

300618

1



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

**ESCUELA DE QUIMICA**  
**Incorporada a la U.N.A.M.**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR  
PARA PRACTICAS DE LABORATORIO  
DE LA UNIVERSIDAD LA SALLE.**

# **Tesis Profesional**

**Que para obtener el Título de:  
INGENIERO QUIMICO**

**p r e s e n t a**

**Alejandra Elvira Espinoza de los Monteros Reyna**

**México, D. F.**

2002

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

A Papá y Mamá, para quienes el presente trabajo es la culminación de todos esos años de amor y dedicación hacia mí. GRACIAS.

A Armando, Adriana y Annette por su apoyo y comprensión, esperando que este trabajo los impulse a seguir adelante.

A Horacio, quien gracias a su amor y paciencia logró hacerme llegar al final de mi meta más importante.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Al Ing. Antonio Valiente, a quien  
agradezco profundamente el apoyo  
que me brindó al dirigirme el  
presente trabajo.

A la memoria de mis Abuelos,  
digno ejemplo de Ingenieros  
a seguir.

Al Ing. Jaime Toral, de quien  
aprendí que la Ingeniería más  
que tener un poco de ingenio  
es toda una pasión.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## I N D I C E

	<u>Página</u>
INTRODUCCION.	1
I. GENERALIDADES SOBRE SECADO.	6
1. Proceso de Secado.	20
1.1 Período de Velocidad Constante.	22
1.1.A. Factores que Afectan la Velocidad de Secado Constante.	25
1.1.B. Cálculo del Tiempo de Secado.	29
1.2 Período de Velocidad Decreciente.	31
1.2.A. Mecanismos de Secado que Intervienen Durante el Período de Velocidad Decreciente.	31
1.2.A.a. Mecanismo de Difusión.	31
1.2.A.b. Mecanismo por Capilaridad.	37
2. Análisis de Datos de Secado.	40
II. DISEÑO DEL SECADOR.	46
A. Descripción del Equipo de Aire Acondicionado.	49
B. Diseño de la Sección del Secador.	51
C. Instalación del Equipo.	54

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

	<u>Página</u>
III. EXPERIMENTACION.	57
- Datos Experimentales.	58
- Corridas de Datos.	60
IV. ANALISIS DE DATOS.	84
1. Análisis del Período a Régimen Constante.	86
2. Análisis del Período Decreciente.	93
2.A. Analizando Si Controla la Capilaridad.	94
2.B. Analizando Si Controla la Difusión.	97
3. Análisis del Coeficiente de Transferencia de Calor.	101
V. RESULTADOS.	103
1. Tablas y Gráficas de las Corridas Efectuadas.	106
2. Tabla de Resultados del Análisis del Período Constante.	144
3. Tabla de Resultados del Análisis del Período Decreciente.	146
4. Tabla de Resultados del Análisis de los Coeficientes de Transferencia de Calor.	151

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

	<u>Página</u>
VI. DISEÑO DE PRACTICA.	152
1. Objetivos.	153
2. Fundamentos Teóricos.	153
3. Descripción del Equipo.	156
4. Técnica de Operación.	158
5. Datos a Entregar.	159
6. Cuestionario.	159
VII. CONCLUSIONES.	166
VIII. BIBLIOGRAFIA.	172

I N T R O D U C C I O N .



## INTRODUCCION

El presente trabajo está hecho con la finalidad de proporcionar un equipo de secado que facilite el aprendizaje del tema, mediante la obtención de datos reales a partir de la experimentación.

Para realizar este fin, fue necesario el construir un equipo sencillo de operar y que permitiese observar físicamente el proceso de secado.

Así mismo, los materiales utilizados en la experimentación son representativos, ya que en cada uno se controla un mecanismo diferente en la velocidad de secado.

Cabe mencionar que el diseño y construcción del aparato se hizo en base al equipo de aire acondicionado existente con el propósito de aprovechar el material que se tenía en operación.

Además de construir el equipo, se llevaron a cabo una serie de experimentaciones con materiales diversos para poder analizar el comportamiento que presentaban los mismos al secarse.

El presente trabajo se encuentra dividido de la siguiente manera:

## CAPITULO I.

GENERALIDADES DE SECADO, donde se menciona la terminología más usada, los fundamentos teóricos en los cuales se basa el proceso de secado, así como los factores que intervienen y el análisis de los mecanismos que lo controlan.

## CAPITULO II.

DISEÑO DEL EQUIPO USADO, en donde se mencionan las consideraciones para la construcción del equipo, la descripción del equipo ya existente, la construcción de la sección del secador y la instalación del mismo.

## CAPITULO III.

EXPERIMENTACION. En este capítulo se presenta el procedimiento utilizado para la generación de datos, los listados de los mismos obtenidos experimentalmente y las gráficas de variación de peso con respecto al tiempo de cada una de las corridas realizadas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### CAPITULO IV.

ANALISIS DE DATOS. En este capítulo se presenta el desarrollo analítico de los datos obtenidos a fin de establecer las condiciones que rigen tanto en el período de velocidad constante como el de velocidad decreciente. La obtención de humedades crítica y de equilibrio y el análisis de los mecanismos que controlan en cada caso experimental.

#### CAPITULO V.

RESULTADOS. Presentación del análisis de datos por corrida, las curvas de secado obtenidas en cada caso y el análisis comparativo de todas las pruebas tanto en el período de velocidad constante como decreciente.

#### CAPITULO VI.

DISEÑO DE UNA PRACTICA. Objetivos, fundamentos teóricos, técnica de operación, datos solicitados y cuestionario, a fin de facilitar el aprendizaje del proceso de secado mediante la experimentación.

CAPITULO VII.

**CONCLUSIONES.** Comentarios al trabajo presentado y a los resultados obtenidos en comparación a los fundamentos teóricos que rigen el proceso de secado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CAPITULO I.**

**GENERALIDADES SOBRE SECADO.**

## GENERALIDADES SOBRE SECADO

Se denomina operación de secado al proceso por medio del cual se elimina cierta cantidad de humedad, ya sea libre, interna o ligada, de un sólido por medios térmicos. (5)

El proceso de secado puede llevarse a cabo por conducción, en la cual una superficie se calienta por medios externos y se pone en contacto con el producto a secar; por convección, en la cual el aire u otro tipo de gas es calentado y puesto en contacto con el material a secar; o por radiación. (5)

El proceso de secado puede diferenciarse de otros métodos de separación, ya que en este proceso únicamente se eliminan pequeñas cantidades de líquido y el medio principal para realizarlo es con la aplicación de una fuente de energía térmica.

Aún así es necesario especificar la diferencia entre el proceso de secado y la evaporación, ya que en ambos procesos se aplican medios térmicos para la eliminación del líquido.

En el proceso de evaporación, la eliminación del líquido se lleva a cabo hirviendo una solución; la cantidad de líquido evaporado es mucho mayor que en el proceso de secado, así como el tamaño del equipo a utilizar. (1)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la evaporación, el líquido evaporado se remueve como vapor de agua pura. (1)

En el secado se elimina la humedad sin necesidad de hacer hervir todo el producto, o sea que no es necesario fundir el sólido para luego eliminar el líquido, cosa que en muchos casos sería imposible.

En el secado, el agua es eliminada mediante la circulación de aire o algún otro tipo de gas, sobre el material húmedo, a fin de eliminar el vapor de agua. (1)

El líquido que se remueve en el proceso de secado puede encontrarse en la superficie del sólido a secar, ser humedad mecánicamente ligada o humedad químicamente ligada. (27)

Si es humedad mecánicamente ligada, ocupará los espacios intersticiales del sólido y por lo tanto se moverá hacia la superficie por difusión, acción capilar, gradiente de presión, etc. (27)

Si es humedad químicamente ligada, el agua siempre será de hidratación, el calor requerido para eliminar esta humedad será el calor de reacción o de cristalización, además del calor de vaporización. (27)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El proceso de secado puede clasificarse en dos clases:

- A) Secado Directo o Adiabático, en el cual el calor necesario para la evaporación del agua es suministrado por un gas que está en contacto directo con el sólido a secar. (6)
- B) Secado Indirecto o No Adiabático; el calor suministrado para la evaporación lo proporciona una fuente térmica a través de una superficie metálica o por radiación. (6)

En el proceso de secado el manejo del contenido de humedad en un determinado sólido es tal vez la variable más importante a utilizar, por lo que es necesario hacer incapié en las definiciones más usadas para expresar el contenido de humedad.

Contenido de humedad.- El contenido de humedad de un sólido puede expresarse sobre base seca o base húmeda.

Contenido de humedad en base seca, indica el contenido de un sólido mojado como kilogramos de humedad por kilogramos de sólido seco:

$$\text{Porcentaje de Humedad en base seca} = 100X \quad (23)^*$$

La ventaja de usar esta base es que la humedad perdida se puede sacar por diferencia entre la humedad antes y después del secado.

\* La nomenclatura se encuentra al final del capítulo.



Contenido de humedad en base húmeda expresa la humedad en un material como el porcentaje del peso total del sólido húmedo; siendo esta base más inexacta, ya que al irse secando el contenido de humedad baja, así como el peso del cuerpo.

El contenido de humedad en base húmeda se expresa como:

$$(\text{kg humedad/kg sólido húmedo}) \cdot 100$$

$$100X (1+X)$$

$$(23)$$

Humedad en el equilibrio.- Cuando se ponen en contacto un sólido con una determinada cantidad de humedad y aire con una humedad y temperatura dadas, habrá un momento en que ambos alcanzan el equilibrio. (18)

Las condiciones de equilibrio se darán cuando la presión parcial que ejerce la humedad en el sólido sea igual a la presión de vapor que ejerce el agua en el aire. La humedad en el equilibrio es el límite de humedad que puede alcanzar una substancia por contacto con aire a ciertas condiciones de humedad y temperatura. (18)

Para que se alcance el equilibrio en el proceso de secado es necesario que cese la transferencia de materia y de calor en el proceso. Por lo tanto es importante conocer las variables independientes dentro del sistema que controla el proceso; la

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

manera de conocer estas variables es utilizando la regla de las fases:

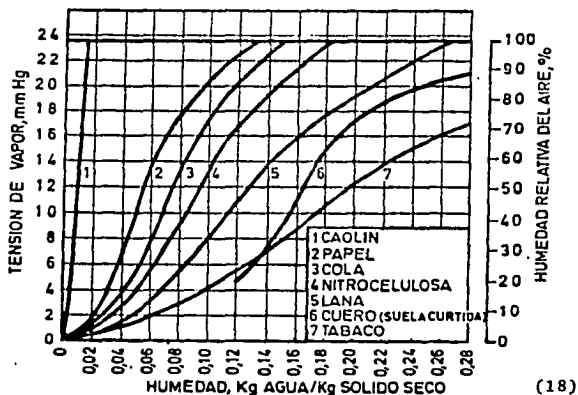
$$\beta = C - P + 2$$

$\beta$  = Número de grados de libertad.

C = Número de componentes.

P = Número de fases.

Si en el proceso de secado existe humedad libre, en el sólido entonces se consideran tres fases: vapor, sólido y líquido y tres componentes de forma  $\beta = 2$ . A presión constante hay una única relación entre temperatura y concentración de agua en la fase de vapor, lo mismo que ocurre en las operaciones de contacto aire-agua. Cuando los sólidos son higroscópicos, es decir, que el cuerpo tienda a absorber agua, entonces no se encontrará agua libre, por lo que en este caso hay dos fases y tres componentes, por lo que los grados de libertad son tres. En este caso las variables son: temperatura, presión y concentraciones de agua en el sólido y en el vapor. Si se fijan la temperatura y la presión, estas concentraciones se pueden representar sobre una curva de equilibrio.



Si la humedad del sólido es mayor que la del aire, éste tenderá a secarse hasta alcanzar el equilibrio. Y si la humedad del cuerpo es menor, éste tenderá a absorber el agua hasta que se alcance el equilibrio. (1)

Así mismo, se denominará sólido húmedo a aquel que ejerza una presión de vapor igual a la que ejerza el vapor de agua a esa temperatura. (18)

Humedad libre.- Es la cantidad de líquido removible a una temperatura y humedad determinadas y depende tanto de la humedad del sólido como de la humedad relativa del aire. (18)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Es la humedad contenida por una substancia en exceso de la humedad en equilibrio:

$$\text{Humedad en equilibrio} = X - X^* \quad (18)$$

**Humedad ligada.** - Es la humedad que posee un sólido que ejerce una presión de vapor menor que la del líquido puro a la misma temperatura. Es la humedad mínima del sólido necesaria para que deje de comportarse como higroscópico. (23)

**Humedad no ligada.** - Es la diferencia que existe entre la humedad del sólido y la humedad ligada. Es la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado. (18)

**Humedad absoluta.** - Es la cantidad de kilogramos de agua que se encuentran en un kilogramo de aire seco. Se puede expresar como la relación entre la presión parcial del agua y la presión parcial del aire:

$$Y = \frac{P_a M_a}{P_b M_b}$$

$$Y = \frac{P_a M_a}{(P_t - P_a) M_b} \quad (18)$$

**Humedad relativa o Saturación relativa.**- Es la relación entre la presión parcial del vapor de agua a una temperatura y la presión de vapor del agua a la misma temperatura. Se expresa normalmente en porcentaje:

$$Y_R = 100 \frac{P_a}{P_s} \quad (18)$$

**Volumen húmedo.**- Es el volumen en metros cúbicos que ocupa un kilogramo de aire seco y el vapor de agua que lo acompaña:

$$V_H = \left( \frac{1}{M_a} + \frac{Y}{M_b} \right) \frac{RT}{P} \quad R = 0.082 \frac{\text{m}^3 \text{ atm}}{\text{kg mol } ^\circ\text{K}} \quad (18)$$

**Temperatura de bulbo seco.**- Es la temperatura de una mezcla aire vapor tomada de manera ordinaria mediante la inmersión de un termómetro en la mezcla. (23)

**Punto de rocío.**- Es la temperatura a la cual una mezcla de aire y vapor de agua debe ser enfriada a humedad constante para alcanzar la saturación. (22)

**Temperatura de bulbo húmedo.**- Es la temperatura que se alcanza cuando una pequeña cantidad de agua se pone en contacto con una

corriente de aire en condiciones adiabáticas. Debido a que la cantidad de líquido es mínima, la temperatura y la humedad del gas no varían. Al ponerse en contacto el líquido con el aire existe un gradiente de humedad (concentraciones) por lo que la cantidad de líquido tiende a difundirse hacia el gas. Esto lo logra evaporándose; y en condiciones adiabáticas la única manera de que pueda hacerlo es tomando el calor de sí mismo, por lo que la temperatura del líquido disminuye. Entonces el calor transferido será el calor latente que viene dado por:

$$(1) \quad q = N a \lambda \quad (1)$$

Al haber ahora un gradiente de temperatura el gas tenderá a cederle calor sensible al líquido, lo cual viene dado como:

$$(2) \quad q = h_g A (T_g - T_w) \quad (1)$$

Por otro lado, la transferencia de masa vendrá dada por la diferencia de concentraciones:

$$(3) \quad N a = K_y A (Y_w - Y_g) \quad (1)$$

Quando se alcance el equilibrio, la velocidad de transferencia

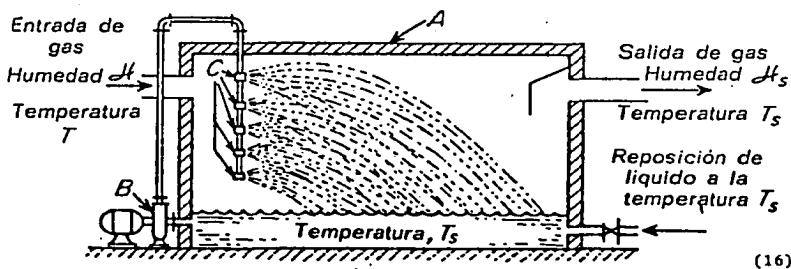
de masa será igual a la transferencia de calor. Substituyendo 3 en 1 e igualando con 2, tenemos:

$$\lambda K_y A (Y_w - Y_g) = h_g A (T_g - T_w)$$

EXPRESADO DE OTRA MANERA:

$$\frac{Y - Y_w}{T - T_w} = \frac{- h_g}{K_y \lambda w}$$

Temperatura de saturación adiabática.- Es la temperatura alcanzada en estado estacionario cuando una gran cantidad de agua se pone en contacto con el gas en condiciones adiabáticas. (18)



(16)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Haciendo un balance de energía:

$$H1 = CH_1 (T1 - T_0) + Y_1 \lambda_0 \quad \text{Entalpía aire entrante}$$

$$H2 = CH_s (T_s - T_0) + Y_s \lambda_0 \quad \text{Entalpía aire saliente}$$

en condiciones adiabáticas:

$$H1 = H2$$

$$CH1 (T1 - T_0) + Y_1 \lambda_0 = CH_s (T_s - T_0) + Y_s \lambda_0$$

si:  $T_0 = 0^\circ\text{C}$  y  $T_0 = T_s$

$$CH1 (T1 - T_s) + Y1 \lambda_s = CH_s (T_s - T_s) + Y_s \lambda_s$$

reacomodando:

$$(T1 - T_s) = \frac{\lambda_s}{CH1} (Y_s - Y1) \quad (17)$$

En el caso del sistema aire agua se vió que tanto para la temperatura de bulbo húmedo como la temperatura de saturación adiabática, la pendiente venía dada por la misma ecuación:

$$\frac{hg}{Ky} = Cs \quad (23)$$



o sea que la relación entre el coeficiente de transferencia de masa y el de calor es igual al calor húmedo:

$$\begin{array}{l} \text{Relación} \\ \text{de Lewis} \end{array} \quad \frac{hg}{KyCs} = 1$$

a esto se le denomina relación de Lewis. (23)

Considerando en base a la analogía de Colburn que el coeficiente de transferencia de calor depende del número de Reynolds y del número de Prandt:

$$\frac{hg}{CpG} = b Re^n Pr^{-m} \quad (17)$$

y que el coeficiente de transferencia de masa depende del número de Reynolds y del número de Schmidt:

$$\frac{\bar{M} Ky}{G} = b Re^n Sc^{-m} \quad (17)$$

De donde  $\bar{M}$  es el peso molecular promedio de la corriente gaseosa y  $b$ ,  $n$  y  $m$  son constantes.

Relacionándolos entre sí para obtener la relación psicrométrica, se tiene:

$$\frac{hg}{CpKy\bar{M}} = \frac{b Re^n Pr^{-m}}{b Re^n Sc^{-m}}$$

(17)

reacomodando:

$$\frac{h_g}{C_p K_y} = \frac{\bar{M} Sc^m}{Pr^m} \quad (17)$$

Para que la ecuación sea exacta se encontró de acuerdo a la analogía de Chilton-Colburn el valor para  $m$  es de  $2/3$ .

Para gases, el valor de  $Sc$  y del  $Pr$  tiende a la unidad, por lo tanto  $Sc/Pr = 1$

$$\frac{h_g}{K_y} = Cp\bar{M} \quad (17)$$

Para el caso del agua en el aire, el valor del  $Cp$  es igual a 0.24, por lo que:

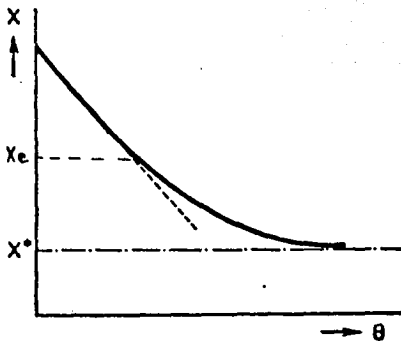
$$\frac{h_g}{ky\bar{M}} = 0.24 \quad (17)$$

Para líquidos orgánicos en el aire, los valores de la relación psicométrica se encuentran generalmente entre 0.4 y 0.5.

## 1. PROCESO DE SECADO

Al secarse un sólido experimentalmente, los datos obtenidos son casi siempre la relación obtenida del contenido de humedad como función del tiempo bajo condiciones constantes de secado. Se denomina condiciones constantes de secado cuando las variables externas como son la velocidad del aire, temperatura, humedad del aire y presión, se mantienen fijas dentro de un cierto intervalo. (19)

Al graficar el contenido de humedad de un sólido frente al tiempo se obtiene una curva que representa el caso general cuando un sólido húmedo pierde humedad.



(18)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En esta curva puede notarse que la humedad del sólido disminuye linealmente con el tiempo o sea que la velocidad de secado permanece constante hasta que se alcanza la humedad crítica; en este momento, la velocidad de secado empieza a disminuir hasta que alcanza la humedad en el equilibrio, donde ya no hay indicio de que exista nada de humedad libre. (18)

Se puede considerar que el ciclo de secado pasa por tres etapas:

- a) Antes de que ocurra la evaporación del líquido, es necesario añadir calor sensible para que se alcancen las condiciones de operación dadas.
- b) Después de alcanzarse las condiciones de operación, la evaporación se lleva a cabo a una determinada velocidad, la cual está en función de la cantidad de humedad a eliminar pero que se mantiene constante hasta llegar a un cierto límite.
- c) En un determinado punto, la humedad crítica se alcanza y la velocidad de secado disminuye.

Con los datos obtenidos para la construcción de la curva típica de secado (velocidad de secado contra tiempo), pueden notarse con mayor facilidad dos períodos principales: El de velocidad constante y el de velocidad decreciente.

### PERIODO DE VELOCIDAD CONSTANTE

El período de velocidad constante inicia con el contenido de humedad libre y termina cuando se alcanza el contenido de humedad crítica. (18)

La velocidad de secado es la variación de la humedad por unidad de tiempo:

$$W = \frac{S}{A} \frac{-dX}{d\theta} \quad (18)$$

La velocidad de secado en este período es esencialmente independiente del sólido y es equivalente a la velocidad de evaporación a las mismas condiciones del líquido puro. (19)

La velocidad de secado constante es proporcional a la diferencia entre la presión de vapor del líquido que moja el sólido y la presión de vapor que ejerce la humedad del aire.

En este período la temperatura permanece constante en la superficie del sólido, además de que en ausencia de otros efectos caloríficos es casi la temperatura de bulbo húmedo. (17) Pero en el caso de que el calor es suministrado a la superficie sea también por conducción o radiación, entonces la temperatura de la superficie se encontrará entre la temperatura del aire y la temperatura

de bulbo húmedo, así mismo la velocidad de secado será mucho mayor pero constante. Para condiciones adiabáticas, las velocidades de transferencia de masa y de calor se pueden expresar como: (1)

$$W = K_g A (p_i - p_g)$$

$$W = K_y (Y_s - Y) A$$

y

$$Q = h_g A (T_g - T_i)$$

donde:

W = velocidad de secado	Kgmol/hr
K <sub>g</sub> = coeficiente de transferencia de masa	Kgmol/hr m <sup>2</sup> (atm)
K <sub>y</sub> = coeficiente de transferencia de masa	Kgmol/m <sup>2</sup> hr (Kg A/Kg B)
T <sub>g</sub> = temperatura del medio	°C
T <sub>i</sub> = temperatura de la superficie húmeda	°C
h <sub>g</sub> = coeficiente de transferencia de calor	cal/hr m <sup>2</sup> °C
A = área de la superficie húmeda en contacto con el aire	m <sup>2</sup>
p <sub>i</sub> = presión parcial del vapor de agua en la fase gas en la interfase	atm
Q = velocidad de transferencia de calor	cal/hr

$p_g$ = presión parcial del vapor de agua en fase gas en el medio	atm
$Y_s$ = humedad de saturación a la temperatura superficial del líquido	Kg A/Kg B
$Y$ = humedad superficial del líquido	Kg A/Kg B

Cuando se alcanza el equilibrio entre la transferencia de masa y de calor se puede expresar la velocidad constante de secado por unidad de área de superficie húmeda como:

$$dw/Ade = h (T_g - T_i) = 18Kg (p_i - p_g)$$

donde:

$dw/Ade$ = velocidad secado por unidad de área	Kg/hr $m^2$
$h$ = coeficiente global de transferencia de calor	Kcal/hr $m^2$ °C
$\lambda$ = calor latente de vaporización del agua a $t_i$	cal/Kg

De esto puede deducirse que la velocidad de secado se ve afectada por:

- 1) El coeficiente de transferencia tanto de calor como de masa.
- 2) El área expuesta a secar.
- 3) La diferencia entre la temperatura o la humedad entre la corriente de aire y la superficie húmeda de sólido.

A. FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD DE SECADO CONSTANTE

Efecto de la temperatura del gas.- Al aumentar la temperatura del gas, aumenta la diferencia entre la temperatura del gas y la temperatura del sólido y por lo tanto la fuerza impulsora tiende a aumentar, aumentando así la velocidad de secado. (1) (18)

Efecto de la humedad.- Al aumentar la humedad del aire disminuye la fuerza impulsora, ya que el gradiente existente tiende a ser menor. (1) (18)

Efecto del espesor del sólido.- Conforme aumenta el espesor del sólido disminuye el área de contacto por unidad de volumen y por lo tanto la velocidad de secado disminuye. (18)



Efecto de la velocidad del aire.- El aumento de la velocidad del aire afectará principalmente a los coeficientes de transferencia tanto de masa como de calor y considerando en este último sólo transferencia por convección.

Para flujo paralelo a la superficie y valores de gasto entre 2500 y 30000 kg/hr m<sup>2</sup> :

$$h_c = 0.0175 G^{0.8} \quad \text{Kcal/hr m}^2 \text{ C} \quad (17)$$

Para flujo perpendicular a la superficie con valores de gasto de aire entre 4000 y 20000 kg/m<sup>2</sup> hr se puede emplear:

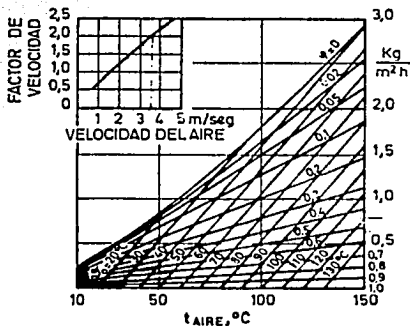
$$h_c = G^{0.37} \quad \text{kcal/hr m}^2 \text{ C} \quad (17)$$

En caso de que la radiación o la conducción sean significativas, entonces el efecto de la velocidad del aire será poco importante.

Para calcular con mayor exactitud la velocidad de secado en función de la temperatura del aire y la temperatura de bulbo húmedo, Shepherd construyó una gráfica aplicable para el período constante; donde la variación de la velocidad de secado con la velocidad del aire se calcula multiplicando la velocidad de secado por el factor de velocidad correspondiente leído en el diagrama.

(18) -

La gráfica se construyó a partir de calcular experimentalmente tanto los coeficientes de transferencia de masa como de calor y calcular la velocidad de secado para cada caso.



(18)

La gráfica de Shepherd sólo considera la transferencia de calor por convección. En caso de haber otro tipo de transferencia de calor, tal como conducción y radiación, el valor de la velocidad de secado obtenido por medio de la gráfica, hay que corregirlo por el factor:

$$\text{factor} = (hc + hR) / hc$$

Así mismo, si la transmisión de calor se efectúa por convección y radiación, el coeficiente de transferencia de calor vendría dado por: (18)

$$U = hc + hr$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En el caso de secadores de bandejas a la superficie de las bandejas les llega calor por convección del aire, por radiación del plato superior y por conducción a través del material de las bandejas. (18)

Considerando que  $h_c$  y  $h_r$  son los mismos, se tiene que: (20)

$$(1) \quad U = h_c + h_r + h_z$$

$$(2) \quad h_z = \left( \frac{1}{\frac{1}{hUA} + \frac{L}{KA}} \right)$$

reacomodando:

$$(2) \quad h_z = \left( \frac{A}{\frac{1}{hU} + \frac{L}{K}} \right)$$

$$(3) \quad hU = h_c + h_r$$

$A = 1$  por ser unitaria el área.

Sustituyendo (3) y (2) en (1):

$$U = h_c + h_r + \left( \frac{1}{\frac{1}{h_c+h_r} + \frac{L}{K}} \right)$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

reacomodando y factorizando se llega a:

$$U = (hc+hr) \left( 1 + \frac{1}{1 + \frac{L}{K} (hc+hr)} \right)$$

siendo L el espesor del material húmedo.

K la conductividad calorífica.

#### B. CALCULO DEL TIEMPO DE SECADO

El tiempo de secado en el período constante puede calcularse a partir de la ecuación de velocidad de secado:

$$W = \frac{S}{A} \left( \frac{-dx}{d\theta} \right)$$

reacomodando:

$$d\theta = \frac{S}{AW} - dx$$

integrando desde la humedad inicial hasta la humedad crítica después de la cual la velocidad de secado no es constante: (18)

Se tiene:

$$\theta = \frac{S}{A} \frac{X_i - X_c}{W}$$

$$\text{Si: } W = \frac{hc}{\lambda} (T - T_i) \quad \text{ó } W = kY (Y - Y_i) \quad (18)$$

entonces:

$$\theta = \frac{S}{AKy} \left( \frac{X_i - X_c}{Y - Y_i} \right)$$

$$\text{ó } \theta = \frac{S}{Ahc} \frac{X_i - X_c}{T - T_i}$$

El tiempo total de secado será la suma de los tiempos de secado tanto del período constante como del período decreciente:

$$\theta = \theta_c + \theta_d$$

## PERIODO DE VELOCIDAD DECRECIENTE

### A. MECANISMOS DE SECADO QUE INTERVIENEN DURANTE EL PERIODO DE VELOCIDAD DECRECIENTE

Después de alcanzarse la humedad crítica, la velocidad de secado empieza a descender ya que ahora se tiene que secar el interior del sólido; esta velocidad depende del mecanismo con el cual se seque el sólido.

Estos mecanismos pueden ser dos:

- a) Secado por difusión.
- b) Secado por capilaridad.

#### a) MECANISMO DE DIFUSION

La teoría de difusión consiste en que la difusión de la humedad se lleva a cabo cuando hay una diferencia de concentración entre el fondo del sólido y la superficie, lo cual crea un gradiente para que la humedad se difunda. (10)

Como la velocidad de evaporación en la superficie es bastante rápida y la resistencia es baja comparada con la velocidad de

difusión a través del sólido en el período decreciente, el contenido de humedad en la superficie se encuentra en equilibrio.

Como la difusividad varía conforme varía el gradiente de humedades, es conveniente usar valores promedios de difusividad dentro de los intervalos usados de concentraciones. (10)

Las humedades de equilibrio alcanzadas con este mecanismo de secado son generalmente altas, lo que quiere decir que queda gran cantidad de agua íntimamente ligada a la estructura del sólido y que su presión de vapor es bastante reducida.

Este tipo de mecanismo se presenta en sólidos no porosos como pueden ser jabones, gelatinas, pegamentos, pastas, cereales, extracto de soya, etc. (10)

El fenómeno de difusión también se presenta cuando se secan las últimas porciones de humedad en materiales como barro, harina, madera, piel, papel y textiles. (10)

Para el mecanismo de difusión la velocidad de secado durante el período decreciente puede calcularse usando la segunda ley de Fick, considerando que sólo hubiera difusión en el eje X y manejando humedades en lugar de concentraciones: (9)

$$\frac{X}{\theta} = \frac{\delta X}{\delta x^2} D$$

$D$  = Difusividad del líquido en el sólido  $m^2/hr.$

$X$  = Humedad al tiempo  $\theta$

Para la integración de esta ecuación se requiere que sean escogidas las características de las condiciones frontera y considerando que la difusividad fuese constante que ocurriese el secado por un sólo lado del sólido y que la humedad este distribuida uniformemente, Newman y Sherwood obtuvieron la siguiente ecuación: (9) (10)

$$\frac{X-X_e}{X_c-X_e} = \frac{8}{\pi^2} \left\{ e^{-D\pi^2\theta/\frac{1}{2}d^2} + \frac{1}{9} e^{-9D\pi^2\theta/\frac{1}{2}d^2} + \frac{1}{25} e^{-25D\pi^2\theta/\frac{1}{2}d^2} + \dots \right\}$$

donde:  $d$  = espesor del sólido  
 $X_e$  = humedad de equilibrio  
 $X$  = humedad al tiempo  $\theta$   
 $X_c$  = humedad crítica

Para largos períodos de secado la ecuación se reduce a:

$$\frac{X}{X_1} = \frac{8}{\pi^2} e^{-D\pi^2\theta/(1/2d)^2}$$



diferenciando y resolviendo para el tiempo de secado:

$$\theta = \frac{4d^2}{\pi^2 D_{1s}} \ln \frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$$

De aquí se deduce que:

El tiempo varía directamente con el cuadrado del espesor del sólido. Que la velocidad de secado es directamente proporcional a la humedad libre y a la difusividad del líquido.

Para calcular más fácilmente las ecuaciones de estado estacionario, Gurney-Lurie prepararon gráficas para geométricos simples, considerando en todos los casos: (9)

1. La difusividad es constante.
2. El cuerpo tiene una concentración inicial constante.
3. La superficie está a condiciones nuevas constantes durante el tiempo de secado.

De la gráfica se pueden conocer el significado tanto de las pendientes graficadas, así como del de la absisa y la coordenada: (9)

$$Y = \frac{X_s - X}{X_s - X_i} = \frac{Ca_1 - Ca}{Ca_1 - Ca_0}$$

$$n = \frac{x}{x_1}$$

$$x = \frac{D_0 \theta}{x_1^2}$$

$$m = \frac{D_0}{Kc x_1}$$

de donde se ve:

$k_c$  = coeficiente de transferencia de masa.

$\theta$  = tiempo.

$D_{s1}$  = difusividad.

$x_1$  = distancia máxima que tiene que atravesar la masa.

$x$  = distancia del centro a cualquier punto.

$C_a$  = concentración a tiempo  $\theta$  y posición  $x$ .

$C_{a1}$  = concentración en la superficie.

$C_{a0}$  = concentración inicial en la posición  $x$ .

Las cartas se dan en una dimensión pero pueden combinarse para dar soluciones en dos o tres dimensiones.

Para un paralelepípedo

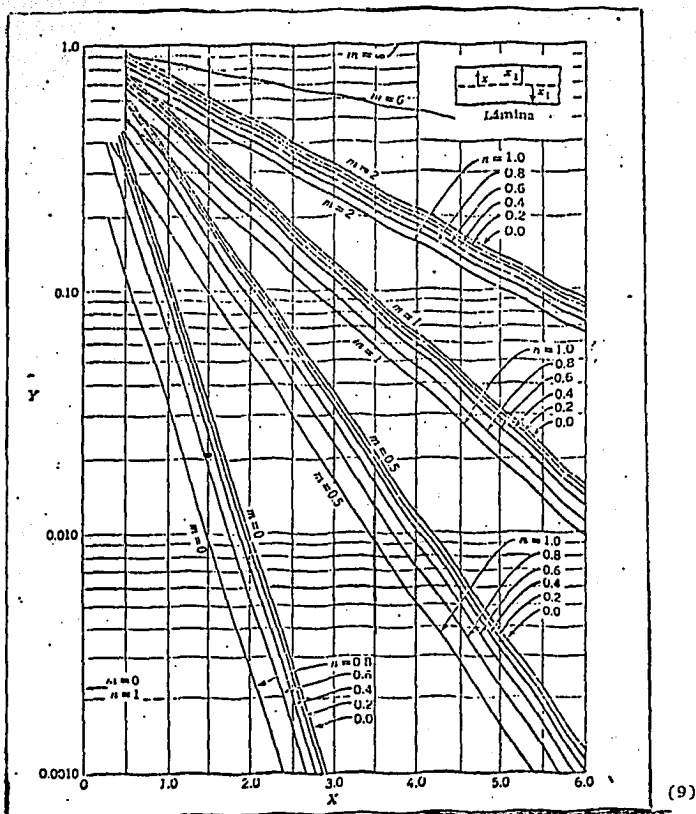
$$y = Y_x Y_y Y_z$$

Para un cilindro

$$Y = Y_{cil} Y_a$$

Para una barra rectangular  
con los extremos sellados

$$Y = Y_a Y_b$$



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

b) MECANISMO POR CAPILARIDAD

El mecanismo de capilaridad se aplica en aquellos sólidos granulados o cristalinos que guardan humedad en los intersticios entre partículas y que por lo tanto poseen una estructura abierta, formada por poros y conectados entre sí por canales de diversos tamaños. (25)

La teoría asume que el movimiento del líquido a través del sólido es debido a una fuerza neta, resultado de las diferencias de cargas hidrostáticas y de la tensión superficial. (10)

El líquido tenderá a subir por capilaridad a la superficie, donde después se evaporará el líquido. (10)

Conforme el líquido se evapora se forma un menisco a través de cada poro en las profundidades del sólido y eso origina la creación de las fuerzas capilares, las cuales a su vez originan el flujo del líquido a través de los poros. (9)

Los poros pequeños desarrollan una fuerza mayor que los poros grandes.

Al principio, debido a la gran cantidad de humedad, se puede mantener una capa continua de líquido a través de los poros, pero conforme se va secando el sólido, el aire va ocupando los

poros vacíos y la cantidad de agua para mantener las capas continuas es tan pequeña que la velocidad de secado desciende repentinamente y ocurre un segundo período decreciente en la velocidad de secado. (10)

Este fenómeno de capilaridad se presenta en sólidos como arena, minerales, pigmentos, etc. (9)

El cálculo de la velocidad decreciente para el mecanismo de capilaridad puede efectuarse de la siguiente manera: (25)

En flujo capilar, la ecuación de secado viene dada por:

$$\frac{dx}{d\theta} = -K_1 (X - X_e)$$

donde  $K_1$  = función del período constante y reacomodando:

$$K_1 = \frac{(dx/d\theta) C}{X_c - X_e}$$

Pero el período constante:

$$W = \frac{S}{A} \frac{(-dx)}{d\theta} = \frac{-hc}{\lambda} (T - T_i)$$

sustituyendo:

$$K1 = \frac{-hc(T-T_i) A}{S (X_c - X_e) \lambda}$$

pero:  $\frac{S}{A} = \rho_s d$

$\rho_s$  = densidad aparente del sólido.

$d$  = profundidad del lecho.

por lo tanto:

$$(dx/d\theta)d = \frac{-hc (t-t_i) (X-X_e)}{\lambda \rho_s d (X_c - X_e)}$$

integrando:

$$\theta d = \frac{\rho_s d (X_c - X_e)}{hc (t - T_i)} \ln \frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$$

De donde se concluye que en este tipo de mecanismo, el tiempo de secado varía inversamente con el espesor del sólido.

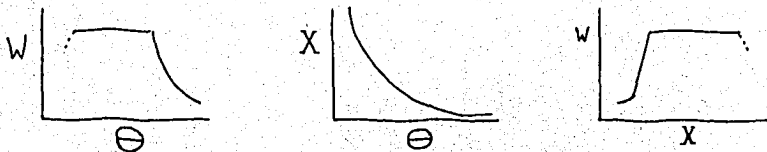
## 2. ANALISIS DE DATOS DE SECADO

El generar datos experimentales en una operación de secado y poder analizarlos, tiene como objetivos principales los siguientes: (23)

- a) Seleccionar el tipo de secado adecuado para que se lleve a cabo el secado.
- b) Generar datos experimentales.
- c) Obtener eficiencias de los secadores experimentales o existentes.
- d) Estudiar los efectos de las variables sobre el producto a secar.
- e) Poder Predecir el tipo de mecanismo de secado que rige para cada tipo de material a secar.

para realizar esto, es necesario, a partir de los datos obtenidos, graficarlos y dependiendo de la curva de secado resultante, analizar el proceso específico de secado que lleva cada material.

Las curvas que se pueden obtener son:



(18)

Para poder ver qué mecanismo controla en el período decreciente, es necesario graficar  $\log \frac{X-X_e}{X_c-X_e}$  contra  $\theta$  en papel semilogarítmico; si se obtiene una línea recta, entonces se puede suponer que controla, ya sea el mecanismo de difusión o el mecanismo de capilaridad. Así mismo, si en lugar de resultar una

recta resulta algún tipo de curva, esto quiere decir que no sólo controla un sólo mecanismo, sino la mezcla de los dos mecanismos y entonces se complica el cálculo del tiempo de secado y será necesario encontrar la manera adecuada para cada tipo de material que se comporte de esa manera.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Considerando que se hubiese obtenido una línea recta, entonces se pueden aplicar las ecuaciones siguientes:

$$\theta = \frac{4d^2}{Q_1 \pi T^2} \ln \frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$$

6:

$$\theta = \rho_s d \frac{X_c - X_e}{h_c (t - t_i)} \ln \frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$$

si se considera que:

$$\frac{dx}{d\theta} = K_1 (X - X_e) \quad \text{para flujo capilar}$$

De donde:

$$K_1 = \frac{-(dx/d\theta)}{X_c - X_e}$$

El valor obtenido de  $K_1$  para un determinado punto se relaciona con la pendiente obtenida de la recta graficada; en caso de que ambas coincidan, se dice que controla el mecanismo de capilaridad.

Si no coincide, entonces el mecanismo que controla es la difusión y la pendiente de la línea deberá ser:  $\frac{\pi^2 Q_1}{4d^2}$

De donde será necesario conocer el valor de  $\bar{d}_1$  promedio, para lo cual se grafican  $\frac{Q_1 \theta}{d^2}$  contra  $\frac{X-X_c}{X_c-X_e}$ .

Los valores teóricos son obtenidos de las gráficas de Gurney Lurie, y son los siguientes:

$Q_1 \theta / d^2$	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	1.0
$\frac{X - X_c}{X_c - X_e}$	0.84	0.75	0.692	0.563	0.496	0.387	0.236	0.069

Así mismo, se procede a tabular los valores que correspondan para  $\frac{X-X_c}{X_c-X_e}$ ,  $\theta$ ,  $\frac{Q_1 \theta}{d^2}$ , así como  $\theta/d^2$ , para obtener así el valor de la  $\bar{d}_1$  promedio, el cual se calcula como:

$$\bar{d}_1 \text{ prom} = \frac{Q_1 \theta / d^2}{\theta / d^2} \begin{matrix} \text{teórica} \\ \text{experimental} \end{matrix}$$

el cual, para que sea constante deben de escogerse al tabular, valores de  $\frac{X-X_c}{X_c-X_e}$  menores a 0.6.

VARIABLES

A	-	Area
Cs	-	Calor Húmedo
Cp	-	Capacidad Calorífica
CH1	-	Capacidad Calorífica del Aire de Entrada
CHs	-	Capacidad Calorífica del Aire Saliente
G	-	Gasto de Aire
h	-	Coefficiente de Transferencia de Calor
H	-	Entalpia
Ky	-	Coefficiente de Transferencia de Masa
M	-	Peso Molecular
Na	-	Velocidad de Secado
P	-	Presión
Ps	-	Presión de Saturación
q	-	Velocidad de Transferencia de Calor
S	-	Peso del Sólido Seco
T	-	Temperatura
U	-	Coefficiente Global de Transferencia de Calor
VH	-	Volumen Húmedo
W	-	Velocidad de Secado
X	-	Humedad
X*	-	Humedad de Equilibrio

θ	-	Tiempo
Xe	-	Humedad de Equilibrio
Y	-	Humedad Absoluta
Yr	-	Humedad Relativa
	-	Calor Latente

#### SUBINDICES

c	-	Convección
R	-	Radiación
Z	-	
1	-	Entrada
2	-	Salida
a	-	Aire
b	-	Agua
g	-	Gas
o	-	Condiciones de Referencia
s	-	Saturación
w	-	Bulbo Húmedo
i	-	Inicial
c	-	Critica
d	-	Decreciente

**CAPITULO II.****DISEÑO DEL SECADOR.**

### DISEÑO DEL SECADOR

En el diseño del secador para uso de laboratorio, se pensó en la construcción de una unidad en la cual se pudieran manejar todas las variables independientes y de esta manera ver la influencia de las mismas en el proceso de secado.

Las variables a controlar serían:

- Gasto del Aire Entrante.
- Temperatura del Aire Entrante.
- Humedad del Aire Entrante.

Se pensó, además, en un secador de chrolas el cual sería más práctico y manejable.

En el caso del Gasto del Aire Entrante, se pensó en modificar la cantidad de aire entrante al secador por medio de un ventilador, el cual giraría a mayor o menor velocidad controlado mediante un reostato.

Así mismo, en el caso de la temperatura de aire entrante, ésta podía ser alta o baja. En el caso de que fuese temperatura alta, se podría suministrar calor al aire por medio de un sistema de resistencias o por medio de vapor, el cual a su vez humidificaría el aire. En el caso de que se tuviese que enfriar

el aire, se pensó en utilizar un sistema de refrigeración con algún tipo de refrigerante, o utilizar agua helada la cual a su vez podrá ser enfriada en otro sistema de refrigeración.

Por último, se podría Humidificar el Aire Entrante por medio de espreas durante el paso del aire o humidificar con vapor de agua, el cual a su vez calentaría un poco el aire.

El conseguir todo este equipo representaba un costo muy elevado y un tiempo muy largo en la construcción del mismo. Siendo además una de las partes que conformarían todo el secador, por lo que se buscó una alternativa más sencilla que fue la siguiente:

En el laboratorio de Ingeniería se cuenta con el equipo experimental de aire acondicionado, en el cual todos los mecanismos de control de los variables independientes vienen ya integrados, por lo que se pensó en adaptar un equipo sencillo de secado a la unidad de aire acondicionado como un accesorio más, el cual no interfiriera con la función del equipo en sí y que sí nos representara una ayuda cuando se quisiese utilizar el aparato de secado.

#### A. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO

El equipo es un equipo autónomo, el cual sólo precisa de energía eléctrica y agua para su funcionamiento. (24)

El equipo se encuentra dividido en dos secciones principales (ver diagrama): Sistema de Aire y Sistema Refrigerante. (Figura 1)

El Sistema de Aire consta de las siguientes partes:

1. Ventilador y mando de velocidad, zona A.
2. Calentadores de aire en zona B y F.
3. Humidificación por vapor, zona C.
4. Sección de medida del caudal del aire, zona G.

El Sistema de Refrigerante:

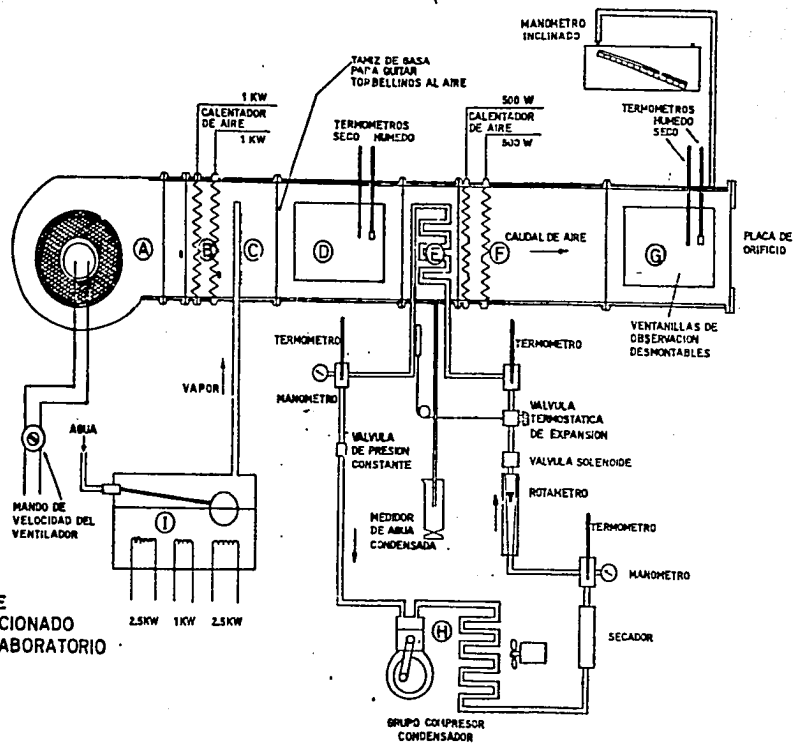
1. Unidad compresor condensador.
2. Dehumidificación evaporador del refrigerante con tubo de extracción de precipitado Zona E.
3. Mandos e instrumentación.

Por otro lado, el control de todos los elementos viene dado por interruptores con corriente monofásicos, tomada de las tres fases y distribuida de la siguiente manera:



TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

UNIDAD  
DE AIRE  
ACONDICIONADO  
PARA LABORATORIO



(FIGURA 1)

419-1

- 1a. FASE L-1 calentador de agua de 2 kw. y calentador de aire de 1 kw.
- 2a. FASE 1-2 calentador de agua de 2 kw. y calentador de aire de 1 kw.
- 3a. FASE 1-3 calentador de agua de 2 kw. calentadores de aire de 500 watts, unidad condensador, compresor, válvula solenoide y soplante.

Cada circuito consta con un interruptor y un fusible de 15 amperes para los calentadores de agua y de 10 amperes para los demás circuitos.

Dependiendo de las condiciones que uno requiere se podrán accionar uno, dos o todos los interruptores.

El sistema de refrigeración actúa con freon 12 y se encuentra provisto de la instrumentación necesaria para su control como son manómetros, rotámetro, etc.

## B. DISEÑO DE LA SECCION DEL SECADOR

Como el equipo a construir debe de adaptarse a la unidad de aire acondicionado, es necesario que se acople al equipo existente, por lo que las dimensiones, el alto y ancho del mismo, deberá coincidir con las medidas del ducto. Así mismo deberá ser restricción del diseño el alto del soporte, ya que este deberá coincidir con la altura del soporte existente.

Bajo estas restricciones, la construcción del equipo queda simplificada de manera específica.

En cuanto a las posibles partes a diseñar, se encontrará las charolas a utilizar, el número de ellas, así como el soporte de las mismas; el largo del ducto adicional, la puerta del mismo y la balanza a utilizar.

Se acondicionó un secador con un ducto de 27 x 27 cms. y un largo de 45 cms., con un corte para la puerta de 25 x 15 cms., con la finalidad de poder introducir y sacar las charolas sin ninguna dificultad; todo el ducto fue cubierto por una capa de anticorrosivo y una capa de pintura para evitar la corrosión del equipo.

De la misma manera se construyó la mesa soporte del secador, considerando, como limitante, el tener una altura de 79.5 cms., equivalente a la distancia que hay desde el piso hasta el inicio del ducto.

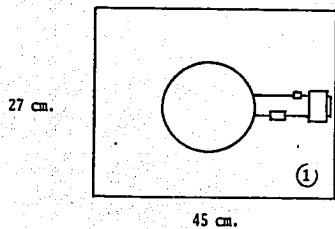
Se construyó un secador de 3 charolas de aluminio con dimensiones de 20 x 20 cms. x 1 cm., en un armazón de alambre, con la finalidad que el sólo equipo no representara un peso mayor a 1 kg. y evitar así la corrosión de las charolas, debido a la humedad con la cual se estuviese trabajando. (Figura 2)

Se cuenta además con una balanza granataria con capacidad de 5 kilos, la cual se encuentra sujetando el armazón de la charola por medio de un alambre, el cual está conectado directamente a la relación de la balanza, por lo cual no fue necesario hacer ninguna modificación a la misma.

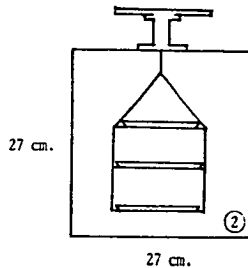
Por otra parte, se construyó el ducto con una puerta lateral, la cual permitirá la entrada y salida de las charolas con las muestras a secar. La puerta es de resina acrílica transparente con la finalidad de observar el fenómeno de secado a través de ella y evitar así que se tire o vuele el material a tratar, lo cual dará lecturas erróneas en el secador.

SECCION DEL SECADOR

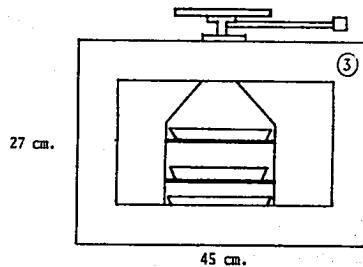
Vista de Planta



Corte Lateral



Vista Frontal



- 1. BALANZA
- 2. CHAROLA
- 3. PUERTA DE ACRILICO

(FIGURA 2)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### C. INSTALACION DEL EQUIPO

Para la instalación del equipo fue necesario retirar del equipo de aire acondicionado ya existente el ducto terminal, en el cual se encuentra instalada una placa de orificio, la cual determina el gasto de aire a utilizar.

Posteriormente, entre el ducto terminal y el equipo de aire acondicionado se procedió a instalar el equipo por medio de tornillos sujetos en las soleras que tenía el ducto ya considerados. Para evitar las posibles fugas de aire se utilizó como empaque una tira de corcho la cual se colocó en los dos extremos del secador.

Una vez instalado el secador se fijó además la base soporte con la finalidad de que el peso del ducto de secado y el ducto terminal se repartiera en la misma evitando así que se llegase a voltear o caer el equipo. (Figura 3)

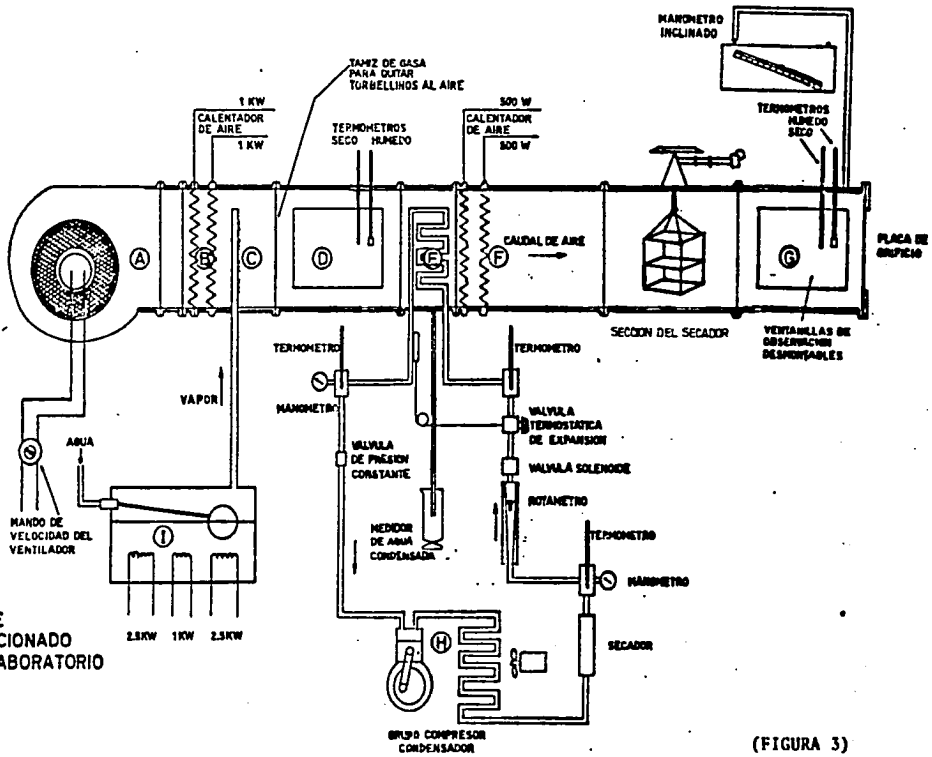
De esta manera el equipo de secado quedó instalado sin interferir con la función original que tiene el equipo de aire acondicionado mencionado anteriormente.

Para el funcionamiento del equipo es necesario además la instalación de dos termómetros de bulbo húmedo y seco a la entrada

y otros dos al final para poder así conocer las condiciones  
iniciales del aire y las condiciones finales del mismo.

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

UNIDAD  
DE AIRE  
ACONDICIONADO  
PARA LABORATORIO



(FIGURA 3)



**CAPITULO III.****EXPERIMENTACION**

## EXPERIMENTACION

### DATOS EXPERIMENTALES:

Los datos experimentales consistieron en la obtención de las variaciones de peso a determinados intervalos durante el tiempo total que tarda la muestra a tratar en secarse totalmente, así como la lectura de las temperaturas inicial y final que predominaron en el intervalo de secado y la lectura de la caída de presión.

Para la experimentación se consideraron tres materiales representativos que fueron arena de fundición, aserrín y chaquira.

En la mayoría de los casos se suministró la misma cantidad de calor utilizando los 3 kw. de las resistencias del aparato.

El procedimiento que se siguió durante la experimentación fue el siguiente:

1. Colocar los termómetros de bulbo húmedo y seco al principio y final del equipo de secado.
2. Medir el área de la charola.
3. Colocar el material totalmente seco y registrar su peso.

4. Agregar agua hasta que el material quede totalmente húmedo.
5. Colocar la charola dentro del equipo y registrar su peso inicial.
6. Ajustar la velocidad deseada de aire; arrancar el ventilador.
7. Ajustar el calor necesario, prender las resistencias; en todos los casos se utilizaron los 3 kw. que posee el equipo.
8. Tomar lecturas del peso registrado cada 5 minutos, nivelando la balanza hasta que el sólido esté completamente seco y ya no haya variación en el peso registrado.
9. Anotar las temperaturas de bulbo húmedo y seco del aire antes de entrar al secador y a la salida del mismo; al inicio y al final del proceso de secado.

Las tablas de resultados obtenidos se muestran a continuación, así como las gráficas donde se muestra la variación de la humedad con respecto al tiempo para cada caso.

## CORRIDA No. 1

Caída de Presión = 8.4 mm H<sub>2</sub>O

R.P.M. = 100

Kw. = 3

Espesor charola = 1 cm.

Material = arena de fundición

Peso seco = 280.3 grs.

Peso húmedo = 346.0 grs.

Area charola = 0.0225 cm<sup>2</sup>.ENTRADA

tbs 42.5°

tbh 20.1°

SALIDA

tbs 41°

tbh 19°

tbs 49°

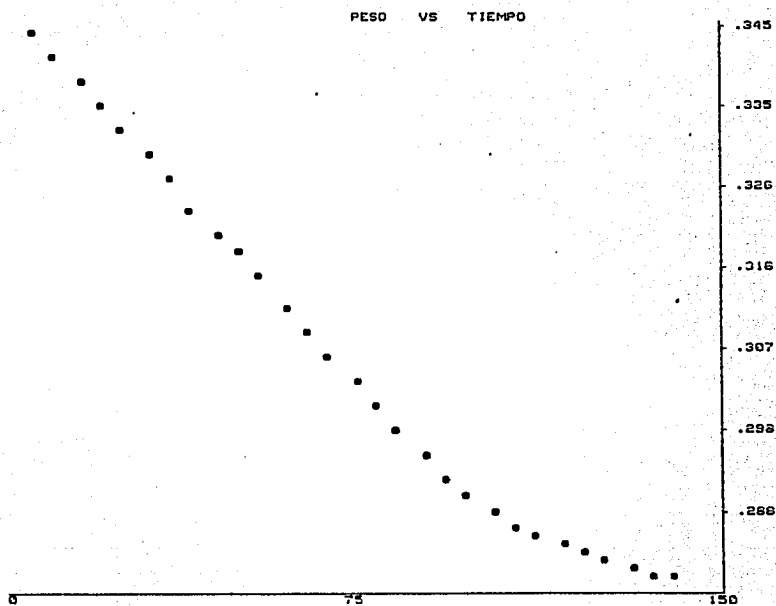
tbh 20.6°

tbs 47°

tbh 19.4°

<u>TIEMPO HRS.</u>	<u>PESO GRS.</u>	<u>TIEMPO HRS.</u>	<u>PESO GRS.</u>
11:20	346.0	12:35	303.1
11:25	343.5	12:40	300.5
11:30	340.5	12:45	297.8
11:35	337.7	12:50	294.7
11:40	335.0	12:55	292.3
11:45	332.0	13:00	289.8
11:50	329.2	13:05	288.0
11:55	326.3	13:10	286.2
12:00	323.4	13:15	285.1
12:05	320.3	13:20	284.1
12:10	318.3	13:25	283.2
12:15	315.1	13:30	282.5
12:20	312.0	13:35	281.7
12:25	309.1	13:40	281.0
12:30	306.3	13:45	280.6

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CORRIDA No. 2

Caída de Presión = 8.4 mm H<sub>2</sub>O

R.P.M. = 100

Kw. = 3

Espesor charola = 1 cm.

Material = arena de fundición

Peso seco = 281.0 grs.

Peso húmedo = 346.0 grs.

Area charola = 0.0225 cm<sup>2</sup>.ENTRADA

tbs 42.4°

tbh 20.2°

tbs 43°

tbh 20.4°

SALIDA

tbs 43.4°

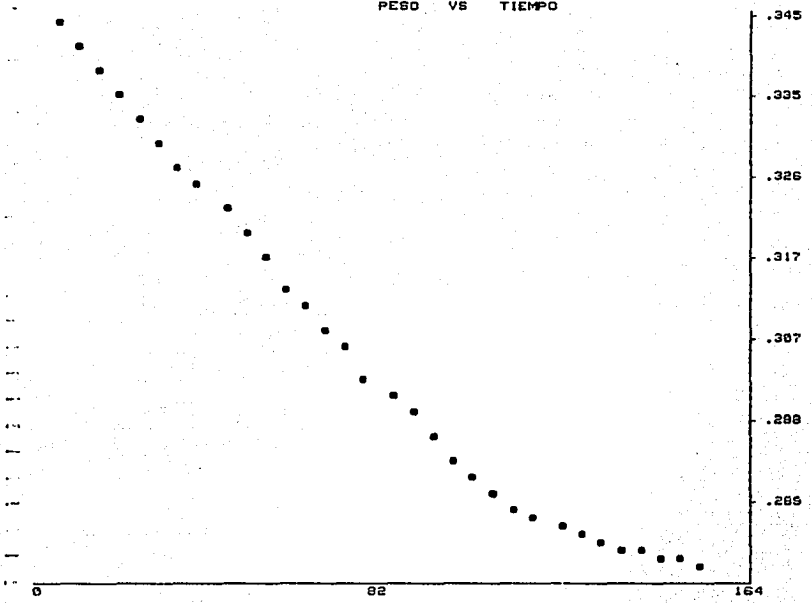
tbh 21.2°

tbs 40°

tbh 20.4°

<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>	<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>
7:00	346.0	8:20	303.2
7:05	343.4	8:25	300.7
7:10	340.6	8:30	299.3
7:15	338.0	8:35	295.9
7:20	335.2	8:40	293.7
7:25	332.7	8:45	291.8
7:30	330.1	8:50	290.0
7:35	327.2	8:55	288.3
7:40	324.7	9:00	287.0
7:45	322.1	9:05	286.0
7:50	319.2	9:10	285.0
7:55	316.7	9:15	284.3
8:00	313.5	9:20	283.7
8:05	310.9	9:25	283.1
8:10	308.7	9:30	282.6
8:15	306.1	9:35	282.0
		9:40	281.8

PESO VS TIEMPO



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CORRIDA No. 3

Caída de Presión = 2.8 mm H<sub>2</sub>O

R.P.M. = 70

Kw. = 3

Espesor charola = 1 cm.

Material = arena

Peso seco = 241 grs.

Peso húmedo = 292.8 grs.

Area charola = 0.0225 cm<sup>2</sup>.ENTRADA

tbs 65.5°

tbh 28°

SALIDA

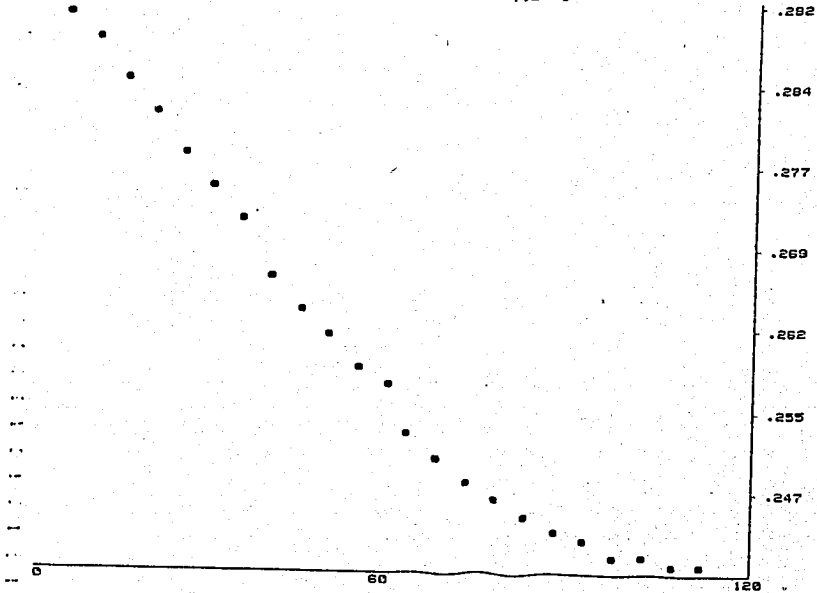
tbs 60°

tbh 25.2°

<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>	<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>
10:50	292.8	11:50	257.2
10:55	290.0	11:55	252.6
11:00	287.9	12:00	249.9
11:05	284.5	12:05	247.8
11:10	281.1	12:10	246.2
11:15	277.9	12:15	244.9
11:20	274.8	12:20	243.6
11:25	271.5	12:25	242.7
11:30	266.7	12:30	241.7
11:35	263.9	12:35	241.3
11:40	261.0	12:40	241.0
11:45	258.5	12:45	241.0



PESO VS TIEMPO



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CORRIDA No. 4

Caída de Presión = 7.3 mm H<sub>2</sub>O

R.P.M.

Kw. = 2

Espesor charola = 1 cm.

Material = arena construcción

Peso seco = 243 grs.

Peso húmedo = 307.0 grs.

Area charola = 0.0225 cm<sup>2</sup>.ENTRADA

tbs 36°

tbh 18.2°

tbs 35°

tbh 17.6°

SALIDA

tbs 37°

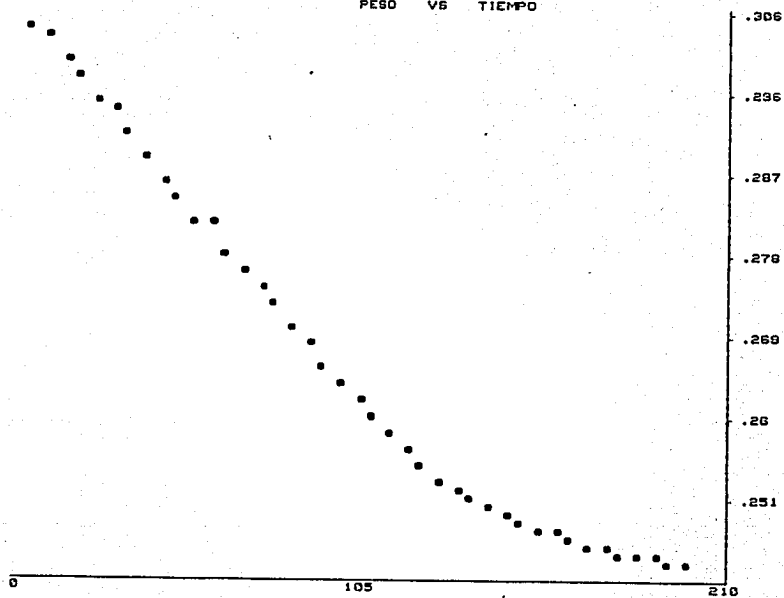
tbh 19°

tbs 36°

tbh 18.2°

<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>	<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>
6:25	307.0	8:10	261.8
6:30	304.1	8:15	259.7
6:35	302.5	8:20	257.8
6:40	300.2	8:25	256.1
6:45	298.2	8:30	254.4
6:50	295.5	8:35	253.0
6:55	294.2	8:40	251.8
7:00	291.5	8:45	250.8
7:05	289.1	8:50	249.8
7:10	286.8	8:55	248.8
7:15	284.7	9:00	248.0
7:20	282.2	9:05	247.4
7:25	281.6	9:10	246.7
7:30	278.3	9:15	246.2
7:35	276.4	9:20	245.5
7:40	274.1	9:25	245.1
7:45	272.3	9:30	244.6
7:50	270.0	9:35	244.3
7:55	267.9	9:40	244.1
8:00	265.8	9:45	243.9
8:05	263.8	9:50	243.5

PESO VS TIEMPO



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CORRIDA No. 5

Caída de Presión = 7.9 mm H<sub>2</sub>O

R.P.M.

Kw. = 3

Espesor charola = 1 cm.

Material = arena

Peso seco = 244.2 grs.

Peso húmedo = 294.8 grs.

Area charola = 0.0225 cm<sup>2</sup>.ENTRADA

tbs 38°

tbh 19.8°

SALIDA

tbs 40°

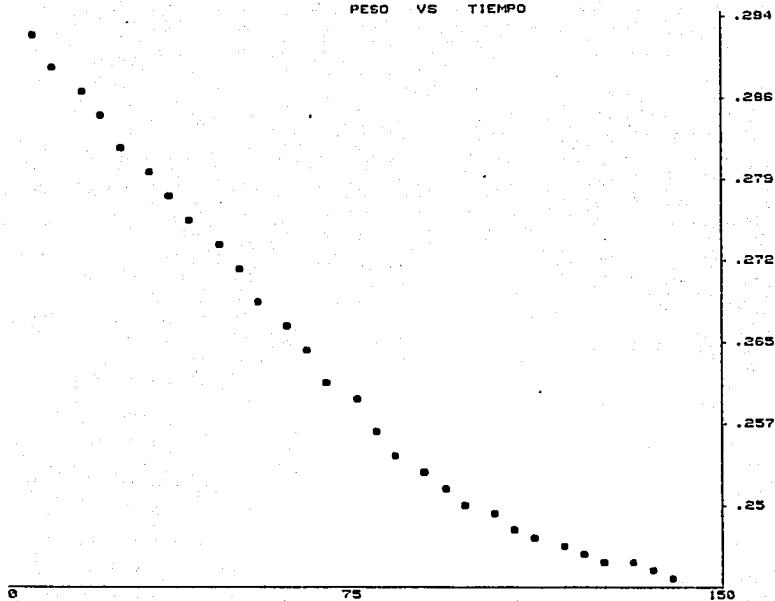
tbh 19.9°

<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>	<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>
7:15	294.8	8:30	259.4
7:20	292.1	8:35	257.2
7:25	289.7	8:40	255.0
7:30	287.5	8:45	253.5
7:35	285.0	8:50	252.0
7:40	282.5	8:55	250.7
7:45	280.0	9:00	249.3
7:50	277.8	9:05	248.5
7:55	275.6	9:10	247.6
8:00	273.2	9:15	246.7
8:05	271.0	9:20	246.3
8:10	268.6	9:25	245.6
8:15	266.2	9:30	245.3
8:20	264.1	9:35	244.6
8:27	260.9	9:40	244.2
		9:45	244.2

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

PESO VS TIEMPO

69



TIEMPO CON  
FALLA DE ORIGEN

CORRIDA No. 6

Caída de Presión = 8.4 mm H<sub>2</sub>O

R.P.M. = 100

Kw. = 3

Espesor charola = 1 cm.

Material = chaquirá

Peso seco = 230 grs.

Peso húmedo = 275.2 grs.

Área charola = 0.0225 cm<sup>2</sup>.ENTRADA

tbs 38°

tbh 16.8°

tbs 41.4°

tbh 19.6°

SALIDA

tbs 38°

tbh 17.2°

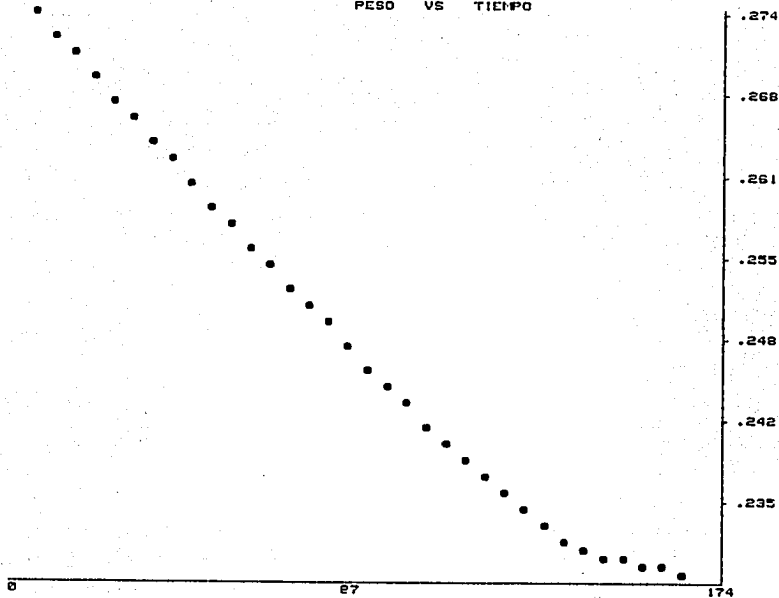
tbs 41°

tbh 18.8°

<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>	<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>
8:20	275.2	9:50	246.1
8:25	274.2	9:55	244.6
8:30	272.4	10:00	243.1
8:35	270.7	10:05	241.5
8:40	269.0	10:10	240.2
8:45	267.3	10:15	238.5
8:50	265.6	10:20	237.3
8:55	263.8	10:25	236.0
9:00	262.3	10:30	234.7
9:05	260.7	10:35	233.5
9:10	258.9	10:40	232.3
9:15	257.5	10:45	231.7
9:20	255.5	10:50	231.2
9:25	254.4	10:55	230.7
9:30	252.5	11:00	230.4
9:35	251.0	11:05	230.1
9:40	249.4	11:10	230.0
9:45	247.9		

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

PESO VS TIEMPO



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CORRIDA No. 7

Caída de Presión = 8.5 mm H<sub>2</sub>O  
 R.P.M. = 100  
 Kw. = 3  
 Espesor charola = 0.5 cm<sup>2</sup>.  
 Material = arena de fundición  
 Peso seco = 225 grs.  
 Peso húmedo = 272.7 grs.  
 Area charola = 0.0225 cm<sup>2</sup>.

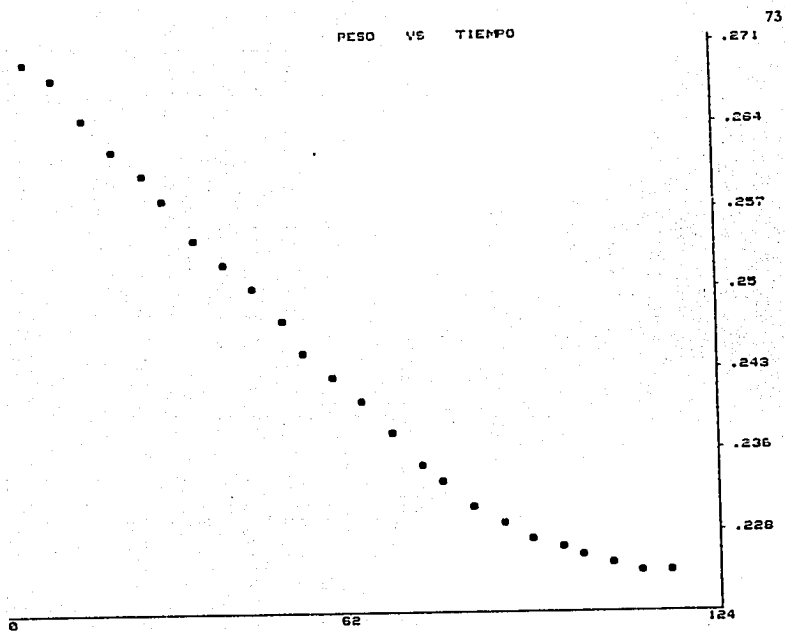
<u>ENTRADA</u>	<u>SALIDA</u>
tbs 44°	tbs 45°
tbh 21.4°	tbh 22.2°
tbs 45°	tbs 45°
tbh 22.1°	tbh 22.2°

<u>TIEMPO HRS.</u>	<u>PESO GRS.</u>	<u>TIEMPO HRS.</u>	<u>PESO GRS.</u>
7:20	272.7	8:25	240.0
7:25	270.5	8:30	237.1
7:30	268.7	8:35	234.6
7:35	265.0	8:40	232.7
7:40	262.5	8:45	230.6
7:45	260.1	8:55	229.2
7:50	257.8	9:00	227.7
7:55	254.5	9:05	226.9
8:00	252.2	9:10	226.1
8:05	249.9	9:15	225.6
8:10	247.1	9:20	225.2
8:15	244.7	9:25	225.0
8:20	242.0	9:30	225.0

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



PESO VS TIEMPO



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

CORRIDA No. 8

Caída de Presión = 2.8 mm H<sub>2</sub>O

R.P.M. = 70

Kw. = 3

Espesor charola = 1 cm.

Material = arena

Peso seco = 240.8 grs.

Peso húmedo 296.5 grs.

Area charola = 0.0225 cm<sup>2</sup>.ENTRADA

tbs 58°

tbh 25.4°

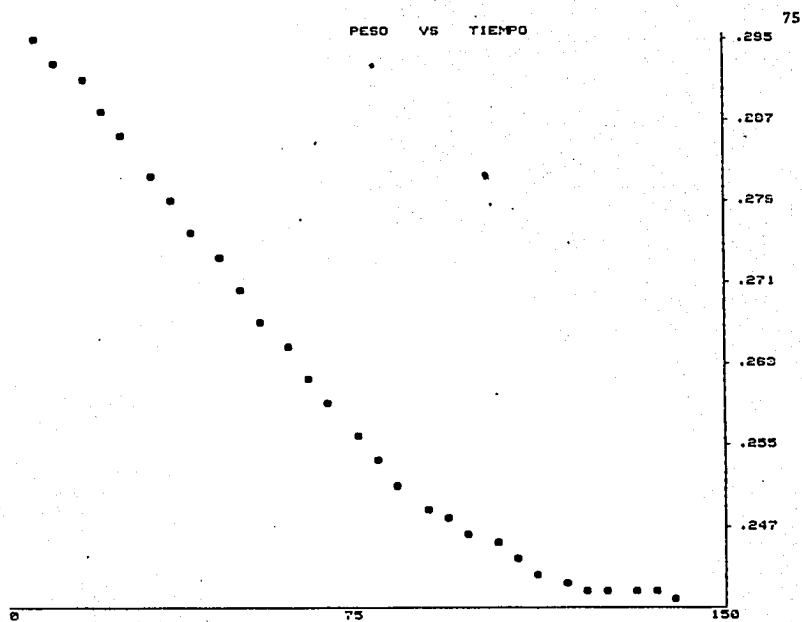
SALIDA

tbs 58°

tbh 25.8°

<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>	<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>
6:52	296.5	8:05	256.5
6:55	295.5	8:10	254.1
7:00	293.5	8:15	251.5
7:05	291.0	8:20	249.9
7:10	288.1	8:25	248.0
7:15	285.4	8:30	246.5
7:20	282.0	8:35	245.6
7:25	279.5	8:40	244.3
7:30	276.5	8:45	243.4
7:35	273.6	8:50	242.6
7:40	270.5	8:55	241.9
7:45	267.8	9:00	241.5
7:50	265.0	9:05	241.3
7:55	262.0	9:10	241.0
8:00	259.2	9:15	240.9
		9:20	240.8

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CORRIDA No. 9

Caída de Prosión = 8.4 mm H<sub>2</sub>O  
 R.P.M. = 100  
 Kw. = 3 + parrilla  
 Espesor charola = 0.5 cm.  
 Material = aserrín  
 Peso seco = 65.5 grs.  
 Peso húmedo = 190.5 grs.  
 Area charola = 0.0225 cm<sup>2</sup>.

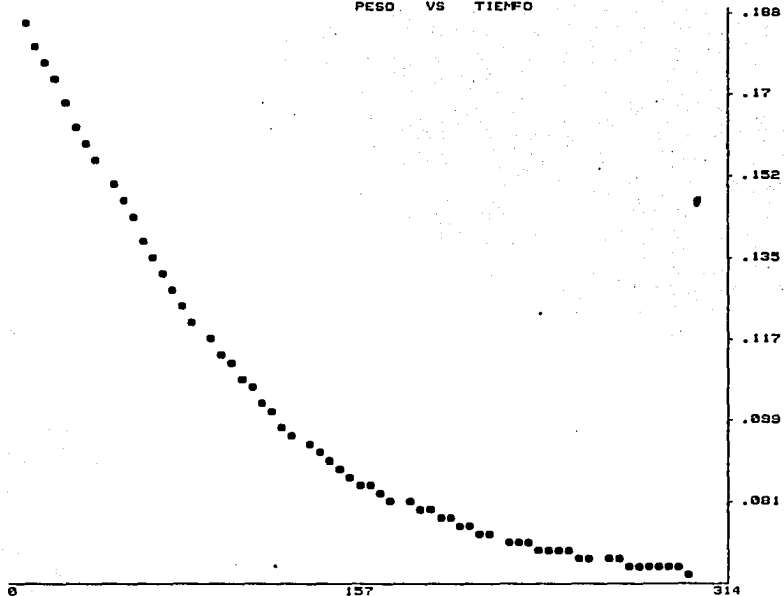
<u>ENTRADA</u>	<u>SALIDA</u>
tbs 55°	tbs 55°
tbh 23.2°	tbh 22°
tbs 52°	tbs 52°
tbh 22.8°	tbh 22.8°

<u>TIEMPO HRS.</u>	<u>PESO GRS.</u>	<u>TIEMPO HRS.</u>	<u>PESO GRS.</u>	<u>TIEMPO HRS.</u>	<u>PESO GRS.</u>
12:45	190.5	2:30	107.9	4:15	74.6
12:50	186.1	2:35	105.0	4:20	73.8
12:57	180.5	2:40	102.3	4:25	72.9
1:00	177.7	2:45	100.1	4:30	72.4
1:05	173.0	2:50	97.2	4:35	71.9
1:10	168.7	2:55	94.9	4:40	71.3
1:15	163.5	3:00	93.0	4:45	70.8
1:20	159.6	3:05	91.1	4:50	70.2
1:25	155.1	3:10	88.8	4:55	69.7
1:30	150.9	3:15	87.6	5:00	69.2
1:35	146.6	3:20	86.4	5:05	68.8
1:40	142.3	3:25	84.6	5:10	68.4
1:45	138.7	3:30	83.5	5:15	68.0
1:50	134.6	3:35	82.3	5:20	67.6
1:55	130.8	3:40	81.2	5:25	67.2
2:00	127.1	3:45	80.2	5:30	66.8
2:05	123.2	3:50	79.2	5:35	66.5
2:10	120.3	3:55	78.1	5:40	66.3
2:15	116.2	4:00	77.1	5:45	66.0
2:20	113.3	4:05	76.3	5:50	65.7
2:25	110.3	4:10	75.3	5:55	65.5
				6:00	65.5

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

PESO VS TIEMPO

77



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CORRIDA No. 10

Caída de Presión = 3.4 mm H<sub>2</sub>O

R.P.M.

Kw. = 3

Espesor charola = 1 cm.

Material = arena

Peso seco = 235.1 grs.

Peso húmedo = 282.3 grs.

Area charola = 0.0225 cm<sup>2</sup>.ENTRADA

tbs 38°

tbh 19.6°

SALIDA

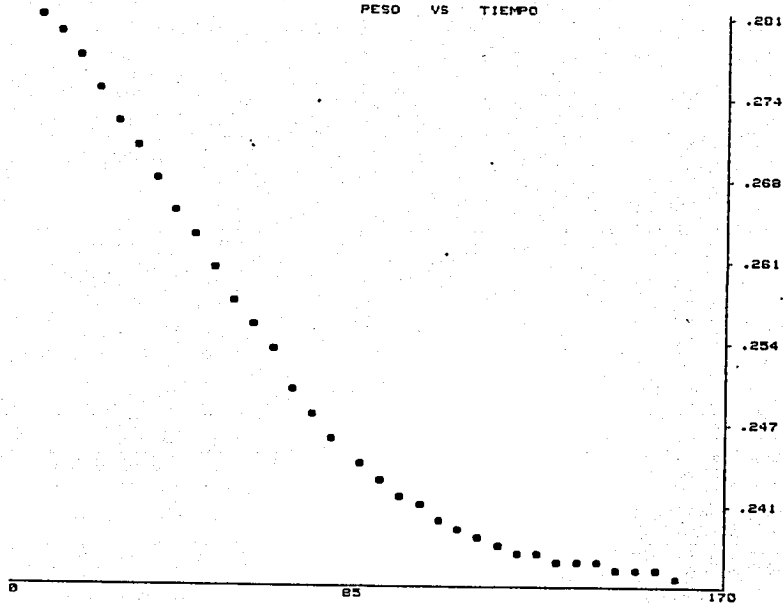
tbs

tbh 23°

<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>	<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>
1:00	282.3	2:25	244.5
1:05	281.5	2:30	243.0
1:10	280.2	2:35	241.8
1:15	278.0	2:40	240.5
1:20	275.5	2:45	239.5
1:25	272.6	2:50	238.6
1:30	270.2	3:00	238.0
1:35	268.0	3:05	237.4
1:40	265.3	3:10	236.8
1:45	262.8	3:15	236.5
1:50	260.2	3:20	236.3
1:55	258.0	3:25	236.0
2:00	255.5	3:30	235.9
2:05	253.4	3:35	235.6
2:10	250.5	3:40	235.5
2:15	248.5	3:45	235.2
2:20	246.5	3:50	235.1
		3:55	235.1

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PESO VS TIEMPO



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

## CORRIDA No. 11

Caída de Presión = 4.8 mm H<sub>2</sub>O

R.P.M. = 80

Kw. = 3 + parrilla

Espesor charola = 1 cm.

Material = aserrín

Peso seco = 221.4 grs.

Peso húmedo = 324 grs.

Area charola = 0.0225 cm<sup>2</sup>.

<u>ENTRADA</u>	<u>SALIDA</u>
tbs 61°	tbs 60°
tbh 26.2°	tbh 24.2°
tbs 64°	tbs 63°
tbh 27.2°	tbh 24°

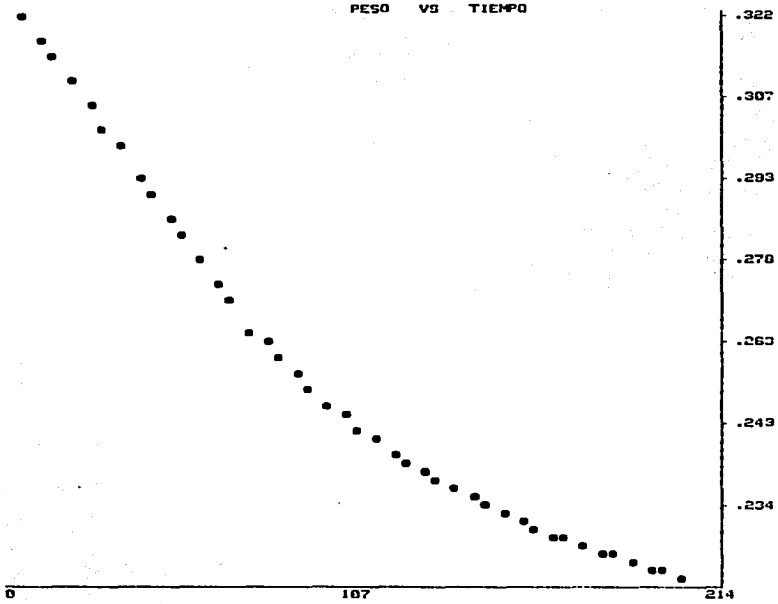
<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>	<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>
11:20	324.0	1:10	247.5
11:25	321.3	1:15	245.0
11:30	318.1	1:20	243.3
11:35	314.0	1:25	241.1
11:40	310.0	1:30	239.7
11:45	306.2	1:35	238.0
11:50	302.0	1:40	236.3
11:55	297.8	1:45	234.9
12:00	292.8	1:50	233.3
12:05	289.4	1:55	232.1
12:10	285.4	2:00	231.0
12:15	281.5	2:05	229.7
12:20	277.5	2:10	228.5
12:25	273.5	2:15	227.5
12:30	270.0	2:20	226.4
12:35	265.0	2:25	225.7
12:40	263.4	2:30	224.9
12:45	260.1	2:35	224.1
12:50	257.5	2:40	223.4
12:55	255.0	2:45	222.6
1:00	252.0	2:50	222.0
1:05	249.7	2:55	221.4

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



PESO VS TIEMPO

81



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CORRIDA No. 12

Caída de Presión = 8.4 mm H<sub>2</sub>O

R.P.M. = 100

Kw. = 3

Espesor charola = 1 cm.

Material = Chaquira

Peso seco = 230 grs.

Peso húmedo 265.6 grs.

Area charola = 0.0225 cm<sup>2</sup>.ENTRADA

tbs 40°

tbh 17°

SALIDA

tbs 41°

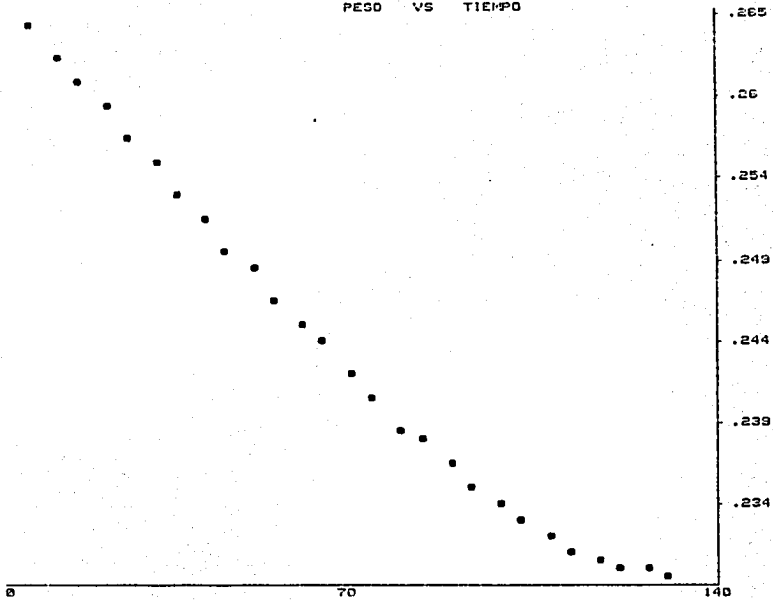
tbh 17.2°

<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>	<u>TIEMPO</u> <u>HRS.</u>	<u>PESO</u> <u>GRS.</u>
6:55	265.6	8:10	240.9
7:00	264.1	8:15	239.0
7:05	262.4	8:20	238.3
7:10	260.8	8:25	237.0
7:15	259.0	8:30	235.5
7:20	257.0	8:35	234.2
7:25	255.5	8:40	233.3
7:30	253.5	8:45	232.2
7:35	252.0	8:50	231.4
7:40	250.3	8:55	230.9
7:45	249.0	9:00	230.4
7:50	247.2	9:05	230.2
7:55	245.7	9:10	230.0
8:00	244.3	9:15	230.0
8:05	242.7	9:20	230.0

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PESO VS TIEMPO

83



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CAPITULO IV.****ANALISIS DE DATOS.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## ANÁLISIS DE DATOS

En el presente capítulo se encuentra el desarrollo analítico de los datos obtenidos experimentalmente en el capítulo anterior, a fin de establecer las condiciones que rigen tanto en el período de velocidad constante como en el período de velocidad decreciente.

Para lo cual se consideraron tres análisis principalmente:

- I. Análisis del Período a Régimen Constante, en el cual son obtenidos a partir de los datos generados, el gasto de aire, los coeficientes de transferencia de masa y calor y la velocidad de secado en período a régimen constante.
- II. Análisis del Período Decreciente, donde se obtuvieron humedades crítica, de equilibrio y final, tiempos de secado y la determinación de los mecanismos que controlan este período.
- III. Análisis del Coeficiente de Transferencia de Calor, donde se establece un comparativo de los coeficientes calculados teóricamente y experimentalmente.

ANALISIS DE DATOS

I. ANALISIS DEL PERIODO A REGIMEN CONSTANTE

1. Calcular el Gasto de aire:

a.) A partir de la ecuación de la placa de orificio.

Datos:  $\Delta P = 8.4 \text{ mm H}_2\text{O}$

$d1 = 15 \text{ cm.}$

$$d2 = \frac{De}{4} = \frac{ab}{2(a+b)/4} = 25.4 \text{ cm}$$

$P = 585 \text{ mm Hg}$

$$\beta = \frac{d1}{d2} = \frac{0.15}{0.254} = .5905$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{8.4 \text{ mm H}_2\text{O}}{585 \text{ mm Hg}} \times \frac{1 \text{ mm Hg}}{136 \text{ mm H}_2\text{O}} = 3.5 \times 10^{-4}$$

$Y = .9998$                       tabla A20 Crane

$C = .65$                         tabla A21 Crane flujo turbulento

$tbs = 41.75^\circ\text{C} \quad \& \quad 107.15^\circ\text{F}$

$tbh = 19.55^\circ\text{C} \quad \& \quad 67.19^\circ\text{F}$

$Y = .009$  de carta psicrométrica a 585 mm Hg.

$$VI = \left( \frac{1}{29} + \frac{Y}{18} \right) \frac{RT}{P}$$

$$VII = \left( \frac{1}{29} + \frac{0.009}{18} \right) \frac{0.082 (314.75)}{585/760} = 1.1729 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho = \frac{1}{VH} = .8525 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$w = \frac{Y C d1^2}{\sqrt{1-B4}} \sqrt{2gc \rho (-\Delta P)}$$

$$\Delta P = 8.4 \text{ mm H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \times \frac{999.1 \text{ Kg/m}^3}{1 \text{ mm H}_2\text{O}} = 8.392 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$w = \frac{.9998 (.61) (.15)^2}{\sqrt{1-.59^4}} \sqrt{2(9.81) 8.392 (.8525)}$$

$$w = \text{m}^2 \sqrt{\frac{\text{Kg m}}{\text{Kg seg}^2} \times \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$w = \text{m}^2 \sqrt{\frac{\text{Kg}^2}{\text{m}^4 \text{ seg}^2}} = \frac{\text{m}^2}{\text{m}} \frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$$

$$w = .1734 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} \times 3600 = 624.33 \text{ Kg/hr.}$$

$$G = \frac{w}{A} = \frac{624.33 \text{ Kg/hr}}{(.254) \text{ m}^2} = 9677 \text{ Kg/hr m}^2$$

$$Q = \frac{624.33}{.8525} = 732.35 \text{ m}^3/\text{hr}$$

b.) Cálculo del Número de Reynolds.  $\mu = 2 \times 10^{-4} \frac{\text{gr cm}}{\text{seg}}$

$$\frac{DG}{\mu} = \text{Re} = \frac{.254 \text{ m} \times 9677 \text{ Kg/hr m}^2}{2 \times 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{cm seg}} \times \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{g}} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}} = \text{Kg/hr m}$$

$$\text{Re} = 3.41 \times 10^4$$

De gráfica A20 Crane

$$C = .65$$

$$w = .1847 \text{ Kg/seg} = 664.92 \text{ Kg/m}^3.$$

$$G = 664.92 / (.254)^2 = 10306 \text{ Kg/hr m}^2$$

$$\text{Re} = 3.6 \times 10^4$$

2. Cálculo de hc.

$$hc = 0.0175 G^{.8}$$

$$hc = 0.0175 (10306)^{.8} = 28.41 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3. Cálculo de hr.

$$\text{hr} = E \left( \frac{4.69 \times 10^{-9} (TR^4 - TS^4)}{TR - TS} \right)$$



Emisividad lámina = 0.241 (Kern)

Emisividad aluminio = 0.03 (Kern)

$$hr = 0.241 \times 4.69 \times 10^{-9} \frac{(314.75^4 - 292.55^4)}{314.75 - 292.55}$$

$$hr = 0.1267 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se puede considerar que el efecto de radiación es despreciable comparado con el efecto de convección.

#### 4. Cálculo de $K_y$ .

$$K_y = \frac{hc}{C_s} = \frac{28.41}{0.24} = 118.375$$

#### 5. Cálculo de la velocidad de secado a régimen constante.

a) Considerando únicamente el efecto de convección:

$$w = \frac{hc \Delta t}{\lambda}$$

$$\lambda_{19.55^\circ\text{C}} = 585.52 \text{ Kcal/Kg}$$

$$W = \frac{28.4 (41.75 - 19.55)}{585.52}$$

$$W = 1.07486 \text{ Kcal/hr m}^2$$

b) Utilizando gráfica de Shepherd.

- Con la velocidad del aire entrante:

Calcular factor de velocidad

$$\text{vel} = 3.15 \text{ m/seg}$$

$$\text{factor} = 1.75$$

- Con temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco:

Calcular velocidad de secado.

$$\text{tbs} = 41.75^\circ\text{C} \quad W = 0.8 \text{ Kg/hr m}^2$$

$$\text{tbh} = 19.55^\circ\text{C}$$

- Cálculo de W gráfica

$$W \text{ gráfica} = W \times \text{factor}$$

$$1.4 \text{ Kg/hr m}^2 = 1.75 \times 0.8$$

c) Calculando la velocidad de secado experimental promedio;

$$W = \frac{S}{A} \frac{dx}{d\theta}$$

- Calcular a partir de los datos de peso y tiempo la humedad en base seca:

$$X = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso sólido seco}}{\text{Peso sólido seco}}$$

$$X_1 = \frac{0.346 - 0.2803}{.2803} = .2343$$

$$X_2 = \frac{0.3435 - .02803}{0.02803} = .2254$$

- Calcular X promedio para cada par de datos:

$$\frac{0.2254 + 0.2343}{2} = 0.2299$$

- Calcular W experimental:

$$W = \frac{0.2803}{0.15^2} \left( \frac{.2343 - 0.2254}{(5 - 0)} \right) = 1.3333$$

Este procedimiento se sigue para todos los datos obtenidos:

- Graficar W experimental contra X promedio.
- Ajustar los datos dados a una curva, a fin de que en esa curva pueda uno notar dos secciones rectas.

Esto se hace filtrando los datos; es decir, promediando los valores originales de tres en tres a fin de ir afinando la curva original, esto se repite tantas veces es necesario hasta afinar los datos a una curva continua.

Los valores obtenidos para cada corrida se muestran al final del capítulo.

- Calcular el valor promedio de W experimental:  
Se calcula sumando todos los valores de W experimental hasta el punto donde estos valores empiezan a descender y se divide entre el número de datos considerados en la sumatoria.

$$W \text{ exp.prom} = \frac{\sum W_{\text{exp}}}{n}$$

$$W \text{ exp.prom} = 1.5201$$

- d) Comparar los datos obtenidos de las velocidades calculados gráficamente, teóricamente y experimentalmente.

$$W \text{ teórica VS } W \text{ experimental} \quad \frac{1.07486 - 1.5201}{1.07486} = -41.42\%$$

$$W \text{ gráfica VS } W \text{ experimental} \quad \frac{1.07486 - 1.35}{1.07486} = -12.6\%$$

## II. ANALISIS DEL PERIODO DECRECIENTE

### 1. Cálculo de X crítica:

De la gráfica de velocidad de secado vs. tiempo se lee la humedad crítica en el punto donde la velocidad de secado empieza a descender.

$$X_c = .087$$

### 2. Cálculo de la humedad de equilibrio.

De la gráfica de peso contra tiempo se lee la humedad de equilibrio en el punto donde la humedad contra el tiempo, ya no varía.

$$X_e = .0002$$

### 3. Cálculo de S/A.

Peso del sólido seco/área.

$$\frac{0.2803}{0.15^2} = 12.4578$$

### 4. Cálculo de la humedad final.

De los datos obtenidos de velocidad de secado contra tiempo se toma el último valor registrado.

$$X_f = .0017$$

5. Cálculo del tiempo de secado en el período decreciente:

a) Calcular tiempo total de secado:

Tiempo total entre el inicio del secado al final del mismo de datos experimentales.

$$\theta_t = 2.416 \text{ hrs.}$$

b) Calcular el tiempo de secado en el período constante:

Tiempo total entre la humedad inicial y la humedad crítica de datos experimentales.

$$\theta_c = 1.25 \text{ hr.}$$

c) Calcular tiempo en el período decreciente:

$$\theta_d = \theta_t - \theta_c$$

$$\theta_d = 2.416 - 1.25$$

$$\theta_d = 1.166 \text{ hrs.}$$

#### A. ANALIZANDO SI CONTROLA LA CAPILARIDAD

6. Calcular el tiempo teórico si controla la capilaridad.

$$\theta = \frac{S/A}{\lambda h c} \frac{(X_c - X_e)}{(t_{bs} - t_{bh})} \ln \frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$$

$$\theta = \frac{12.4578 (0.087 - 0.0002)}{586.52 (28.4) (41.75 - 19.55)} \ln \frac{(0.087 - 0.0002)}{(0.0017 - 0.0002)}$$

$$\theta = 4.0821 \text{ hr.}$$

7. Calcular el tiempo en el periodo decreciente considerando que controla la capilaridad utilizando hc experimental.

a) Calcular hc experimental.

$$W_{\text{exp}} = \frac{hc_{\text{exp}} T}{\lambda}$$

$$\frac{W_{\text{exp}} \lambda}{T} = hc_{\text{exp}}$$

$$\frac{1.5201 (586.52)}{22.2} = 40.16 \frac{\text{Kcal}}{\text{hrm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

b) Cálculo del tiempo.

$$\theta = 4.0821 \left( \frac{28.4}{40.16} \right)$$

$$\theta = 2.8867 \text{ hr.}$$

8. Comparar los tres tiempos calculados para ver si al ser iguales controla la capilaridad.
9. Analizar el comportamiento de la línea obtenida al graficar  $\log \frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$  contra tiempo.
- a) Ajustar a las rectas que sean necesarias. En este caso se ajusta a dos rectas.
- b) Calcular las pendientes para cada recta.

$$m = \frac{\Delta \log \frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}}{\Delta \theta}$$

$$m_1 = 1.2935$$

$$m_2 = 3.8506$$

- c) Calcular  $K = \frac{dx/d\theta}{X_c - X_e}$

$$K \text{ teórica} = 1.07486 / (.087 \times .0002) \times 12.4578$$

$$K \text{ teórica} = .9940$$



$$K \text{ experimental} = 1.5201 / (.087 \times .0002) \times 12.4578$$

$$K \text{ exp.} = 1.4058$$

d) Comparar  $m_1$  con K teórica y K experimental:

$$K \text{ teórica vs } m_1 \frac{.9940 - 1.2935}{1.2935} = -30.13\%$$

$$K \text{ exp. vs } m_1 \frac{1.4058 - 1.2935}{1.2935} = 7.98\%$$

Se encontró que en la primera parte del período decreciente se controla la capilaridad.

#### B. ANALIZANDO SI CONTROLA DIFUSION

1. Calcular la difusividad para la primera corrida.
- a) Calcular  $\theta/d^2$  para todo el período decreciente.
- b) Calcular los valores de  $\frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$  y sus logaritmos, a partir de X crítica.
- c) Calcular los valores de  $\theta/d^2$  para valores de  $\frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$  menores a 0.6 a partir de la gráfica de Gournie y Loury.

- d) Obtener la difusividad para cada dato como  $\frac{Q_0/d^2}{\theta/d^2}$

Las tablas de los datos calculados en el período decreciente para cada corrida se anexan al final del capítulo.

2. Obtener el valor promedio de la difusividad a partir de valores de  $\frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$  menores a 0.6 hasta el último valor de humedad.

Para este caso:  $\Sigma Q/n = Q_{\text{prom.}}$

$$Q = 35.2383 \times 10^{-5}$$

3. Obtener los valores de difusividad promedio entre los intervalos de las rectas que se hayan obtenido.

1a. recta entre  $X = 0.047$  y  $0.0037$

$$Q_1 \text{ promedio} = 32.061 \times 10^{-5}$$

4. Calcular el  $\theta$  decreciente considerando que controla la difusión desde la humedad crítica hasta la final.

$$\theta = \frac{4 d^2}{D T^2} \ln \frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$$

$$\theta = \frac{4 (.0328)^2}{35.2383} \ln \frac{0.087 - 0.0002}{0.0017 - 0.0002}$$

$$\theta = 5.0106 \text{ hr.}$$

5. Comparar con el tiempo real del período decreciente.

$$5.0106 \text{ vs } 1.166$$

6. Calcular el  $\theta$  decreciente teórico para cada intervalo que hay en el período decreciente.

$$\theta = \frac{4 (.0328)^2}{32.0611} \ln \frac{.0047 - .0002}{.0037 - .0002}$$

$$\theta = 3.5264 \text{ hr.}$$

7. Comparar con el tiempo experimental que obtuvo entre los intervalos de la primera recta.

$$\theta \text{ teórico vs } \theta \text{ experimental}$$

$$3.5264 \text{ vs } 0.75$$

Se comprobó que no se presenta el mecanismo de difusión en este caso y que sólo controla la capilaridad.

### III. ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR

1. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor experimental:

En base a las velocidades de secado experimentales, se calculó el coeficiente de transferencia experimental para cada caso como:

$$W \text{ exp.} = \frac{hc \ AT}{\lambda}$$

$$\frac{\lambda \ W \ \text{exp.}}{AT} = hc$$

$$\frac{586.52 \ X \ 1.5201}{22.2} = 40.16 \ \frac{\text{Kcal}}{\text{Kgm}^2\text{°C}}$$

2. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor:

Suponiendo que en el coeficiente de transferencia intervienen tanto la conducción como la convección y despreciando la radiación, considerando además que las condiciones de la interfase están a la temperatura de bulbo húmedo, se calculó el coeficiente global como:

$$U = hc \left\{ 1 + \frac{1}{1 + \frac{L}{K} (hc)} \right\}$$

Conductividad arena = 0.2831 Kcal/hr m<sup>2</sup> (°C/m) (Kern)

Conductividad aserrín = 0.061 Kcal/hr m<sup>2</sup> (°C/m) (Kern)

$$U = 28.40 \left\{ 1 + \frac{1}{1 + \frac{.01}{.2831}} \right\}$$

$$U = 42.57$$

3. Comparar los valores teóricos con los experimentales:

$$\frac{42.57 - 40.16}{42.57} = 5.65 \%$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CAPITULO V.****R E S U L T A D O S .**

RESULTADOS

Se presenta una tabla de valores calculados por corrida donde se incluyen los siguientes datos:

<u>Concepto</u>	<u>Unidades</u>
Peso	Kg
Humedad	Kg
Humedad en Base Seca	Kg / Kg
Valor Promedio	Kg / Kg
Velocidad de Secado	Kg / hr m <sup>2</sup>
Velocidad de Secado Filtrada	Kg / hr m <sup>2</sup>

Se presenta otra tabla por corrida donde se analiza el período decreciente y que incluye lo siguiente:

<u>Concepto</u>	<u>Unidades</u>
X	Kg / Kg
$\frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$	-
$\log \frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$	-
$\theta / d^2$	hr / ft <sup>2</sup>
$\mathcal{Q} \theta / d^2$	-
$\mathcal{Q}$	ft <sup>2</sup> / hr
$\theta$	hr



Así como una tabla de resultados global donde se muestra el análisis general dividido en dos partes, una para el período de velocidad constante y otra para el período de velocidad decreciente. En este análisis las comparaciones son entre todas las corridas de datos.

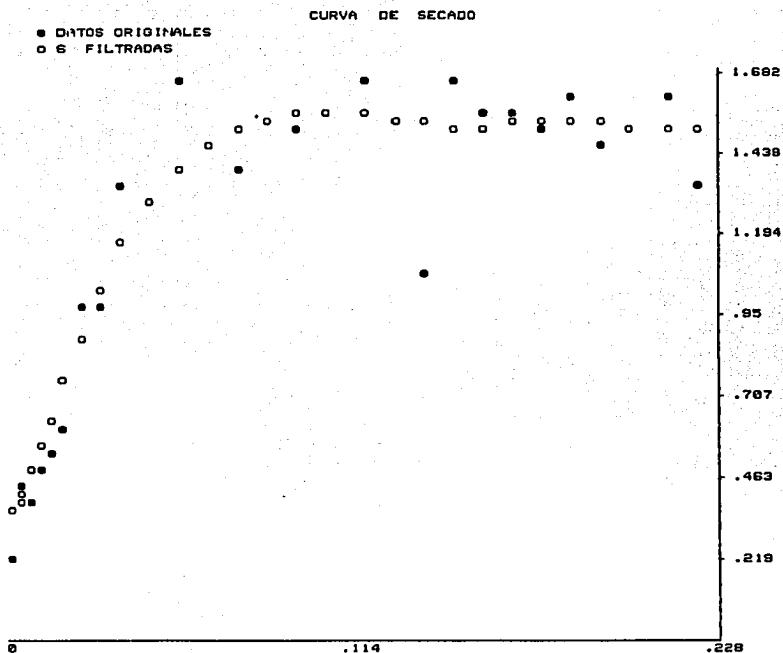
Las corridas se encuentran correlacionadas de esta manera:

<u>Corrida</u>	<u>Material</u>	<u>Espesor [ft]</u>
1	arena de fundición	0.0328
2	arena de fundición	0.0328
3	arena	0.0328
4	arena de construcción	0.0328
5	arena	0.0328
6	chaquira	0.0328
7	arena de fundición	0.0164
8	arena	0.0328
9	aserrín	0.0164
10	arena	0.0328
11	aserrín	0.0328
12	chaquira	0.0328

PESO	HUMEDAD	X	X(PROM)	W	F = 6
.3460	.0656	.2343	.0000	.0000	.0000
.3435	.0632	.2254	.2299	1.3333	1.4993
.3405	.0602	.2147	.2201	1.6000	1.5021
.3377	.0574	.2047	.2097	1.4933	1.5075
.3350	.0547	.1951	.1999	1.4400	1.5148
.3320	.0517	.1844	.1897	1.5999	1.5208
.3292	.0489	.1744	.1794	1.4933	1.5207
.3263	.0460	.1641	.1692	1.5466	1.5136
.3234	.0431	.1537	.1589	1.5466	1.5072
.3203	.0400	.1427	.1482	1.6533	1.5099
.3183	.0330	.1355	.1391	1.0666	1.5214
.3151	.0348	.1241	.1299	1.7066	1.5352
.3120	.0317	.1130	.1186	1.6533	1.5445
.3091	.0288	.1027	.1079	1.5466	1.5454
.3063	.0260	.0927	.0977	1.4933	1.5376
.3031	.0229	.0813	.0870	1.7066	1.5220
.3005	.0202	.0720	.0767	1.3666	1.4963
.2978	.0175	.0624	.0672	1.4400	1.4508
.2947	.0144	.0513	.0569	1.6533	1.3788
.2923	.0120	.0428	.0470	1.2800	1.2777
.2898	.0095	.0338	.0393	1.3333	1.1516
.2880	.0076	.0274	.0306	.9600	1.0106
.2862	.0059	.0210	.0242	.9599	.0687
.2851	.0049	.0171	.0190	.5866	.7391
.2841	.0039	.0135	.0153	.5333	.6292
.2832	.0029	.0103	.0119	.4799	.5394
.2825	.0021	.0079	.0098	.3733	.4668
.2817	.0013	.0049	.0064	.4266	.4111
.2810	.0007	.0024	.0037	.3733	.3754
.2806	.0002	.0010	.0017	.2133	.3631

CORRIDA 1.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

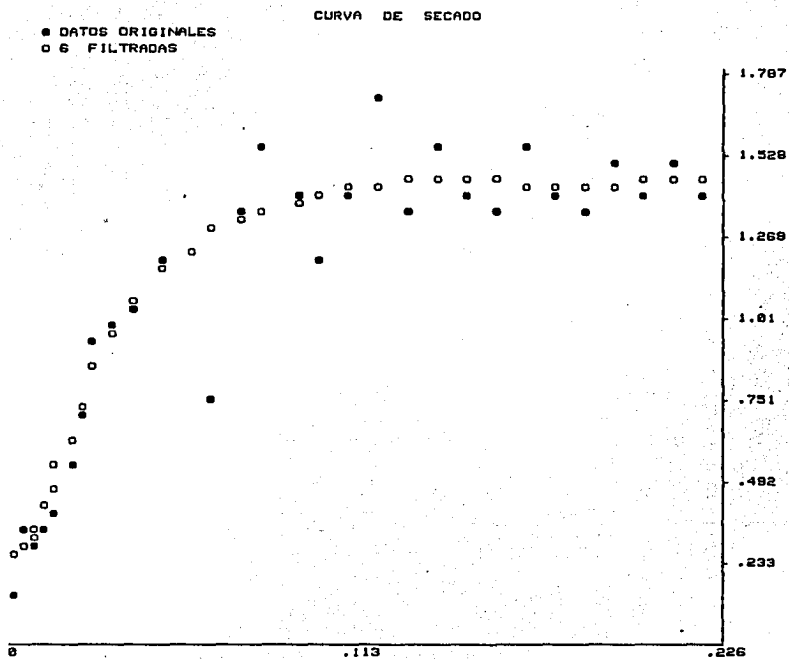
X	K.KC	LOG	0/02	00/02	e*10+5	
.0870	1.0005	+ .0002	1161	- .0702	6.02220	1.2500
.0767	.9813	- .0548	1239	- .0198	1.60115	1.3332
.0672	.7724	- .1121	1316	+ .0326	2.47944	1.4166
.0569	.6532	- .1049	1394	+ .0993	7.12529	1.5003
.0470	.5402	- .2674	1471	+ .1749	11.08727	1.5823
.0383	.4395	- .3570	1549	+ .2570	16.59193	1.6666
.0306	.3511	- .4544	1626	+ .3463	21.29310	1.7500
.0242	.2771	- .5572	1704	+ .4405	25.04999	1.8333
.0190	.2175	- .6623	1781	+ .5369	30.13356	1.9166
.0153	.1744	- .7583	1859	+ .6248	33.61040	2.0000
.0119	.1353	- .8664	1936	+ .7256	37.47363	2.0833
.0090	.1025	- .9892	2013	+ .8363	41.52999	2.1666
.0064	.0716	- 1.1446	2091	+ .9787	46.79856	2.2500
.0037	.0408	- 1.3887	2169	+ 1.2024	55.44325	2.3333
.0017	.0182	- 1.7388	2246	+ 1.5232	67.81022	2.4166

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PESO	HUMEDAD	X	X(PROM)	W	F = 6
.3460	.0649	.2313	.0000	.0000	.0000
.3434	.0623	.2220	.2266	1.3066	1.4349
.3406	.0595	.2120	.2170	1.4033	1.4315
.3390	.0569	.2028	.2074	1.3066	1.4270
.3352	.0542	.1928	.1878	1.4033	1.4236
.3327	.0517	.1839	.1884	1.3033	1.4218
.3301	.0491	.1747	.1793	1.3066	1.4215
.3272	.0461	.1644	.1685	1.5466	1.4245
.3247	.0436	.1555	.1599	1.3033	1.4324
.3221	.0411	.1462	.1508	1.3066	1.4424
.3182	.0382	.1359	.1411	1.5466	1.4466
.3167	.0357	.1270	.1314	1.3033	1.4392
.3135	.0324	.11562	.1213	1.7066	1.4236
.3109	.0299	.1064	.1118	1.3066	1.4056
.3087	.0277	.0985	.1024	1.1733	1.3824
.3061	.0258	.0893	.0939	1.3066	1.3559
.3032	.0222	.0790	.0841	1.5466	1.3304
.3007	.0187	.0701	.0745	1.3033	1.3054
.2993	.0182	.0651	.0676	.7466	1.2707
.2959	.0148	.0530	.0590	1.6133	1.2167
.2937	.0127	.0451	.0491	1.1733	1.1417
.2918	.0107	.0384	.0418	1.0133	1.0489
.2900	.0089	.0320	.0352	.9599	.9435
.2883	.0072	.0259	.0290	.9066	.9321
.2870	.0059	.0213	.0236	.6933	.7217
.2860	.0050	.0177	.0195	.5333	.6185
.2850	.0039	.0142	.0160	.5333	.5276
.2843	.0032	.0117	.0129	.3733	.4515
.2837	.0026	.0096	.0106	.3199	.3887
.2831	.0020	.0074	.0085	.3200	.3362
.2826	.0015	.0056	.0065	.2666	.2940
.2820	.0009	.0035	.0046	.3200	.2661
.2818	.0007	.0028	.0032	.1066	.2564

CORRIDA 2.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

X	X/KC	LOG	0/D2	00/D2	0+1015	
.1110	1.0002	+ .0001	1006	- .0702	6.37232	1.0233
.1024	.9228	- .0348	1034	- .0381	3.51754	1.1066
.0939	.8454	- .0729	1161	- .0092	.26111	1.2500
.0841	.7566	- .1210	1239	+ .0408	0.28625	1.3320
.0745	.6605	- .1741	1316	+ .0995	6.73863	1.4121
.0676	.6066	- .2170	1394	+ .1297	9.23733	1.5000
.0590	.5292	- .2763	1471	+ .1831	12.44348	1.5922
.0491	.4388	- .3576	1549	+ .2576	16.62334	1.6663
.0418	.3727	- .4293	1625	+ .3226	19.33353	1.7500
.0352	.3130	- .5043	1704	+ .3920	23.00725	1.8330
.0290	.2566	- .5907	1781	+ .4712	26.44939	1.9166
.0235	.2062	- .6814	1859	+ .5543	29.82124	2.0000
.0185	.1711	- .7667	1936	+ .6324	32.66167	2.0833
.0160	.1388	- .8574	2013	+ .7156	35.52426	2.1666
.0129	.1114	- .9530	2091	+ .8032	38.40937	2.2500
.0106	.0904	-1.0436	2168	+ .8861	40.86094	2.3333
.0085	.0710	-1.1482	2246	+ .9820	43.71780	2.4166
.0065	.0533	-1.2729	2323	+1.0963	47.17866	2.5000
.0046	.0355	-1.4485	2401	+1.2572	52.35989	2.5833
.0032	.0226	-1.6441	2478	+1.4364	57.85297	2.6666

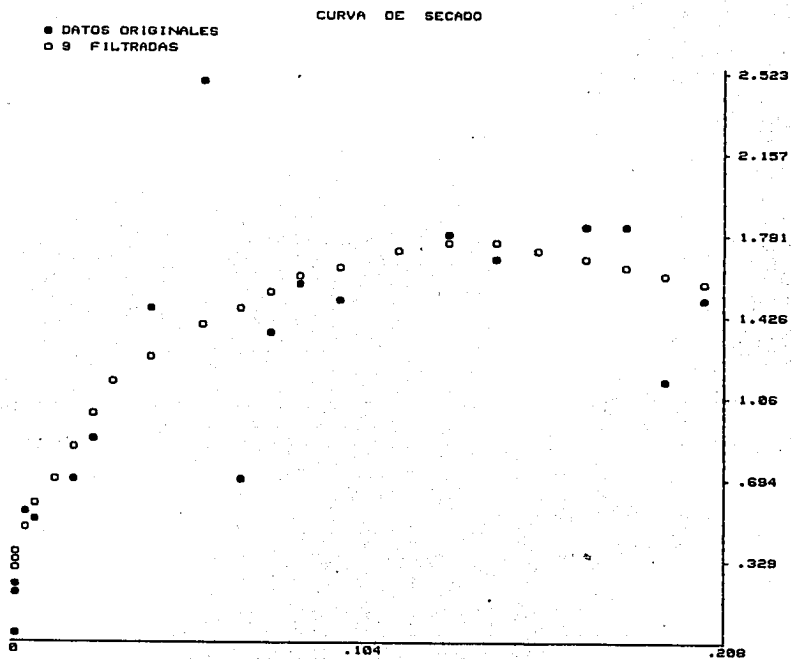
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PESO	HUMEDAD	X	X(PROM)	W	F = B
.2929	.0517	.2149	.0000	.0000	.0000
.2900	.0490	.2033	.2091	1.4933	1.5663
.2879	.0469	.1946	.1989	1.1200	1.5996
.2845	.0435	.1804	.1875	1.0133	1.6296
.2811	.0401	.1663	.1734	1.0133	1.6760
.2779	.0369	.1531	.1597	1.7066	1.7144
.2748	.0339	.1402	.1466	1.6533	1.7309
.2715	.0305	.1265	.1334	1.7599	1.7188
.2667	.0257	.1066	.1165	2.5600	1.6932
.2639	.0229	.0950	.1009	1.4933	1.6356
.2610	.0200	.0929	.0890	1.5466	1.5035
.2585	.0175	.0726	.0776	1.3333	1.5246
.2572	.0162	.0672	.0699	.6933	1.4504
.2526	.0116	.0491	.0576	2.4533	1.3543
.2499	.0089	.0369	.0425	1.4400	1.2369
.2478	.0067	.0282	.0325	1.1100	1.1045
.2462	.0051	.0215	.0240	.8533	.9652
.2449	.0038	.0161	.0188	.6933	.8255
.2436	.0025	.0107	.0134	.6933	.6990
.2427	.0016	.0070	.0089	.4800	.5631
.2417	.0006	.0029	.0049	.5333	.4522
.2413	.0003	.0012	.0020	.2133	.3655
.2410	.0000	.0000	.0006	.1600	.3105
.2410	.0000	.0000	.0000	.0000	.2918

CORRIDA 3.

ANÁLISIS CON  
FALLA DE ORIGEN





TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

X	X/MC	LOG	9/02	00/02	6*1015	
.0880	1.0880	+ .0880	774	- .0701	9.05150	.0303
.0778	.0741	- .0584	852	- .0165	1.34528	.3166
.0698	.7853	- .1848	929	+ .0258	2.75113	1.0000
.0576	.6480	- .1883	1006	+ .1025	10.19235	1.0000
.0425	.4778	- .3206	1084	+ .2237	20.63262	1.1666
.0325	.3659	- .4365	1161	+ .3299	28.39492	1.2588
.0248	.2797	- .5532	1239	+ .4368	35.24096	1.3333
.0188	.2121	- .6733	1316	+ .5469	41.52661	1.4166
.0134	.1515	- .8185	1394	+ .6808	48.83272	1.5000
.0089	.1002	- .9889	1471	+ .8452	57.43528	1.5833
.0048	.0559	-1.2522	1548	+1.0773	68.54335	1.6666
.0020	.0233	-1.6324	1626	+1.4257	87.64896	1.7500
.0006	.0068	-2.1552	1704	+1.9048	111.76201	1.8333

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

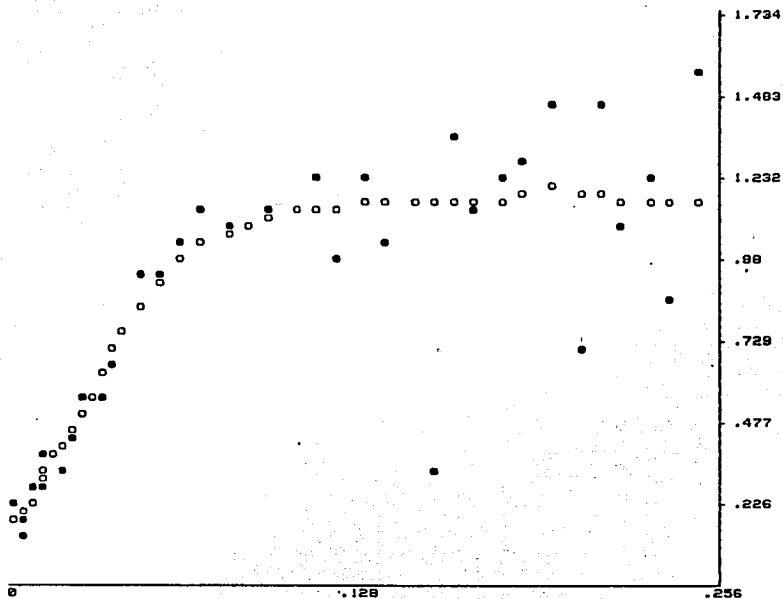
PESO	HUMEDAD	X	X(PROM)	W	F = 7
.3070	.0640	.2633	.0800	.0000	.0000
.3041	.0611	.2514	.2574	1.5466	1.1410
.3025	.0595	.2448	.2481	.8533	1.1422
.3002	.0572	.2353	.2401	1.2266	1.1452
.2992	.0552	.2271	.2312	1.0666	1.1527
.2955	.0525	.2160	.2216	1.4400	1.1651
.2942	.0512	.2106	.2133	.6933	1.1776
.2915	.0485	.1995	.2051	1.4388	1.1818
.2891	.0461	.1897	.1946	1.2800	1.1729
.2868	.0437	.1802	.1849	1.2266	1.1558
.2847	.0417	.1716	.1758	1.1188	1.1411
.2822	.0392	.1613	.1664	1.3333	1.1345
.2816	.0386	.1588	.1600	.3189	1.1338
.2783	.0353	.1452	.1520	1.7600	1.1345
.2764	.0334	.1374	.1413	1.0133	1.1340
.2741	.0311	.1279	.1327	1.2266	1.1319
.2723	.0293	.1205	.1242	.9600	1.1278
.2700	.0270	.1111	.1159	1.2266	1.1215
.2679	.0249	.1024	.1067	1.1200	1.1123
.2658	.0228	.0930	.0981	1.1200	1.0996
.2638	.0208	.0855	.0897	1.0666	1.0808
.2618	.0187	.0773	.0814	1.0666	1.0530
.2597	.0167	.0697	.0730	1.1199	1.0134
.2578	.0148	.0608	.0648	1.0133	.9608
.2561	.0131	.0538	.0574	.9066	.9963
.2544	.0114	.0469	.0504	.9066	.8243
.2530	.0099	.0411	.0448	.7466	.7505
.2518	.0088	.0362	.0386	.6389	.6793
.2508	.0077	.0320	.0341	.5333	.6127
.2488	.0068	.0278	.0300	.5333	.5508
.2480	.0058	.0238	.0259	.5333	.4943
.2480	.0050	.0205	.0222	.4266	.4443
.2474	.0043	.0161	.0183	.3200	.4008
.2467	.0037	.0152	.0166	.3733	.3623
.2462	.0031	.0131	.0141	.2666	.3261
.2455	.0025	.0102	.0117	.3733	.2904
.2431	.0021	.0086	.0094	.2133	.2356
.2446	.0016	.0065	.0076	.2666	.2247
.2443	.0013	.0053	.0059	.1600	.2008
.2441	.0011	.0045	.0049	.1066	.1858
.2439	.0009	.0037	.0041	.1066	.1764
.2435	.0005	.0020	.0028	.2133	.1737

CORRIDA 4.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CURVA DE SECAOO

■ DATOS ORIGINALES  
○ 7 FILTRADAS



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

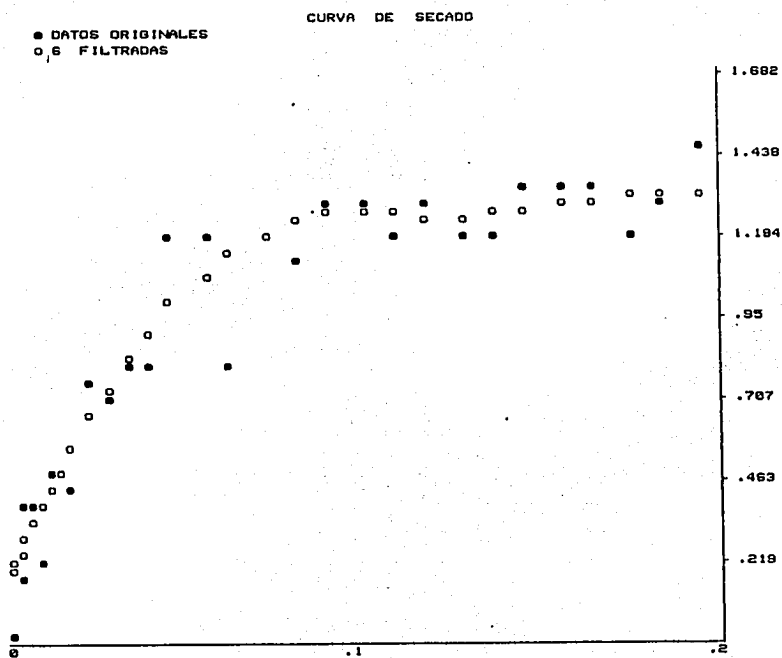
X	K/KC	LOG	0/02	00/02	0x1015	
.1158	1.0003	+ .0001	1318	- .0782	5.333412	1.4166
.1067	.9218	- .0353	1294	- .0377	2.78747	1.5000
.0981	.8469	- .0721	1471	- .0040	27442	1.5822
.0607	.7737	- .1114	1549	+ .0210	2.05782	1.6666
.0914	.7023	- .1534	1626	+ .0703	4.32530	1.7500
.0730	.6291	- .2012	1704	+ .1140	6.69493	1.8333
.0646	.5578	- .2535	1781	+ .1619	9.09881	1.9166
.0574	.4935	- .3066	1859	+ .2105	11.32859	2.0000
.0504	.4328	- .3636	1936	+ .2627	13.56818	2.0833
.0440	.3775	- .4230	2013	+ .3170	15.74526	2.1666
.0386	.3311	- .4789	2091	+ .3692	17.65443	2.2500
.0341	.2919	- .5347	2169	+ .4193	19.33682	2.3333
.0300	.2562	- .5914	2246	+ .4712	20.97800	2.4166
.0259	.2205	- .6565	2323	+ .5308	22.64493	2.5000
.0222	.1893	- .7249	2401	+ .5934	24.71433	2.5833
.0183	.1634	- .7867	2478	+ .6500	26.22363	2.6666
.0166	.1402	- .8532	2556	+ .7109	27.61019	2.7500
.0141	.1187	- .9251	2633	+ .7767	29.49288	2.8333
.0117	.0973	-1.0115	2711	+ .8557	31.56574	2.9166
.0094	.0777	-1.1082	2788	+ .9452	33.89807	3.0000
.0076	.0616	-1.2097	2865	+1.0372	36.19125	3.0833
.0059	.0474	-1.3240	2943	+1.1418	38.79348	3.1666
.0049	.0384	-1.4146	3020	+1.2247	40.54216	3.2500
.0041	.0313	-1.5036	3098	+1.3062	42.16018	3.3333
.0028	.0206	-1.6851	3175	+1.4723	46.36124	3.4166

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PEGO	HUMEDAD	X	X(PROM)	W	F = G
.2948	.0366	.2072	.0000	.0000	.0000
.2921	.0479	.1961	.2016	1.4400	1.2925
.2897	.0453	.1863	.1912	1.2790	1.2930
.2875	.0433	.1773	.1818	1.1733	1.2922
.2850	.0408	.1670	.1721	1.3333	1.2863
.2825	.0383	.1568	.1619	1.3333	1.2744
.2800	.0358	.1466	.1517	1.3333	1.2600
.2778	.0336	.1373	.1420	1.1733	1.2479
.2756	.0314	.1285	.1330	1.1733	1.2418
.2732	.0290	.1187	.1236	1.2799	1.2405
.2710	.0268	.1097	.1142	1.1733	1.2460
.2686	.0244	.0999	.1048	1.2800	1.2519
.2662	.0220	.0900	.0950	1.2799	1.2482
.2641	.0199	.0814	.0857	1.1200	1.2281
.2609	.0166	.0683	.0749	1.7066	1.1907
.2594	.0152	.0622	.0633	.7999	1.1364
.2572	.0130	.0532	.0577	1.1733	1.0667
.2550	.0108	.0442	.0487	1.1733	.9863
.2535	.0093	.0380	.0411	.8000	.9085
.2520	.0078	.0319	.0350	.7899	.8125
.2507	.0065	.0266	.0292	.6933	.7249
.2493	.0051	.0200	.0237	.7466	.6400
.2485	.0043	.0176	.0192	.4266	.5397
.2476	.0034	.0139	.0157	.4799	.4859
.2467	.0025	.0102	.0120	.4800	.4216
.2463	.0021	.0085	.0094	.2133	.3676
.2456	.0014	.0057	.0071	.3733	.3200
.2453	.0010	.0045	.0051	.1600	.2740
.2446	.0004	.0016	.0030	.3733	.2315
.2442	.0000	.0000	.0000	.2133	.2011
.2442	.0000	.0000	.0000	.0000	.1902

CORRIDA 5.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

X	X/XC	LOG	G/DE	GG/OZ	G*10+5	
.0950	1.0000	+ .0000	829	- .0701	7.54277	1.0080
.0857	.9030	- .0442	1006	- .0295	2.83096	1.0833
.0749	.7888	- .1030	1084	+ .0243	2.24123	1.1666
.0653	.6075	- .1627	1161	+ .0790	6.79932	1.2500
.0577	.6077	- .2162	1239	+ .1280	10.33303	1.3333
.0487	.5129	- .2699	1316	+ .1955	14.85183	1.4166
.0411	.4932	- .3633	1394	+ .2628	18.84940	1.5000
.0350	.3685	- .4335	1471	+ .3271	22.22812	1.5833
.0292	.3082	- .5111	1549	+ .3982	25.71023	1.6666
.0237	.2500	- .6020	1626	+ .4915	29.60531	1.7500
.0192	.2025	- .6933	1704	+ .5652	33.17001	1.8333
.0157	.1659	- .7800	1781	+ .6446	36.18449	1.9166
.0120	.1271	- .8856	1859	+ .7506	40.37673	2.0000
.0094	.0991	-1.0037	1937	+ .8496	43.87659	2.0833
.0071	.0754	-1.1224	2015	+ .9584	47.58933	2.1666
.0051	.0538	-1.2685	2091	+1.0923	52.22922	2.2500
.0030	.0323	-1.4804	2166	+1.2956	59.73684	2.3333
.0008	.0086	-2.0644	2246	+1.6215	81.09307	2.4166

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



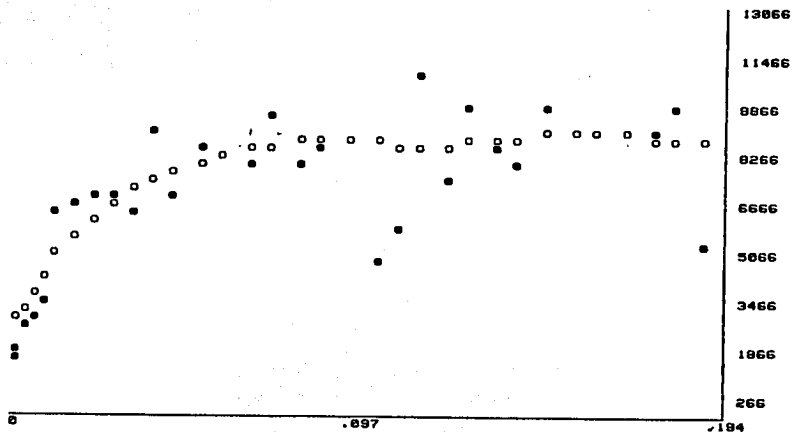
PEGO	HUMEDAD	X	X(PROM)	W	F = 10
.2752	.0452	.1965	.0000	.0000	.0000
.2742	.0442	.1921	.1943	.5333	.0717
.2724	.0429	.1843	.1882	.9600	.0750
.2707	.0407	.1769	.1906	.9066	.0735
.2690	.0390	.1695	.1732	.9066	.0232
.2673	.0373	.1621	.1659	.9066	.0951
.2656	.0356	.1547	.1584	.9066	.0849
.2638	.0338	.1469	.1508	.8600	.0829
.2623	.0323	.1404	.1436	.9000	.0793
.2607	.0307	.1334	.1369	.8533	.0747
.2589	.0289	.1256	.1295	.9600	.0696
.2575	.0275	.1195	.1226	.7466	.0645
.2555	.0255	.1108	.1152	1.0666	.0601
.2544	.0244	.1060	.1084	.5866	.0567
.2525	.0225	.0978	.1019	1.0133	.0539
.2510	.0210	.0893	.0945	.0000	.0512
.2494	.0194	.0843	.0878	.0533	.0476
.2479	.0179	.0778	.0810	.7999	.0420
.2461	.0161	.0700	.0739	.9600	.0339
.2446	.0146	.0634	.0667	.7999	.0228
.2431	.0131	.0568	.0602	.8000	.0085
.2415	.0115	.0500	.0534	.0533	.7906
.2402	.0102	.0443	.0471	.6923	.7687
.2385	.0085	.0360	.0406	.9066	.7417
.2373	.0073	.0317	.0343	.6399	.7076
.2360	.0060	.0260	.0289	.6933	.6543
.2347	.0047	.0204	.0232	.6933	.6111
.2335	.0034	.0152	.0178	.6400	.5491
.2323	.0023	.0100	.0126	.6399	.4816
.2317	.0017	.0073	.0086	.3200	.4128
.2312	.0012	.0052	.0063	.2666	.3479
.2307	.0007	.0030	.0041	.2666	.2915
.2304	.0003	.0017	.0023	.1600	.2479
.2301	.0001	.0004	.0010	.1599	.2266
.2300	.0000	.0000	.0002	.0533	.2114

CORRIDA 6.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CURVA DE SECADO

• DATOS ORIGINALES  
○ 10 FILTRADAS



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

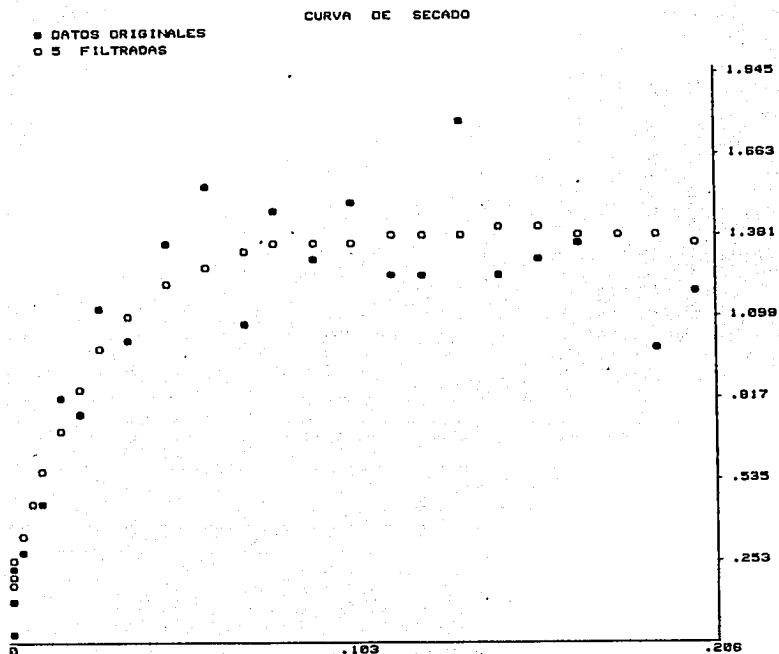
X	X/KC	LDG	0/02	00/02	0*10+5	
.0810	1.0010	+ .0004	1316	- .0705	5.35543	1.4166
.0739	.9125	- .0397	1384	- .0336	2.41395	1.5000
.0667	.8239	- .0841	1471	+ .0069	.47383	1.5033
.0602	.7434	- .1287	1549	+ .0478	3.09165	1.6666
.0534	.6602	- .1803	1626	+ .0951	5.84006	1.7500
.0471	.5823	- .2347	1704	+ .1450	8.51116	1.8333
.0406	.5018	- .2994	1781	+ .2042	11.46496	1.8166
.0343	.4240	- .3725	1859	+ .2713	14.58460	2.0000
.0289	.3569	- .4473	1936	+ .3398	17.55055	2.0333
.0232	.2871	- .5418	2013	+ .4264	21.17374	2.1666
.0178	.2208	- .6574	2091	+ .5323	25.45312	2.2500
.0125	.1556	- .8079	2168	+ .6701	30.89777	2.3333
.0086	.1073	- .9691	2246	+ .8179	36.41492	2.4166
.0063	.0778	-1.1088	2323	+ .9459	40.70834	2.5000
.0041	.0509	-1.2924	2401	+1.1142	46.40315	2.5833
.0023	.0295	-1.5298	2478	+1.3317	53.72784	2.6666
.0010	.0134	-1.8722	2556	+1.6455	64.37485	2.7500
.0002	.0026	-2.5712	2633	+2.2659	86.80109	2.8333

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PESEO	HUMEDAD	X	X(PROM)	W	F = 5
.2727	.2477	.2120	.0000	.0000	.0000
.2705	.2455	.2022	.2071	1.1733	1.3362
.2697	.2437	.1942	.1902	.0599	1.3540
.2650	.2408	.1777	.1860	1.0733	1.3679
.2625	.2375	.1666	.1722	1.3333	1.3785
.2601	.2351	.1560	.1613	1.2789	1.3869
.2578	.2328	.1457	.1500	1.2266	1.3866
.2545	.2295	.1311	.1384	1.7600	1.3793
.2522	.2272	.1200	.1260	1.2266	1.3692
.2499	.2249	.1106	.1157	1.2266	1.3602
.2471	.2221	.0902	.1044	1.4933	1.3491
.2447	.2197	.0875	.0926	1.2800	1.3391
.2420	.2170	.0755	.0815	1.4400	1.3295
.2400	.2150	.0666	.0711	1.0666	1.3082
.2371	.2121	.0537	.0602	1.5466	1.2617
.2346	.2095	.0426	.0482	1.3333	1.1898
.2327	.2076	.0342	.0384	1.0133	1.0039
.2306	.2056	.0248	.0295	1.1189	.9613
.2292	.2042	.0186	.0217	.7466	.8255
.2277	.2027	.0120	.0153	.0000	.6866
.2269	.2018	.0084	.0102	.4266	.5536
.2261	.2010	.0048	.0066	.4266	.4312
.2256	.2006	.0026	.0037	.2666	.3225
.2252	.2001	.0008	.0017	.2133	.2338
.2250	.2000	.0000	.0004	.1066	.1754
.2250	.2000	.0000	.0000	.0000	.1552

CORRIDA 7.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

X	1/XC	LOG	O/O2	OO/O2	Q*1015	
.0015	1.2006	+ .0002	3718	- .0703	1.93252	1.0000
.0711	.3725	- .0582	4027	- .0158	.39297	1.0033
.0602	.7389	- .1314	4337	+ .0503	1.15989	1.1666
.0462	.5916	- .2279	4647	+ .1387	2.98537	1.2500
.0384	.4717	- .3263	4957	+ .2289	4.61767	1.3332
.0295	.3626	- .4405	5267	+ .3335	6.33284	1.4160
.0217	.2672	- .5731	5577	+ .4550	8.16009	1.5000
.0153	.1861	- .7255	5886	+ .5947	10.10244	1.5833
.0102	.1254	- .9016	6196	+ .7560	12.20122	1.6666
.0086	.0917	-1.0872	6506	+ .9261	14.23455	1.7500
.0037	.3463	-1.3339	6816	+1.1522	16.30353	1.8333
.0017	.0219	-1.6612	7126	+1.4521	20.37793	1.9166
.0004	.0054	-2.2633	7436	+2.0038	26.94766	2.0000

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

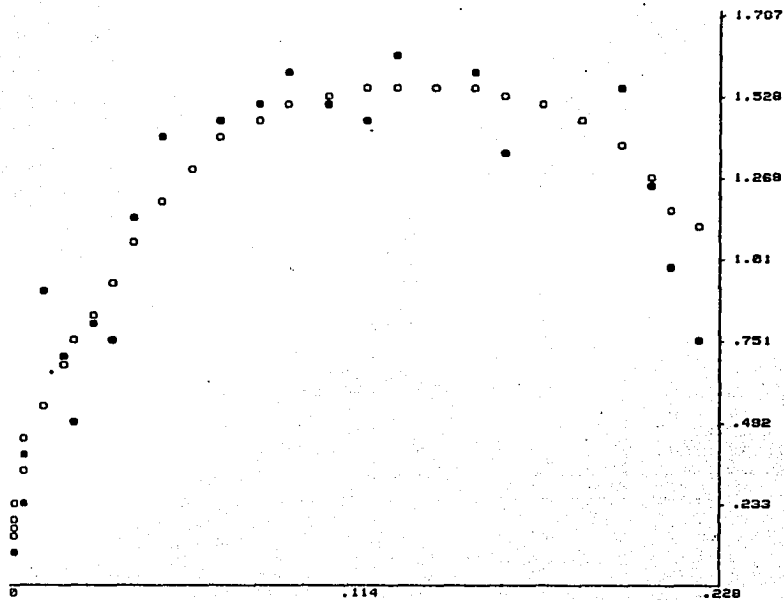
PESO	HUMEDAD	X	K(PROM)	W	F = 5
.2865	.0557	.2313	.0000	.0000	.0000
.2851	.0543	.2254	.2284	.7466	1.0963
.2933	.0525	.2180	.2217	.9583	1.1653
.2810	.0502	.2084	.2132	1.2266	1.2675
.2881	.0473	.1964	.2024	1.5466	1.3657
.2854	.0446	.1852	.1908	1.4389	1.4288
.2820	.0412	.1710	.1791	1.8133	1.4870
.2795	.0387	.1607	.1659	1.3333	1.5179
.2765	.0357	.1482	.1544	1.6000	1.5343
.2736	.0328	.1362	.1422	1.5466	1.5384
.2705	.0297	.1233	.1297	1.6533	1.5359
.2678	.0269	.1121	.1177	1.4400	1.5300
.2650	.0242	.1004	.1063	1.4933	1.5166
.2620	.0212	.0880	.0942	1.6000	1.4902
.2592	.0184	.0764	.0822	1.4933	1.4484
.2565	.0156	.0651	.0700	1.4400	1.3859
.2541	.0133	.0552	.0602	1.2789	1.2941
.2515	.0107	.0444	.0498	1.3866	1.1728
.2494	.0086	.0357	.0400	1.1200	1.0374
.2480	.0071	.0289	.0320	.7466	.9136
.2465	.0057	.0236	.0267	.7899	.8178
.2456	.0048	.0199	.0218	.4788	.7387
.2443	.0035	.0145	.0172	.6933	.6502
.2426	.0018	.0074	.0110	.8066	.5418
.2419	.0010	.0045	.0060	.3733	.4255
.2415	.0007	.0029	.0037	.2133	.3191
.2413	.0005	.0020	.0024	.1066	.2324
.2410	.0002	.0008	.0014	.1600	.1692
.2409	.0001	.0004	.0006	.0533	.1309
.2408	.0000	.0000	.0002	.0533	.1180

CORRITA 8.

<p style="text-align: center;">TESIS CON FALLA DE ORIGEN</p>
--

## CURVA DE SECADO

■ DATOS ORIGINALES  
○ 5 FILTRADAS



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



X	X/MC	LOG	0/02	00/02	0+10:5	
.0942	1.0007	+ .0009	1006	- .0702	6.98983	1.0200
.0922	.0720	- .0590	1064	- .0129	1.47466	1.1666
.0709	.7516	- .1228	1161	+ .0425	3.74522	1.2500
.0602	.6392	- .1843	1229	+ .1079	6.71303	1.2533
.0499	.5290	- .2765	1316	+ .1022	13.31963	1.4166
.0400	.4254	- .3711	1294	+ .2700	19.26709	1.5000
.0320	.3482	- .4500	1471	- .3496	23.75935	1.5833
.0297	.2043	- .5461	1549	+ .4203	27.77953	1.6666
.0218	.2314	- .6355	1628	+ .5122	31.48203	1.7500
.0172	.1829	- .7376	1704	+ .6058	35.55205	1.8333
.0110	.1160	- .9324	1781	+ .7843	44.02574	1.9166
.0060	.0639	-1.1843	1859	+1.0243	53.09852	2.0000
.0037	.0396	-1.4014	1936	+1.2141	62.69655	2.0833
.0024	.0264	-1.5775	2013	+1.3754	68.29716	2.1666
.0014	.0154	-1.8116	2091	+1.5899	76.02377	2.2500
.0006	.0066	-2.1796	2168	+1.9271	89.05539	2.3333
.0002	.0022	-2.0567	2246	+2.3643	105.25435	2.4166

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PESO	HUMEDAD	X	X(PROM)	W	F = 9
.1805	.1250	1.8093	.0000	.0000	.0000
.1061	.1206	1.8412	1.8748	2.3466	2.3385
.1805	.1150	1.7557	1.7984	2.9066	2.3586
.1777	.1122	1.7129	1.7343	1.4933	2.3586
.1730	.1075	1.6412	1.6770	2.5066	2.3586
.1687	.1032	1.5755	1.6093	2.2933	2.3587
.1635	.0980	1.4861	1.5358	2.7733	2.3385
.1586	.0941	1.4266	1.4664	2.6000	2.3189
.1531	.0896	1.3679	1.4022	2.4000	2.2916
.1509	.0853	1.3039	1.3358	2.2400	2.2573
.1466	.0811	1.2381	1.2709	2.2933	2.2179
.1423	.0769	1.1725	1.2053	2.2933	2.1745
.1387	.0732	1.1175	1.1450	1.9200	2.1286
.1346	.0691	1.0549	1.0852	2.1866	2.0799
.1308	.0653	.9969	1.0259	2.0266	2.0276
.1271	.0616	.9484	.8687	1.8733	1.9696
.1232	.0577	.8889	.8106	2.0800	1.9048
.1203	.0548	.8366	.8507	1.5466	1.8387
.1162	.0507	.7740	.8053	2.1866	1.7527
.1133	.0478	.7297	.7519	1.5466	1.6747
.1103	.0448	.6939	.7068	1.6000	1.6006
.1079	.0424	.6473	.6656	1.2800	1.5322
.1050	.0395	.6030	.6251	1.5466	1.4682
.1023	.0368	.5618	.5824	1.4400	1.4052
.1001	.0346	.5282	.5490	1.1733	1.3401
.0972	.0317	.4939	.5081	1.5466	1.2707
.0949	.0284	.4488	.4664	1.2266	1.1862
.0930	.0275	.4190	.4343	1.0133	1.1182
.0911	.0256	.3908	.4053	1.0133	1.0415
.0888	.0233	.3557	.3732	1.2266	.9736
.0876	.0221	.3374	.3465	.6400	.9215
.0864	.0209	.3190	.3282	.6389	.8667
.0846	.0191	.2916	.3053	.9599	.8631
.0835	.0180	.2749	.2832	.5866	.8390
.0823	.0169	.2564	.2656	.6399	.8045
.0792	.0137	.2091	.2328	1.6533	.7564
.0781	.0126	.1923	.2007	.5866	.6891
.0771	.0116	.1770	.1847	.5333	.6204
.0763	.0108	.1648	.1709	.4266	.5700
.0753	.0098	.1496	.1577	.5333	.5217
.0746	.0091	.1300	.1401	.3000	.4725
.0738	.0092	.1107	.1223	.4266	.4294
.0728	.0071	.1100	.1196	.4600	.3825
.0707	.0020	.1050	.1031	.2666	.3618
.0719	.0024	.0977	.1015	.3266	.3371
.0715	.0020	.0025	.0931	.3200	.3167
.0700	.0053	.3000	.0847	.2666	.2989
.0732	.0047	.0717	.0763	.3200	.2828
.0787	.0042	.0641	.0679	.2666	.2679
.0692	.0036	.0564	.0603	.2666	.2540
.0688	.0033	.0503	.0534	.2133	.2417
.0684	.0029	.0442	.0473	.2133	.2303
.0680	.0025	.0381	.0412	.2133	.2190
.0676	.0021	.0320	.0351	.2133	.2072
.0672	.0016	.0259	.0290	.2133	.1944
.0669	.0013	.0198	.0229	.2133	.1807
.0665	.0010	.0152	.0175	.1939	.1657
.0663	.0008	.0122	.0137	.1866	.1495

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

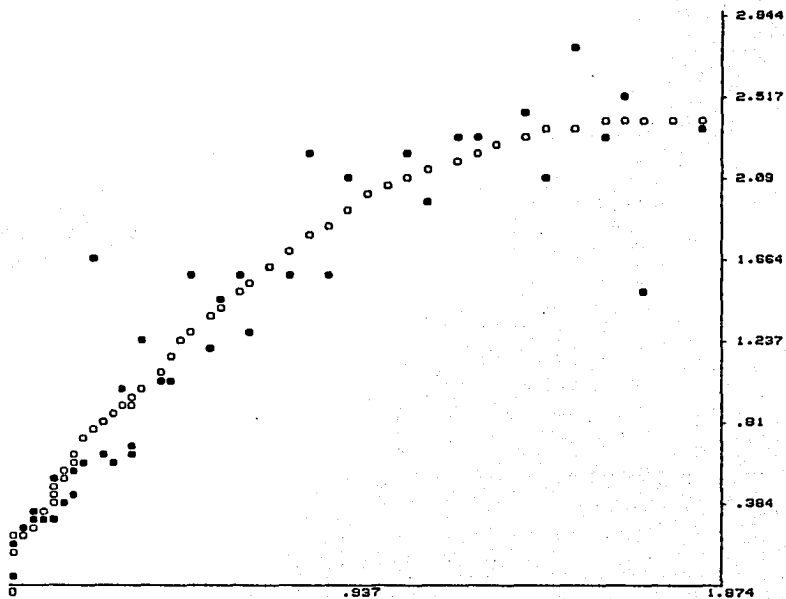
.0660	.0004	.0076	.0099	.1600	.1331
.0657	.0001	.0030	.0053	.1600	.1189
.0655	.0000	.0000	.0015	.1066	.1093
.0655	.0000	.0000	.0000	.0000	.1060

CORRIDA 9.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CURVA DE SECADO

● DATOS ORIGINALES  
○ S FILTRADAS



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

X	X/XC	LOG	0/02	00/02	001015	
1.5358	1.0000	+ .0000	1859	- .0701	3.77154	.5000
1.4664	.9548	- .0200	2168	- .0516	2.30351	.5933
1.4022	.9130	- .0394	2479	- .0339	1.36772	.6666
1.3350	.8698	- .0605	2788	- .0145	.52334	.7500
1.2709	.8275	- .0821	3098	+ .0052	.16950	.8333
1.2053	.7848	- .1052	3400	+ .0263	.77242	.9166
1.1450	.7455	- .1275	3718	+ .0467	1.25742	1.0000
1.0862	.7072	- .1504	4027	+ .0677	1.69135	1.0833
1.0259	.6688	- .1752	4337	+ .0904	2.00526	1.1666
.9687	.6307	- .2001	4647	+ .1133	2.43792	1.2500
.9186	.5929	- .2269	4957	+ .1378	2.78132	1.3333
.8587	.5591	- .2524	5267	+ .1612	3.06112	1.4166
.8053	.5243	- .2803	5577	+ .1868	3.34946	1.5000
.7519	.4895	- .3101	5886	+ .2141	3.63729	1.5833
.7058	.4602	- .3369	6196	+ .2387	3.89209	1.6666
.6656	.4334	- .3638	6506	+ .2666	4.03614	1.7500
.6251	.4078	- .3903	6816	+ .2875	4.21877	1.8333
.5924	.3792	- .4210	7126	+ .3157	4.43085	1.9166
.5458	.3548	- .4489	7436	+ .3421	4.60146	2.0000
.5061	.3295	- .4829	7745	+ .3716	4.79814	2.0833
.4664	.3036	- .5175	8055	+ .4041	5.01789	2.1666
.4343	.2820	- .5484	8365	+ .4325	5.17005	2.2500
.4053	.2639	- .5753	8675	+ .4600	5.30246	2.3333
.3732	.2430	- .6142	8985	+ .4928	5.48456	2.4166
.3465	.2256	- .6455	9295	+ .5223	5.61870	2.5000
.3282	.2137	- .6701	9604	+ .5438	5.66345	2.5833
.3053	.1988	- .7015	9914	+ .5727	5.77674	2.6666
.2832	.1844	- .7342	10224	+ .6027	5.89462	2.7500
.2656	.1729	- .7620	10534	+ .6281	5.96302	2.8333
.2480	.1615	- .7917	10844	+ .6553	6.04357	2.9166
.2320	.1511	- .8207	11154	+ .6819	6.11402	3.0000
.2167	.1411	- .8502	11463	+ .7090	6.16501	3.0833
.2007	.1307	- .8836	11773	+ .7396	6.26190	3.1666
.1847	.1202	- .9197	12083	+ .7727	6.39498	3.2500
.1709	.1113	- .9539	12393	+ .8034	6.46920	3.3333
.1572	.1023	- .9897	12703	+ .8368	6.58750	3.4166
.1442	.0939	-1.0271	13013	+ .8711	6.69404	3.5000
.1328	.0864	-1.0630	13322	+ .9040	6.78537	3.5833
.1198	.0780	-1.1077	13632	+ .9449	6.93126	3.6666
.1091	.0710	-1.1492	13942	+ .9920	7.04382	3.7500
.1015	.0661	-1.1797	14252	+1.0109	7.09312	3.8333
.0931	.0606	-1.2172	14562	+1.0452	7.17812	3.9166
.0847	.0551	-1.2502	14872	+1.0928	7.28141	4.0000
.0763	.0497	-1.3036	15181	+1.1244	7.40637	4.0833
.0679	.0442	-1.3542	15491	+1.1708	7.55759	4.1666
.0603	.0392	-1.4059	15801	+1.2192	7.70957	4.2500
.0534	.0347	-1.4585	16111	+1.2663	7.86007	4.3333
.0473	.0309	-1.5112	16421	+1.3146	8.00597	4.4166
.0412	.0269	-1.5712	16731	+1.3696	8.16621	4.5000
.0351	.0228	-1.6408	17040	+1.4334	8.41181	4.5833
.0290	.0188	-1.7208	17350	+1.5094	8.69380	4.6666
.0229	.0149	-1.8204	17660	+1.6035	8.07984	4.7500
.0175	.0114	-1.9418	17970	+1.7092	8.51189	4.8166
.0137	.0089	-2.0483	18280	+1.8068	9.08409	4.9000
.0099	.0064	-2.1896	18590	+1.9363	10.41338	5.0000
.0053	.0034	-2.4585	18999	+2.1026	11.54866	5.0833
.0015	.0009	-3.0023	19209	+2.6012	13.95764	5.1666

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

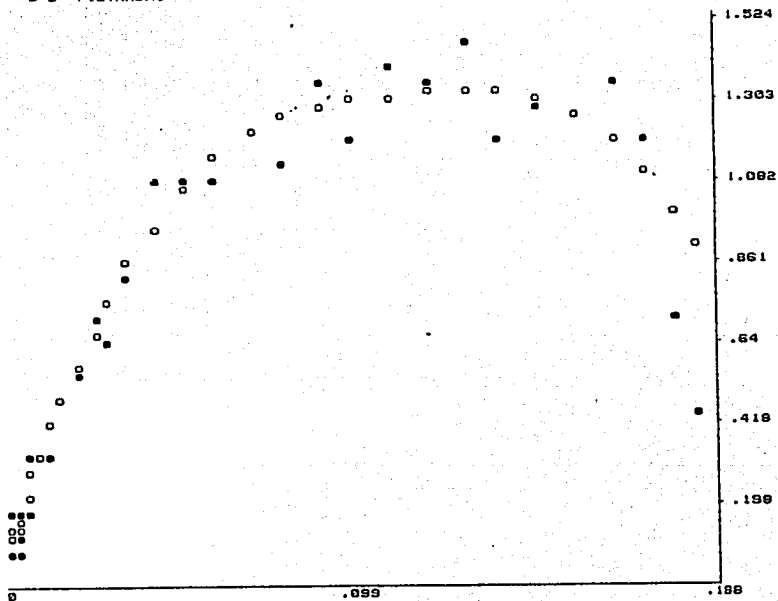
PESO	HUMEDAD	X	X (PROM)	W	F = 5
.2823	.0471	.2807	.0808	.0808	.0808
.2815	.3463	.1875	.1898	.4266	.8978
.2882	.0451	.1918	.1845	.6933	.8798
.2780	.3428	.1824	.1871	1.1733	1.0885
.2755	.3403	.1718	.1771	1.3333	1.1818
.2728	.0375	.1585	.1656	1.5466	1.2437
.2702	.0351	.1482	.1544	1.2888	1.2833
.2688	.0328	.1389	.1446	1.1733	1.3874
.2653	.0301	.1284	.1341	1.4400	1.3161
.2628	.0276	.1178	.1231	1.3333	1.3108
.2602	.0251	.1067	.1122	1.3866	1.2994
.2588	.0228	.0974	.1020	1.1733	1.2896
.2555	.0203	.0867	.0920	1.3333	1.2776
.2534	.0183	.0778	.0823	1.1198	1.2517
.2505	.0153	.0655	.0716	1.5466	1.2046
.2485	.0134	.0569	.0612	1.0666	1.1349
.2465	.0114	.0484	.0527	1.0666	1.0453
.2445	.0093	.0399	.0442	1.0666	.8438
.2430	.0078	.0336	.0367	.8000	.8409
.2418	.0066	.0284	.0318	.6399	.7414
.2405	.0053	.0229	.0257	.6933	.6456
.2395	.0043	.0187	.0208	.5333	.5554
.2386	.0034	.0148	.0168	.4800	.4735
.2380	.0028	.0123	.0136	.3199	.3994
.2374	.0022	.0097	.0110	.3200	.3308
.2368	.0016	.0072	.0085	.3200	.2687
.2365	.0013	.0059	.0065	.1599	.2163
.2363	.0011	.0051	.0055	.1066	.1761
.2360	.0008	.0038	.0044	.1599	.1479
.2359	.0007	.0034	.0036	.0533	.1285
.2356	.0005	.0021	.0027	.1599	.1170
.2355	.0003	.0017	.0019	.0533	.1076
.2352	.0000	.0004	.0010	.1599	.1012
.2351	.0000	.0000	.0002	.0533	.0988

CORRIDA 10.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CURVA DE SECADO

■ DATOS ORIGINALES  
○ 5 FILTRADAS



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

X	X/XC	LOG	0/02	00/02	0+1015	
.0023	1.0000	+ .0000	1006	- .0701	6.86344	1.0033
.0716	.8708	- .1600	1084	- .0150	1.38920	1.1666
.0012	.7442	- .1282	1161	+ .0474	4.09480	1.2500
.0527	.6408	- .1932	1239	+ .1063	8.65100	1.3353
.0442	.5375	- .2696	1316	+ .1769	13.42998	1.4166
.0367	.4470	- .3496	1394	+ .2502	17.95120	1.5000
.0310	.3772	- .4233	1471	+ .3178	21.55470	1.5833
.0257	.3126	- .5046	1549	+ .3925	25.39960	1.6666
.0209	.2532	- .5964	1626	+ .4764	29.29070	1.7500
.0163	.2041	- .6900	1704	+ .5622	32.99230	1.8333
.0136	.1653	- .7015	1781	+ .6460	36.20100	1.9166
.0110	.1243	- .8716	1859	+ .7206	39.10532	2.0000
.0085	.1022	- .9056	1926	+ .7930	42.01922	2.0833
.0065	.0801	-1.0963	2015	+ .8344	46.40132	2.1666
.0055	.0671	-1.1727	2091	+1.0044	48.02964	2.2500
.0044	.0542	-1.2654	2168	+1.0894	50.23309	2.3333
.0036	.0429	-1.3572	2246	+1.1725	52.24445	2.4166
.0027	.0325	-1.4737	2325	+1.2602	55.09709	2.5000
.0019	.0232	-1.6334	2401	+1.4266	59.41405	2.5833
.0010	.0129	-1.8887	2478	+1.6605	66.99431	2.6666
.0002	.0025	-2.5876	2556	+2.3010	90.02078	2.7500

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

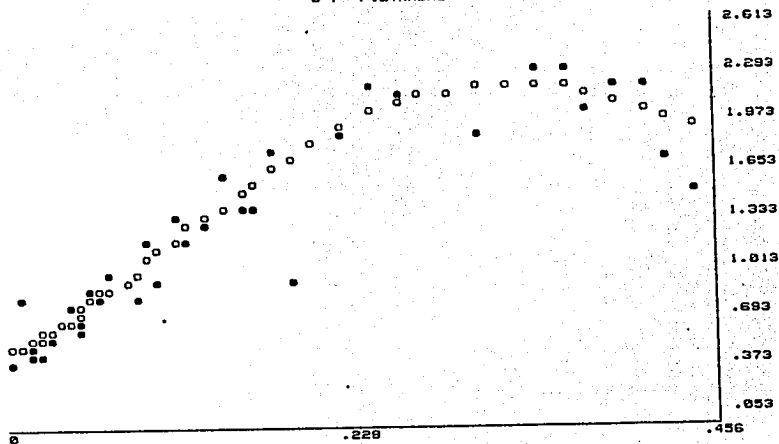


PESO	HUMEDAD	X	X(PROM)	W	F = 7
.3240	.1026	.4634	.4573	.0000	.0000
.3213	.0999	.4512	.4573	1.4400	1.9027
.3191	.0967	.4367	.4439	1.7066	1.9367
.3140	.0926	.4192	.4275	2.1866	1.8920
.3100	.0886	.4001	.4092	2.1333	2.0572
.3062	.0848	.3830	.3915	2.0266	2.1149
.3020	.0806	.3640	.3735	2.2400	2.1520
.2978	.0764	.3450	.3545	2.2400	2.1666
.2920	.0714	.3224	.3337	2.6666	2.1619
.2894	.0679	.3071	.3140	1.0133	2.1402
.2854	.0640	.2890	.2981	2.1333	2.1316
.2815	.0600	.2714	.2802	2.0000	2.1094
.2775	.0561	.2533	.2624	2.1333	2.0703
.2735	.0521	.2353	.2443	2.1333	2.0035
.2700	.0486	.2195	.2274	1.8666	1.9097
.2650	.0436	.1969	.2002	2.6666	1.8022
.2634	.0420	.1897	.1933	.8533	1.8989
.2601	.0387	.1747	.1822	1.7589	1.8031
.2575	.0361	.1630	.1689	1.3066	1.5212
.2550	.0336	.1517	.1574	1.3333	1.4470
.2520	.0306	.1382	.1449	1.5900	1.3760
.2497	.0282	.1278	.1330	1.2266	1.3046
.2475	.0261	.1178	.1228	1.1733	1.2311
.2450	.0236	.1065	.1122	1.3333	1.1565
.2433	.0219	.0989	.1027	.8066	1.0843
.2411	.0197	.0889	.0939	1.1733	1.0179
.2397	.0183	.0826	.0850	.7466	.8585
.2380	.0166	.0749	.0780	.8066	.8041
.2363	.0149	.0672	.0711	.8066	.8525
.2349	.0134	.0609	.0641	.7466	.8032
.2333	.0119	.0537	.0573	.8533	.7574
.2321	.0107	.0483	.0510	.6399	.7150
.2310	.0096	.0433	.0458	.5066	.6760
.2297	.0083	.0374	.0404	.6933	.6379
.2285	.0071	.0320	.0347	.6400	.5987
.2275	.0061	.0275	.0290	.5333	.5629
.2264	.0050	.0225	.0250	.5066	.5354
.2257	.0043	.0194	.0210	.3733	.5162
.2249	.0034	.0150	.0176	.4266	.4897
.2241	.0027	.0121	.0140	.4266	.4811
.2226	.0012	.0054	.0080	.7999	.4616
.2220	.0006	.0027	.0040	.3200	.4469
.2214	.0000	.0000	.0013	.3200	.4415

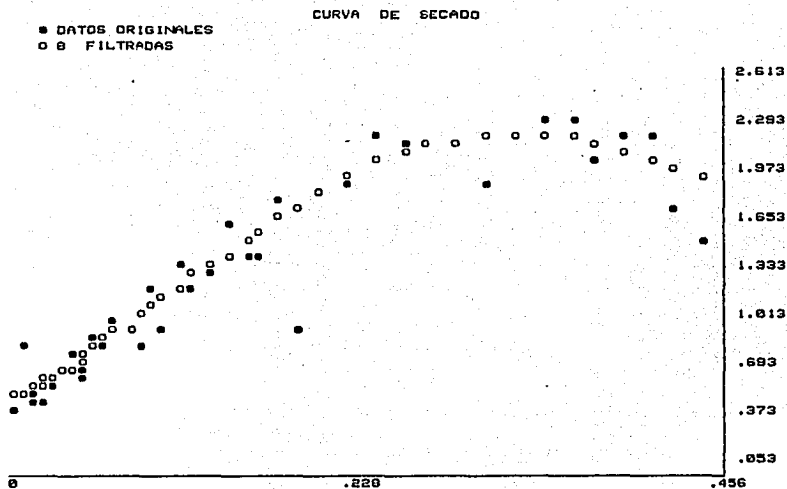
CORRIDA 11.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

CURVA DE SECADO  
● DATOS ORIGINALES  
○ 7 FILTRADAS



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

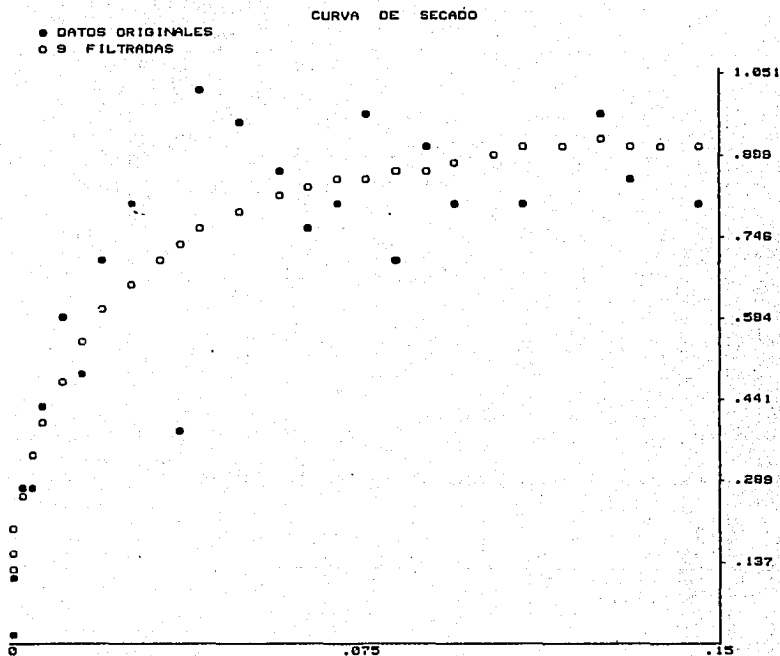
X	X/MC	LOG	0-02	00/02	e+1015	
.2624	1.0000	+ .0000	929	- .0701	7.54434	1.0000
.2443	.9312	- .0309	1006	- .0417	4.14489	1.0000
.2274	.8666	- .0621	1084	- .0131	1.21274	1.1666
.2082	.7935	- .1804	1161	+ .0219	1.88053	1.2500
.1933	.7367	- .1326	1239	+ .0515	4.15547	1.3333
.1822	.6945	- .1582	1316	+ .0749	5.69246	1.4166
.1689	.6437	- .1912	1394	+ .1051	7.54219	1.5000
.1574	.5998	- .2210	1471	+ .1332	9.05567	1.5833
.1448	.5525	- .2570	1549	+ .1629	10.71430	1.6666
.1330	.5069	- .2950	1626	+ .2002	12.31211	1.7500
.1228	.4681	- .3295	1704	+ .2319	13.60046	1.8333
.1122	.4277	- .3608	1781	+ .2670	15.03520	1.9166
.1027	.3915	- .4017	1859	+ .3029	16.29079	2.0000
.0939	.3568	- .4460	1936	+ .3386	17.48341	2.0833
.0858	.3270	- .4853	2013	+ .3746	18.60434	2.1666
.0788	.3003	- .5223	2091	+ .4085	19.53458	2.2500
.0711	.2711	- .5668	2169	+ .4403	20.71764	2.3333
.0641	.2444	- .6118	2246	+ .4905	21.03850	2.4166
.0573	.2186	- .6603	2323	+ .5249	23.02250	2.5000
.0510	.1945	- .7110	2401	+ .5814	24.21555	2.5833
.0458	.1747	- .7576	2478	+ .6241	25.18139	2.6666
.0404	.1540	- .8123	2556	+ .6742	26.37773	2.7500
.0347	.1325	- .8776	2633	+ .7341	27.87506	2.8333
.0290	.1136	- .9445	2711	+ .7954	29.34139	2.9166
.0250	.0955	-1.0190	2788	+ .8644	30.99914	3.0000
.0210	.0800	-1.0966	2865	+ .9348	32.61809	3.0833
.0176	.0671	-1.1730	2943	+1.0046	34.13777	3.1666
.0140	.0533	-1.2727	3020	+1.0961	36.28671	3.2500
.0088	.0335	-1.4741	3098	+1.2906	41.33369	3.3333
.0040	.0154	-1.8098	3175	+1.5893	50.01422	3.4166
.0013	.0051	-2.2870	3253	+2.0255	62.26209	3.5000

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PESO	HUMEDAD	X	X(PROM)	W	F = 9
.2656	.0356	.1547	.0000	.0000	.0000
.2641	.0341	.1402	.1515	.0000	.0000
.2624	.0324	.1408	.1445	.0066	.0071
.2608	.0308	.1339	.1373	.0533	.0122
.2590	.0290	.1260	.1300	.0600	.0147
.2570	.0270	.1173	.1217	1.0666	.0122
.2555	.0255	.1108	.1141	.0000	.0041
.2535	.0235	.1021	.1065	1.0666	.0920
.2520	.0220	.0956	.0988	.7999	.0783
.2503	.0203	.0882	.0919	.0666	.0655
.2490	.0190	.0826	.0854	.6933	.0557
.2472	.0172	.0747	.0786	.0600	.0486
.2457	.0157	.0682	.0715	.7999	.0416
.2443	.0143	.0621	.0652	.7466	.0305
.2427	.0127	.0552	.0586	.6533	.0130
.2409	.0109	.0473	.0513	.0599	.7895
.2390	.0089	.0391	.0432	1.0133	.7613
.2383	.0082	.0360	.0376	.3733	.7292
.2370	.0070	.0304	.0332	.6933	.6921
.2355	.0054	.0239	.0271	.0000	.6481
.2342	.0042	.0182	.0210	.6933	.5958
.2333	.0032	.0143	.0163	.4800	.5349
.2322	.0021	.0095	.0119	.5866	.4668
.2314	.0014	.0060	.0078	.4266	.3845
.2309	.0009	.0039	.0050	.2666	.3217
.2304	.0003	.0017	.0028	.2666	.2532
.2302	.0001	.0008	.0013	.1066	.1938
.2300	.0000	.0000	.0004	.1066	.1481
.2300	.0000	.0000	.0000	.0000	.1194
.2300	.0000	.0000	.0000	.0000	.1097

CORRIDA 12.

<p style="text-align: center;">TESIS CON FALLA DE ORIGEN</p>
--



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

X	X/XC	LOG	O/OE	OO/OE	O+10+5	
.0586	1.0016	+ .0007	1084	- .0707	6.52350	1.1666
.0513	.8755	- .0377	1161	- .0171	1.47378	1.2500
.0432	.7382	- .1318	1238	+ .0506	4.08927	1.3333
.0376	.6417	- .1826	1316	+ .1063	8.08011	1.4166
.0332	.5675	- .2459	1394	+ .1552	11.13774	1.5000
.0271	.4637	- .3357	1471	+ .2387	16.01700	1.5833
.0210	.3598	- .4438	1549	+ .2386	21.73072	1.6666
.0163	.2782	- .5555	1626	+ .4390	26.93554	1.7500
.0119	.2040	- .6902	1704	+ .5624	33.00506	1.8333
.0078	.1335	- .8743	1781	+ .7310	41.03698	1.9166
.0050	.0853	- 1.0620	1859	+ .9093	48.91767	2.0000
.0028	.0462	- 1.3167	1936	+ 1.1364	58.68612	2.0833
.0013	.0222	- 1.6523	2012	+ 1.4441	71.70724	2.1666
.0004	.0074	- 2.1286	2091	+ 1.8215	89.95605	2.2500

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANALISIS DEL PERIODO CONSTANTE

Tabla de Resultados:

No. Corrida	P mm H <sub>2</sub> O	Tbs ° C	Tbh ° C	Y Kg H <sub>2</sub> O Kg s <sub>0</sub> L	VH m <sup>3</sup> /Kg	e Kg / m <sup>3</sup>	G Kg/hr m <sup>2</sup>	Re	C	G Kg/hr m <sup>2</sup>	hc Kcal/hr m <sup>2</sup> °C
1	22.2	8.4	41.75	19.55	.009	1.1726	.8527	9676.0	3.41 x 10 <sup>4</sup>	.65	10306.0 28.40
2	22.2	8.4	42.9	20.7	.01	1.1788	.8483	9652.1	3.40 x 10 <sup>4</sup>	.65	10227.7 28.35
3	36.15	2.8	62.75	26.6	.012	1.2569	.7956	5396.8	1.9 x 10 <sup>4</sup>	.65	5746.5 17.80
4	17.9	7.3	36.5	18.6	.01	1.1549	.8659	9090.8	3.2 x 10 <sup>4</sup>	.65	9680.09 27.02
5	19.15	7.9	39.0	19.85	.01	1.1643	.8589	9418.7	3.32 x 10 <sup>4</sup>	.65	10029.2 27.80
6	21.0	8.4	38.0	17.00	.007	1.1550	.8658	9751.2	3.4 x 10 <sup>4</sup>	.65	1038.3 28.58
7	22.2	8.5	44.5	21.8	.009	1.1829	.8454	9692.8	3.4 x 10 <sup>4</sup>	.65	1032.1 28.44
8	32.4	2.8	58.0	25.6	.013	1.2410	.8058	5431.2	1.9 x 10 <sup>4</sup>	.65	5785.3 17.89
9	32.4	8.4	55.0	22.6	.009	1.2220	.8183	9479.9	3.3 x 10 <sup>4</sup>	.65	10094.0 27.94
10	16.7	3.4	38.0	21.3	.014	1.1679	.8563	6169.67	2.17 x 10 <sup>4</sup>	.65	6595.5 19.81
11	35.3	4.8	60.5	25.2	.013	1.2504	.7997	7084.25	2.49 x 10 <sup>4</sup>	.65	7543.4 22.13
12	23.4	8.4	40.5	17.1	.006	1.1624	.8603	9720.0	3.42 x 10 <sup>4</sup>	.65	10350.0 28.51

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



ANALISIS DEL PERIODO CONSTANTE

Tabla de Resultados:

Corrida	Ky	hr T prom. Kcal/hr m <sup>2</sup> °C	F	Gasto aire m/seg	W	W graf. Kg/hr m <sup>2</sup>	W teórica Kg/hr m <sup>2</sup>	W exp. Kg/hr m <sup>2</sup>	1	2
1	118.30	0.1337	1.80	3.35	0.75	1.350	1.07486	1.5201	-41.42	-12.60
2	118.13	0.1352	1.80	3.36	0.75	1.350	1.07443	1.428	-32.90	- 5.70
3	74.16	0.1578	1.25	2.00	1.10	1.375	1.1037	1.6527	-49.74	-20.19
4	112.58	0.1283	1.70	3.10	0.62	1.050	0.8236	1.1466	-39.22	- 9.20
5	115.83	0.1311	1.75	3.24	0.70	1.225	0.9073	1.264	-39.31	- 3.18
6	119.08	0.1292	1.80	3.33	0.60	1.080	1.0209	0.8683	14.94	19.60
7	118.50	0.0228	1.80	3.39	0.75	1.350	1.1029	1.3612	-23.42	- 0.82
8	74.54	0.1523	1.20	1.99	1.00	1.200	0.9936	1.5187	-52.85	-26.55
9	116.41	0.0246	1.85	3.42	0.97	1.7945	1.5498	2.3536	-51.86	-31.15
10	82.54	0.1306	1.30	2.13	0.65	0.845	0.5650	1.2866	-127.21	-52.26
11	92.20	0.1548	1.40	2.62	0.96	1.344	1.3409	2.1236	-58.37	-58.00
12	118.79	0.1317	1.80	3.34	0.60	1.080	1.1361	0.8780	22.72	18.70

Nota: 1 W teórica vs. W exp.

2 W graf. vs. W exp.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANALISIS DEL PERIODO DECRECIENTE

Tabla de Resultados:

Corrida	T <sub>bs</sub> ° C	T <sub>bh</sub> ° C	$\lambda$ Kcal/Kg	hc Kcal/hr m <sup>2</sup> °C	S/A Kg/m <sup>2</sup>	X e Kg /Kg
1	41.75	19.50	586.52	28.40	12.4578	.0002
2	42.90	20.70	585.81	28.35	12.4889	.0007
3	62.75	26.60	582.96	17.80	10.7110	0 .
4	36.50	18.60	587.22	27.02	10.8000	.0005
5	39.00	19.85	586.69	27.80	10.8530	0
6	38.00	17.00	587.81	28.58	10.2200	0
7	44.50	21.80	585.26	28.44	10.0000	0
8	58.00	25.60	582.97	17.89	10.7020	0
9	55.00	22.60	584.06	27.94	2.9111	0
10	38.00	21.30	585.39	19.81	10.4489	0
11	60.50	25.20	582.54	22.13	9.8400	0
12	40.50	17.10	587.14	28.51	10.2222	0

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANALISIS DEL PERIODO DECRECIENTE

Tabla de Resultados:

Corrida	Xc Kg/Kg	XF Kg/Kg	θ total hr	θ crítico hr	θ decreciente hr	θ cap. hr	θ cap. con hc exp. hr
1	.0870	.0017	2.416	1.250	1.166	4.0786	2.8849
2	.1110	.0032	2.660	1.083	1.577	4.8484	3.6491
3	.0890	.0006	1.916	0.833	1.083	4.3170	2.8829
4	.1158	.0028	3.416	1.416	2.000	5.9184	9.2511
5	.0950	.0008	2.500	1.000	1.500	4.7433	3.4047
6	.0810	.0002	2.830	1.416	1.414	4.8677	3.4940
7	.0815	.0005	2.080	1.000	1.080	3.7630	3.0489
8	.0942	.0002	2.410	1.080	1.330	6.2405	4.0628
9	1.5358	.0015	5.080	0.500	4.580	19.9800	13.1564
10	.0823	.0002	3.410	1.080	2.330	9.1590	4.0220
11	.2624	.0013	3.500	1.000	2.500	10.2190	6.4525
12	.5860	.0004	2.410	1.166	1.244	2.6285	3.4050

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ANALISIS DEL PERIODO DECRECIENTE

Tabla de Resultados :

<u>Corrida</u>	<u>m1</u>	<u>m2</u>	<u>m3</u>	<u>K teórica</u>	<u>K exp.</u>	<u>§1</u>	<u>§2</u>
1	1.2935	3.8506	-	0.9940	1.4058	-30.13	7.98
2	1.5526	-	-	0.7800	1.0366	99.06	49.77
3	1.6111	5.4615	-	1.1578	1.7337	39.15	7.07
4	0.8843	-	-	0.6614	0.9208	33.70	3.96
5	1.1675	6.8681	-	0.8799	1.2259	32.68	4.76
6	1.0116	2.1436	8.3893	1.2330	1.0487	17.95	3.53
7	1.9062	7.2202	-	1.3533	1.6702	40.86	14.13
8	1.0930	2.8711	-	0.9856	1.5064	10.90	27.44
9	.4384	1.4963	6.5317	0.3466	0.5264	2.64	16.72
10	1.2235	-	-	0.6570	0.4394	85.60	177.50
11	0.5898	2.4178	-	0.4863	0.7702	21.27	23.42
12	1.5063	3.5298	-	1.3014	1.0046	15.74	49.93

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ANALISIS DEL PERIODO DECRECIENTE

Corrida	Difusividad X 10 <sup>5</sup> ft <sup>2</sup> /hr			I n t e r v a l o s			
	Total	1er.recta	2da.recta	3er.recta	1er. recta	2da. recta	3er. recta
1	35.3110	32.0611	-	-	0.0470 a 0.0037	-	-
2	34.0610	32.2230	-	-	0.0590 a 0.0046	-	-
3	55.6733	43.0894	99.7169	-	0.0425 a 0.0049	0.0020 a 0.0006	-
4	26.7527	26.7527	-	-	0.6480 a 0.0028	-	-
5	38.8847	33.1519	70.4149	-	0.0487 a 0.0051	0.0030 a 0.0008	-
6	35.2366	16.4580	34.6920	75.58797	0.0471 a 0.0178	0.0126 a 0.0023	0.0010 a 0.0002
7	12.2863	9.4422	23.6628	-	0.0482 a 0.0037	0.0017 a 0.0004	-
8	50.1642	27.9850	70.1944	-	0.0498 a 0.0110	0.0600 a 0.0006	-
9	6.5955	6.0636	9.9372	12.75315	0.9106 a 0.0229	0.0175 a 0.0099	0.0053 a 0.0015
10	64.9321	39.8435	90.0207	-	0.0442 a 0.0019	0.0010 a 0.0002	-
11	25.7739	21.4338	45.5442	-	0.1574 a 0.0176	0.0140 a 0.0040	-
12	41.7183	24.9860	59.7704	-	0.0332 a 0.0078	0.0050 a 0.0013	-

Nota: 1 K teórica vs. ml

2 K experimental vs. ml

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ANALISIS DEL PERIODO DECRECIENTE

Tabla de Resultados :

Corrida	$\theta$ dec. teo.	$\theta$ 1 teó.	$\theta$ 2 teó.	$\theta$ 3 teó.	$\theta$ dec. exp.	$\theta$ 1 exp.	$\theta$ 2 exp.	$\theta$ 3 exp.
1	5.0106	3.5264	-	-	1.166	0.7500	-	-
2	4.8400	3.6595	-	-	1.577	1.0000	-	-
3	3.9153	2.1859	0.5264	-	1.083	0.5000	0.0833	-
4	6.3769	5.4282	-	-	2.000	1.5000	-	-
5	5.3566	2.9676	0.8184	-	1.500	0.0833	-	-
6	7.4292	2.5779	2.1375	0.9283	1.414	0.4170	0.3360	0.0833
7	4.5100	2.9633	0.6664	-	1.080	0.5830	0.0834	-
8	5.3400	2.3527	2.8605	-	1.330	0.5000	0.4164	-
9	11.4500	6.6198	0.6248	1.0782	4.580	3.4170	0.1667	0.0833
10	2.7800	3.4437	0.7795	-	2.330	1.1667	0.0840	-
11	8.9789	4.4565	1.2838	-	2.500	1.5833	0.1666	-
12	5.5700	2.5274	0.9826	-	1.244	0.4166	0.1666	-

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANALISIS DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR

<u>Corrida</u>	<u>U. exp.</u>	<u>U. con cond.</u>	<u>t</u>
1	40.1642	42.57	5.65
2	37.6793	42.51	11.36
3	26.6540	28.72	7.19
4	37.6167	40.84	7.89
5	38.7294	41.82	7.39
6	39.8161	42.79	6.95
7	35.1007	36.97	5.05
8	27.8445	28.85	5.22
9	42.4310	36.43	16.47
10	45.1107	31.46	43.39
11	35.0476	34.55	1.44
12	22.0080	42.71	48.47

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CAPITULO VI.**

**DISEÑO DE PRACTICA.**



## DISEÑO DE PRACTICA

### DETERMINACION DE CURVAS DE SECADO.

1. **Objetivos.** Explicar mediante la experimentación con diversos materiales el fenómeno de secado, determinar los períodos que intervienen, la humedad crítica y la velocidad de secado. Analizar las curvas obtenidas.
2. **Fundamentos Teóricos.**

Se denomina secado al proceso mediante el cual se eliminan pequeñas cantidades de humedad ya sea libre, interna o ligada a un sólido mediante medios térmicos. El secado es generalmente la etapa final de la obtención de un producto en estado sólido. (17)

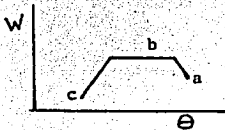
Normalmente los productos no se encuentran totalmente secos sino que poseen una pequeña cantidad de humedad correspondiente a la humedad en el equilibrio. (15)

Se denomina velocidad de secado a la pérdida de humedad por unidad de tiempo por unidad de área, esta depende de la cantidad de calor que se esté suministrando, así como de la humedad que exista en el aire que circunda el material a secar. (16)

En el proceso de secado se pueden notar tres períodos fundamentales:

- a) Período de precalentamiento, en el cual el sólido alcanza la temperatura de las condiciones de secado.
- b) Período en el cual la pérdida de humedad es constante con respecto al tiempo. A este período se le denomina período de velocidad constante. Este período va desde la humedad inicial hasta la humedad crítica.
- c) Período en el cual la pérdida de humedad empieza a disminuir con respecto al tiempo hasta alcanzar la humedad de equilibrio. A este período se le denomina período de velocidad decreciente. Este período va desde la humedad crítica hasta la humedad de equilibrio.

Si graficamos la velocidad de secado con respecto al tiempo, las secciones a, b, c demuestran cada período respectivamente.



La humedad crítica es el punto en el cual ya no existe humedad en la superficie del sólido y empiezan a secarse las capas internas del mismo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La velocidad de secado viene dada por:

$$W = \frac{S}{A} \frac{dx}{d\theta}$$

W = Velocidad de secado	Kg/hr m <sup>2</sup>
S = Peso del sólido seco	Kg
A = Area de la superficie expuesta	m <sup>2</sup>
x = Humedad	Kg H <sub>2</sub> O/Kg sólido seco
θ = Tiempo	hr

El cálculo del tiempo de secado en el período de velocidad constante se obtiene mediante el reacomodo de la ecuación anterior.

$$d\theta = \frac{S}{A} \frac{dx}{w}$$

$$\int d\theta = \frac{S}{A} \int_{X_1}^{X_f} \frac{-(dx)}{W}$$

$$\theta = \frac{S}{A} \frac{(X_1 - X_f)}{W}$$

El tiempo de secado será la suma de todos los períodos que intervengan en el proceso.

$$\theta = \theta_a + \theta_b + \theta_c$$

En el período decreciente la velocidad de secado  $W$  es variable por lo que el cálculo del tiempo de secado puede hacerse de dos maneras:

- a) Método gráfico. Calculando el área bajo la curva graficado con  $1/W$  como ordenada y  $X$  como absisa.
- b) Métodos analíticos. Si la velocidad de secado varía linealmente con la humedad.

$$\theta = \frac{S}{A} \left( \frac{X_c - X_t}{W_c - W_f} \right) \ln \frac{W_c}{W_f}$$

Si no se conoce como varía la velocidad se puede suponer que la variación es lineal desde la humedad crítica hasta la humedad de equilibrio.

$$\theta = \frac{S}{A} \left( \frac{X_c - X^*}{W_c} \right) \ln \frac{X_c - X_t}{X_A - X^*}$$

### 3. Descripción del Equipo.

El equipo de secado esta construido sobre el equipo de aire acondicionado P.A. Hilton, ya existente, por lo que hay que saber las partes que integran cada uno de ellos.

El equipo de aire acondicionado consta de:

## Sección

I. Sistema de aire:	
Ventilador con control de velocidad	A
Calentadores de aire	B y F
Humidificación con vapor	C
Medición de flujo de aire	G
II. Sistema de refrigeración:	
Compresor - condensador	H
III. Vaporizador:	
Calentadores de inmersión	I
IV. Controles e instrumentación	

El equipo de secado es con secador de lámina de 1/16" provisto de una jaula hecha de alambre con capacidad para tres charolas de aluminio de dimensiones máximas de 25x25 cm., la cual se encuentra conectada a una balanza granataria mediante la relación de la misma.

La lectura de humedad se hace tomando la lectura de la temperatura mediante los termómetros de bulbo seco y húmedo que se encuentran a la entrada y salida del secador.

El equipo está provista además de una puerta de acrílico que permite la introducción de las charolas con facilidad así como el observar el fenómeno de secado sin ninguna dificultad.

#### 4. Técnica de Operación.

- 1.- Colocar los termómetros de bulbo húmedo y seco respectivamente.
- 2.- Medir el área de la charola a utilizar.
- 3.- Colocar la muestra seca y registrar su peso.
- 4.- Colocar la muestra húmeda, registrar su peso.
- 5.- Arrancar el ventilador y prender los calentadores al mismo tiempo.
- 6.- Registrar datos de peso cada 5 minutos hasta que ya no haya pérdida de peso en el sólido.

Precaución.- Nunca prender los calentadores antes del ventilador porque puede calentarse el equipo. Apagar primero los calentadores y después de 5 minutos apagar el ventilador.

5. Datos a entregar.

- a) Gráfica de humedad vs. tiempo.
- b) Gráfica de la velocidad de secado vs. tiempo.
- c) Cálculo de humedad crítica y de equilibrio.
- d) Tiempo total de secado.
- e) Gráfica de velocidad de secado vs. humedad

6. Cuestionario.

- 1.- ¿En qué consiste el proceso de secado?
- 2.- ¿Qué es humedad ligada?
- 3.- ¿Qué es humedad de equilibrio?
- 4.- ¿Qué es velocidad de secado?
- 5.- ¿Cuántos períodos se pueden presentar en el proceso de secado y cuáles son?

- 6.- ¿Qué tipo de mecanismos pueden controlar en el período de velocidad decreciente?
- 7.- ¿De qué depende la humedad crítica?
- 8.- ¿De qué maneras se calcula el tiempo de secado en el período decreciente?
- 9.- ¿Cómo influye la temperatura en la velocidad de secado?
- 10.- ¿Cómo influye la humedad en la velocidad de secado?
- 11.- Mencione cinco ejemplos de sólidos en los cuales controle el mecanismo de capilaridad.
- 12.- Mencione cinco ejemplos de sólidos en los cuales controle el mecanismo de difusión.
- 13.- Mencione cinco aplicaciones del proceso de secado.
- 14.- ¿Cómo se calcula la humedad en base seca?
- 15.- ¿A qué se denomina sólido higroscópico?
- 16.- En el mecanismo de difusión, ¿de qué manera varía el tiempo de secado con respecto al espesor del material a secar?



- 12.- Una gran cantidad de personas se aburren de tener que salir al campo de batalla en campaña y estar en campaña.
- 13.- Una gran cantidad de personas se aburren de hacer cosas que no les gustan.
- 14.- Algunas personas tienen que trabajar.
- 15.- Una gran cantidad de personas se aburren de tener que trabajar en el campo de batalla.

#### 1. HUMEDAD:

- 1.- Es la relación de granada condiciones de humedad dentro de la aplicación de un determinado sistema.
- 2.- Humedad libre: Es la humedad contenida en un sólido de que existe una presión de vapor en el equilibrio entre que la del líquido puro a la misma temperatura.
- 3.- Humedad de equilibrio: Humedad mínima a la cual puede existir un material dado en determinadas condi- ciones de humedad y temperatura.
- 4.- De la extracción de humedad con respecto al tiempo y por unidad de área.

- 5.- Son tres: Precalentamiento, período de velocidad constante, período de velocidad decreciente.
- 6.- Mecanismos de difusión y de capilaridad.
- 7.- Del espesor del material a secar con la velocidad de secado y por consiguiente no es una propiedad del material.
- 8.- Gráficamente y analíticamente.
- 9.- A mayor gradiente de temperatura mayor es la pérdida de humedad con respecto al tiempo.
- 10.- A menor humedad mayor es el gradiente que hay entre el sólido húmedo y el aire y por lo tanto la velocidad de secado es mayor.
- 11.- Materiales porosos como arena, roca molida, catalizadores, Sulfato de Zinc, Fosfato de Sodio.
- 12.- Materiales de estructura continua como jabones, madera, papel, arcilla, detergentes, huevo.
- 13.- Obtención de pigmentos, obtención de pastas alimenticias, industria textil, industria del papel, obtención de detergentes, etc.

14. -

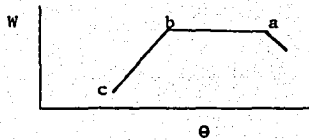
$$\frac{\text{Peso sólido húmedo} - \text{Peso sólido seco}}{\text{Peso sólido seco}} = \frac{\text{Kg humedad}}{\text{Kg sólido seco}}$$

15. - Cuando la presión de vapor del agua que acompaña al sólido es menor que la tensión de vapor del agua a la misma temperatura.
16. - Varía inversamente proporcional al cuadrado del espesor de la muestra a tratar:

$$\theta = \frac{4d^2}{Dl \pi^2} \ln \frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}$$

17. - Se utiliza en el período de velocidad decreciente y se grafica  $X$  vs  $1/W$  para obtener así el área bajo la curva.
18. - Cuando la humedad inicial del sólido es inferior a la crítica.
19. - Secadores rotarios, por aspersion, de tambor, neumáticos.

20. -



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

8. Formato para Presentación de Datos Obtenidos.

Se anexa al final del capítulo.

9. Bibliografía.

- Treybal, Robert "Operaciones de Transferencia de Masa", Mc. Graw Hill, "2da. Edición", U.S.A. 1980.
- Ocon J & Tojo G., "Problemas de Ingeniería Química", Aguilar S.A. de Ediciones, España 1980.
- Valiente A. & González A., "Prácticas de Laboratorio de Transferencia de Masa", Facultad de Química U.N.A.M. 1980.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

CORRIDA No.

Caída de Presión

R.P.M.

Kw.

Espesor charola

Material

Peso Seco

Peso húmedo

Area charola

ENTRADASALIDA

tbs

tbs

tbh

tbh

tbs

tbs

tbh

tbh

TIEMPO

PESO

HRS.GRS.

TIEMPO

PESO

HRS.GRS.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO VII.

## CONCLUSIONES.

### CONCLUSIONES

Después de haber realizado una serie de experimentos con diversos materiales y de haber obtenido tanto las curvas de variación de peso respecto al tiempo como las curvas de secado, se llevó a cabo un análisis de los datos experimentales con la finalidad de ver el comportamiento que presenta cada material y las condiciones que rigen cada caso, así como las posibilidades de que el fenómeno pudiese ser reproducible.

En base a los resultados obtenidos se llegó a lo siguiente.

### CONCLUSIONES

Del análisis de datos en el período de velocidad constante se obtuvieron las siguientes conclusiones:

En las corridas de arena y en las cuales el gasto de aire oscila entre  $10,000 \text{ Kg/hr m}^2$  se obtuvieron valores aproximados en la velocidad de secado y las variaciones entre las mismas se debieron principalmente a que las condiciones bajo las cuales se llevaron a cabo los experimentos no son del todo ideales ya que las condiciones climáticas variaban constantemente por lo que la temperatura y humedad resultaban ser variables no controlables; además, de que las variaciones diarias también afectaban ya que los experimentos no eran realizados a las mismas horas.

En las corridas de chaquirá, las número 6 y 12 las velocidades de secado también tuvieron valores aproximados así como en las corridas de aserrín números 9 y 11 siendo que en este caso los gastos de aire no fueron parecidos.

Esto indica la posibilidad de que los experimentos sean reproductibles.



Por otra parte al comparar los valores experimentales con los valores teóricos de velocidad, se observa que los primeros son mayores siendo el porcentaje de variación en promedio de un 21.5%. Estas variaciones pueden deberse además a que la evaporación depende en gran parte de la presión de vaporización, la cual también sufre variaciones diarias.

Los valores bajos de las velocidades de secado teóricas pueden deberse a que las temperaturas leídas no fuesen del todo ciertas, ya que los termómetros usados no se encuentran calibrados debidamente con medidas estandar y en algunas ocasiones las lecturas diferían de un termómetro a otro.

Del análisis del período decreciente se encontró que en todas las corridas a excepción de la número 10, el mecanismo de capilaridad está presente en la primera parte del período decreciente y por el análisis de los tiempos se ve que, en el resto del mecanismo, se encuentra presente una mezcla de difusión y capilaridad.

Además se encontró que en la corrida número 10 el mecanismo que controla en todo el período es el de difusión, ya que los tiempos tanto teóricos como experimentales difieren entre sí un 16%.

El hecho de que los datos obtenidos no se ajusten a los predichos por la literatura hace suponer que hubo variables ajenas no controlables pueden haber alterado el mecanismo de secado; tal es el caso del polvo que estuvo presente durante todo el tiempo en el cual se llevaron a cabo los experimentos ya que el laboratorio de Ingeniería estuvo en construcción, y nuevamente a las condiciones climáticas.

Por otra parte la predicción de la humedad crítica pudo tener alteraciones ya que aunque los datos fueron filtrados es muy difícil suponer un solo valor como el correcto y por lo tanto el análisis del período decreciente podría variar totalmente.

Del análisis del coeficiente de transferencia de calor se encontró que las variaciones entre los valores experimentales y los teóricos no exceden un 10% lo que hace suponer que se encontraba presente el fenómeno de conducción además del de convección, siendo mucho más significativo el primero que el segundo; mas sin embargo, tal parece que no hay modificación en las temperaturas de la interfase siendo ésta igual a la temperatura de bulbo húmedo.

Todo esto indica que aunque el aparato cumple totalmente con su objetivo y los datos pueden ser repetitivos es necesario tratar de realizar los experimentos en horas en las cuales

la variación de humedad y temperatura puedan considerarse despreciables, así como el buscar un lugar para la instalación del equipo donde no haya tanto polvo. Ya que si se pensase en poner un material secante para el aire y un filtro para el mismo, esto implicaría un alto costo para el poco tiempo que se use el aparato.

Sería conveniente además el seguir realizando experimentos con otros materiales para ver el comportamiento de los mismos al secarse, como pueden ser arena de mar, carbonato de calcio.

Por último, se comprobó que en general el secar un material en un secador de charolas sólo tiene por objeto el predecir teóricamente los valores de velocidades constante y decreciente, humedades crítica y de equilibrio, así como el mecanismo que controla el período decreciente, ya que por lo general los tiempos que emplea el material a secarse son bastante largos, a no ser que el aire a utilizar se recircule para alcanzar así un gradiente mayor de temperaturas, pero de alguna manera esto implicaría un aumento en la humedad del aire y por lo tanto el gradiente por este concepto disminuiría por lo que este análisis no se hará en el presente trabajo.

## BIBLIOGRAFIA.

B I B L I O G R A F I A

- 1 - Badger & Banchemo, "Introduction to Chemical Engineering", Mc Graw Hill, New York 1955.
- 2 - Belcher O. W., "Analyzing Suspended-Particle Dryers with Psychrometric Charts", Chemical Engineering, Vol. 84: 112, enero de 1977.
- 3 - Broughton D., "The Drying of Solids", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 30, diciembre de 1945.
- 4 - Brown George, "Unit Operations", John Wiley & Sons, Inc., New York 1955.
- 5 - Cheney V. A., "How to Select a Dryer", Chemical Engineering Progress, Vol. 75:40-3, abril de 1979.
- 6 - Dittman F. W., "How to Classify a Drying Process", Vol. 84: 106, enero de 1977.
- 7 - Dittman F. W., "Establishing the Parameters for a Spray Dryer", Chemical Engineering, Vol. 84:108, enero de 1977.
- 8 - Forthuber K., "Continuous Vacuum Plate Dryer", Chemical Engineering Progress, Vol. 79:71-6, abril de 1983.

- 9 - Foust S., "Principios de Operaciones Unitarias", Cía. Editorial Continental, México 1983.
- 10 - Gean Koplis Christie, "Transport Process & Unit Operations".
- 11 - Gilliland E., "Fundamentals of Drying and Air Conditioning", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 30:5, mayo de 1938.
- 12 - Hilton P. D., "Unidad de Acondicionamiento de Aire de Laboratorio", Proyectos Industriales, S. A.
- 13 - Koly R. B., "Drying Principles & Practice", Pergamon Press, Oxford 1972.
- 14 - Kern Q. Donald., "Procesos de Transferencia de Calor", Compañía Editorial Continental, México 1979.
- 15 - Ludwig Ernest, "Applied Process Design for Chemical & Petrochemical Plants", Gulf Publishing Company, Vol. 1, Texas 1979.
- 16 - Mc Cabe & Smith, "Operaciones Básicas de Ingeniería Química, Editorial Reverte, S. A., Vol. 2, México 1980.
- 17 - Nonhebel G., "El Secado de Sólidos en la Industria Química", Reverte, S. A., 1979.

- 18 - Ocon J. & Tojo G., "Problemas de Ingeniería Química", Aguilar, S. A. de Ediciones, España 1980.
- 19 - Perry John, "Chemical Engineers Handbook", 5a. Edición, Mc Graw Hill, New York 1980.
- 20 - Root I. William, "Secado Indirecto de Sólidos", Chemical Engineering, Vol. 90, No. 9: 52-64, mayo 1983.
- 21 - Sheppherd C., Hadlock C. & Brower, "Drying Materials in Trays", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 30:4, abril de 1938.
- 22 - Sieniutycz Stanislaw, "The Thermodynamic Approach to Fluidized Drying and Moistening Optimization", Aiche Journal, Vol. 19, No. 2, marzo de 1973.
- 23 - Sriramamurty D., "Drying Compressed Air", Plant Engineering, Vol. 37:185, marzo de 1983.
- 24 - Treybal, Robert, "Operaciones de Transferencia de Masa", Mc Graw Hill, 2a. Edición, U.S.A. 1980.
- 25 - Valiente A. & González A., "Prácticas de Laboratorio de Transferencia de Masa", Facultad de Química UNAM 1980.

- 26 - Valiente A., Apuntes de Ingeniería Química, 6°.
- 27 - Vian A. & Ocon J., "Elementos de Ingeniería Química", Aguilar Ediciones, México 1976.
- 28 - Wenzel W. & White Robert, "Drying Granular Solids in Superheated Steam", Industrial Engineering Chemistry, Vol. 43:8, agosto de 1951.