	50	50	43	85
5	76	76	85	60	72
6	95	72	95	100	50
7	72	90	90	90	100
8	72	100	85	100	85

Lectura en el variac 60% correspondiente a 73.2 volts aplicados. Pptencia suministrada 107.2 Watts.

TABLA No. 11

TERHOPAR		POSI	TONES		이 가장한 영화되었
	1	2	3	4	5
en statet skala	55	4 3	55	72	80
5.1	100	64	36	55	50
6	85	85		50	100
7	43	85	76	95	68
- 8	85	BC	100	72	50

Lectura en el variac 70% correspondiente a 85.4 volts aplicados. Pptencia suministrada 145.9 Watts. Las tablas anteriores contienen los datos de humedad relativa, estos dan en porcentaje la concentración de vapor y se obtienen con ayuda de una carta psicromátrica mostrada a continuación.



CARTA PSICROMETRICA

Para leer los datos de la carta anterior se procede de la siguiente manera.

Se toma el dato que corresponde a bulbo seco y se localiza en el eje que tiene las temperaturas de bulbo seco, se hace lo mismo con el dato para bulbo húmedo, se busca la intersección de las líneas que corresponden a cada temperatura la cual indica la cantidad de humedad para las temperaturas tomadas, este procedimiento se hace con cada pareja de datos obtenidos para bulbo seco y húmedo. Los datos leídos de la carta psicrométrica se utlizan para construir gráficas y localizar zonas de igual humedad, esto sirve para determinar si se tiene convección o difusión del vapor en el aire que hay dentro del destilador.

CAPITULO IV ANALISIS DE RESULTADOS

IV.1 DISCUSION DE RESULTADOS NUMERICOS

Los resultados obtenidos resolviendo numéricamente las ecuaciones se hacen considerando un estado estacionario, la transferencia de calor entre la cavidad y los alrededores se calcula tomando un coeficiente global de transferencia de calor (U), al que se le dieron los valores de 5, 10 y 20 W/m^2K . El número de Prandtl para la mezcla aire vapor se toma menor que el dado para aire puro (Pr=0.1), las temperaturas de estado estacionario se toman 95°C para la base y de 20°C para la cubierta condensadora.

los resultados numéricos se obtienen usando el código PHOENICS, se toma un dominio de discretización con 35 celdas en el eje X y 25 en el eje Y dando un total de 725 celdas obteniendo los siguientes resultados:

Para el coeficiente global de transferencia de calor con un valor de U = 10 $W/m^2 K$, se tiens que el vapor asciende por la parte central de la cavidad y desciende a lo largo de la cubierta dando avidencia de que la convección se lleva a cabo a cada lado del destilador. Para los otros valores de U se obtienen resultados similares.

Para el mismo valor de U se tiene que las isotermas muestran las regiones de mayor temperatura agrupadas al centro de la cavidad siguiendo la trayectoria de ascenso del vapor, la menor temperatura se presenta en la parte inferior de la cubierta donde se condensa el vapor. Para los otros valores de U se obtienen resultados similares.

Cuando se considera el caso en el que sólo hay difusión, el perfil de temperatura muestra una isoterma con un valor ligeramente superior a la temperatura ambiente. Cuando se considera el efecto de la convección y el global (convección y difusión) se obtienen resultados muy similares mostrando que el efecto de difusión es poco relevante comparado con la convección.

Los datos numéricos se obtuvieron en el instituto de ingeniería usando el código PHOENICS con la ayuda de José Luis Fernández Zayas y Arturo Palacio.



cel das















IV.2 DISCUSION DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Haciendo un análisis de los resultados experimentales tenemos lo siguiente:

Para la altura correspondiente a la primera posición encontramos que las isotermas se agrupan al centro de la cavidad mostrando una región de mayor temperatura en la dirección de ascenso del vapor, indicando que la convección se lleva acabo al centro de la cavidad siguiendo la trayectoria de la cubierta. En la segunda posición las isotermas se agrupan más en la parte baja y alta del destilador y disminuven en la parte central, esto muestra que la convección tiene menor influencia en este caso comenzando a manifestarse más el fenómeno de difusión en la dirección de ascenso del vapor. Para la tercer posición de la cubierta se observa que es más notable el agrupamiento de isotermas en la zona baja cercana a la superficie de agua, por lo que indica una disminución de la temperatura en la dirección de ascenso del vapor, esto indica que la difusión tiene mayor influencia que la convección a menor altura de la cubierta. Con respecto a las gráficas de concentración de humedad se observa lo siguiente.

Para la primer posición de la cubierta las zonas de humedad se agrupan al centro y en la parte alta de la cavidad indicando una disminución de la cantidad de humedad en la dirección de ascenso del vapor, el mayor agrupamiento se tiene en la parte alta cerca de la superficie de condensación, esto muestra que la convección está presente en el destilador. En la segunda posición observamos que la concentración de humedad se manifiesta en la parte baja siendo mayor al centro y en la parte alta de la cavidad, lo que indica que la difusión del vapor en el aire de la cavidad se efectúa en la dirección de ascenso del vapor, la convección sigue estando presente aunque es menor su influencia. Para la tercer posición observamos que la concentración de humedad se agrupa en mayor cantidad en la parte baja, disminuye un poco en la parte central y aumenta en la parte alta. la concentración de humedad va disminuyendo en la dirección de ascenso del vapor, este mayor agrupamiento en la cantidad de humedad en las regiones mencionadas indica que la difusión del vapor en el aire de la cavidad tiene mayor influencia que la convección libre del mismo.

Del analisis anterior podemos decir que conforme la distancia entre la cubierta y el espejo de agua es menor, la difusión del vapor tiene mayor influencia que la convección.

Experimentalmente se observó que en algunas zonas del destilador las isotermas y la cantidad de humedad se agrupan, dando evidencia de una circulación del vapor en esas zonas, esto de debe a que el vapor al ir subiendo choca con las paredes y origina pequeños remolinos, por otro lado; cuando choca con la cubierta el vapor desciende y se mezcla con el vapor que va hacia arriba y provoca la circulación en esas zonas, a esto se debe que la temperatura y cantidad de humedad en estos lugares no varíe mucho.

Con respecto a la cantidad de agua destilada que se obtuvo en cada una de las pruebas, se tiene en promedio que la diferencia en la cantidad de destilado para cada posición no es grande, por loque se puede decir que un destilador en el que predomina la convección también es eficiente comparado con uno en el que la difusión predomina.

IV.3 ANALISIS DE DATOS EXPARIMENTALES

Para la primera posición de la cubierta con respecto a la superficie del agua, que corresponde a 52 cm de altura y 50% en el variac correspondiente a 61 volts aplicados se tiene lo siguiente: En la gráfica hecha para las isotermas (fig 4.5) con los datos obtenidos para bulbo seco en los termopares, se observa que en la parte baja cerca de la superficie del agua se tienen zonas de igual temperatura ligeramente aisladas, subiendo en dirección de la cubierta se encuentra un mayor agrupamiento de estas zonas, aproximadamente a tres cuartos de altura encontramos un agrupamiento de isotermas que indican un aumento del gradiente temperatura que va de 31 a 34 °C. Con respecto a la gráfica hecha para las humedades (fig 4.6), se observa que aproximadamente a tres cuartos de altura se tiene un agrupamiento de zonas de igual humedad en donde se detecta una disminución del porcentaje de vapor que va de 72 a 60 % de humedad.

En la misma posición de la cubierta y con una lectura en el variac de 60 % que corresponde a 73.2 volts aplicados se observa lo siguiente. En la gráfica para las isotermas (fig 4.7)se observa que aproximadamente a un tercio de altura se tienon zonas isotérmicas aisladas, un ligero agrupamiento en la parte baja cercano a la superficie de agua que indica un descenso en la temperatura que va de 28 a 25 °C, otro agrupamiento de isotermas a dos tercios de altura indicando que la temperatura desciende de 25 a 23 °C. En la gráfica correspondiente a la humedades (fig 4.8)se observan algunos puntos de igual humedad aislados aproximadamente a un tercio de altura, un ligero agrupamiento en la parte baja indicando un descenso de la cantidad de humedad que va del 85 al 76 %. aproximadamente a dos tercios de altura otro agrupamiento donde la humedad también desciende del 50 al 36 %, en la parte alta cercano a la cubierta se observa que la humedad desciende del 85 al 40 %, aproximadamente a la misma altura se detecta que la humedad aumenta del 90 al 100 % .En la misma posición de la cubierta y una lectura en el variac de 70 % correspondienta a 85.4 volts aplicados se tiene : En la gráfica construída para las isotermas (fig 4.9),se observa que en la parte central hay zonas isotérmicas aisladas, se

tiene un agrupamiento en la parte izquierda aproximadamente a tres cuartos de altura que indica un descenso de temperatura que va de 30 a 25 °C. En la gráfica correspondiente a las humedades (fig 4.10)se observan dos agrupamientos de zonas de igual humedad en la parte baja donde ambos indican un descenso en la concentración de humedad que va del 80 al 66 % pegado a la parte izquierda y otro al centro que va del 90 al 80 🕏 , aproximadamente a la mitad de altura se observa que la humedad desciende del 60 al 45 aproximadamente a tres cuartos de altura se observa del lado izquierdo un aumento en la humedad que va del 80 al 100 % y en la parte central un ligero aumento del 80 al 85 % de humedad.

En la misma posición de la cubierta y una lectura del 80 % en el variac correspondiente a 97.6 volts aplicados, se observa en la gráfica para las isotermas (fig 4.11)que hay zonas aisladas de igual temperatura en la parte superior e inferior, aproximadamente al centro cerca del costado izquierdo se tiene un agrupamiento de isotermas indicando un aumento de temperatura que va de 31 a 34 °C y en la parte central otra zona de isotermas donde se observa un descenso de temperatura de 24 а 22 °c. En 1a gráfica correspondiente a la. humedad (fig 4.12).se observa aue aproximadamente a la mitad de altura hay un agrupamiento de zonas de iqual humedad indicando un descenso del 65 al 35 %, en la parte superior cerca de la cubierta se observa un descenso en la humedad que va del 76 al 45 %, aproximadamente a un tercio de altura se tiene un descenso en la cantidad de humedad que va del 64 al 56 % . Para la segunda posición de la cubierta con respecto a la superficie de agua, que corresponde a 37 cm de altura y 50% en el variac correspondiente a 61 volts aplicados se tiene lo siguiente (fig 4.13):

En la parte baja cerca de la superficie de agua se observa una zona de isotermas que indican un descenso de temperatura de 38 a 26 °C, una zona isotérmica que ocupa aproximadamente la mitad del volumen en la cavidad del destilador, en la parte superior cerca de la cubierta un par de isotermas que van de 28 a 25 °C. En la gráfica correspondiente a las humedades (fig 4.14),se observa aproximadamente a un tercio de altura en el costado derecho una zona de humedad indicando una reducción de 72 a 60%, en el costado izquierdo se observa que la humedad se reduce apartir de un tercio

de altura hasta aproximadamente dos tercios del 76 a 55%, en el mismo costado cerca de la cubierta se tiene otra zona donde la humedad disminuye de 80 a 46%..

En la misma posición de la cubierta y con una lectura en el variac de 60 % correspondiente a 73.2 volts, se tiene para la gráfica de isotermas (fig 4.15),que hay en la parte baja una zona de isotermas indicando una reducción de temperatura de 31 a 24 °C, a un tercio de altura en el lado izquierdo otro grupo de isotermas mostrando una reducción de temperatura de 32 a 30 °C , a dos tercios de altura en la parte central tenemos isotermas que muestran un ligero aumento de temperatura de 31 a 34 °C y algunas isotermas aisladas en la parte alta. En la gráfica correspondiente a las humedades (fig 4.16), observamos que a un tercio de altura en el lado derecho se tienen zonas de igual humedad que indican una reducción del 76 al 70%, al centro del destilador otra zona que va de 58 a 50%, en la parte superior cerca de la cubierta el costado derecho se tiene otra zona de humedad en donde se tiene una reducción de 1 85 al 60%.

En la misma posicción de la cubierta y una lectura en el variac del 70 % correspondiente a 85.4 volts se tiene (fig 4.17), para la gráfica de las isotermas en la parte baja cerca de la superficie de agua algunas zonas isotérmicas aisladas, a dos tercios de altura en el lado izquierdo una zona de isotermas indicando un ligero aumento de temperatura de 32 a 34 °C, aproximadamente al centro una zona donde la temperatura disminuye de 30 a 27.9 °C y en el lado derecho un ligero aumento de 33 a 34 °C. En la gráfica correspondiente a las humedades (fig 4.18), tenemos que en el lado izquierdo a un tercio de altura, una zona de humedad indicando una reducción del al 76%, del mismo lado a tres cuartos de altura otra zona 85 donde la humedad disminuye del 82 al 56% , a la misma altura cerca de la parte central una zona que indica un aumento de humedad del 85 al 95%, en la parte superior al centro otra zona donde se aprecia una disminución del 64 al 34% .

En la misma posición de la cubierta y una lectura en el variac del 80% correspondiente a 97.6 volts, tenemos (fig 4.19),en la gráfica para las isotermas zonas aisladas en la parte baja y a un tercio de altura, un grupo de isotermas del lado izquierdo a dos tercios de altura en donde la temperatura aumenta ligeramente de 32 a 33.2 °C,

del mismo lado cerca de la cubierta una zona donde la temperatura disminuye de 32 a 28 $^{\circ}$ C, aproximadamente a dos tercios de altura se observa una zona de isotermas que indican un aumento de temperatura de 32 a 42 $^{\circ}$ C. En la gráfica que corresponde a las humedades (fig 4,20),se observa a un tercio de altura una zona de humedad que indica una disminución del 86 al 72%, aproximadamente a dos tercios de altura una zona en donde la humedad se reduce del 75 al 60%, aproximadamente a tres cuartos de altura otra zona de reducción de la humedad que va del 72 al 60%.

Para la tercera posición de la cubierta con respecto a la superficie de agua, que corresponde a 27 cm de altura se tiene lo siguiente:

Para una lectura en el variac del 50 % correspondiente a 61 volts se tiene para la gráfica de las isotermas (fig 4.21): en la parte baja cerca de la superficie de agua una zona de isotermas indicando una reducción de temperatura de 30 a 26 °C, a un tercio de altura aproximadamente en la parte central una zona indicando un ligero aumento de 32 a 33.9 °C, a la misma altura en el costado derecho se observa un aumento de temperatura de 31 a 33.3 °C, aproximadamente a dos tercios dealtura se tienen zonas isotérmicas aisladas , en la parte superior cerca de la cubierta aproximadamente al centro de la cavidad del destilador se tiene una zona de isotermas en donde la temperatura disminuye de 27 a 24 °C. En la gráfica correspondiente a las humedades (fig 4.22), se observa que a un tercio de altura aproximadamente al centro se tiene una zona de humedad indicando una ligera reducción de 55 a 52%, a la misma altura en el costado derecho otra zona donde la humedad disminuve del 76 al 55% . a dos tercios de altura del lado izquierdo se observa que la humedad varía del 95 al 60%, a la misma altura del lado derecho una zona donde la humedad se reduce de 68 a 52% , en la parte alta cerca de la cubierta se observan dos zonas una en la parte central que va del 80 al 65% y otra del lado derecho que va del 100 al 95% . En la misma posición de la cubierta y una lectura en el variac del 60 % correspondiente a 73.2 volts, se tiene para la gráfica de las isotermas (fig 4.23),en la parte baja tres zonas, una en el costado izquierdo indicando una reducción de temperatura de 32 a 28

°C, otra zona donde la temperatura aumenta de 33 a 35 °C y en el lado derecho otra zona donde la temperatura se reduce de 35 a 29

°C, en la parte central cerca del costado derecho se tiene una zona donde la temperatura se reduce ligeramente de 30 a 28 °C, en la parte alta se tienen zonas isotérmicas aisladas. Con respecto a la gráfica de las humedades (fig 4.24),se tiene en la parte baja cerca de la superficie de agua y hasta aproximadamente un tercio de altura una zona de humedades indicando una reducción del 60 al 45% . a dos tercios de altura del lado izquierdose tienen zonas aisladas de igual humedad, al centro en la parte alta una zona donde la humedad varía del 95 al 85% , a la misma altura en el costado derecho una zona donde la humedad se reduce de 100 a 82%. En la misma posición de la cubierta y una lectura en el variac del correspondiente a 85.4 volts, se tiene en la gráfica 70 * correspondiente a las isotermas (fig 4.25), en la parte baja, cerca de la superficie de aqua dos zonas de isotermas del lado izquierdo, una pegada al costado donde la temperatura baja de 38 a 34 °C, otra donde la temperatura varía ligeramente de 29 а 27 °c, aproximadamente a un tercio de altura casi al centro se observa que la temperatura sube ligeramente de 34 a 35 °C, pegado al costado derecho a la misma altura la temperatura desciende de 33 a 28 °C, en la parte superior cerca de la cubierta en ambos extremos se tienen dos zonas donde la temperatura baja ligeramente de 26 a 25 °C. En la gráfica para las humedades (fig 4.26),se tiene que a un tercio de altura del lado izquierdo hay una zona donde la humedad desciende del 55 al 44% , a dos tercios de altura pegado al costado izquierdo se observa un aumento en la humedad del 85 al 100% , a la misma altura en la parte central una zona que indica una reducción del 52 al 36%, en la parte alta cerca de la cubierta se observa una reducción del 86 al 75% .

En la descripción cualitativa de los datos experimentales, se hizo un análisis de las gráficas construídas para las lecturas de bulbo seco y las correspondientes a las humedades, ahora daremos una explicación en la que justificaremos lo observado en las gráficas. Observamos que conforme aumenta el calentamiento de 74.42 watts a 190.51 watts las isotermas obtenidas se encuentran más aisladas, es decir las zonas de agrupamiento de las isotermas se observan a mayor altura en el cuerpo del destilador conforme se aumenta el calentamiento , esto se debe a que al aumentar la temperatura el gradiente térmico es mayor favoreciendo la convección natural del

vapor generado, en consecuencia el vapor se enfría cada vez más cerca de la superficie condensadora y está más caliente cerca de la superficie del agua, es por esto que las zonas isotérmicas se aislan en la parte baja y se agrupan conforme se asciende en el cuerpo del destilador.

El gradiente de temperatura que se tiene en los grupos de isotermas para cada uno de los calentamientos es debido a la corriente de convección que existe dentro del destilador, el vapor caliente asciende y se enfría, el vapor enfriado baja, esto se observa en las zonas isotérmicas que se obtienen como curvas cerradas en cada una de las gráficas. En algunas zonas encotramos que la temperatura aumenta y en la misma zona en la gráfica para las humedades la cantidad de humedad se reduce, y en donde la temperatura baja la cantidad de humedad aumenta, ésta es otra evidencia de la corriente de convección; pues una reducción de temperatura ocasiona que el vapor se condense y la cantidad de humedad aumente en esa zona, por otro lado si la temperatura aumenta la cantidad de humedad disminuve puesto que no hay condensación, esto es lo que se observa en las gráficas.

Por otro lado con respecto a las gráficas de humedad observamos que cuando el vapor asciende hacia la cubierta condensadora, la cantidad de humedad disminuye, esto se debe a que en la superficie del agua donde se genera el vapor hay mayor concentración, conforme el vapor asciende se difunde en el aire dentro de la cavidad del destilador formando una mezcla aire-vapor en la cual la cantidad de humedad disminuye al aumentar la altura.

Las diferencias que se tienen en la cantidad de humedad nos indican que hay una transferencia de masa, ya que la cantidad de vapor avanza de una zona de mayor concentración a otra de menor concentración en dirección de la superficie condensadora, este comporatamiento también nos da evidencia de las corrientes de convección dentro del destilador. También la diferencia de temperatura que se tiene en las gráficas de las isotermas nos indican que hay una transferencia de calor, por esto podemos decir que en el proceso de destilación solar se llevan a cabo los fenómenos de transferencia de masa y calor, así como la convección libre del vapor generado durante este proceso.





FIG IV.6

PRIMERA POSICION









FIG IV.11

PRIMERA POSICION




"RIMERA POSICION

SEGUNDA POEICION

	(interest.	1.11.11.1		anter:	. Calle un	<u> </u>		C. Interior		distant.		111111		1	F	in the second	and the second	
			_				111. - 1	<u> 1941 - 194</u>	sele:	20. ja 1. ja	11 de la 1	122486				1.2.1.1.1.1		
		i. This	- ##E		(* d. 4		ffii() 1		intro.							1		
		Fritting		lini. In 1	ci.			11. att	::: L									
	in the second second					1 1 1	-											
			-			-												
		القيس									HUM	11-1						
1.1.1.1.1.1				11.1			- 19 9	in de la d		. in 1	1 H H H H		H., H. F.		n 120			
										11.	100	ur.,						1.1
							····		i ir ir sa			· · · · · · · ·						1.4
	1111			أحبيك														
			생활			- 1 - 1	(a) (a)	181	39.4									
									init: 1	1.1								
				1							See. 19		<u></u>			1		- <u>-</u>
				::.]. :	الشاردة				. د. ني ش			i			ulii.	l	- H.	. L.
	the child	141	. I.			81 I	100		1.1						i Hilata			-
	L L L L L L L L L L L L L L L L L L L		- II. II.		- 1	H. 1												1
	in the second								1 · · .1									
				<u> </u>	_	÷	اير خوب	تبالنب								rrti.		
		أسر بر ا					.11											
	CURTRATA			30.3		14-14								30	14			
	37cm		1			-	- livi			THE I	78	7						
			87. H	·• • .		····	. 488	. U				ويتبا فستشق		÷		С. Г.,		
		<u></u> _l)HB				_	-		- 14	- i. T.			11 H
	1	1. The second	. i	I	3.9		T		-	- · · · ·			F				1.1 . H	
		-18.6			- 11	201			15-	-						· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
		= الك							÷-1		346	_						
			<u>1</u>				15.1	25.6				11			24:3			
				,	76 7				THE T		364							
		740		1			-								32.4	1	617 I T	
	heri ^{ar} Handt			÷	A d		i Hirin	d 24 2			.	1.1	H. H.		PKA.	i-ak#	##### # ##	
		To The T			14.1				_		13.1.							
	1. Hailt to 1	27.1		지물은				1.1						33.	1 P. 1	1		
			8					ingen 13	192		×.				H			
		1			100	C												
	L	F		14 E E E		1.1		I	h.		2.4.44					11		1441
							28	1 100				E . 42						11111
		1						H . T				T (1),		ju-	Tinin			
									1.1	12 2.7		1. Fu	15 J	Jul				
		. # ful.			27.5			¥77.	<u> - i - i</u>			·		.		<u>ш</u> ши		
						Pieter Pieter			HC .:	1. HE		lir Lu						
		h. H.			P - 1	L. 1171			liin						12			
													1.111	1111				i HTHI
	E B			11111	li-dilli	(H. 1847)	1111	(H- H- 1					hallin	l		11
	2													1. r				
									ء د									
				mim				. r.				17 17	171					
					11.41.8.	1		1 IX 1				hiijitt	<u></u>		1.00			
	a la				12.2	1.41	le l					kana.		1	1	Na		
				T.1.1										in in e	1.41.34	1.11111		H
	ő	1						1				h						
	1. 11								-									
	X ⊞	1 ····				I						l	I	L.,	1			-
	11.19	i hirind	. f T	111-1						1								ui u
	101 韓語語	أمعاد ا			11.		ie 45.	80.00	nd T	1	2 2.2	hiit. S		1	1.200			
	1 	T	C. C. C. C.	Tinii	- -	1.111	ng fi			u tri tili	1	TIME:		LTI	1	te de la	1. T 1. H 1	11111
	1			u He		÷	6-1				- 1	P						11.51
		27.6			1.1.2			30.9		Liikin I	23.4	L lui	L., (U.		27.2	l di la		
		1.						K. H				ti 1-1	1.110/	1.100		un un	h i hi	ulu i
				• Th •		H DU				17 AU	677	1.10			77 2			177
	H	1.200	H-1		2.3.L	t all		×4. Y		L	1.1	1.11	t-title		×	titele -		n Hill
		M T 1	W 34. W	3.2	1 - 11	la de la de			L			L		<u> </u>	1	HE	tunita di	ЦШ
	I ILVIEL	1.00			1		c di bili	H.				1.111			1	H III		ШШŰ
	AGUA	1.61		1.1.1	E 18	1	1.11	F				1 10	171	h. 1	5	1.1		
				- ler	hini ku	inter i	arrai	4	2 cm		t di li	hard ?	l di		i i i i i	1		
								<u> </u>			- E-					t ini ili	H 1 4	
		t: Thu	160	TER	IAS I	TYPE	IIME	NTAL	EG .	البينانية ا	61	VOL	ПБ		tility of			
	Lange 1993	1				1 1 1	L	1 16	1111	ta a Britis		.	1 - FH	1. 1999	1-1-11-1	L. 10		2 1 *#4

		e Ogé A													nes Tra
		m		FIG	IV.1	4		8	ECUN	DA PG	srei	40			
CURI 37	ERTĂ CM												منيي		
		1		11		1		-	9a			2		100 57	
				30. 5 5	78) [] [] []	90 		3,2	6 7 4		ſ		مد		
		A A A			8	ч 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	9		700						
			i. Kari	7 K 7 K		24			70			2		£2	
			40 .1	ć /	<i>[]</i>										
		1 1	Ĺ,		1	es			./4 a			0		74	
			78	×							, .	-76	4 A		
			/p=			×ו.			. جده م			a.o.		700	
	1														
n iv Ac	el. Ua														
			сфис	ENŤÍ	ACT.0	1 DE	HUN	LEDA	: C #1.)			61 V	purs		

1	G	11	ι.	1	5	

SEGUNDA. POSICION

CHERTON	1-10-0	F	<u>, </u>		100	010		a	7.7.7.7	1		1	Trang	Ling.	1,715	1	I. Transie	Harden
		h: 144	1-1-1-	4.4	بالمشارك			1.44	I	1461 - I	h		li lin	<u>l'anter</u>	1-11-	1 . i		
		لنتولها	(inter	<u> </u>		40			1_64	191	1 4 4		1000	15	Line.	1		
	4 4 1 1 1 1	118	fi.,	김 분규는	- 1 1111	dele:	d - 1	1.16	1 44	E	1.10	11	181.4	hilite.		hit.	i-diliti)	
	1 10		CHT.		7166	. The P	177		1.775	1	1		l in the second	1	1.1914			
1-1-11-	1-12	1	1	मे ि त्ते	-1111	111	-	1.7	1 11	1	+	1	h i i i i	int itt	l-tra	i ni m	1.11	
	- here Hilli		} ₽	#H+##		444		h-, 64	hi he	1	1		Hiller -	here a	1 44	li i li i		- II
			<u></u>		<u>aque</u>	Щ.,			124	1	1.1.	1	hiller.			1.100		<u>. </u>
		التي ا	Æ			diller	diir	L	101.5	hida	i Uu	de la composición de	le le	lun d	1 10.1	1		háta
		C 100	(e lint	ALLER	. H	107		T inte		1.11	1	l in the	1	1.11	1.310		
	1	1- 	htt	H tti	di i i i	<u>t (r</u>	يبينها.	li-tu-	1-11-	li lin	t		1.716	t tituz	li tr	1 10		
	-	hidinit	r		41.4	#4 ÷			1-4		le tar	- +	line.	1.11	.	1	h	1. H-
	1.1.1.11		(i i i i i i i i i i i i i i i i i i i	11-11	<u>u</u> lur	4.2	22	1.19	4			1.11	L	1	L	Litter		
	1	iid	hill	<u> 1</u> 1	There	eta	122	1	f in e					1.140				
			1. 11	- T	1.1	16	100	4	1	61 F - 1	17.	1 C	1.11	1.1	1.	1.1		
) - 1110 - 1	1	1	<u>fre-</u>					<u></u>	ham	17	*****	3	1	*****	tite -			- 1
i i de la composición	, C. Hing	(1,003	aditak	i i i i i i	1.11	444	P	- 14a	ti a a	dina ,	(L Charl	44	-	1. i i	l •	L. 174,
<u>6. 6. 1</u>		<u>1</u>			:			1.15	للناف ا	1	1 = .		L	La.		<u></u>	h	<u>E de c</u>
li Thaile that	Tirt.	i la la co	ñ ?	ોનજ	100	. 1 8	/hu/	.	140	City 1	T III. 1	Futur	L. gal:	F de la	E : -	E-413	(in the second	F 144
CURTERT	4	etter i	6. F	C1	177	100	1797	10.0	1000	17.1	1.007	THE	1		45	1. TH		La guar
37.00			ritter	÷lm!*		-1-	-	F	1 dia	le states	1	. em			f		1 	-
i i Trèlui i C	- i::		ditte:	- Halle	- h-ut	44.7	gro d	(t. 199		C 44 4	ور			Pit he	L		6 - Han - H	1 H
	1	المشدة	<u>e -</u>	i i i i i i i i i i i i i i i i i i i	1.11	<u>ala</u>	1	30	2	م بينية : يوسيكو ال	1.11	ł	L. III.		Γ.	- - 11		
	Te of	6	<u> </u>		5.1.		-117		5						27. 8			
liter, pilota	1.07.4	12.2		-t- 5	1 4 1	- 1	40.1	1.000		1日 .		i ac				- 10		- Tri
hod de la com		19-11-1		44			# ##		lan ja j	ļ.	139.65	400	144	- 		ند	p - i li - i	
			più.	. tule	di d	_40		19.7	1.129		12.0	÷2	1.111		27.7			
	1		alla:	25.1	e 1	- 17	100	1.1	t 📖		25.3	4			i	F. 4 - 4		
	128.2	ALC: N	ALC:	1111	177	. E.F	- 1	ACU	1.1.11		6 1 1	1.24						
	F-161	6H H	nii ile	÷1	1166	#+++	100	the start	1	1711	H C	i nd		1	1 4 111	F 115		
		64U - 1	aur	17.7	그태민		-##	10.00	1.4	Hiller	21.1	1 -141	line -					
	35.7	elli - 3	<u>ette</u>		111			34.3	5.9	k . 1	i din	Lett. 1	Linh		1. 1.1.1.1	i.di.		
	F .		e e	10.5		. 10	17	E	1.1	N		Tri s			1111	1.0-20		
	70.7	1111	<u></u>	61 - C	110	117		17	S7 1		10.	l in a	£			1	C T	
	finni	(Hilling)	(fidf	diatar	alatti	å ht	117	¥		<u>kano</u>	Crim,	计时间	ite i -	1 -	Ford	li. Het	н <u>н</u>	
	1	ali -	a titu	dina:	44		11.7	4	1		فرشابه		Ц <u>. —</u>		L.,			
	f ju	dijing	dille:		4) (in		44°	6	1.1	1. 1.	i sir 1			1000	4.7.5			
	L.	(III I	C international de la construcción de la construcci	ta.		- HY		73.7	1.12	. A. P				1	7. 7			
line i se	Proce.	at te s	atti "	111	11	+ t :-	3.5	1.	1	h t		t c	11	<u>-</u> t-	1.48.40		1	1
	1.111	A 1944			41		. i s	k	113	1			9 1944	U-7-4	1	1-11-1		
	1		dill:			444	1.1		21		k	• · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		1. N.	- 11-	ششط		
er i	144	(ditt	di i i i i i	하는 나라	최근문	補け	2.84	Pi-1	51.1	154 P	1-X Hi		1 - C	:		12.	1911.4	P∰ ∷
9			(11) (<u> (</u>	61 UJ		8.57	jer jer	1	1.1.1	. .	17.25	1.12		- 30.	1.77	1.	i p
70	Ladie	Chuid	AH	-Ìstrier	せせ	÷			•	iye e trange tand	-		ten sera	1			han a	1.000
	1		É fei fei fei	.4 * .4 :	en ar	44 F	4.11	i	1	1.000.		14 J	į.	1	1, 95	le e u	12.1	
	19.1	1.1	$\Lambda \equiv 0$	14	1		<u>.</u>	Pert.		1	39.2	1 1. i 	l an	1	1229			1.1
	相同	440	100	ilyit:	der -	111	100	17 P.S	1				1		T.a.			1.29
L C	linin.	eta a p	6171-1	. <u>1</u> 0	dire:			1	力用い	- 77	1720	1.11		<u>tin</u>	1.11	e i	inger,	1000
18	fi Hiller	r iller i	<u></u>	-to the	d h i			<u></u>		<u>ب</u> نية	÷							4 4
	1.3	1			4	-	1	1	1	k; ini	ilgi	بالتلب ا	line, i	i	4.4	1	L. P.	و الترسيد ا
131	1-57-	1. J.		452		- 11 P	622		1.11		1		110		1			F () (
3		14.50		11.7		4.7.5				-	- بيارينا،		1-10-	1.000	1	1	1	
	1200	(* 111) 1	di lit	42.0	17 A A	11-		1.7.1	http://	100	182 C	1 · · ·	1.561	la file		leine d	<u> </u>	
	1222	1	447	_Ker	نبويني ا	-	أيبينيهم	Sec. 7.	للمنجبة	- A.	2412	÷	ļ	<u> </u>	1221			4
	1		14					1.1	Le c		l'hin.		- 2.7	والجاجا	4	1.1.1	÷.,	
	34.7	i i ku i		25.0		#1:	12.2	43	55.1	C (2)	25.2	i		6.1	132.9	- dan	1.1	
		ानाः	1	15 C	20 -	17	ÈIJ	1	1.1		in the	÷	train -		1.8			÷
	1000	ciden (-##	2.5	1.37		£3	(-	tie tie e		10 <u>41</u> 0	h	<u> 1</u> 4 -	hii i	i etc	61.5	i, apri	
	2.2	, al		31.1	4	<u>dia</u> p	طبقية	542.		فتبزحنا	5.4.2	<u>.</u>	Ľ	وليتنب	Said	1	Ľ	
	1.44			il: L			122	1. J. J.	1	- <u>1</u> 77	Lukt.	1.1	l harr	PDP C	i		F	
+IVBI		- e - 1			111	12	279	er i	6.577	0.767					1.1			
AGUA			(The	हो का	1		1.17	(1.1.1		1			<u> </u>	- The second sec	-		
	1-1-1-1			a =			# 3	7 ومساعدة	5	شيررد بغ	÷	for meret	· · · · · · · · ·	l	fa a la cara da		<u></u>	
A CONTRACTOR OF A CONTRACT			and a second second		A 10 House	1.11.1.1.1	10110-0	(4 (14 HP	1	1	1 1.1.1	tanati na	2 2.22		1		11111111
					-	1		·		<u>ــــــــــــــــــــــــــــــــــــ</u>	1			1				
		TSC	TER.	мля	UXF1	TRI	LEN	TAL	5			7	3.2	VOLT	9			
		ISC	PER	MAS.	TXP1	сни П	MEN	ITAL)	5			7	3.Z	VOLT	\$			

FIC

SEGUNDA POSICION

A. 144	1	100				h htt			ii dala	1 (b).,								
dill in			ul i				1.1.1											
			11.1															
unt n																		5. 11 0
																	5,67	
iti na li	det ei			b (jak		h elle.	ni, kia	i		10 T		hi Hili						
												., i						
					1					1.11		1991 - A						
					<u></u>				14.5.47								1.488	1999 <u>-</u>
		<u>io</u>		1	1		1	1										
<u>119-5</u> 7					<u> </u>				Lull_									
1																		
2021	ERTA	-						<u> </u>					<u>lui ili</u>		é			
	Can	E			Hiti		hini:					HP						
		<u>1</u>						<u>, 1</u> 2	ra 🖂					5				
1.1			1				-11								5 A			
е. н.		1	Pl	7 .1			1. ju					75	1.1					
			h., .	: <u></u> .	1				15		. dini			ι. Υ	55		1	
111	1		<u> </u>			140		8.60				10.0		<i>N</i>				
				u dia			<u> </u>	144	240						10.4			
<u> 11</u>						64						95					<u> </u>	
Bi	<u>1. 4</u>		7						4									
		il in i	-		ا جنها ا	25					, 1 00	L, H	l hini h					
l.,			74		i				. A.	Ì,								
								1	- 72	. . .				73				
.₩ł¤Ľ								4.12	1.1	1.1.1				21	lle Heri			
			25			20			5p_	j - j -		15	12.1.1		6Z			
ilither.													75	×				
							<u>н н</u>			•			•					
÷	digi ^{ta}			1														
P		·		- -	•••••	<u>-</u>							an er	in in in it.				
>	it if with		- Am	1			61. IV											
-			7.			15	-1-4		19.9		5. J. H	.7.2			71		•	• •••
7		- 80-	25	(ninili	H I I I I I				l" th		r i s	77. Z Y		I			-	10.111
ti i õ			- K.	n lit		itin iti			D. 177		in hiî	ninfh	ptal i d					
10																		1111
i i	<u>111</u>	1. 11.										i h					n i i	
11							177		100	:. : #	1.14	<u>.</u>						
															E IZ			
	TTÍ T			1718														
mili-i		11.17			mitt								h. fil	nijni		l line i		THE.
Tildi									L.,									
開節			r Hiller				iriil	77 1					1.1.1					
NIV	SD.						Latti,						1					
, Au	<i></i>			[H1]		1 m 1	17 . J.H	I	irm.			P.1	L diri	L. 11 II.	l di l			
															1			
		: - 1 1:	LONC		parint	N DI	i Hu	TUM	100			777	⊭ vo	tr's				
			1. H. H. T		1664	Hais 1	12 - H	1.40	HE LE	1.1111	n Hillin		L B	FWE	1	H		1.41

1.1

SEGUNDA POSICION

the second second second		Real Prese	11 h 11	d:	distriction (1.11.11.17.441								11111-1-1	
					1.1.1.1.1.1								- P. (
			William Street Street									10.00			
	P	l	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •	تبليها استحدا			<u>11</u>			لنجابيب			- 14		11. I
171		untrat L	urtas filmi	1 . j. Juilii	Linguist		m mul						- 4 - 22	1111111	191 in 1
				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	-										-
antem at the	18. DI			1			militi i			11111	- 12				
			HP-615.	1		Link	on the l	aagul	H.1.			in i si			
	11111111	i i i i i i i i i i i i i i i i i i i	H-India dia	4	1-4-4							and the second second	- 1.4		- (qn
					10000-										
					1				· · · · ·						
														144.00	
Chi Messar		1. J. T	- H- 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 -	466 J. PA	CONTRACT.			1.41.1							
					-						في خذ	in the later			
594 (1279)		1 - 1	19.000	1980 - 16		8 a 11	- 1602	CHUCE I	1.1.1 He		5. 4. ¹⁹⁴	ita interior	THE		H- 114
				1	-		10.72								1111
					1										
1.1.1		1		Liniat -						1 . 1	12.2				- e c
5 M A					· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	÷		i i i i i i i i i i i i i i i i i i i			· · · · ·			94 o 1	
			- 100 F			111									
			1	17.1. (1.1.1.)			- 1922	1.61				1.44			
Same and				4											
	1.1.4						114								
								1100	1.10.1			and the second			
المنب المحتويت			أساسته بوذالية	1. U. 1. PH							ц.,				
CURTERTA			duni duni		li dali	1. 1. 1		H			4	£#	- 3,68	0 H. J.	
17	1.11	t 🗔 İ	*****	1-11-1-1-1-1	the second second	Letter.		4	2		منتبين				tin teta
- 0 / CIII		1. J. J.		it 1		التبتيلين	<u></u>			1111	ante d				nut E
1 H H	(:::!!!!!.			11 H H	1.1.1.4	7. Milli	فيتسودونه	- T		199 G	- i 🕹	مسر العدا	ाल ही		
7-11111				1 e	بكر لتستقله	¥-111					- H.H.H				Heit
t an hittini		L	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	The second s	RE	1. and	111 1	9 - 1 - 1 - 1				285	C 1944		1111
T 12 7 21	1.7.	A										1910 -		100	
				فيتناج البوك		1		144							
i Bilitic je di la	lati a	ter tilli	and the state	an halfe li	1347	till al	HL.I./T			na - I	., .	70 4	retti. i	"dail	antal
		1. 1. 1					1000								
		لتقتلصه		li in the state		10.0 Here.		12.3.1		Lii					1000
	31.2	11. I. I. I.	• Line-hallin			1				lit mel		3.4L.C	51 H		
in the second		1			- 19 K 498 (1	1		1.144.14		1	F. 12-			di li in	****
		1.1	101					27.51							
in the second second	120							THE OTHER						114 L	
	1.0			Luin				4+11+1				H		Hint ini	
		(* 11) - A	320			1 1 1		- 10.1	-			1.111 - 1	- 444	10 He H	
		1.7									f	·	.,	- 400	
	- <i>ana</i>	1. i		.1					1 i						
Letter hinde			dinin Karle	1.1.1			· · · ·								
the local set line					1000				H. H.		7-18-T				
									111111		111 I.				i i i i i i i i
					20.0		144	274		P N C.	10 P.S.	12-		11.11.11	
	1.91		D. 1.							J					
		P				1991				et					
						1	1111111.			F		P = 1444			
					- <u> </u>										
1															
0 10															
	12412	L								1-44-1		1H-HI	*****		
5.	1.18	181.1		ite indfödd	11 I.	14000	t titili	(HH.J. 🗄	1	61 T	ter (1997)	e 104	NHU	1
Letter 1 to the	1	1.11	main in the	at. and the lite	1012	rort	in tri	te großi	1777) (I		rreti		antrid	an ha	
Hall Barriel	171-2	1.1.1			28.2		L	2.8.2		<u></u>		1.9.9			pantell
Hann Bland	L	1	14 . J	1	are en	Train.	1.8 - 3		1.11	1.1	and di	peid		. 1	1.110
- 9 - I	1	1N	* *			1 1 1				trutti	s grill	ten di	1944 - I		11110
L z	1				- I			Labil			ngeli				
6	1	1.4.4.3	-4 K	4	1.100	1807	HTT	1.11	11. TR.	1	1.15	10 to 1	il la la		L
Fins, ight ing	1.189,818	1 i i		دوسيد ولارتز	- t-eritere	gen nore	فيرز م. ا	134		1.11	1.10	6	- internet		
L	1 - 24	L. E. I	<u>, 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. </u>	<u>1. 1. 1. 1. 1. 1</u> .		الم ا		T	-	لتؤس ال	أليمت			<u> </u>	<u>t:</u>
L M	1	1		1 .A.			1		· .	r 1	1.1.1	trii 🗍			1.1
PG	1.11.	1		ilen 18 z			F		l- mitreri	i i i i 🖍 i	1. mili	hint ind	- 14		to anti-
1986 - 11 . Sec. 1	26.4		11111/74/19		35.4	4 66.00	Failt 1	29.2		(1994) - H	تلف ا	290			1
PT 14	E	1				-	1000			1	1.11				TLAU I
han ta	1	E-2.7	::=:::+:#	art in the second	4	电子母	LT HE			1		المرز بإسماله			1.11
	175.00		1 7 8 6			1.1	1. 19	32 4		1.10	1.1	19.5			1.01
En faite	1.1.1	tin tra					1			1. 1.	7. T .:	1		11	1711
	12.10	1	1.111	فأحجا وتصادقه			1			T	<u>11</u> 11	1.11-1		14112	1
1		1.1		21 11111111	Cr 9	91-18-	e la	1.5.1		194,6		52		t The	t in the
Hard Street	1.8.01					ta in	 • • • •		tister -	1				11. 1.11	1
	1						L	1	1001	1. 41	2.11	(antra il		ш: I	Link.
NIVEL	t i	di ta di			- (*111) -	1	::::: ·	i et T	HHH I	h. Hill	1.1	Hilling	1.11	iiii i	1.111
- KOTTA	1			-j-tilitila.di-	. (. 1966) -	1	+	1000				1.11.1			1
	4. 進		111 I. J. M. H.	a -		1	1.4.4.1.1	1 _ 44	L			<u>terine</u>		la da	
THE REPORT	1	1716			4	2 CTR		L. P.	1 . T	1.1-		1	. H. T	121	1.127.0
1	÷					÷	فيتعط سبب	<u>بالمرا</u>	 	1		11-1	Fint -		
	1	TSOT	BRAA6	XPERIMEN	NTALE	S	t., pr	1. 199	85.4	1 10	LTS				
						12	C (3	1		1		- C.D			1
L	******	TT 110. 1				1.75			· `				· · · · ·		

T ΞĤ . 1 Lin П tanti di s 16 зф 14 46 TF tij C 16 1 1 h# ŧ. 'n 10 i. 44 41 1.114 i. . 15 1m UBIERTA arch L ١. 19 -----Ţ 1.j., 1 55 - 7 F.S. <u>.</u> 2 - E HII I ADAXY JAC NOIC ٦. rnii 17 h щił.. 42 **4** - 1 ١. ų. 51-11A a volrs il di territeri ONCENTRACION DE HUMEDAD -----1.10 - H - E

SECUNDA POSICIÓN

							Ľ.,	L.,										
				1					1						l di la constante de br>La constante de la constante de	 		-9 k
																lti.		
	m]						L. P.								1.11	l i i		
-196 1994 - 1								<u>.</u>									 	
	1			h il.			h			5944 - C	hethin				H			H.
	<u>.</u>	<u> HI</u>		-														
	. , 1				hehu	i i peli		iin in t			h				hilt	H.		
																		1.11
				Г.,										1				
	<u></u>	- 4 4	i har			#	. 14	,	144	Ц.					be a	-		h Hini
	201 A		1.11				ri i i i i				53	7			-			
TF.								57	3		المتنب ا	. 1.2	r ajar	- -	F.,			
			Ш.,,,,		50				- 5	o —	[<u>.</u>		151			
		_			1-11-		Fill 1				17.1		.	T	A T	ļi		
			- 1	M.,	10.5			r F	-		1.7	Fr.	ti Th	1	t (R			HU
		241	28		Ī,			ξĒ.							3 62			
		400	- i		740	I	H	L. L.			41.6		<u>, , , , , , , , , , , , , , , , , , , </u>	r III] <i>e</i> [1-1		ļ.,
		- 47		P	722			P7 (٠			7			l-In		1.11
		25.9		170-	T III.			1.	1		lu.		34					1.10
	ĻĮ	- 19		r1.	<u> </u>	L.	1- L-	5	k	li	ШT.,	DL.		.	l.d.			hulli
		[1.14	li in	1		h. A		HN (1.111	E	
		17.2	1		1.14.2	+	1.11.1	15.19	Library	1		p	4				1	
			1.1.1			1.0000	1		1			Lun .			32.9			
- et		`		<u>``</u>	- 23-	r 1	/					à			32.9			
1.00			1	2		, P	/				ς τι Έ	27			32.9			
Date			7		-13- 32						, ţ	¥7.			34.9			
ođen -		202	``		33 - 34 - 75	, ,	/ 	ĴE S			187	22.			32.9			
		285	×	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	997 - 38 28.5			28 F				83. -			32.9 			
ON DEL VAPO		< 582	.		-33- -33 28-5			2 2 5			, . 183	¥3.			32.9			
X-10N DET VAPO		, 182			-32 -32 28.5			184			- () 129	83.			32,9			
FULX TON DEL VAPO		265.	X		-33 -33 28.2 			že s			183	23.			32.9			
DIFERCTON DEC VAPO		, ,185 ,282			33- -34 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15			1 E ¥ 355			1 8.7 187	8 3.			32.9			
DIFERENCE NOT A PROT		5 285 285			93- -92 28.2 -882			2 8 5 35.5			189				32.9 			
DIFULX ION DEL VAPO		385 385			73 3 2 2 8 ,5 			2 5 5 355 17.6		-<	183 183 183	23.			32.3 			
DIFUSION DEL VAPO		383 383 383			33- -32 28,5 - 28,5 - - - - - - - - - - - - - - - - - - -			22.9 37.9 37.5 37.5			1 2.7 1 2.7 26.7	83			32.7 			
DIFUCTON DEL VAPO		, 185 140 125,4 125,4			33 - - 34 - 5 28,5 - - - - - - - - - - - - - - - - -			255 7 375 375			187 187	23 			32.9 			
DIFUSION DEL VAPO	YET	383 383 383 89			737 - 32 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 -	4 		2 5 5 37.5 27.5			127 127	8.3. 			32.9 			
	yer.	383 754 82			732 - 338 - 255 - 25 - 25 - 25 - 25 - 25 - 25 - 2			255 275 275 275 275 275 275 275 275 275			18.9 38.9 26.9	84. 			22.9 			
	YEDA	3,85 1343 25,1	150		-33 -33 28,5 			349 349 37 37 37 4 37 4 37 4 37 4 37 4 3			1 29 355 262	82. 		144 28 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14	22.9 			

ESTA TESIS NO DERE Salir de la biblioteca

FIG IV. 20

FROUNDA POSICION



FIG 1V.21

TERCERA POSICIÓN

	r pe						laat di	t and							- 4.44	ni in	rifi.
	- 🗆																
		1	ЦШ	(LLL)		1	<u>u i</u>	u ji j				ШŰ	ЩЩ	uu jiii		ιψi	шØ
		백백니					ЩЦ,	СЩ4	내면	H., .		백명의	ЩЩ	L.L.		ЧЩÜ	
	-		-	1	H.H.	1	u i i	1	li i i i								
it i ni				⊢÷iii	littir	<u>بت عب</u>			1	li de la constante de la const	h litt				l al	HHH!	
	Tim	ti Hadi	nt (1		1			u filin			H nii	the l		L.HI	H (iii)	66.64
						10.1	n (h)			nihi				tri ili			list.
		911	<u>9</u> 1		<u>e ti</u>												(mili)
	T						L.										
	ЩЦ		Щ.		<u>4</u> 0	1-duil		ليتبت			U	ШЦÍ					
_#1_1	m		պետ	ыц.,		1	hi i	1	وستؤوزوا					L-160			L.
<u> </u>			- Hi rl	ļ	 		ببلب		<u> </u>			lin _{ne} l				114	F.H.
tin 1		9.9 9		tator l	1.5	p de la compañía de	l: min	-44		PH-1	H###			HULL		li de la constante de la consta	hanii
: 	# 1	⊨∵i		Hiliin	te ili:	120	t#Fh	<u> </u>							(Hind		PH H
	71 .1	et grif			n#r	177	1		ing in the	i ang tili. Ing tili ang		i të	11	(P)###		tija	le HH
	<u> </u>	-	<u> M</u>			<u>[</u>]		t al tab				ngili		1. 184	ीर्व	同時	CC d
						Lui I									ر المراجع مينيا		
الله بزير :	التناسينا	لتاريا	ЩĒ		LTT	(F)	(TD)	(ID)	u TT	(IT)					<u>pl</u>	luilii	µП
	цШ	u li li li	щĽ.	1	μIII	ψü	ЩĽ	ЩШ	сщШ	ЩШ		ЩŨ	ЩŰ	Щ.	ЩŰ	ЩŰ	μШ
	, Hill		W.		1 HU	H	 			n Li	L.	Hilli	n ((initia)
	F#			FHH	630	(IIIII)	6			HHH							Filli
		HH				HIIII	H		HUU	UNI					84 88		1 - 1 -
		H-1-1		111	1-16	+ 4	1	HW	Hii	HHH	6984	r HH		£ e	6-1	riillit:	tittior
277cm	lai Ö	t de la		h ini	情情		111	1		20				i and	t til		106
	133	hiimi		† iiit	1	1 1 1				tin ti		hild	1,114	(TIM)	ta ili		tilli
			100	70	<u> </u>	-	t III	(<u>11</u> 11				1.15			UNH		
	371	1		1					li Cli	175-0	HH.	1.5	1	19.9			1000
	di jeli	t risi	ЩШ	24 9	ЦЩ	1044	1	1 FJ 🕯	150	17.77		ĽШŰ		1.54	1.00		(IIII))
	14.7	.,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	1	1.1	Υ Π					174		l, hi		1			
	14	1		247	相 詳問	ur Til	FOR.	1	1	()HH	IHHH		H	1-11			100
	-284	t i i	h de la compañía de l	100			THE .			L.H.	H	H.		1996	(11H)	1.114	1116
	H)	He in i	till i	tip jë	1111	¢ Hii		tedill	ti iz	الإيرا	(####	1111	hill.		11111	tiille	1000
	C 🖬	ti ili		ម្ភាណ	1440A	1	101	1					1810	ti fili	U U	000	())))i
				1,14	T.H.	1.			ПÜЙ	1.	Her.	100					
				(<u>)</u> [HIII.							1.5	t n	1.00	ШШ	μШ
<u> </u>	34.9		uni (192.9	4.1.7		22.1	1.5		19.7	L	1	[]	1017			
្រ ឬ 🏢	µШШ			18		44	IIII.	1.4	1	<u>pup</u>	(CUL)			1-16i	t -44		1_11
8	L.			1	77			 	1	L.	THE.	1		H., 4			HH.
6	E 3 4		ville:	1	1.13	1		EH!			r fill	₩ ≓	1	HLX -	t.#	HH-	1
	E de la	- 24	HH-	1 fik	1	the second	5.0	t i i	hiik -	5	- 1	1-1-	L P	120	L, E	1111-	1.11
		T in i		ばか	t to	11	1.	tilli.		1.6	1 di	1717	1111	1 de la	1	Lait	100
NIVEL		1000			11					14T				L	1	UUD	
AGUA					1	1				IT.	1	F		1		LIT.	1.6
		μD	ЩĒ	ųЩ	¥Ш	<u>un</u>	ЦŰ	r cni	199	ښېدا	1	ي زير ا	(III)	ЦЩ	1	1,111	цЦĪ
		150	FBRH	AB E	XPBI	AMEN	LVIF	۱ ۶	4	1.13	1X IVS	urs	μ.	i i i i i	1	T. Hui	p atul
	<u>r di 1</u>	1		<u>+</u>	1.11	1	1	80		1 1	1	1.1.1	1	pre-free	<u>1.11° -</u>	<u>panaj</u>	

GIG 1V.22

TERCERA POSICION

	1.11																										
	14			Eiiik :		t, a					5.4	1.		11.										í.,	Fin		
															1			Π		17			hiil.		<u>.</u>		
		14. I																								pi (M)	
						-	- Hi					Π								1. F.							
																									T U.	1.158	
	11.					1									1	1		T	ili.		61						
			7 M.	1711												11						- I	1				
					1		1																			<u>, 11</u>	
								1.11					1		13	E.		10			1Ľ						
						Πī	11			m	Ш									T T I		. 4	13		194.67		1
						1	10.0			ii.	,			li li li		Hill			T.II	n f		1		÷.,	177	E L	打击
							in di	li i		m	11.1	107			1	i								T,	- 14		
														T.I.												haa.	
											Π			- H.	1				hπ							1	1.1.1
т. (П	1 11			1-11								ΠÌ				l:::			11		1		1	. 1		، سبنہ ا	
						1	tiit-		•	iii)	Π			111	1.	1		10	ίπ	The second	T	• • [**	-1	-1		t i i i i	1
				- II.		rđ	-166				He l				1	i e			12			.	1.1	1		in pa	1.11
		ъđ				H	. Hitti				ĊΠ	πđ		iii f	1.1	hi.	imt-	ŤŤ	i.		÷ r			-	1	+	·
18	1	HH			1	-		l., j		± 77			-			11	H# -	tii			H.		11	- 1		1	j- 48
						ti i		1					t f					-			ili		i T	- 1	-		
	1	111		H H H	1-1	-		-		-							•	rti:				.,					
T IT				1.10		n i				-		iii f		tiliti	hii	H		-			it						
n († 1													н										₩				
						-		h	m				-		H			t: :			il.		1-1	-		tinni	
HH -						-										-							l in t	81			P
2061	FR	HI.			-	-					-	-			-			-			-		-		• - 1 101		
21	(CTR													1					-		Ξİ.	-4	-				
						Ж						-	H		-		, derf	¥#-	1	-	1	¥	-		-1		
						₩							4					Η,		r =	-12	;	r	-	-1-1		
					ШШ	Щ	f	•			-		1		-	h.,	10.0	¥		-				1			1
				n Th						71		2	1			1		11		-		ī 🖅	-				h 🖮
		-						ŀ.,	111	5		-	-1					i G		-		i i i i i i i i i i i i i i i i i i i					
								1	ير.		-	4		**			1.		σ',			H. H		-			
- ini			- 1-	1			164	н	-	٠	-				i.		٠÷		-					÷ŀ			
- 19	1			71	4	24	101		- 4	i.	1	-		in e		-		-		-			-	-			
	1					47		L.	۳,	11			-	- In			H	-						-	_		
	.			95				70						99				1	÷.				24	-		(
										₩₩				- ##			ЩĒЧ	-		ΗĽ	+		-+	Q-1	-		
	3	144			1										-			-	,		łł		- 4		H		
	-		ш.		-			f T	m.	i.					-			-	Ľ.,		4		40		244		
÷	1			r# #			нц,	1 5	•	ццэ	4			5 2	ŀ			47	(-	6	١Ï		fill	F.	ini -	finiti	1
1	.				1					1	-		*	-	ļ	ł.		1	×- 14		÷	.L.		н			
1	4	Шİ		1		H.				ШŰ	•	ш				H				111	1	1.1.7	h	-		HHH	- - #
₩÷Ž	1			l li	111	HH.	H	1.							1	нн		1		H		Щ.,	H			H	₩
	-		- 44	4	(iii			24			-	iii)		14 F	-	68	lisi-	ł'n	a.,		iii-		Ηr			HHH	
	4							-	-	-		- 4	-			1											.
<u> 1</u>			ي الله		44			μ.,		H. (- 44					H.,		.	ŀ		-	4			4444	.	
									1																		
NI Y	E.						<u>. 1</u> .					-				٣		1			4				-		
NIX NX	наг. ПОЛ												32	cm													
NI V NX	ier Iox			-									42	cm													
XIX				8	vcz.	11 11	RAC	i Oł	і 1 п	Ē	н	ME	42 DA	Ciff D				61	Ň		s						

•••

FIG 1V.23

TERCERA POSICION

	T L	1.1		in leite										+ 1 - 1	1.1	m. (11.1.1	di deril	1. C.
	17.3	1	F 7 7	(Tali Ti	1 #**		177			771								###
	1		H. H			rui i	l di				i nt	цÝГ.						
17hH	177																. 14	111
	1.11	n pi			1.11	h Milli								., (H.			anges.	
		IT IT	1 10	17 T T T	tot -		6 11-1			an f			m i	TT.				
hiii.	1.111				1911													
n di	FTT	n III				FTT				TT I	T M							
1	<u>n tri</u>	T T T		1.1	DT 1	I III		FIL			TIT	THE						
n#"						1				- L.			.		1. ¹ . 1			
- N.,		100		44.	F T	1		n h							111			
1		r., tir							1917				m lin		T. P.I	THE		
				i., ji.		Line*		P. I	1.1		1		11. I	The second	- he	T I	1.41	
	:															iii:		
				1		F T								н I				
			h.,															
- II	1. 1944	1																
	Ľ				L	1												
											:::I.]							
	14.	h ar f	h th	hala	171.								.10					
		h: iiii																
. 17				Lu i 🗌		1.11						E.	140			d D		
d L	4					1.10												
			la di							. II. I	Щ. I		44					
	1	1	1.211	din in t	d ni ka	14964	1.1.1	1.31.31		10	- 310 de la	പപ്പ	- this	14. LÉÉ	http://	1.1		1.1.1
					1. 1.122										1000			
CU	HATER'	na 👘												52				
2	NER'	na L									53			53				
2	n en Veni	na I			5,	6		57	1-		53	<u> </u>		52	75.3			
2	ятая: Иста!	na 			57	6		57	-		53.	3		57	751			
2	STER'	74;			52			<u>57</u> 22,7			53. 750 180	3		57				
201	MER'	74,			52 			<u>57</u> 22.7 25.7	<i>*</i>		53. 750 285	3		57	7 1326			
2	MER'	74:			197 117 117	6		57 72.7 85.7		New York	57. 74 0 28 9 28 9	3		1 1	7 4 7 1 7 4			
2	MER'	74/12			57 132 132 184	, 6 2,		52 22.7 25.7 77.2			51 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	3			7			
CUI		2 7 1, 28, 22, 22, 22, 22, 22, 22, 22, 22, 22			57 132 132 152 152	2 2 1 1 1 5 6		57 22.7 25.7 79.1	2		51 7 28 28 28 28 28 28 28	3			7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7			
CD2		2 72 1 28 28 28			51 132 184	, 6 2.		57 227 267 79.2	1		51 7%0 2%5 2%5	3			7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7			
CRA		4 74 1.28 1.19.1 1.28 1.19.1 1.29.1 1.19.1 1.19.1 1.19.1			57 132 182 182 182	9 1 45	\mathcal{N}	57 227 257 27,1 1226	2		57 750 750 750 750 750 750 750 750 750 7	7						
		A			57 132 182 182 182 182	2		57 227 257 77:3	2		53. 750 289 289 289	3						
					51]1% 1% 1% 1%	2 2 1 2 1 2 1 2		57 227 257 72.1 1.86			53. 7%9 3%9 3%9 3%9	3		1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1				
					197 1975 1975 1975			57 227 257 79.3 186			53. 7% 59 59 59 59	3						
		2			27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 2			57 22.7 25.7 27.2 2.2 2.7 2.2 2.7 2.2 2.7			73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 7	3						
		2			52 132 132 132 132 132 132 132 132 132 13	2 5		57 227 257 27.1 27.1 27.1 27.1 27.1 27.1 27.1 27.				3						
								57 22.7 25.7 72.3 1.86 				3						
								57 22.7 25.7 7.7.8 1.86 							7 777 777 777 777 777 777 777 777 777			
		742			57 13/ 18/ 18/ 18/ 18/ 18/ 18/ 18/ 19/ 19/ 19/ 19/ 19/ 19/ 19/ 19/ 19/ 19	16 175 175 175 175 175 175 175 175 175 175		57 227 25 77 25 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27			711 740 280 280 280 - 127				2 7 5 1 7 5 1 7 5 2 7 5 2 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7			
		740 7767 7387 7387 7387 7387 7387 7387 7387			52 11/: 18/: 18/: 18/: 18/: 18/: 18/: 18/:	15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 1		52 22.7 25.7 25.7 27.8 3.2,7 3.2,7 3.2,7 3.2,7 5,7			53. 74 00 25 00 20 000 20 00 20 20 00 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 2				2 7 41 7 7 10 7			
		740 7767 7387 7387 7387 7387 7387 7387 7387			51 11/: 19(1) 19(1	2.6 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2.		52 22.7 25.7 29.1 33.7 33.7 21.6 55.2			53.7 74 0 28 9 23 9 23 9 23 7 23 7 23 7 23 7 23 7 23 7 23 7 23 7				7 77327 37327 35.7 35.7 35.7			
		74: 74: 75:27 76: 73:77 73:77 73:77 73:77 73:77 73:77 73:77 73:77 74 74:77 74 74:77 74 74 74 74 74 74 74 74 74 74 74 74 7			31/1 121 121 121 121 121 127 127 127 127 12	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2		52 227 259 273 273 273 273 273 274 274 274			87. 748 4 59 124.7 124.7 1460 1373 14				2 7 7 7 3 2 6 1 9 7 7 7 3 2 6 1 9 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7			
					52 31/: 18/6 21/: 31/2 31/2 31/2 31/2 31/2 31/2 31/2 31/2	2.6 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1		52 227 223 225 225 225 225 233 227 234 237 237 237 237 237 237 237 237 237 237			87. 74 88 99 13.9 13.7 23.7 24.5 23.7 24.5 24.7 24.5 24.7 24.5 24.7 24.5 24.7 24.5 24.7 24.5 24.7 24.5 24.7 24.5 24.7 24.5 24.5 24.5 24.5 24.5 24.5 24.5 24.5				2 7 7 3 6 6 1 7 7 3 6 6 1 7 7 3 6 6 1 7 7 7 8 6 6 1 7 7 7 7 8 6 6 1 7 7 7 7 8 6 6 1 7 7 7 7 8 6 6 1 7 7 7 7 8 6 6 1 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7			
		1742 7742 7742 7742 7742 7742 7742 7742	2 		52 33/; 19/(19/(19/) 33/2 37/7 32/1 37/7 32/1 37/7	1		57 22.7 25.7 29.7 33.7 33.7 27.8 27.2 27.2 27.2 27.2 27.2 27.2 27			52 75 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5				2 7 2 5 1 7 2 5 1 7 2 5 2 7 2 5 2 7 2 5 2 7 2 7 2 7 2 7 2 7 2 7 2 7 2 7 2 7 2 7			

	FIG IV.24	TERCERA	POSICION	
				Ti st
				4
TUBLERTY				0
27°cm			(Company)	
	Letter-		20 8	
	4	1 (1 9 A 1 10		25
			100 100	r •
	5	25	1 (+]	(f
	tes HIT ()		ран I - Р., — I	
ß			- m	78-
A				
B				
ROOR	64 1 1 18	150. 1. 1.		85
- 8		49.44		
			1	
in L	111 128		- A	/#C
NIVEL				
		412 cm		
	CONCENTRACION DE HI	MEDAD	73.2 VOLTS	

PIG IV.25 .25 () () TERCERA POSICION HA 1 11.1.1 ilim. ••••••• 1 . . . -deate 11 de d 4.442 The field ЬÍ 7 bin ---444 114 l, ìŧ ъ. 1 a. 84 lise . daine 1. . <u>)</u> (2-**7**7 110. tini MAS I itir 46 85

26 ţ. I٧ TEAC 1 n Ci 1 1. Ŧ. fit; ΠD 6.000 hi 146 ttilio. Щ., Шŋ 1.1 u. (). H. P Į4 14.13 nipilite (L.P. -94 U MUT anni. ţ, tangg 1 hirten, inter e ţ. 齨 i i i i i i i i 40.00 13th 1.1. <u>ابر:</u> Action Table VARME - 1 . **. .** . e inti ЪF 144 GUAL CDNCENTRACION DE KUMEDAD

ES & VOIT

FIG

Ling . .

TERCERA POSICION

IV.4 COMPARACION DE RESULTADOS.

Haciendo una comparación de los resultados numéricos contra los experimentales tenemos lo siguiente:

 a) El método numérico explica la existencia de convección en el destilador para cada uno de los valores del coeficiente global de transferencia de calor.

b) Las isotermas obtenidas con la solución numérica muestra que el vapor asciende siguiendo las isotermas de mayor temperatura dando evidencia de las corrientes de convección.

c) El modelo matemático al ser resuelto muestra que el efecto de convección predomina sobre la difusión.

EXPERIMENTALMENTE

 a) Las isotermas experimentales muestran que la temperatura disminuye en la dirección de ascenso del vapor.

 b) Las isotermas experimentales muestran la existencia de la convección en la cavidad del destilador.

c) De los datos de la concentración de humedad obtenidos experimentalmente tenemos que la convección tiene mayor influencia cuando la altura de la cubierta es grande; cuando la altura se reduce la difusión tiene más influencia en el funcionamiento del destilador.

De un análisis completo podemos decir que el modelo matemático es capaz de predecir que la convección es el fenómeno importante; y se reafirma con el experimento.

Queda para un trabajo posterior el análisis numérico del destilador variando la altura de la cubierta, pues en este trabajo la altura se varió experimentalmente obteniendo los resultados ya mencionados. Debe también compararse el análisis teórico con los datos experimentales de este trabajo y verificar si el modelo teórico es capaz de explicar el comportamiento del destilador.

86

CAPITULO V CONCLUSIONES

V.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Del análisis de los resultados que se presentan en el trabajo tenemos las siguientes conclusiones.

1.- De la revisión bibliográfica tenemos que hay muy poco trabajo en destilación, por lo que consideramos que puede servir como consulta en el desarrollo de trabajos posteriores.

2.- El modelo matemático de Ortega Zamdio da la posibilidad de crear programas de computadora que sirvan para la aplicación del método numérico empleado para el desarrollo de trabajos posteriores.

3.- El prototipo de destilador solar se puede utilizar para el desarrollo de investigaciones tomando una red de termopares más fina.

4.- El flujo del fluído (vapor de agua) y la transferencia de calor en un destilador se puede aproximar estudiando el flujo en una cavidad con un fluído homogéneo.

5.- El modelo teórico indica que en un destilador cuya altura entre el espejo de agua y la cubierta condensadora es mayor de 0.30m, el transporte de calor y masa es mayormente por convección. 6.- Los resultados numéricos concuerdan con los experimentales para la altura considerada en la simulación numérica y la correspondiente experimental, por lo que podemos decir que el prototipo experimental es adecuado.

7.- La solución numérica del problema predice que en el destilador existe la convección, lo cual también se observó experimentalmente. Esta solución también muestra que la convección pura puede ser el mecanismo importante en el funcionamiento de destiladores cuya altura de la superficie condensadora es mayor de 0.30m.

8.- A pesar de que el experimento se realizó con una red de 45 termopares, los resultados pueden explicar lo observado en el modelo teórico.

9.- De las gráficas de concentración de humedad tenemos que a mayor altura de la cubierta, la concentración de vapor de agua se acumula en la parte alta y centro de la cavidad, esto es debido a la convección del vapor que se lleva a cabo en el destilador. Por otro

87

lado, si la cubierta está más cerca de la superficie de agua la concentración de humedad se distribuye en toda la cavidad del destilador, en este caso la convección es menor predominando la difusión del vapor en el aire dentro de la cavidad.

10.- Los resultados experimentales muestran que un destilador solar funciona mejor cuando la distancia entre la cubierta y la superficie de agua es pequeña (0.30m), debido a que la difusión se efectúa con mayor rapidez que la convección.

11.- En el experimento se encontró que la cantidad de agua destilada que se obtuvo para cada una de las posiciones no varía mucho en promedio, por lo que la convección en la destilación solar se puede aprovechar para destiladores con una altura mayor de 0.30m.

RECOMENDACION: Cada vez que sea utilizado el prototipo experimental se aconseja checar que la resistencia no se halla fundido o roto por el uso continuo que se le dió, checar que tanto la cubierta como el cuerpo del destilador no tengan fugas porque las mediciones no seran confiables.

		el de la companya de la companya de la companya de la companya de la companya de la companya de la companya de	
한 사람들은 물건을 하는 것이다.	BIBLIOGRAFI		
1 SOLAR DISTILATION.	에 이번 바람이 사람이 있		
P.I Cooper.			
Pergamon Press N.Y	1983.		
2 MECANICA DE LOS FL	UIDOS.		
Victor L. Streeter	 The second s	e i e sperio de la dec	
McGraw Hill -1975			
3 COMPUTER SIMULATION	OF THE PERFORMAN	ICE OF A SOLAR	DESALINATION
PLANT.			
Ali M. El-Nashar.			이 같은 것을 물었는 것을 물었다.
Solar Energy Vol.4	4 No.4 -1990,	in a second second second second second second second second second second second second second second second s	le a veragel produce en en en Le la verage
4 MULTI-STAGE, INDIRE	CTLY HEATED SOLAR	R STILL.	
J.L.Fernández and	Norberto Chargoy.		
Solar Energy Vol.4	4 No.4 -1990		
5 DIRECT USE OF SOLAR	ENERGY FOR WATER	R DESLINATION.	
S.M.A.Moustafa and	G.H.Brusewitz.		
Solar Energy Vol.2	2 -1979.		
6 TRANSFERENCIA DE CA	LOR.		
J.P. Holman.			
C.E.C.S.A1986.		an an an an an an an an an an an an an a	n an ann an th
7 NATURAL CONVECTION NON-CONDENSING GAS	IN ENCLOSURES FI	LLED WITH A V	APOUR AND A
J.J. Close and J.	Sheridan		
Int.J.Heat Mass Tr	ansfer Vol.32 No.	5 -1989.	
8 HEAT AND MOISTURE	E TRÂNSFER BY I	NATURAL CONVEC	TION IN A
RECTANGULAR CAVITY	•		
H.K. Wee, R.B. Kee	y and M.J. Cunnir	ngham.	
Int.j. Heat and Ma	ss Transfer Vol.	32 No.9 -1989.	
9 NUMERICAL ANALYSI	S OF GREEN HOUSE	E-TYPE SOLAR ST	ILLWITH HIGH
INCLINATION.			
A. Palacio y J.L	Fernandez.		
Solar Energy Vol.	50 No. 5 -1993.		
10 DISTRIBUCION DEL	FLUJO EN UN DESTI	LADOR SOLAR.	
A.Palacio, A.Castr	ejon y J.LFernand	lez.	
Comunicado del ins	tituto de ingenie	ería U.N.A.M -19	992.
11 TRANSPORT PHENOME	NA.		
R.B. Bird, W.E.Ste	wart and E.N.Ligh	tfoot.	

John Wiley and Sons N.Y. -1960.

- 12.- ANALISIS DE UN DESTILADOR SOLAR EN LA PAZ, BCS J.L. Fernandez and Norberto Chargoy Solar Energy Vol.44 No.4 -1990
- TRANSFERENCIA DE MASA FUNDAMENTOS Y APLICACIONES.
 A.L. Hines y R.N. Maddox.
 Prentice Hall -1987.
- 14.- MODELO Y SIMULACION DE UN DESTILADOR SOLAR CON TEXTIL. Ibrael Ortega Zamudio.
 - Proyecto Terminal en Ingeniería Física. U.A.M.-Azcapotzalco.
- 15.- METODOS NUMERICOS APLICADOS CON SOFTWARE. Shoichiro Nakamura Prentice Hall -1992.
- 16.- APPLIED NUMERICAL METHODS Carnahan - Brice.

J. Wiley and Sons N.Y. -1969

17.- NUMERICAL CALCULATION OF HEAT AND MASS TRANSFER IN SOLAR STILLS.

Jurgen Rheinlander.

Solar Energy Vol.28 No.2 -1982.

- 18.- NUMERICAL METHODS IN LAMINAR AND TURBULENT FLOW. C. Taylor, B.A Schrefler. Pineridge press Grate Britain -1981.
- 19.- STD. METHOD FOR MEASURMENT OF MOIST AIR PROPERTIES, ASHRAE STD, ANSI/ASHRAE. 41.6 -1982.
- 20.- EFECT OF DRIED AND FORCED AIR BUBBLING ON THE PARTIAL PRESURE OF WATER VAPOUR AND THE PERFORMANCE OF SOLAR STILL. G.C.Pandey

Solar Energy Agosto de 1983.

21.- THE STADY-STATE PERFORMANCE OF A SOLAR STILL. JimA. Clark. Solar Energy Vol.44 No.1 1990.

22.- THE PHOENICS REFERENCE MANUAL.
 D.B.Spalding, H.Qin, y J.Ludwing.
 CHAM TR/200, Software Version 1.5 Gran Bretaña - 1989.
 23.- A SOHEM FOR LARGE SCALE DESALINATION OF SEA WATER BY SOLAR

ENERGY.

Anil.K.Rajvanghi.

Solar Energy Vol.24 -1980.

24.- PERFORMANCE OF A SELF-REGULATING SOLAR MULTISTAGE FLASH DESALINATION SYSTEM.

S.M.A.Moustafa, D.I.Jarrar and H.I.El Mansy Solar energy Vol.35 No.4 -1985.

25.- POTENTIAL SOLAR AIR-WATER DISTILATE YIELDS IN AFRICA. Ahmad Y.Ranjha, Richard C.Peraalta and Timothy M.Skergan. Solar energy Vol.36 No.5 -1986.

26.- ENERGIA SOLAR, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES FOTOTERMICAS. J.A. Manrique. Harla -1984.

naria -1964.

27.- CALCULO VECTORIAL.

Marsden y tromba.

Fondo Educativo Interamericano -1981.

28.- TRANSFERENCIA DE MASA FUNDAMENTOS Y APLICACIONES. A.L. Hines y R.N. Maddox. Prentice Hall -1987.