



97 201  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DISEÑO DE UN SECADOR ELECTRICO  
DE GISES**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

**HIPOLITO L. MORALES RODRIGUEZ**

DIRECTOR DE TESIS,

**M. EN I. ALEJANDRO C. RAMIREZ REIVICH**

México, D. F.

1990

**FAULA DE INGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
ESTUDIO EN LA PLANTA DE VINCI	
1.1 Introducción	3
1.2 Estudio del proceso de fabricación	3
1.3 Resultados	8
CAPITULO II	
FUNDAMENTOS BASICOS	
2.1 Introducción	10
2.2 Características del producto	10
2.3 Desecación de sólidos	18
2.3.1 Mecanismo interno de circulación	19
2.3.2 Variables externas	20
2.4 Acondicionamiento del aire	22
2.5 Tipos de secadores	29
2.5.1 Secadores Directos	29
2.5.2 Secadores Indirectos	30
2.5.3 Secadores Infrarrojos	30
2.5.4 Secadores Dieléctricos	31
2.6 Secadores de bandejas	32
2.6.1 Teoría para el proyecto	33
CAPITULO III	
DISEÑO DE LA BANDEJA	
3.1 Introducción	40
3.2 Definición del problema	40
3.3 Alternativas de solución	43
3.4 Diseño de detalle	48
CAPITULO IV	
DISEÑO DEL SECADOR	
4.1 Introducción	53
4.2 Memoria de cálculos	53

4.2.1	Cálculo del tiempo de secado	53
4.2.2	Dimensionamiento del secador	59
4.2.3	Cálculo de energía para el secador	59
4.2.4	Selección del ventilador	61
4.2.5	Selección del motor que mueva al ventilador	62
4.4	Diseño de detalla	63
CONCLUSIONES		74
ANEJO A		76
ANEJO B		83
ANEJO C		87

## INTRODUCCION

Vinci de México S.A., es una empresa que fabrica artículos escolares tales como plastilina en diferentes presentaciones, juegos de geometría, pinturas (acuarelas), crayones etc, siendo su principal producto el gis, precisamente éste producto le abrió la posibilidad de extender su mercado al extranjero.

El proceso de producción del gis resulta poco eficiente para producir el número de gises necesarios para cubrir el mercado nacional y el nuevo mercado internacional.

Los dirigentes de la empresa se dieron cuenta de la situación en la que se encontraba la planta de producción de gises, y concluyeron que se hacia necesario realizar cambios en ella. Estos cambios representaban grandes inversiones, y una forma de reducir éstas era contratar a alguien que tuviera la capacidad suficiente para hacerse cargo de realizar dichos cambios en función de los recursos disponibles.

Uno de los objetivos de la U.N.A.M. es la de educar y formar profesionistas capaces de producir los avances y el desarrollo tecnológico que el país requiere, para tal fin se crearon centros de formación profesional, en los cuales los alumnos realizan trabajos encaminados a resolver necesidades reales, tanto en el campo técnico como social. Un ejemplo de esto es el C.D.M.I.T. (Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica) que forma parte de la Facultad de Ingeniería, dicho centro realiza trabajos para la industria privada y estatal, donde los alumnos de la facultad son los principales actores.

Como la Universidad por medio del C.D.M.I.T. proporcionaba a Vinci una alternativa de solución, sus directivos se comunicaron con el centro y le plantearon su problema. Invitaron a los responsables de éste a sus instalaciones, se las mostraron para que hicieran una evaluación de las dimensiones de los cambios y se pronunciara a favor o en contra de hacerse cargo de realizar dichos cambios.

#### INTRODUCCION

En el mes de junio de 1988 por medio de su director, el C.D.M.I.T. comunicaba a la empresa que dicho centro tenía la capacidad y los recursos necesarios para realizar los cambios suficientes para incrementar la capacidad de producción de gises de su planta. En el mismo comunicado se le informaba que para conocer el problema a detalle y poder proporcionar alguna solución con estimación de costo y duración, era necesaria la realización de un estudio previo de la planta para lo cual se llevarían a cabo visitas continuas a sus instalaciones.

## **CAPITULO I**

### **ESTUDIO EN LA PLANTA DE VINCI**

### 1.1 Introducción

En base a los datos recopilados en las diversas visitas hechas a la planta , y de acuerdo a los proporcionados por sus dirigentes se conformo un reporte, el cual fué base para delinear la trayectoria a seguir en el desarrollo del proyecto.

### 1.2 Estudio del proceso de fabricación.

#### Estudio cuantitativo.

Se consideran jornadas comunes de trabajo no involucrando turnos ni horas extras, la mayoría de los datos que aquí se presentan fueron proporcionados por los responsables de operación de la planta y los supervisores de producción. El resto de los valores de que se parte, se basan en la información obtenida.

#### DATOS

##### Moldes

Capacidad / turno:	180 charolas de gis blanco. 45 charolas de gis de color.
Yeso no moldeado:	Blanco 450 g/bandeja. Color 365 g/bandeja.
Gis mal moldeado:	Blanco 6 pzas./bandeja. Color 10 pzas./bandeja.
Carga de yeso:	Blanco 4.7 g/pza. Color 4.32 g/pza.
Costo:	Blanco \$ 1.00/pza. Color \$ 11.00/pza.
Gises/bandeja:	1190 pzas.
Total de gises moldeados	267750
Turnos/día	1



ESTUDIO A LA PLANTA DE VINCI

Secado con horno

Capacidad/turno:	96 charolas
Gis mal moldeado/charola:	4 pzas.
Gis calcinado:	6.74% del que entra.
Gis que requiere secado extra:	5%
Turnos/día:	2
Total de gises secados	114240

Secado al sol

Salen remanentes de secado con horno.

Cambio de charola a gaveta. (solo gis de color).

Gis sucio:	8%
Gis mal moldeado:	2%
Turnos/día:	1

Empaque

Gis 12 blanco:	1750 cajas.
Gis 50 blanco:	660 cajas.
Gis 150 blanco:	800 cajas.
Gis 12 color:	1250 cajas.
Gis 50 color:	420 cajas.
Gis 150 color:	160 cajas.
Gis 50 color:	400 cajas.
Turno/día:	1
Total de gises empacados	254000

Se tiene gran desperdicio debido principalmente al yeso no moldeado (7.78%), y al secado con horno que causa el gis calcinado (6.74%). El resto del desperdicio es debido al gis mal moldeado (2.33%). El desperdicio provocado por el secado al intemperie y por fraguado rápido no son considerados.

ESTUDIO A LA PLANTA DE VINCI

Comparando el renglón de moldeo y el secado con horno se observa que este último es insuficiente aún con tres turnos de trabajo. Por otro lado la capacidad de piezas empacadas es inferior a las moldeadas.

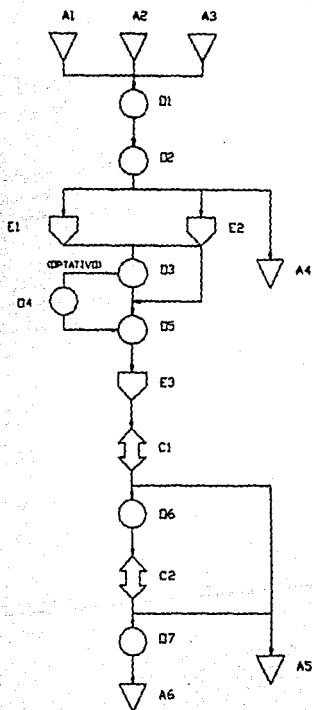
Tomando en cuenta que la producción actual satisface sólo un 90% del mercado nacional y que se tiene la posibilidad de exportar 12 millones de piezas al mes, se requiere aumentar un turno en el moldeo, 2 turnos en el empacado y 5 turnos en el secado con horno.

Acontinuación se presenta una tabla que muestra el recorrido del yeso en el proceso de fabricación de gises indicando el tiempo que permanece en un almacén, en una espera y el que requieren los transportes, operaciones y controles de calidad.

Tiempo	Operación	Descripción
20 días	A1	Almacén de yesos.
	C1	Control de yesos.
15 min.	T1	Transporte a zona de moldeo.
10 min.	O1	Mezcla de yesos.
1 min.	T2	Transporte a estación de moldeo.
8 min.	O2	Moldeo.
8 hrs.	E1	Espera a secado en horno.
8 hrs.	O3	Secado en horno.
15.1 hrs.	O4	Complemento de secado. (eventual.)
1 min.	T4	Transporta a zona de empaque.
5 min.	T5	Transporte a patio.
28-35 días.	E2	Secado al sol.
5 min.	T6	Transporte a zona de empaque.
5 min.	T7	Transporte a patio de desperdicio.
7 días.	A4	Patio de desperdicios.
10.6 min.	O5	Cambio de charola a gaveta.
3 días.	E3	Espera a embalaje.
10 min.	C2	Control de gis de color.
5 min.	T8	Transporte a patio de desperdicio.
0.6 min.	O6	Embalaje manual.
	C3	Control al empacar.
5 min.	T9	Transporte a patio de desperdicio.
5 min.	O7	Empaque para la distribución.
	A6	Almacén de producto terminado.

Observando los tiempos podemos ver que el que se requiere

DIAGRAMA DE OPERACIONES



ALMACENES

MATERIA PRIMA

- A1 YESOS
- A2 ADITIVOS
- A3 COLORANTES

DESPERDICIOS

- A4 YESO NO MOLDEADO
- A5 GIS DEFECTUOSO
- A6 PRODUCTO TERMINADO
- GIS EMPACADO PARA DISTRIBUCION

OPERACIONES

- D1 MEZCLA DE YESOS
- D2 MOLDEO
- D3 SECADO CON HORNO
- D4 COMPLEMENTO SECADO
- D5 CAMBIO DE BANDEJA A GAVETA
- D6 EMBALAJE DEL GIS
- D7 EMPAQUE PARA DISTRIBUCION

ESPERAS

- E1 ANTES DEL SECADO EN HORNO
- E2 ANTES DEL SECADO AL AIRE LIBRE
- E3 ANTES DEL EMPAQUE

CONTROL DE CALIDAD

- C1 DURANTE E3
- C2 DURANTE D6

ALMACENES 6

OPERACIONES 7

ESPERAS 3

CONTROL DE CAL. 2

#### ESTUDIO A LA PLANTA DE VINCI

para llevar el yeso a la zona de moldeo es relativamente grande y que en el moldeo también lo es, el secado en el horno es poco menor de 5 hrs. y el secado al sol es muy lento y totalmente fuera de control. La espera para el embalaje es grande.

El tiempo que tarda el yeso en pasar por todo el proceso, sin tomar en cuenta el que permanece en el almacén, es de aproximadamente seis turnos, cuando se trata de un gis de color y secado en el horno, y de cuandomenos de 28 días si se seca al sol.

Tomando en cuenta la información que se ha presentado y lo observado en las visitas, se realizó el análisis de partes más problemáticas.

#### ALMACENES.

No son suficientes para aumentar la producción, además de estar alejado de la zona de trabajo.

#### CONTROLES DE CALIDAD.

Estos son apoyados básicamente en la experiencia de los trabajadores, por lo que se puede decir que no son sistemáticos.

#### MOLDEO.

Se tiene gran desperdicio de yeso ocasionado por el deficiente control en la mezcla de éste. El tiempo que se emplea en esta función es grande, ocasionado por que se involucran demasiadas operaciones.

#### SECADO EN HORNO.

Produce gran desperdicio de yeso y de energía, es insuficiente, tiene demasiados tiempos muertos, el arreglo de los gises en las charolas ocasionan un secado heterogéneo, haciendo necesario que algunos gises requieran de un tiempo extra de secado. El control de combustible y de temperatura en el horno es empírico. El horno es demasiado grande para la producción que tiene.

#### EMBALAJE DE GIS.

Puede ser optimizado para aumentar su producción, disminuir el espacio que ocupa y distribuir mejor el personal.

#### SECADO AL SOL.

El tiempo empleado en ésta operación es totalmente aleatorio y sujeto a las condiciones climáticas, además en esta operación los gises se manchan desperdiciandose parte de la producción. Ocupa demasiado espacio. Sin embargo es el sistema de secado que produce el gis de mayor calidad.

### 1.3 Resultados.

#### Diagnóstico general.

- No existe buena planeación de la producción, lo cual impide dar mantenimiento al equipo. Genera demasiado desperdicio por la precipitada fabricación, elimina controles de calidad, todo esto impide hacer la producción eficiente.
- Varias estaciones de trabajo no cuentan con el equipo apropiado para realizar su función, por lo que son poco productivas o generan desperdicios en exceso.
- Las condiciones de trabajo son inadecuadas.
- En el área destinada a la fabricación de gis, se tiene equipo innecesario, por lo cual ocupa demasiado espacio en la planta.
- La distribución de áreas destinadas para cada operación causa en ocasiones difíciles y pesados transportes de materia prima o de producto.
- La producción es insuficiente.
- Se tiene grandes pérdidas por desperdicio, casi el 20% de la producción.
- El moldeo y el secado depende generalmente de la experiencia y criterio de los obreros.
- Existen demasiados tiempos muertos, producto del equipo inadecuado.
- La calidad de la materia prima no es siempre la misma.

ESTUDIO A LA PLANTA DE VINCI

Lo anterior es un compendio del reporte presentado a los directivos de Vinci, el cual aunado con los resultados del estudio que ellos mismos realizaron a su planta, dio la pauta para identificar las necesidades existentes y decir cual es la que hay que atacar con prioridad.

Los directivos de Vinci así como los del CDMIT acordaron realizar un cambio tomando cuenta, un aumento de producción y una disminución en el tiempo. Como en la fabricación de gis aun con todas las deficiencias encontradas, se moldean y empaican más gises de los que se pueden secar, es conveniente empezar ese cambio en el sistema de secado, y una vez cumplido éste objetivo se procederá a realizar cambios en las demás estaciones del proceso.

## **CAPITULO II**

### **FUNDAMENTOS BASICOS**

## 2.1 Introducción.

Se ha definido el problema, y la forma de resolverlo, ahora es necesario recopilar la teoría existente para dar marcha a esta solución, también es necesario conocer las características inherentes del problema.

## 2.2 Características del gis.

De acuerdo a la norma oficial mexicana para productos de oficina y escuela, las características del gis son :

- Los gises se clasifican en un solo grado de calidad.
- Las especificaciones del gise son: 1) El acabado debe ser liso, sin fracturas ni bordes, hoyos no mayores de 20 mm<sup>2</sup> y una profundidad no mayor a un tercio del diámetro menor del gis. 2) El color debe ser homogéneo sin presentar variaciones de tono en una pieza o en varias, además debe carecer de manchas o mezclas de otro color 3) Los gises deben tener la sección transversal circular y una conicidad uniforme. 4) El tamaño del gis debe cumplir con las siguientes medidas:

Largo	80.0 ± 3.0 mm (3 $\frac{1}{4}$ ± $\frac{1}{4}$ )
Diámetro mayor	11.0 ± 1.0 mm ( $\frac{7}{16}$ ± $\frac{1}{32}$ )
Diámetro menor	9.5 ± 1.0 mm ( $\frac{3}{8}$ ± $\frac{1}{32}$ )

- 5) El material base con que se fabrican los gises debe ser mineral de calcio, calcinado en forma de sulfato de calcio semihidratado (CaSO<sub>4</sub> ,  $\frac{1}{2}$  H<sub>2</sub>O). 6) La masa de cada gis no debe exeder de 5.0 gramos por pieza 7) Los gises deben contener como máximo 5.0 ± 1% de humedad. 8) Los gises deben soportar sin romperse como carga transversal una masa de 0.91 kg para los suaves y de 2.27 kg para los duros 9) Los gises deben estar exentos de cualquier sustancia



tóxica que pueda producir irritaciones en la piel, ojos, nariz y/o pulmones por inhalación del polvo.

#### 2.2.1 Pruebas experimentales.

Para conocer mejor el comportamiento del gis durante el secado se realizaron pruebas, utilizando un horno implementado en el laboratorio con un volumen aproximado de  $12000 \text{ cm}^3$ , en el cual el aire entra por la parte superior e inmediatamente pasa por una resistencia eléctrica donde se calienta, posteriormente continua su camino hacia los gises, los cuales se encuentran en la parte inferior del horno, para después, salir por un costado.

Se realizaron 5 pruebas experimentales a diferentes condiciones de temperatura y número de gises, a continuación se describe cada una de éstas:

##### Prueba No. 1

En esta primera prueba se manejaron 14 gises numerados con un peso promedio de 9.1 grs. a una temperatura de  $52^\circ\text{C}$ . Cada 15 min. aproximadamente se sacaban de 5 a 6 piezas para pesarlos y posteriormente regresarlos al interior. Después de 103 min. obtuvimos gises con un peso de 5.2 grs. y datos suficientes para construir la gráfica 1.

##### Prueba No. 2

Se metieron en el horno 15 gises también numerados, a una temperatura de  $60^\circ\text{C}$ , la prueba se realizó en forma similar a la anterior y después de 91 min. se obtuvieron con un peso promedio de 5.2 grs.

##### Prueba No. 3

Se trabajaron con 25 gises en forma similar que en las pruebas anteriores pero a una temperatura de  $80^\circ\text{C}$  y después de 95 minutos los gises pesaban 5.3 gr en promedio.

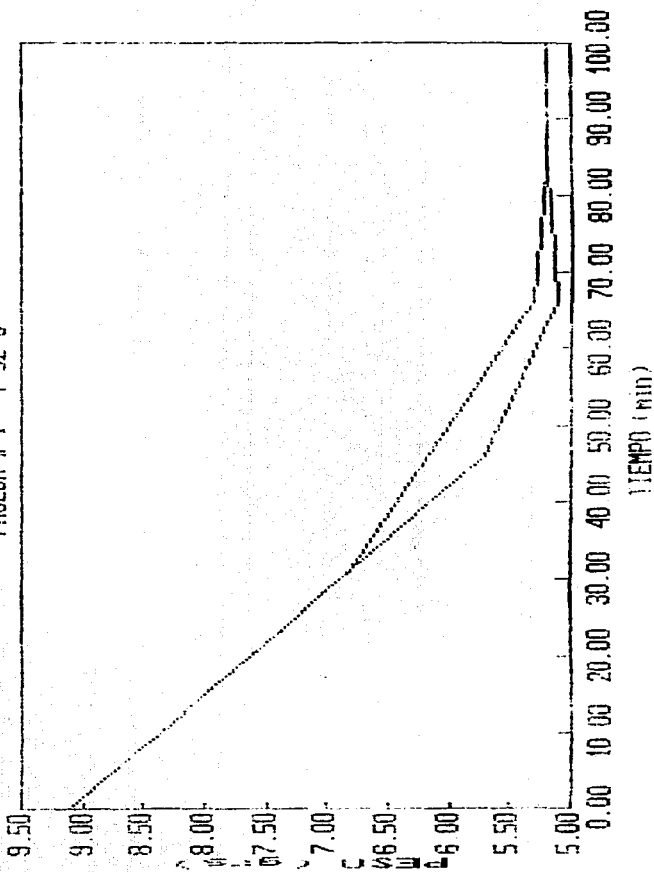
**Prueba No. 4**

En esta prueba, 55 gises en el horno en condiciones similares de acomodo al de la fábrica, a una temperatura de 68°C y despues de una hora cuarenta y cinco minutos se obtuvo una disminución en su peso de 3.6 grs. Para conseguir tal acomodo se construyo una canasta especial.

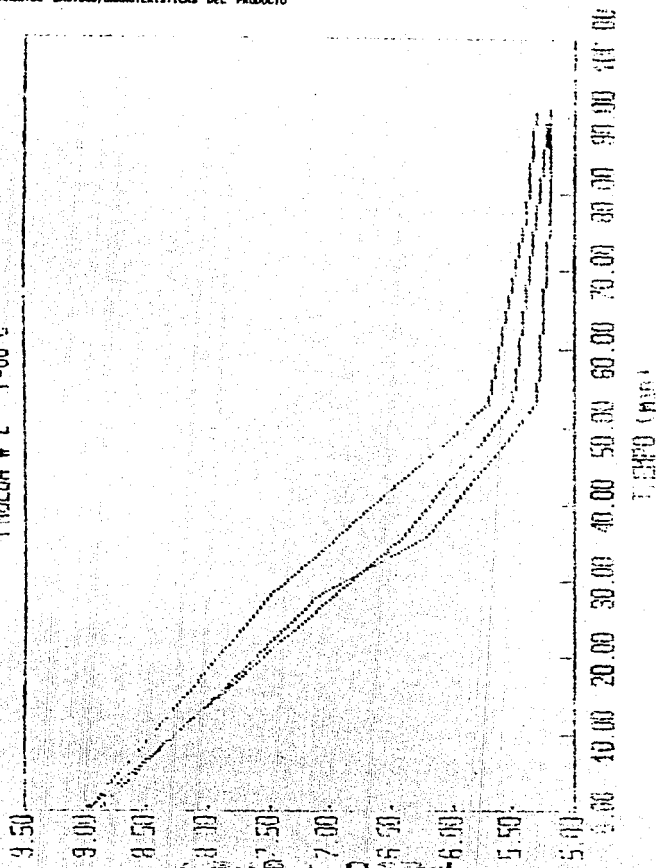
**Prueba No. 5**

Se realizó una quinta prueba en la cual los gises se introducian en bandeja al horno y se variaba la temperatura de 67°C - 105°C durante un lapso de una hora 45 min. reduciendo el peso de los gises en 3.6 grs. Para esta prueba no se obtuvieron datos suficientes para graficar, pero pudimos darnos cuenta que se puede manejar una temperatura mayor a la de evaporación del agua sin causar daños al gises.

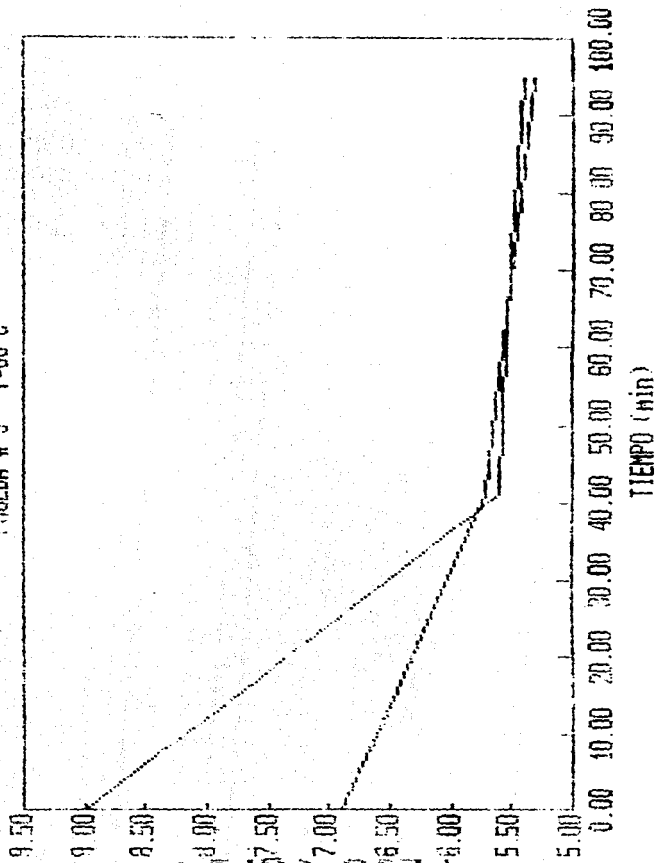
PRUEBA # 1 T=52 C



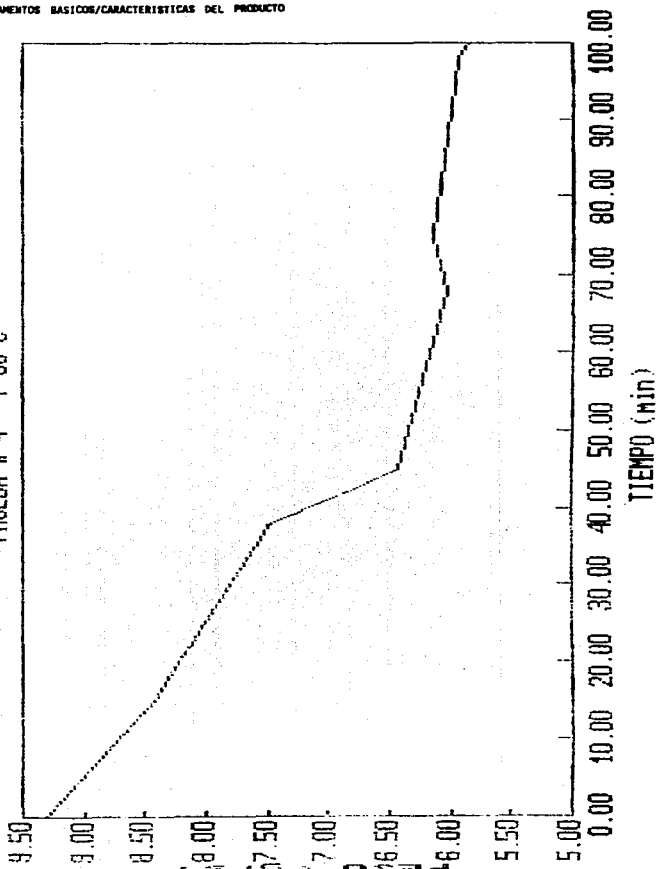
PRUEBA # 2 T=60 C



PRUEBA # 3 T=80 C



PRUEBA # 4 T=68 C



De las gráficas anteriores podemos darnos cuenta que la desecación del gis resulta más tardada a partir de que éste tiene un peso de 5.5 grs aproximadamente, por lo cual llevar al gis a un estado de humedad menor resulta más costoso.

En la gráfica de temperatura vs el tiempo de ve que el tiempo de secado es directamente proporcional a la temperatura de desecación.

$$t = K T \quad (1)$$

Otro aspecto del que podemos darnos cuenta a la luz de las pruebas, es que cuando los gises tienen un arreglo conveniente con respecto al flujo de aire, el tiempo de secado disminuye y por lo contrario, los gises que no tienen contacto con el aire humedecen a los gises adyacentes ya secos, como lo muestran las gráficas 1 y 3 por lo cual es conveniente trabajar en un recipiente que tenga los gises de tal forma que aumente la eficiencia del secador a utilizar.

### 2.3 Desecación de sólidos.

En la desecación de sólidos se lleva a cabo dos procesos simultáneos fundamentales:

- Transferencia de calor (para evaporar el líquido)
- Transferencia de masa.

La intensidad que rige a cada uno de éstos procesos, es la que determina la rapidez del proceso de secado.

La transmisión de calor en el secado de sólidos se puede lograr mediante los siguientes mecanismos de transferencia de calor:

- 1) Conducción.
- 2) Convección.
- 3) Radiación.
- 4) Combinación de cualquiera de los 3 anteriores.

La masa se transfiere en la desecación de dos formas:

- 1) Como líquido o vapor o como ambos dentro del sólido.
- 2) Como vapor desde las superficies húmedas.

El estudio de como secar un sólido puede desarrollarse de 2 formas:

- 1) Basandose en el mecanismo interno de circulación del líquido en el sólido.
- 2) Basandose en las condiciones externas de temperatura, humedad, ventilación, etc.

El primer procedimiento representa un estudio más profundo de las condiciones estructurales del sólido a secar, y como aprovechar esas condiciones para lograr nuestro objetivo.

El segundo procedimiento consiste en un estudio profundo de las condiciones externas a utilizar en la desecación, así como las



características del líquido a eliminar, este procedimiento tiene mayor uso porque sus resultados son inmediatos y su aplicación más general.

### 2.3.1 Mecanismos internos de circulación del líquido en el sólido.

Algunos mecanismos de circulación del líquido de acuerdo a la estructura del sólido son:

- Difusión. (en sólidos homogéneos continuos.)
- Circulación capilar. (en sólidos granulares y porosos.)
- Circulación producida por los gradientes de presión y contracción.
- Circulación causada por la gravedad.
- Circulación originada por la sucesión de vaporizaciones y condensaciones.

Algunos de dichos mecanismos predominan en un momento particular de la desecación, y otro u otros en otras etapas del proceso.

El mecanismo particular que se produce durante la desecación se pueden determinar mediante el estudio de los gradientes de humedad. La determinación de éstos gradientes es un problema experimental difícil, por la manipulación que se debe dar al material húmedo, ya que se debe hacer cortes en diferentes partes del material a secar y éstos pueden modificar los gradientes de temperatura.

Se ha estudiado la distribución de humedad para diferentes materiales como el papel, pulpa para papel, para la arena, la madera y la arcilla. Estos estudios demostraron que para la distribución difusional, la difusividad del líquido que por lo general se supone constante, no lo es, sino que decrece a medida que decrece la humedad, por consiguiente las ecuaciones integradas de la difusión para la difusividad constante no pueden ser aplicadas a la desecación, ni aun cuando la difusión líquida tenga lugar.

Los estudios realizados sobre el fenómeno de circulación

capilar señalan que; en la desecación la circulación del líquido debido a la capilaridad se aplica a los líquidos no retenidos en soluciones y a toda la humedad por encima del punto de saturación de las fibras como en los tejidos (papel y el cuero), y a toda la humedad por encima del contenido de humedad en equilibrio a la saturación atmosférica, como en los polvos finos y en los sólidos granulados.

#### Difusión del vapor.

Si mediante un gradiente de temperatura logramos crear un gradiente de presión de vapor, podemos obtener un movimiento de vapor por difusión a través del sólido.

La vaporización y la difusión del líquido se produce en cualquier sólido en que el calentamiento tiene lugar, mientras en una superficie del sólido se lleva a cabo el calentamiento en la otra se produce una desecación cuando el líquido se encuentra aislado entre gránulos del sólido.

#### Difusión del líquido.

Este movimiento del líquido en el sólido se limita al contenido de humedad en equilibrio por debajo del punto de saturación atmosférica, y a los sistemas sólidos de una sola fase, en los cuales la humedad y el sólido son mutuamente solubles.

El conocimiento del mecanismo interno de la circulación del líquido en el sólido durante la desecación, nos da la herramienta para analizar el funcionamiento del secador desde el punto de vista de mejorar los resultados y aumentar su capacidad.

#### 2.3.2 Variables externas.

Las variables externas en cualquier estudio de desecación son:

- La temperatura.
- La humedad.

- La ventilación.
- El estado de subdivisión del sólido.
- La agitación del sólido.
- El método para soportarlo.
- El contacto entre superficies calientes y el sólido húmedo.

El estudio realizado a cada una de estas variables, son mucho más completos y generales en comparación con los mecanismos internos de circulación, por lo cual es más conveniente basar nuestro diseño del secador en éstas.

## 2.4 Características de la mezcla aire-vapor.

Acondicionar el aire es controlar su temperatura, humedad, distribución y pureza.

El calor específico del aire es función de la temperatura, pero para fines prácticos se usa:

$$C_p = 0.2415 \frac{\text{kcal}}{\text{kg K}} = 1.011919 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$C_v = 0.1714 \frac{\text{kcal}}{\text{kg K}} = 0.7164 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Peso específico

$$W = 1.200734 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{para } T = 21^\circ\text{C y } P = 1 \text{ atm}$$

peso de aire seco contenido en  $1\text{m}^3$  de aire saturado

$$W_r = 1.17078 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{para } T = 21^\circ\text{C y } P = 1 \text{ atm}$$

peso de la mezcla saturada

$$W_s = 1.1892 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{para } T = 21^\circ\text{C y } P = 1 \text{ atm}$$

Volumen específico

$$v = \frac{1}{W}$$

Se llama 'humedad absoluta' o 'densidad del vapor de agua' y se represente por  $d_v$  cuando el aire no está saturado y como  $d_s$  cuando si lo está.

$d_v$  cuando el aire no está saturado

$d_s$  cuando el aire si está saturado

Humedad específica o relación de humedad es el peso de vapor de agua expresado en kg por kg de aire seco. se representa como  $W_v$  cuando la mezcla no está saturada, y como  $W_s$  cuando si lo está.

$W_v$  cuando la mezcla no está saturada

$W_s$  cuando la mezcla si está saturada

la humedad relativa se define como:

$$\phi = \left( \frac{P_v}{P_s} \right) \times 100 = \left( \frac{d_v}{d_s} \right) \times 100 \quad (2)$$

donde

$P_v$  presión parcial del vapor de agua

$P_s$  presión de saturación del vapor de agua

$d_v$  densidad existente del vapor de agua

$d_s$  densidad del vapor saturado

Relación entre presiones parciales y humedad específica.

La humedad específica se puede calcular de la siguiente forma:

$$P_s V = m R T \quad (3)$$

El volumen ocupado por un kg de aire seco es:

$$V = \frac{1 \times 0.0686 \times T}{P_b - P_v} \quad (4)$$

La cantidad de vapor en el volumen ocupado por un kg de aire seco es:

$$m = \frac{P_v V}{R_v T} \quad (5)$$

donde

$$R_v = 0.46 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$$

sustituyendo (4) en (5)

$$W_v = 0.0622 \frac{P_v}{P_b - P_v} \quad (6)$$

donde

$P_b$  - presión barométrica (bar)

$P_v$  - presión parcial del vapor (bar)

Temperatura de rocío.

La temperatura de rocío indica la cantidad de humedad contenida en el aire. Es la temperatura a la cual el aire se satura cuando se enfría suponiendo humedad constante.

Si el aire se enfría a una temperatura menor que la del rocío empieza la condensación y se establece una nueva temperatura de rocío.

La temperatura de rocío es:

- La medida de humedad en el aire
- La temperatura a la cual se satura el aire

Temperatura del bulbo seco.

Es la que se mide con un termómetro ordinario y es la medida del calor sensible.

Temperatura de bulbo húmedo.

La temperatura de bulbo húmedo es un índice de la cantidad de calor contenido en el aire y está expresado en K.

Esta temperatura se determina cubriendo el bulbo de un termómetro con un trapo húmedo y haciendo pasar aire rápidamente el agua comienza a evaporarse. la temperatura del agua y del aire baja proporcionalmente a la evaporación ocurrida.

Si está seco el aire que rodea al termómetro la evaporación es rápida y el descenso de temperatura es grande (relativamente). Por lo contrario, si el aire está muy húmedo, la evaporación es lenta y, por lo tanto la diferencia de temperatura entre el bulbo seco y el húmedo, es pequeña. Si el aire está saturado, no habrá

evaporación ni bajara la temperatura.

El calor necesario para causar la evaporación de la manera decrita anteriormente, se toma el calor sensible que contiene el agua depositada en la gasa disminuyendo en temperatura. Durante el proceso de evaporación, el calor sensible se transforma en calor latente de vaporación, pero el calor total del sistema permanece igual y la temperatura del bulbo húmedo es constante. Al cambiar el calor sensible por calor latente no hay cambio en el calor total.

En condiciones de saturación:

$$T_s = T_s = T_w \quad (7)$$

$T_s$  bulbo seco

$T_s$  bulbo húmedo

$T_w$  temperatura de rocío

Temperatura de saturación adiabática.

La mínima temperatura a la cual el aire se puede enfriar es la temperatura de vaporización del agua conocida como temperatura de saturación adiabática. Esta temperatura se alcanza cuando el aire se ha saturado totalmente.

El proceso de saturación adiabática se lleva a cabo, aproximadamente, haciendo pasar aire por un atomizador de agua muy fino, o bien, por medio de una caja larga llena de una gasa húmeda através de la cual se hace pasar el aire.

Después de que el equilibrio se ha alcanzado, el calor latente se toma exclusivamente del aire y, por lo tanto, éste se enfría.

La temperatura resultante o temperatura adiabática de saturación depende de la temperatura inicial del aire, de su contenido inicial de humedad y de la presión barométrica.

Una expresión que determina la temperatura adiabática de saturación se puede basar igualando el calor latente ganado por el aire con calor sensible perdido.

$$(W' - W)h_{fg} = (T - T')S... \quad (8)$$

**W** humedad específica inicial  
**W'** humedad específica después de saturarse  
**T** temperatura inicial  
**T'** temperatura de saturación  
 **$h_{fg}$**  calor latente a **T'**  
**S** calor específico de la mezcla aire-agua por kg de aire seco  
 **$S = 0.24 + 0.25W$**   
 donde 0.24 y 0.25 son los calores específicos del aire y vapor de agua que forman la mezcla inicial.

Cuando se establece una temperatura cte. del bulbo húmedo, se logra un balance entre el calor de convección transferido al bulbo húmedo y el calor requerido para evaporar el agua.

El calor transferido por unidad de área del aire al agua se puede expresar en términos del coeficiente de transferencia de la película de gas.

$$-\frac{Q}{A} = f(T - T') \dots \quad (9)$$

**T** temperatura de bulbo seco.  
**T'** temperatura de bulbo húmedo.  
 también se puede expresar en términos del coeficiente de masa transferida en la película.

$$-\frac{Q}{A} = m(W' - W)h_{fg} \dots \quad (10)$$

**$W_v$**   $kg_v / kg$  aire seco del aire de circulación.  
 **$W'_v$**   $kg_v / kg$  aire seco de saturación a **T'**

si igualamos la ec. (9) con la ec. (10) y despejamos **T'** y sustituimos en la ec. (8) obtenemos:

$$S = -\frac{f}{m} \dots \quad (11)$$



$$\frac{f}{m} = 0.26 \quad \text{para vapor de agua}$$

por lo tanto para los cálculos psicométricos, puede decirse que el término temperatura del bulbo húmedo es sinónimo de temperatura de saturación adiabática.

Entalpia del aire.

La entalpia total del aire húmedo es igual a la suma de la entalpia del aire seco, más la entalpia del vapor de agua contenido en la mezcla.

$$h_t = h_s + h_v \dots$$

$$h_t \quad \text{entalpia total del aire} \quad \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}_a} \right)$$

$$h_s \quad \text{entalpia del aire seco} \quad \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}_a} \right)$$

$$h_v \quad \text{entalpia del vapor de agua} \quad \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}_a} \right)$$

El cambio de entalpia de un kg de aire seco al variar la temperatura de  $T_1$  a  $T_2$  esta expresada por:

$$h_s = C_p (T_2 - T_1) \dots \quad (12)$$

- $C_p$  calor específico del aire (0.24 KJ / Kg K)
- $T_1$  temperatura inicial °K
- $T_2$  temperatura final °K

A la entalpia del aire seco se la llama también calor sensible del aire y suele representarse por la letra  $q$ ; para  $M$  kg/h de aire se tiene:

$$q_s = M C_p T = M h_s \quad (\text{calor sensible}) \quad (13)$$

$$h_l = W_v h_v = W_d \phi h_v \quad (\text{calor latente}) \quad (14)$$

la entalpia total es:

$$h_t = C_p T + W_d \phi h_v$$

el calor total de M kg por hora de aire es:

$$Q_t = q_v + q_l = M(C_p T + W_d \phi 588.8)$$

El calor total contenido en el vapor de agua a varias temperaturas esta tabuladas en tablas de vapor de agua yaire a bajas presiones.

## 2.5 Tipo de secadores.

### Clasificación de secadores.

Uno de los métodos para clasificar a los secadores, se basa en la forma de transmitir el calor al sólido húmedo, de ésta manera podemos establecer diferencias en el diseño y funcionamiento de los secadores.

De acuerdo a lo anterior una primera clasificación sería:

- Secadores directos.
- Secadores indirectos.

### 2.5.1 Secadores directos.

En este tipo de secadores se utilizan gases calientes que entran en contacto con el sólido húmedo, de ésta forma le suministra calor y arrastra hacia afuera a el líquido vaporizado.

#### Características generales de funcionamiento.

- 1.- La desecación depende de la transmisión de calor al sólido húmedo desde un gas caliente.
- 2.- Los gases calientes pueden ser; aire calentado con vapor, productos de la combustión, un gas recalentado, etc.
- 3.- La temperatura de desecación puede ser tan alta como lo requiera el sólido húmedo o como lo permita el material empleado en la construcción del secador.
- 4.- Cuando la temperatura del gas es menor a la temperatura de ebullición del líquido a eliminar, el contenido de humedad en el gas influye sobre la intensidad de desecación y sobre el contenido final de humedad del sólido. Por el contrario cuando la temperatura del gas es siempre superior a la temperatura de ebullición de líquido a eliminar, el contenido de humedad en el gas es sólo un retardador en la intensidad de desecación y sobre el contenido final de humedad del sólido, además en éste caso los vapores recalentados del líquido eliminado pueden ser utilizados para la desecación.
- 5.- Para la desecación a temperaturas bajas se hace necesario,

algunas veces cuando la humedad atmosférica es excesiva, deshumedecer el gas empleado para la desecación.

- 6.- Un secador directo consume tanto más combustible por kilogramo de líquido evaporado cuanto más bajo sea el contenido de humedad en el sólido. Análogamente los costos de inversión aumentan considerablemente.
- 7.- El rendimiento se eleva cuando se eleva la temperatura del gas entrante para una temperatura de salida constante.

#### 2.5.2 Secadores indirectos.

La diferencia entre sacadores indirectos con los directos, estriba tanto en la transmisión de calor como en la eliminación del vapor. Sus características generales son:

- 1.- El calor se transmite al material húmedo por conducción a través de una pared maciza -por lo general- metálica.
- 2.- Las temperaturas utilizadas en este tipo de secadores varían entre temperaturas menores de 0°C y 540°C.\*
- 3.- Los secadores que utilizan vapor condensable son por lo general económicos desde el punto de vista de consumo de calor, ya que solo suministran calor en proporción a la demanda del material secado, sin embargo su rendimiento baja conforme disminuye el contenido final de humedad.
- 4.- Los secadores indirectos son apropiados para secar a presiones reducidas y en atmósferas inertes.
- 5.- En éste tipo de secador es más fácil recuperar materiales pulverulentos.
- 6.- Los secadores indirectos pueden utilizar algun método de agitación para asegurar un buen contacto con la superficie del material caliente y eliminar gradientes de humedad.

#### 2.5.3 Secadores infrarojos.

Este tipo de secadores se basan en la transmisión de calor por radiación eliminando de esa forma la humedad. La energía

\* La temperatura la determina el material a secar o del cual está construido el secador.

radiante que elimina la humedad se origina mediante energía eléctrica o por medio de refractarios incandescentes calentados con gas. Su empleo principal es la desecación de películas de pintura y calentamiento de capas delgadas de materiales.

#### 2.5.4 Secadores dieléctricos.

Su característica fundamental es la de engendrar el calor en el interior de el sólido. El costo de la energía utilizada puede llegar a ser diez veces más grande que el que se utiliza en métodos convencionales.

Para las características del producto en cuestión así como su fabricación y dadas las características de funcionamiento de cada uno es conveniente trabajar con un secador directo, ya que en este tipo de secador no sólo se trasmite calor por conducción sino también por convección y radiación, que como se vera más adelante es una gran ventaja su existencia.

## 2.6 Secadores de bandejas.

### Secadores de bandejas y compartimientos.

En este tipo de secadores, el aire caliente circula sobre el material húmedo hasta que éste alcance el contenido final de humedad requerido.

Los secadores modernos de bandejas y compartimientos consisten en un recinto bien aislado, con ventiladores y serpentines de caldeo (calentamiento) formando parte integral del mismo, y los soportes apropiados para el material.

El buen funcionamiento de los secadores del tipo de bandejas depende de que se mantenga una temperatura constante y una velocidad uniforme del aire sobre todo el material que se seca.

En los secadores de bandejas, convienen velocidades de aire de 120 a 300 m/min. para mejorar el coeficiente de transmisión superficial de calor y eliminar las bolsas de aire estancado.

La circulación adecuada del aire en éstos secadores depende de:

- La suficiente capacidad del ventilador.
- El diseño de los ductos (evitar cambios bruscos de dirección del aire).
- Disposición adecuada de placas desviadoras.

La corriente de aire no uniforme es uno de los problemas más graves que se encuentran en el funcionamiento de los secadores de bandejas.

### Características especiales.

Los secadores con bandejas pueden ser de carretillas o con bastidores fijos. En el primero, las bandejas se cargan en carretillas que se empujan dentro del secador, y, en el segundo, las bandejas se colocan directamente sobre los bastidores.

Las bandejas pueden ser cuadradas o rectangulares y pueden construirse de cualquier material compatible con las condiciones

que impiden en el interior del secador, desde el punto de vista de la corrosión y la temperatura. Las bandejas metálicas son preferibles a las no metálicas, porque conducen mejor el calor y soportan mejor los malos tratos.

La cantidad cargada en cada bandeja debe ser tal que se consigan periodos ciclicos compatibles con la facilidad de carga y el programa general del proceso. La duración del programa puede durar entre 6 y 48 hrs.

La calefacción usual es el vapor. La disposición corriente de los calentadores es delante del ventilador. Cuando no se disponga de vapor, o cuando la carga que haya de secarse sea pequeña, se emplea calor producido por electricidad.

#### 2.6.1 Teoría para el proyecto.

Cuando se seca experimentalmente un sólido, suelen obtenerse datos que relacionan el contenido de humedad con el tiempo. Esto se puede expresar en una gráfica como la siguiente:

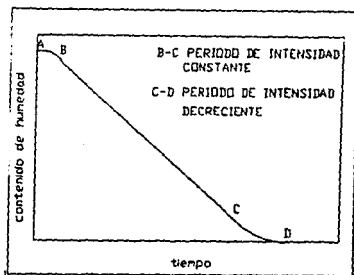


fig.6

La curva representa el caso general de un sólido húmedo que pierde humedad primero por evaporación en alguna de sus superficies con humedad libre, a lo que sigue un periodo de evaporación desde una superficie con humedad libre de área gradualmente decreciente, y en que finalmente se evapora el agua del interior del sólido.

Por lo anterior se puede decir que el periodo de desecación se divide en dos partes, el periodo de desecación constante, y el periodo de desecación decreciente.

Periodo de desecación constante.

El paso del aire caliente sobre las superficies expuestas del material húmedo provoca la transmisión de calor y la consiguiente desecación. La intensidad constante de desecación de los materiales en bandejas depende principalmente, del flujo con que se transmite el calor por convección desde el aire al material húmedo de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$\frac{dW}{d\theta} = \frac{h_t A \Delta T}{h_l} = K_g A \Delta P \quad (15)$$

$$\frac{dW}{d\theta} \text{--- intensidad de desecación } \left( \frac{K_g}{hr} \right)$$

$h_t$  - coeficiente total de transmisión de calor  $\left( \frac{KW}{m^2 K} \right)$

$h_l$  - calor latente de evaporación a la temperatura  $T_s$   $\left( \frac{KJ}{Kg} \right)$

$K_g$  - coeficiente de transferencia de masa  $\left( \frac{Kg}{hr m^2 atm} \right)$

$$\Delta T = (T_s - T_e)$$

$T_s$  - temperatura del bulbo seco (.C)

$T_e$  - temperatura de la superficie húmeda (.C)

$$\Delta P = (P_s - P_a)$$

$P_s$  - presión del vapor de agua (atm)

$A$  - área de transmisión de calor y de evaporación ( $m^2$ )

$P_a$  - presión parcial del vapor de agua en el aire (atm)



Cuando  $h_c$  el coeficiente de transmisión de calor sólo por convección,  $T_s$  en las condiciones de equilibrio es la temperatura de bulbo húmedo del aire,  $P_s$  es la presión del vapor a esta temperatura.

Cuando la radiación como la conducción son importantes, el coeficiente total para la transmisión de calor a la superficie mojada la da la ecuación:

$$h_t = (h_c + h_r) \left[ 1 + \frac{A_u}{L} \frac{A_v}{(h_c + h_r)/k} \right] \quad (16)$$

donde

$A_u$  - relación de la superficie exterior no mojada con la superficie mojada.

$L$  - altura del material en la bandeja (m)

$k$  - conductividad calorífica del material húmedo ( $-\frac{KW}{m K}$ )

$h_c$  - coeficiente de transmisión de calor por convección ( $-\frac{KW}{m^2 K}$ )

$h_r$  - coeficiente de transmisión de calor por radiación ( $-\frac{KW}{m^2 K}$ )

El efecto de la velocidad del aire en el periodo de intensidad cte. se ejerce sobre  $h_c$  y  $K_d$  ya que los flujos de transmisión de calor y de transferencia de masa, en este periodo dependen principalmente de la difusión del calor y el vapor a través de la película de aire en la superficie del sólido. La velocidad del aire es el principal factor de la variación del espesor de esta película, y su influencia sobre la intensidad de desecación puede expresarse en función de su influencia sobre  $h_c$  y  $K_d$ , se ha demostrado que  $h_c$  puede expresarse en función de la velocidad de masa para corriente paralela a superficies planas, como sigue:

FUNDAMENTOS BASICOS/SECADORES DE BANDEJAS

$$h_c = 0.0176 G^{0.8} \quad (17)$$

donde

$$G = \rho v \quad (18)$$

$\rho$  - densidad del material a secar  $(\frac{Kg}{m^3})$

$v$  - velocidad del aire  $(\frac{m}{hr})$

Cuando se sopla aire perpendicularmente a la superficie de desecación se encontró que  $h_c$  se puede calcular por:

$$h_c = G^{0.37} \quad (19)$$

Si el aire choca contra el material saliendo de ranuras, boquillas o placas perforadas, los coeficientes serán mayores que los calculados por la ecuación (19).

A menudo, la radiación y la conducción hacen que la temperatura de evaporación exceda a la temperatura de ampolla húmeda del aire. Cuando ocurre esto, es necesario calcular la temperatura real de la superficie para poder hallar el tiempo de desecación en el período de intensidad cte. Esto se hace partiendo de consideraciones de transmisión de calor.

Cuando la radiación eleva la temperatura de la superficie húmeda por encima de la temperatura del bulbo húmedo, ésta se tiene que calcular basándose en un balance calorífico que iguale el flujo de transmisión de calor por convección y por radiación a la intensidad de evaporación. Una fórmula general para calcular aproximadamente  $T_s$ , basándose en la utilización de la ecuación (16) para determinar  $h_c$ , es la siguiente:

$$\frac{h_c h_r}{h_c} (W_s - W_a) = C_p (T_s - T_a) \quad (20)$$

donde

$W_s$  - humedad de saturación del aire a la temperatura de la superficie que se seca ( $-\frac{K_{1v}}{K_{1a}}-$ )

$W_a$  - humedad a la temperatura del bulbo seco ( $-\frac{K_{11}}{K_{1g}}-$ )

$C_p$  - calor específico del aire húmedo ( $-\frac{KJ}{K_{1a}}-$ )

Los valores adecuados de  $h_L$  y  $h_r$  depende de  $T_s$ , pero en general no varían entre límites amplios con las temperaturas que suelen encontrarse en la desecación con aire.

La figura indica cómo puede determinarse gráficamente  $W_a$  y  $T_s$  en una gráfica de humedad por el punto de intersección sobre la curva de humedad de saturación de una recta con pendiente  $(h_r C_p / h_L h_a)$  y que pasa por el punto  $(W_s, T_s)$

Cuando circula el aire sobre una bandeja larga o varias bandejas en serie, la caída de temperatura puede ser apreciable, la cual puede ser calculada partiendo de la velocidad del aire y el espaciamiento entre las bandejas;

$$T_2 = T_s + (T_1 - T_s)e^{-Nt} \quad (21)$$

donde

$$Nt = \frac{h_L L_t}{G C_p b} \quad (22)$$

$L_t$  - longitud de la bandeja en dirección del flujo de aire (m)

$b$  - distancia entre bandejas (m)

$C_p$  - calor específico del aire ( $-\frac{KJ}{K_{1g} K}$ )

$T_1$  - temperatura del aire a la entrada de las bandejas (.K)

$T_2$  - temperatura del aire a la salida de la bandeja (.K)

Con la ecuación (15) se obtiene una ecuación aproximada para

el tiempo de desecación en el período de intensidad constante aplicable a la desecación de varios materiales incluido el yeso.

$$t_{ic} = \frac{(W_0 - W_c) \cdot h_L \cdot L \cdot r}{h_t \cdot (T_a - T_s)}$$

$W_0$  - contenido medio inicial de humedad ( $\frac{kg_v}{kg_s}$ )

$W_c$  - contenido medio crítico de humedad ( $\frac{kg_v}{kg_s}$ )

$h_t$  - coeficiente total de transmisión de calor dado por la ecuación (16) ( $\frac{W}{m^2 K}$ )

$T_a$  - temperatura del aire (K)

$T_s$  - temperatura de la superficie del material húmedo durante el período de intensidad constante, se puede obtener por medio de la ecuación (20) (K)

$L$  - altura de material húmedo (m)

$h_L$  - calor latente ( $\frac{J}{kg}$ )

$\rho$  - densidad del sólido ( $\frac{kg_s}{m^3}$ )

$kg_s$  - kilogramos de sólido seco.

Para el período de intensidad decreciente para nuestro caso no es muy importante porque el punto crítico de humedad casi

coincide con el contenido final de humedad. Este último dato lo obtuvimos de las gráficas de secado que se muestran en el capítulo dos (pruebas experimentales).

### **CAPITULO III**

#### **DISEÑO DE LA BANDEJA**

### 3.1 Introducción.

En el capítulo dos se realizaron pruebas de secado a diferentes temperaturas y acomodo de gises dentro del secador, de estas pruebas se obtuvieron datos suficientes para graficar los resultados, y en la gráfica 4 (fig. 5) se muestra los resultados de la prueba 4 donde los gises se acomodaron en una bandeja en forma similar como lo hacen en el proceso de fabricación, si la comparamos con las otras podemos darnos cuenta que tal acomodo es un inconveniente para el buen secado de los gises, por lo cual consideramos necesario modificar éste.

### 3.2 Definición del problema.

Se realizó un estudio del porqué se obtiene el amontonamiento de los gises en la bandeja resultandó lo siguiente:

- Los gises se obtienen mediante el moldeo de yeso.
- Se utiliza un molde con el cual se producen 1190 gises por carga, de éste se obtienen los gises húmedos y se depositan en una bandeja. Los gises ya en la bandeja se encuentran en posición vertical y separados uno de otro.
- El arreglo es consecuencia del manejo que le dan los obreros a las bandejas con gises para conducirlos al secado. El obrero toma la bandeja para depositarla en una carretilla para posteriormente conducirla al secado. Es en esta etapa en donde los gises toman la posición inadecuada para su buen secado.

Como el secado se lleva acabo mediante la utilización de aire seco, el cual servirá de transporte para el vapor de agua contenido en el gis, es necesario que éste tenga una mayor area de contacto con el producto, para el cual realizamos arreglos de posición del gis respecto al flujo de aire.

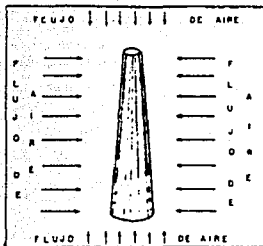


fig.7

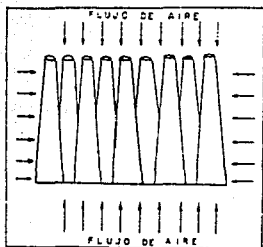


fig.8

Inicialmente se considera el arreglo ideal, en el cual el aire tiene contacto con todo el gis.

Para obtener esta característica el flujo de aire es en las cuatro direcciones.

El aire fluye en las cuatro direcciones sólo que ahora existen más gises y por esta causa el área de contacto con el gis disminuye con respecto al arreglo ideal.

Si consideramos que este último arreglo lo conforman 1190 gises distribuidos en una área rectangular (bandeja) con una separación de 3mm en la sección más grande del gis, y si dentro del secador distribuimos más bandejas de tal forma que el número de gises aumente en 3 direcciones (arriba, abajo y hacia un lado), el área de contacto disminuye.

Resulta muy complicado que en la realidad consigamos un flujo en las cuatro direcciones, por la construcción, el equipo necesario etc.

En las pruebas de secado se utilizan arreglos que consisten:

- El flujo es normal al eje de simetría del gis.



En este arreglo sólo existe flujo en una sola dirección, con los gises separados 3mm uno del otro (esta separación se obtiene del molde).

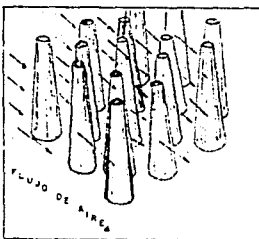


fig.9

- El flujo es paralelo al eje de simetría del gis.

En este arreglo eliminamos los flujos de los lados y el de abajo del arreglo ideal, esto es, el arreglo es el mismo que el anterior pero con el flujo de aire de arriba hacia abajo.

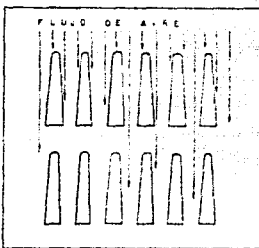


fig.10

En las pruebas antes mencionadas\* estos arreglos dieron resultados semejantes, las pruebas mostrarán que cualquiera de estos arreglos siempre son mejor que el utilizan en la planta, la diferencia estriba en la posición de gis respecto al flujo de aire y con respecto a los de más gises.

En el arreglo que utilizan en la planta, los gises se encuentran amontonados, de tal forma que existen más de la mitad

\* Son las pruebas que aparecen en el CAP. 2

que no están en contacto con el aire, por lo cual el tiempo de secado aumenta considerablemente.

Es necesario mantener los gises separados, aprovechar la posición que se obtiene del molde, del cual se obtienen parados sobre la parte más grande del gis. Tratando de aprovechar esta posición se crearón varias alternativas.

### 3.3 Alternativas de solución.

Por todo lo ya expuesto se decidió trabajar en el diseño de una bandeja que eliminara el arreglo inconveniente de los gises en el secado, y que no represente problema para la operación de empacado.

Se crearon varias alternativas de solución las cuales se explican brevemente a continuación:

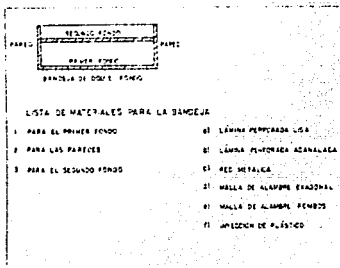


fig.11

#### Primera alternativa.

1. Es una bandeja de doble fondo.
2. El cuerpo de la charola es de lámina perforada (comercial).
3. El segundo fondo también es de lámina perforada.

Se pensó en esta alternativa tratando de mantener los gises parados y que el aire fluya entre ellos.

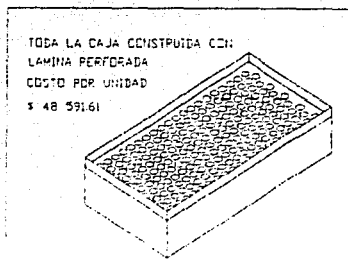


fig.12

Se desechó, primeramente porque no existe comercialmente la lámina que se utilizaría en el segundo fondo, y construirla especialmente para las bandejas, resultaría muy cara, por la alta precisión que se requiere para que coincidan las perforaciones de la lámina con las del molde. El costo aproximado por bandeja es de \$ 48,591.61

Segunda alternativa.

1. Es una bandeja de doble fondo.
2. El cuerpo de la bandeja es lámina perforada (comercial).
3. El segundo fondo es de malla de alambre.

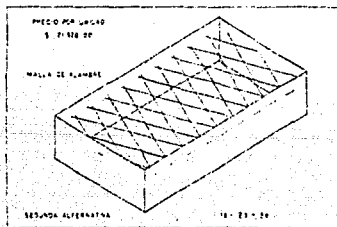


fig.13

Esta alternativa tiene las mismas pretenciones que la anterior, pero con un material más barato, solo que no existe la malla comercial, y construirla resulta muy caro además de que la precisión es un inconveniente grande difícil de superar.

Inicialmente se penso en compartimientos individuales presentandose los inconvenientes ya descritos, lo cual nos llevo a pensar en compartimientos que contengan varios gises. Se realizó un modelo de este último y surgieron los siguientes problemas:

- a) Los gises no permanecen parados.
- b) Los gises aun se enciman.
- c) Representa un problema para el empaque.

Su costo aproximado es de \$ 29,724.00 por unidad.

Tercera alternativa.

1. Charola de doble fondo.
2. Las paredes y el doble fondo son de malla de alambre.
3. La base o primer fondo es de lámina perforada.

Se redujo el costo pero los problemas son los mismos que la alternativa anterior.

Cuarta alternativa.

1. Es una bandeja con laminillas verticales que distribuyen los gises por hileras.
2. El material a usar es lámina perforada (comercial).

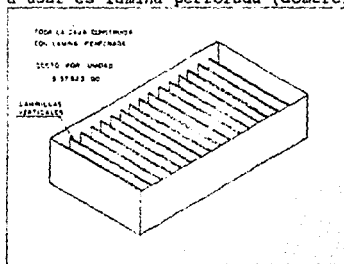


fig.14

Se realizó un modelo y se encontró que podíamos mantener los gises en posición adecuada, siempre y cuando al trasportarla se haga manteniendola inclinada.

El inconveniente es la posición tan particular de manejarla, y que es muy posible que el operario no tenga cuidado en esto y que los gises se encimen.

El costo aproximado de la bandeja es de \$ 57,923.00

Quinta alternativa.

1. El cuerpo de la bandeja es de plástico.
2. En la base contiene puntas de alfileres, donde se clavarían los gises.

Es una alternativa de bajo costo que no representa problemas para el empaque, su fabricación es sencilla.

Se realizó un modelo, el cual se probó y se observó que también se requería de alta precisión, ya que de no tenerla los gises se dañan lo que perjudica al producto.

De las alternativas anteriores se hizo una evaluación; de acuerdo a los resultados obtenidos en la planta y la facilidad de construcción se decidió que la quinta alternativa funcionaría adecuadamente realizando los siguientes cambios:

- El material que mayores ventajas presenta para el secado de acuerdo a la idea de utilizar aire caliente para extraer el agua es, metal, en el caso de la bandeja se utilizaría lamina, de esta forma el mecanismo de transferencia de calor principal es el de convección, pero utilizando las bandejas de metal introduciríamos el de conducción, con el cual aumentaríamos la intensidad de secado.

- Otros de los inconvenientes en la construcción de la bandeja es la precisión, la cual se requiere que sea alta considerando la forma de vaciado del gises del molde a la bandeja, esto es, por medio de botadores se extraen del molde y se dejan caer en la bandeja, la cual provoca fractura en los gises si la punta de los alfileres no se encuentran en posición adecuada.

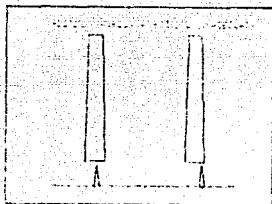


fig.15

Para eliminar en parte este problema se penso en modificar el vaciado del gis en las bandejas de la siguiente forma; en lugar de caer los gises en la bandeja, se pondría la bandeja sobre el molde cuando el yeso no ha fraguado.

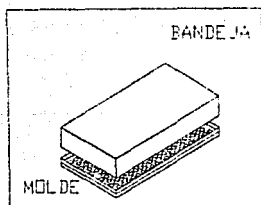


fig.16

El yeso no ha fraguado y se coloca la bandeja sobre el molde. Se deja que el gis frague para continuar con su desalajo del molde.

Con el molde ya bolteado y con una madera sobre los botadores, se golpea con un mazo sobre la madera de tal forma que los gises salgan del molde todos al mismo tiempo.

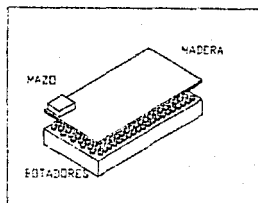


fig.17

Parte de los gises en la bandeja listos para ser conducidos al secador.

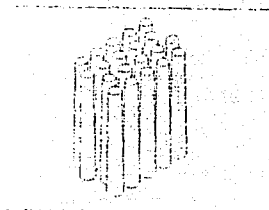


fig.18

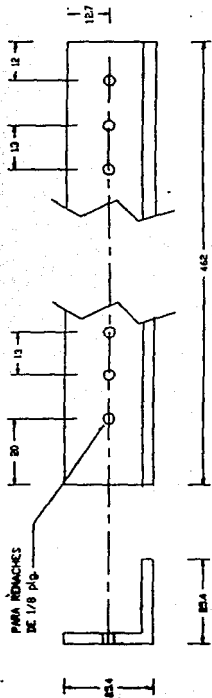
de esta manera la precisión requerida disminuye porque los gises no tendrían que encajarse en los alfileres y por lo cual se elimina la fractura del gis al contacto de éste con un alfiler en posición inadecuada.

Este tipo de bandeja se introduciría en el secador y para que no represente problema para el obrero manipularla se podría utilizar las bandejas actuales.

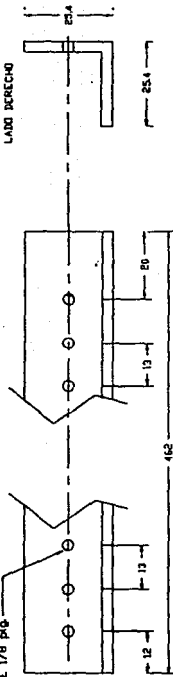
#### 3.4 Diseño de detalle.

A continuación se presentan los planos de fabricación de las bandejas que nos permitiran reducir el tiempo de secado.

LADO IZQUIERDO



PARA REMACHES DE 1/8 P.O.



LADO DERECHO

LADOS CORTOS DEL BASTIDOR

	ESCALA	1:10
	ACT.	ACT.
	DIBUJO	FECHA
	HIPOLITO MORALES R.	23 / 06 / 1950
	MATERIAL	LAMINA CAL. 20
		PLANO No

SECADOR DE GISES

FECHA

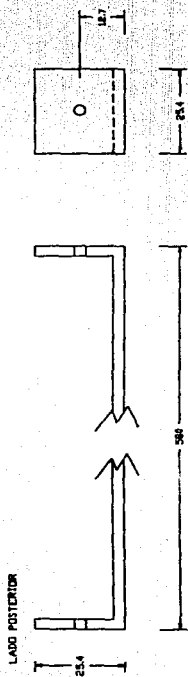
23 / 06 / 1950

MATERIAL

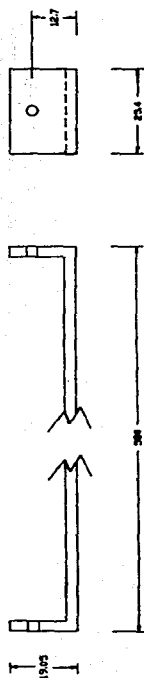
LAMINA CAL. 20





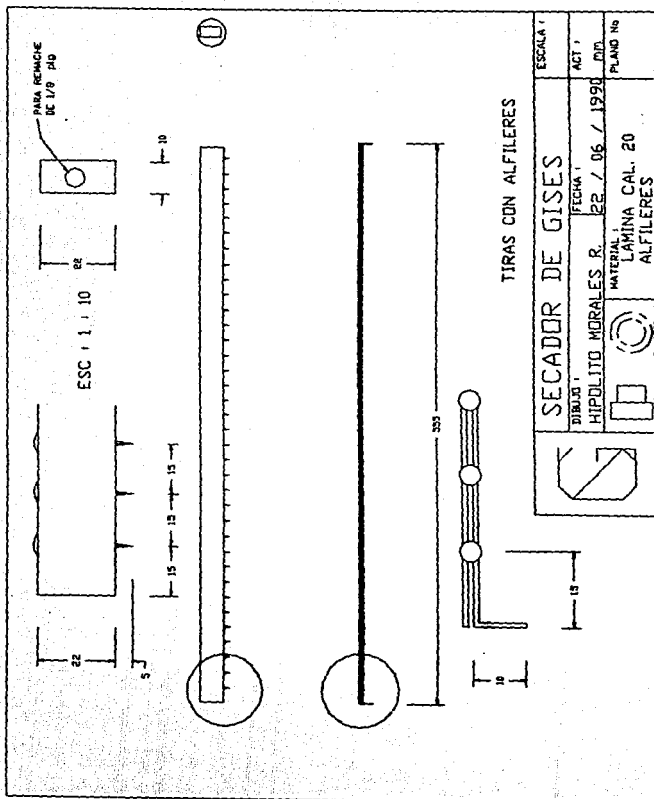
LADO LARGO DEL BASTIDOR

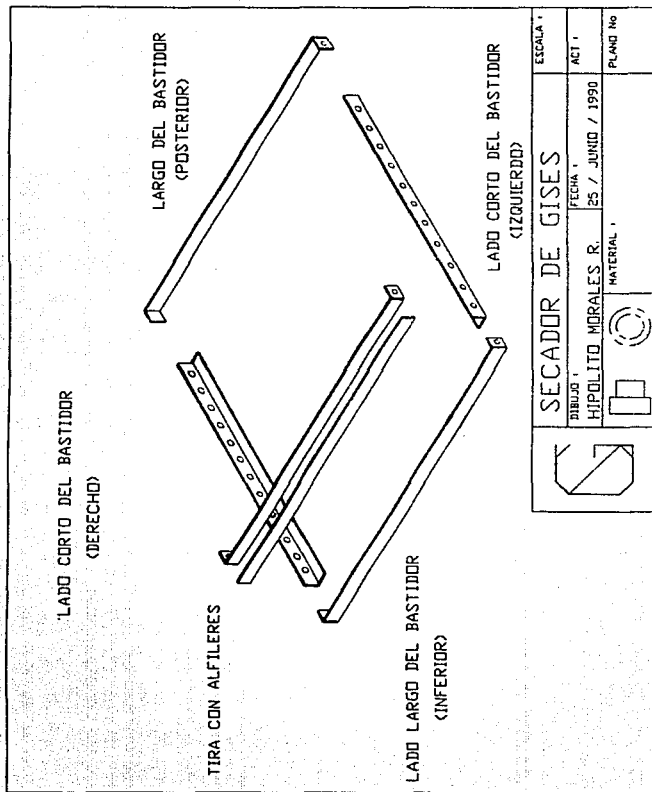


LADO INFERIOR



	<b>SECADOR DE GISES</b>		ESCALA 1 : 10
	DIBUJO HIPOLITO MORALES R.	FECHA 23 / 06 / 1990	ACT. P.M.
	MATERIAL LAMINA CAL. 20		





## **CAPITULO IV**

### **DISEÑO DEL SECADOR**

#### 4.1 Introducción.

Con la teoría antes expuesta para secadores directos calcularemos las dimensiones del secador o secadores necesarios para producir la cantidad de gis suficiente para cubrir tanto el mercado nacional como el internacional.

Se calculará la energía que requiere el secador, así como el tamaño del ventilador y el motor para moverlo.

#### 4.2 Memoria de cálculo.

##### 4.2.1 Cálculo del tiempo de secado.

Se desea producir 18 773 328 gises al mes, por lo cual la producción debe ser de 361 025 gises por turno (2 turnos/día).

Cada gis seco tiene una masa de 5.5 grs. esto indica que se deben producir 1935 kgrs de material seco c/8hrs.

+ El contenido de humedad es:

Si el gis húmedo pesa 9 grs. y seco 5.5 grs. 182 gises son 1kgr. de material seco.

3.5 grs. de humedad X 182 gises = 0.637 kgrs de agua por cada kgr de material seco.

$$W_0 = 0.637 \frac{\text{Kg}_a}{\text{Kg}_s}$$

+ Contenido final de humedad.

Los gises deben contener como máximo 5.5 ± 1% de humedad (según las normas).

$$W_c = 0.01 \frac{\text{Kg}_a}{\text{Kg}_s}$$

+ La densidad del material seco es:

$$\rho = 840 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

+ Se empleara aire a 366°K (93°C)

+ La velocidad del aire entre bandejas es:

$$v = 2.5 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \quad (150 \frac{\text{m}}{\text{min}})$$

+ El espacio mínimo entre bandejas es de :  $b = 0.038 \text{ m}$

+ La temperatura ambiente es de  $T = 293^\circ\text{K}$  ( $20^\circ\text{C}$ ) y la presión atmosférica de  $P_o = 1.0126 \text{ bar}$  (759 mmHg)

+ La humedad relativa media es de  $\phi = 10\%$ .

el tiempo de secado es:

$$\tau_r = \left( \begin{array}{l} \text{periodo de intensidad} \\ \text{constante} \end{array} \right)$$

donde

$$\tau_{ic} = \frac{(W_o - W_c) h_i \rho L}{h_c (T_a - T_s)}$$

$W_o$  - contenido medio inicial de humedad ( $\frac{\text{Kg } v}{\text{Kg } s}$ )

$W_c$  - contenido medio final de humedad ( $\frac{\text{Kg } v}{\text{Kg } s}$ )

$h_i$  - calor latente ( $\frac{\text{J}}{\text{Kg}}$ )

$\rho$  - densidad del sólido ( $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ )

$h_c$  - coeficiente total de transmisión de calor ( $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}}$ )

$(T_a - T_s)_m$  - diferencia de temperatura media ( $^\circ\text{K}$ )

donde

cuando existe transferencia de calor por radiación y conducción además de la convección.

DISEÑO DEL SECADOR/MEMORIA DE CALCULO

$$h_t = (h_c + h_r) \left[ 1 + \frac{A_u}{L(h_c + h_r)/K} \right]$$

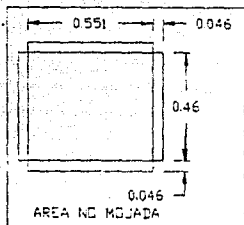
$A_u$  - relación entre la superficie seca y la mojada.

$h_c$  - coeficiente de transmisión de calor por convección  $(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K})$

$h_r$  - radiación

$K$  - conducción  $(\frac{W}{m \cdot ^\circ K})$

$L$  - altura del material a secar (m)



área no mojada.

$$A_R = 0.33434 \text{ m}^2$$

Para calcular la superficie mojada se aproxima el acomodo de gises en la charola como una masa compacta con la geometría del recipiente y una altura de 0.08m.

$$A_u = 0.41522 \text{ m}^2$$

por lo cual:  $A_u = 0.8051$

$L = 0.08 \text{ m}$

$K = 0.086 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$  (de tablas de conductividad térmica para el material húmedo)

$h_c = G^{0.37}$  en el SI  $h_c = G^{-3.892}$

DISENO DEL SECADOR/MEMORIA DE CALCULO

donde

$$G = \rho_a \times v$$

$\rho_a$  - densidad del aire a  $T = 93^\circ\text{C}$

$$\rho_a = 0.961 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

por lo cual;

$$G = 2.4 \ 025 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \text{seg}}$$

y

$$h_c = 33.2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

de la ec.  $h_r = 4\epsilon\sigma T_s^3$

donde

$\epsilon$  - emisividad de la superficie

$$\epsilon = 0.9$$

$\sigma$  - constante de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 5.668 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } \text{K}^4}$$

$$T_s = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$T_s = 329.5^\circ\text{K}$$

$$h_r = 7.3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}}$$

por lo tanto;

$$h_t = 41.34 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

para encontrar  $T_s$  (temperatura de la superficie húmeda)

$$(W_s - W_a) = \frac{h_t}{h_L} \frac{C_p}{h_c} (T_s - T_a)$$

donde

$C_p$  - calor específico del aire húmedo  $\left(\frac{\text{W}}{\text{kg } ^\circ\text{K}}\right)$



DISEÑO DEL SECADOR/MEMORIA DE CÁLCULO

$W_a$  - humedad del aire seco  $(-\frac{Kg_v}{Kg_a})$

$W_s$  - humedad de saturación del aire a la temperatura de la superficie húmeda  $(-\frac{Kg_v}{Kg_a})$

$T_s$  - temperatura de la superficie húmeda ( $^{\circ}K$ )

$T_a$  - temperatura del bulbo seco ( $^{\circ}K$ )

de la gráfica de humedad de las mezclas de aire y vapor de agua

con  $T_a = 366^{\circ}K$  y  $\phi = 10\%$  se obtiene  $W_a = 0.052 \frac{Kg_v}{Kg_a}$

$C_r = 1011.92 \frac{J}{kg^{\circ}K}$  del aire

$h_L = 2275.4 \times 10^3 \frac{J}{Kg}$  (tablas de vapor de agua a  $93^{\circ}C$ )

sustituyendo tenemos que

$$(W_s - 0.052) = 0.00056 (93 - T_s)$$

En la gráfica se hace pasar una recta por el punto  $(W_a, T_a)$  con pendiente 0.00056 y donde corte la curva de saturación se encuentra  $W_s$  y  $T_s$ .

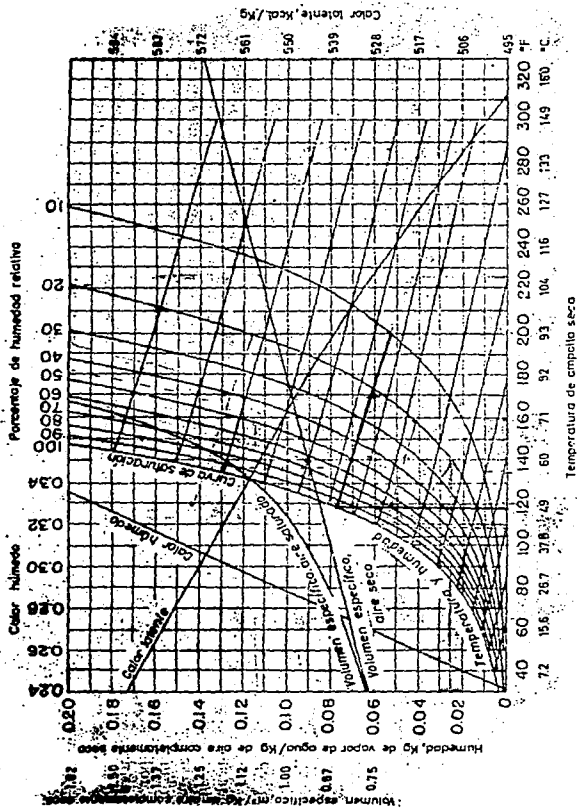
$$W_s = 0.078 \frac{Kg_v}{Kg_a}$$

$$T_s = 320^{\circ}K$$

Para obtener la temperatura del aire al salir de las bandejas se obtiene  $(T_1 - T_s)$ , pero para dos de ellas, acomodadas en serie separadas 38mm se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$T_2 = T_s + (T_1 - T_s) e^{-Nk}$$

Perry pag: 1271



Gráfica de humedad de las mezclas de aire y vapor de agua.

donde

$T_1$  - temperatura del aire en la entrada de la bandeja ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_2$  - la caída de temperatura a la salida de la bandeja ( $^{\circ}\text{K}$ )

$N_t$  - número de unidades de transferencia de calor.

$$N_t = \frac{h L}{G C_p b} \quad (\text{experimental}) \quad \text{Perry pag: 1271}$$

$L$  - longitud de las bandejas en dirección del flujo de aire (m)

$b$  - espacio libre entre bandejas (m)

$C_p$  - del aire

$$L = 0.551 \text{ m} \quad , \quad b = 0.038 \text{ m}$$

$$N_t = 0.2465$$

$T_2 = 356 \text{ }^{\circ}\text{K}$  la caída de temperatura es muy grande

Para conocer la temperatura del aire a la salida de las dos bandejas, se obtiene un promedio.

$$(T_a - T_b)_m = \frac{(366 - 320) + (356 - 320)}{2}$$

$$(T_a - T_b)_m = 41^{\circ}\text{K}$$

sustituyendo en la ecuación para encontrar el tiempo tenemos que;

$$t_{ic} = 14.6 \text{ hrs.}$$

es un tiempo relativamente grande, por lo cual se hace necesario construir más de un secador.

#### 4.2.2 Dimensionamiento del secador.

Se desean producir 1985 Kg de material seco cada 8hrs. por lo cual se necesita introducir 3667 Kg, esto expresados en número de gises es 667446. Si se utilizan las bandejas actuales(1190 gises por bandeja), se utilizarían 561, tomando en cuenta las carretillas actuales que tienen una capacidad de 15 bandejas se necesitarán 37, y si cada carretilla tiene las siguientes dimensiones; 0.68 x 1.742 x 0.56 (mts) y si metieramos 6 carretillas por carga las dimensiones del secador serán; 1.6 x 2 x 2 (mts) y se construirían seis.

#### 4.2.3 Cálculo de energía para el secador.

Para producir los 1985 kg de material seco cada 8 hrs. con 1% de humedad se suministra aire al secador a 93°C con una temperatura de bulbo húmedo de 13°C\* y se pretende que salga a 71°C con una humedad relativa del 50%, parte del aire húmedo se hace circular de nuevo mezclándolo con aire a 21°C con una humedad relativa de 54%\* antes de que sea calentado.

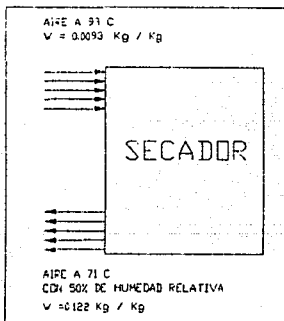


fig. 19

\* Estos datos son para la Ciudad de Mexico.

DISEÑO DEL SECADOR/MEMORIA DE CÁLCULO

La intensidad de vaporización si se producen 248 kg de material seco c/hr es de 158 kg de vapor de agua c/hr

$$248 \times 0.637 = 157.976$$

la cantidad de aire utilizado se obtiene de la siguiente manera:

$$\frac{158}{(0.122 - 0.009) \cdot 60} = 23.36 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \quad (\text{C.A.} = 24.25 \frac{\text{m}^3}{\text{min}})$$

para calcular el aire que se recircula se hace un valance de humedad.

$$0.122X + 0.0085(1 - X) = 0.009 \quad \text{donde } X = 0.44 \%$$

donde X es el porcentaje de aire que se necesita recircular. La masa total de aire a recircular es de 0.1646 kg/min.

ahora el calor que se requiere para levantar la temperatura del agua en el interior del secador es:

$$q = M_v h_v$$

donde

$M_v$  - masa de agua por hora

$h_v$  - entalpia del agua a 93°C

$$(h_v = 389.54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

el calor necesario es:  $q = 17.1 \text{ kW}$

una vez alcanzada la temperatura en el interior del secador es necesario mantenerla constante durante todo el periodo de secado, por lo cual se debe considerar el flujo de aire de 23.36 kg/min durante ese periodo.

$$q_2 = M C_p (T_2 - T_1)$$

donde

$M$  - Kg de aire ( $-\frac{kg}{min}$ )

$C_p$  - calor específico del aire ( $-\frac{kJ}{kg \cdot K}$ )

$T_2$  - temperatura del aire caliente (.K)  $T_2 = 93^\circ C$

$T_1$  - temperatura del aire frío (.K)  $T_1 = 21^\circ C$

$q_2 = 28.36 \text{ kW}$

pero, aprovechando la temperatura del aire que sale del secador sin saturarse tendríamos:

$$q_2 = 23.36 \times 1.0119 \times (93 - 71) / 60$$

$$q_2 = 8.66 \text{ kW}$$

que sumado con el que se utiliza para calentar el agua dan un total de 26 kW. Si consideramos las pérdidas por fugas, el que se utiliza para calentar las carretillas y las bandejas, podemos utilizar 30 kW.

Se utilizarán resistencias en forma de U de 4 kW de capacidad cada una, a 220 V, que para cubrir la energía requerida se emplearán 8

#### 4.2.4 Selección del ventilador.

Por regla general los ventiladores se eligen sobre la base de una velocidad de salida adecuada y la presión estática necesaria.

Como la presión estática de un ventilador es la presión compresiva existente en el seno del fluido y sirve para vencer los rozamientos y otras resistencias ofrecidas al paso -en este caso- del aire

El ventilador que desarrolla una gran presión estática con relación a su presión total es el ventilador centrífugo.

En el cálculo del tiempo de secado se utilizó una velocidad del aire de 150 m/min, si consideramos la longitud del ducto que es corto\*, podemos tomar como presión estática, la presión máxima que menciona el Perry (pag. 1271) para este tipo de secador.

$$v = 150 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$v = 492 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

y la presión estática es:

$$p_e = 50 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$p_e = 2" \text{ H}_2\text{O}$$

con estos datos en un manual de ventiladores comerciales "Silentvane Centrifugal Series 300 se obtiene que el ventilador para el secador es:

del tipo 3012 SWSI Desing B Classe I

con una carga 26.8 m<sup>3</sup>/min y una velocidad del flujo de salida de 335.4 m/min.

Con estos datos se modifica el calor necesario para mantener constante la temperatura en el interior del secador de 8.7 kW a 9.6 kW por lo tanto con los 30 kW calculados se cubre esta diferencia.

#### 4.2.5 Selección del motor para mover el ventilador.

Del manual utilizado para escoger el ventilador podemos obtener también la potencia del motor que moverá el ventilador.

Para el ventilador seleccionado, con un motor de 0.52 HP podemos lograr las características de trabajo antes mencionadas, pero como estamos trabajando en el área de máximas condiciones podemos decir que con un motor de 0.5 HP y que gire a 1956 rpm.

\* La distancia de la boca de salida del ventilador a la entrada del secador es corta (ver planos) si esta distancia es mayor entonces se debe calcular la resistencia al flujo en el ducto.

wheel 12 in. diameter — 3.21 ft. circ.

inlet 0.99 sq. ft. area — 12% in.

outlet 0.86 sq. ft. area — 12% x 7 1/2 in.

max RPM class I—2247 class II—2048

See Page 3  
Fan Rating  
Requirements

Max. MP = .072  $\left(\frac{RPM}{1000}\right)^3$

# SIZE 3012 SWSI

## Design B

### Classes I and II

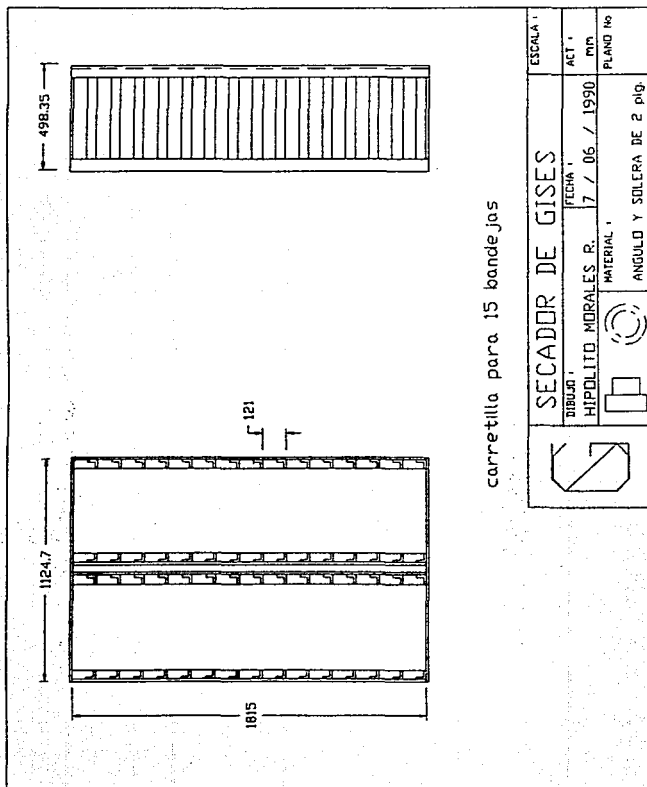
Volume (CFM)	Outlet Velocity (FPM)	1" SP		2" SP		3" SP		4" SP		5" SP		6" SP		8" SP		10" SP		12" SP	
		rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp
687	800	971	0.07	1035	0.08	1129	0.10	1201	0.11	1263	0.14	1322	0.16	<b>1394</b>	<b>0.19</b>				
730	850	1010	0.07	1097	0.09	1184	0.11	1254	0.13	1329	0.16	1393	0.18	1412	0.20				
775	900	1049	0.08	1129	0.10	1201	0.12	1267	0.15	1331	0.17	1390	0.19	1440	0.21	1543	0.27		
816	950	1089	0.09	1166	0.11	1237	0.14	1307	0.16	1364	0.18	1424	0.21	1478	0.23	1579	0.28		
859	1000	1129	0.10	1205	0.13	1274	0.15	1338	0.17	1397	0.20	1456	0.22	1512	0.25	1606	0.29	1727	0.36
945	1100	1213	0.13	1283	0.15	1349	0.18	1411	0.20	1469	0.23	1523	0.25	1577	0.28	1678	0.34	1781	0.39
<b>1031</b>	1200	1299	0.15	1363	0.18	1426	0.21	1486	0.24	1542	0.26	1595	0.29	1646	0.32	1743	0.38	1835	0.44
1117	1300	1387	0.18	1445	0.21	1505	0.24	1562	0.27	1617	0.30	1669	0.33	1718	0.37	1810	0.43	1900	0.49
1203	1400	1476	0.21	1530	0.25	1586	0.28	1641	0.32	1693	0.35	1743	0.38	1792	0.41	1883	0.48	1967	0.55
1289	1500	1566	0.26	1617	0.29	1668	0.33	1720	0.36	1771	0.40	1819	0.43	1866	0.47	1955	0.54	2037	0.61
1375	1600	1657	0.31	1706	0.34	1753	0.38	1801	0.41	1850	0.45	1897	0.49	1942	0.53	2029	0.60	2110	0.68
1462	1700	1748	0.36	1795	0.40	1840	0.43	1884	0.47	1930	0.51	1976	0.55	2020	0.59	2104	0.67	2184	0.75
1547	1800	1839	0.42	1885	0.46	1927	0.50	1969	0.54	2013	0.58	2055	0.63	2098	0.66	2180	0.74	2258	0.83
1633	1900	1931	0.49	1975	0.53	2016	0.57	2056	0.61	2096	0.65	2137	0.69	2178	0.73	2258	0.83	2333	0.91
1719	2000	2024	0.56	2066	0.60	2106	0.64	2144	0.68	2183	0.73	2220	0.77	2259	0.82	2336	0.91	2410	1.01
1805	2100	2110	0.73	2149	0.77	2186	0.82	2222	0.86	2257	0.91	2291	0.96	2326	1.00	2406	1.10	2481	1.21
1892	2200	2197	0.93	2233	0.98	2268	1.03	2302	1.07	2335	1.12	2367	1.17	2398	1.22	2463	1.33	2536	1.45
1979	2300	2283	1.16	2319	1.21	2353	1.27	2386	1.32	2418	1.37	2449	1.42	2479	1.48	2533	1.59	2601	1.73
2066	2400	2374	1.43	2408	1.49	2436	1.55	2464	1.60	2491	1.66	2517	1.73	2543	1.77	2607	1.88	2681	2.01
2152	2500	2376	1.75	2393	1.80	2423	1.87	2450	1.93	2478	1.99	2504	2.05	2529	2.11	2603	2.23	2676	2.36
2239	2600	2353	2.10	2381	2.16	2412	2.23	2441	2.29	2469	2.36	2496	2.43	2524	2.49	2605	2.62	2678	2.75



Volume (CFM)	Outlet Velocity (FPM)	2" SP		3" SP		4" SP		5" SP		6" SP		8" SP		10" SP		12" SP	
		rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp	rpm	hp
1011	1200	1907	0.56														
1177	1300	2057	0.62	2220	0.77												
1291	1400	2129	0.69	2361	0.87	2422	1.00										
1384	1500	2194	0.76	2335	0.91	2458	1.05	2620	1.20								
1476	1600	2259	0.83	2403	0.98	2520	1.14	2646	1.31	2798	1.52						
1561	1700	2329	0.91	2466	1.06	2590	1.25	2707	1.41	2833	1.59	2980	1.81				
1647	1800	2402	1.00	2534	1.17	2663	1.35	2781	1.53	2901	1.69	2995	1.89	3220	2.22		
1733	1900	2475	1.09	2604	1.27	2738	1.46	2860	1.65	2956	1.84	3049	2.01	3180	2.26	3360	2.60
1819	2000	2549	1.19	2676	1.36	2795	1.57	2919	1.77	3034	1.96	3124	2.17	3212	2.35	3318	2.57
1892	2100	2699	1.41	2813	1.62	2930	1.83	3047	2.04	3154	2.26	3250	2.46	3337	2.70	3443	2.91
2066	2400	2853	1.67	2973	1.87	3085	2.12	3191	2.34	3297	2.57	3389	2.80	3487	3.05	3582	3.30
2152	2600	3012	1.95	3115	2.19	3234	2.44	3348	2.68	3456	2.92	3559	3.17	3651	3.43	3751	3.68
2239	2800	3172	2.27	3282	2.53	3390	2.79	3497	3.05	3594	3.32	3676	3.56	3764	3.85	3859	4.11
2325	3000	3333	2.63	3442	2.90	3543	3.18	3650	3.46	3753	3.74	3824	4.03	3916	4.31	4020	4.59
2411	3200	3506	3.07	3605	3.33	3701	3.61	3794	3.91	3883	4.21						
2498	3400	3680	3.48	3770	3.77	3863	4.09										
2583	3600	3853	3.98														

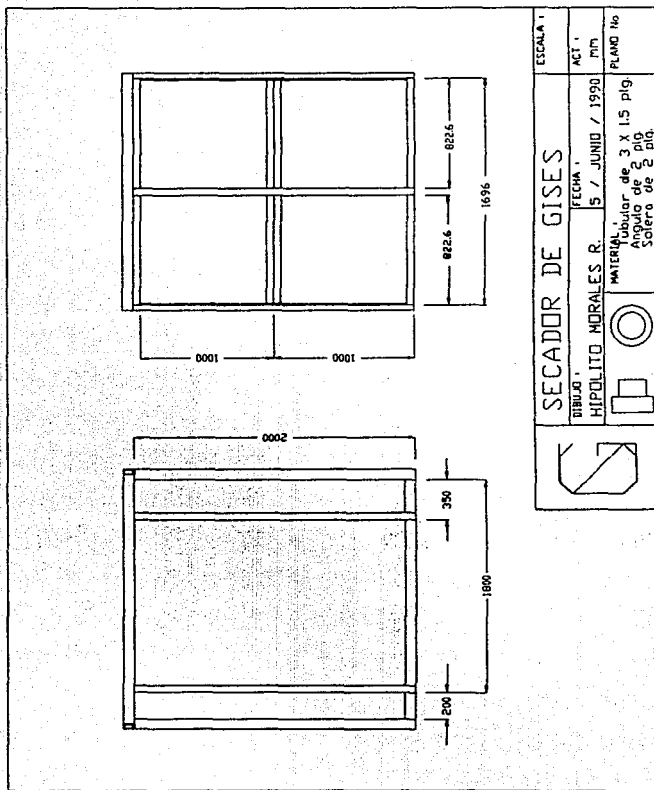
Bold figures in each column approximate maximum static efficiency selection.

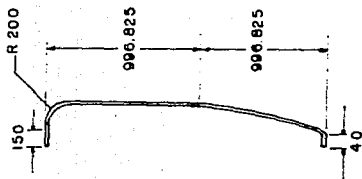
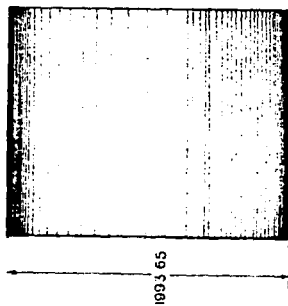
The Standard A.M.C.A. pressure range is shown by the shaded areas. Fans may be used up to the maximum RPM listed above for each fan class; for further information, refer to page 2. Performance shown is for Silenavent fans with an outlet duct. HP does not include belt drive losses.





	<b>SECADOR DE GISES</b>		ESCALA:
	DIBUJANTE: HIPOLITO MORALES R.	FECHA: 7 / 06 / 1990	ACT.:
	MATERIAL: ANGULO Y SOLERA DE 2 PIG.		PLANO No





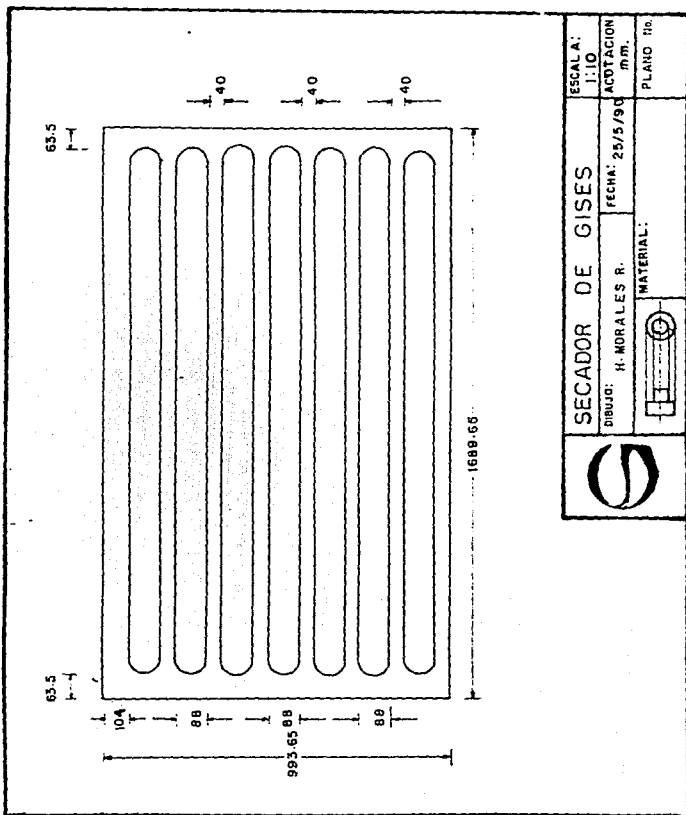
**SECADOR DE GISES**

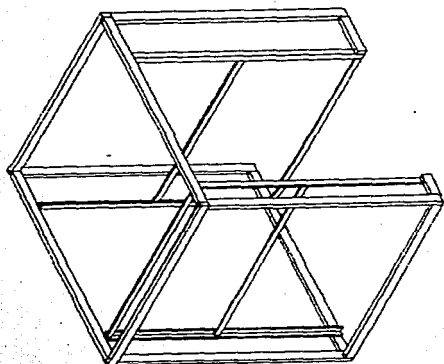
DIBUJO: H. MORALES. R.      FECHA: 25/03/90

ESCALA  
1:25  
ACOTACION  
M.M.  
PLANO Nº

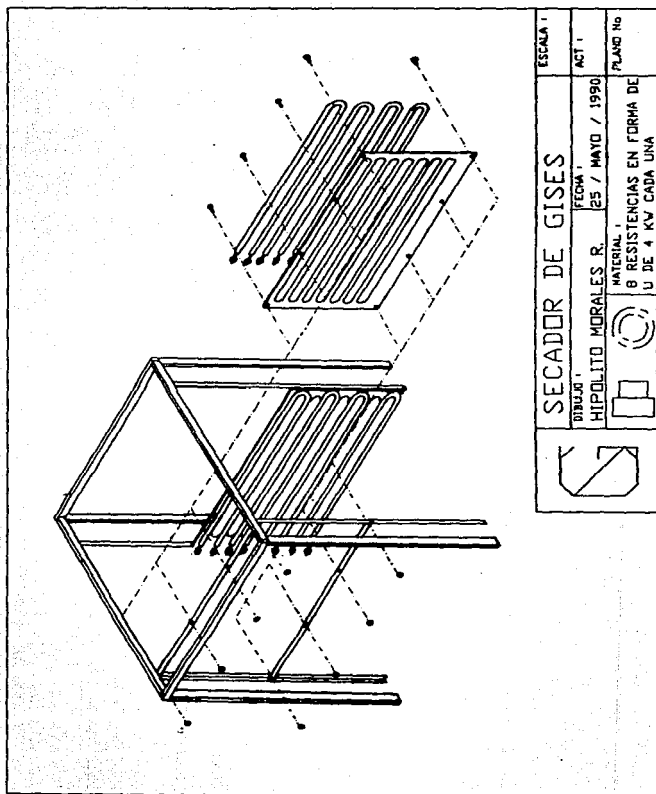
MATERIAL:



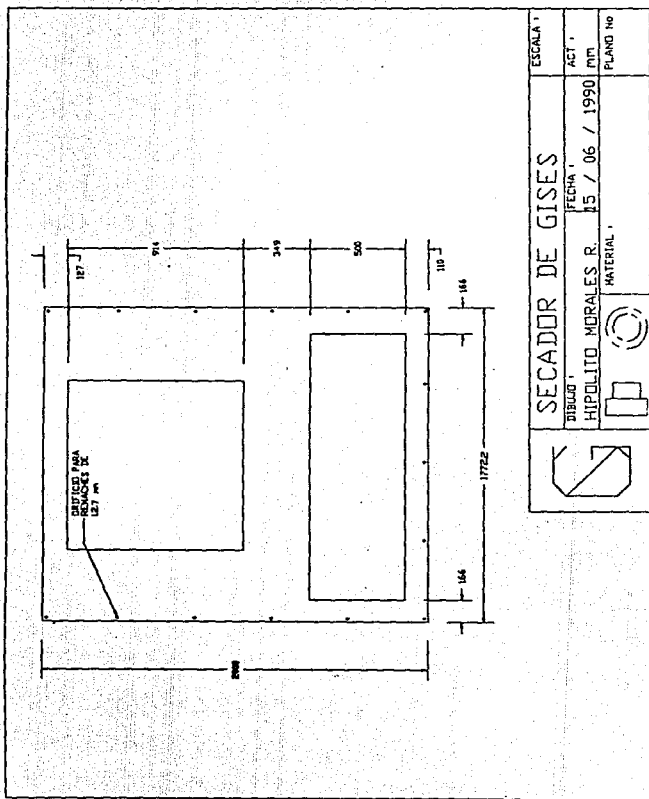


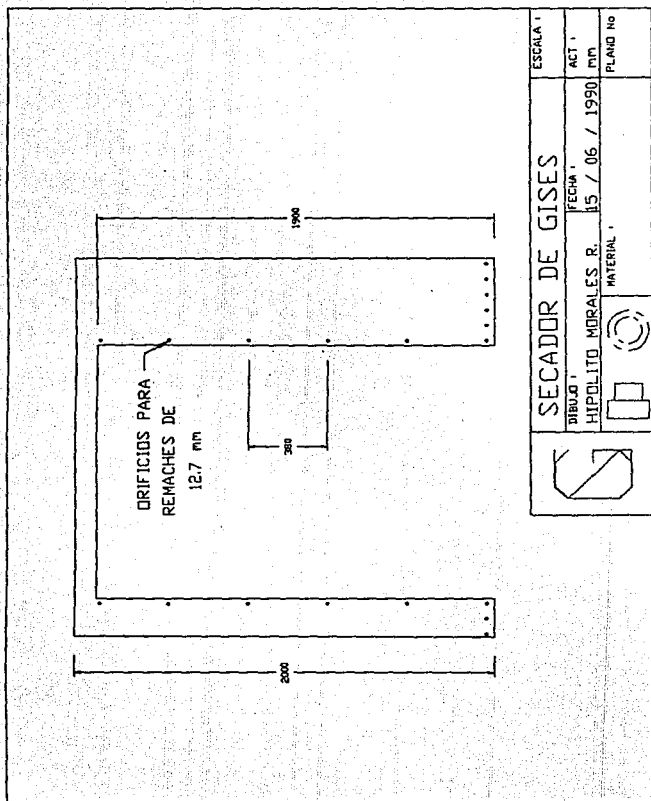


	DISEÑO HIPOLITO MORALES R.	ESCALA
		ACT
	FECHA 18 / JUNIO / 1990	PLANO No
	MATERIAL	

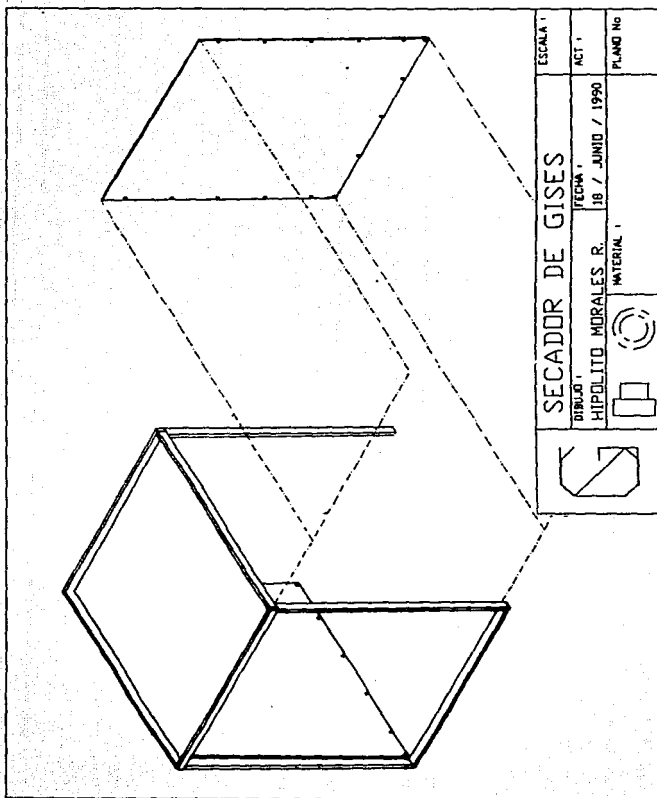


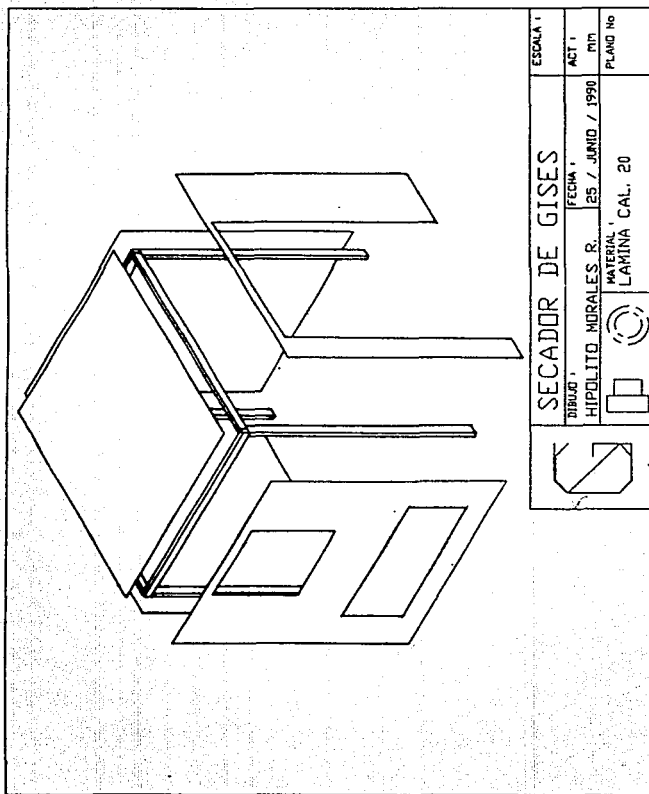
	<b>SECADOR DE GISES</b>		ESCALA 1
	DISEÑAR: HIPOLITO MORALES R.	FECHA: 25 / MAYO / 1990	ACT 1
	MATERIAL: 8 RESISTENCIAS EN FORMA DE U DE 4 KV CADA UNA		PLANO No





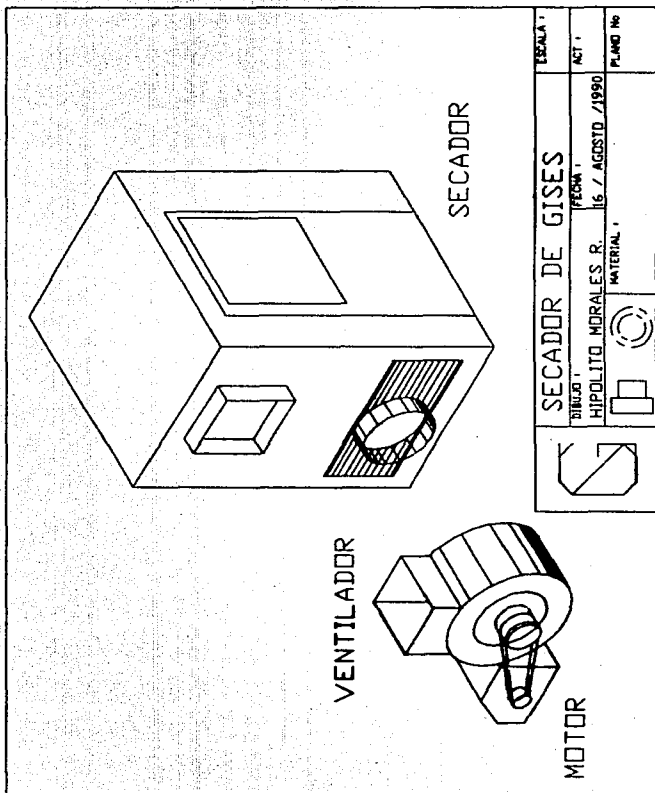






SECADOR DE GISES




ESCALA	ACT
DIBUJO	FECHA
HIPOLITO MORALES R.	25 / JUNIO / 1990
MATERIAL	PLANO No
LAMINA CAL. 20	



SECADOR

VENTILADOR

MOTOR

	<b>SECADOR DE GISES</b>		ESCALA :
	DIBUJO : HIPOLITO MORALES R.	FECHA : 16 / AGOSTO / 1990	ACT :
		MATERIAL :	PLANO No

## CONCLUSIONS

## CONCLUSIONES

Construir un secador eléctrico del tipo de bandejas para secar la producción que la empresa Vinci S.A. necesita resulta demasiado caro, el secador que se presenta en este trabajo es un secador chico si comparamos la producción que obtiene con la producción que se requiere, y a su vez es muy grande si comparamos la producción que obtiene con lo que cuesta obtenerla, por lo cual no es recomendable construir un secador de estas características para la producción que se requiere, este tipo de secador es recomendable pero para producciones pequeñas (menos de la mitad de lo que se pretende secar).

El diseñar este tipo de secador me permitió ver que es mejor un secador de tipo directo continuo, por la cantidad de humedad que se extrae y por las características de fabricación del gis, además que el uso de resistencias eléctricas como fuente de energía es muy caro, y que las ventajas que se considerarán al principio resultan muy pocas en comparación con el gasto que implica el mantener en funcionamiento el secador. El secador que se requiere no es de tipo intermitente, porque éste ocasiona pérdidas de energía y tiempo al introducir y sacar los gises.

Al trabajar en el diseño de las bandejas pude darme cuenta que el proceso de producción del gis no es el adecuado, que éste resulta muy caro por todos los elementos humanos y materiales que involucra, uno de los principales problemas para reducir el tiempo de secado es el acomodo del gis y éste es consecuencia del moldeo, y que el acomodo del gis en el secado repercute en el empaclado, esto es, el problema es desde el inicio del proceso y si modificamos éste resolveríamos gran parte del problema, más aún, creo sinceramente que el problema no es el secado ni siquiera el moldeo, es todo el proceso, si en lugar de moldear los gises los extruyen el proceso sería menos complicado y más barato.

Es necesario decir que el tener que desarrollar todo un proyecto para poder concluir que no es conveniente realizarlo resulta muy tardado y nada práctico, pero en este caso el secador se construyó y era necesario tener información que nos señalara cual fué el error y tener el antecedente para futuros proyectos, el error en este caso fué construir el secador equivocado y el más importante el no plantear a la empresa el cambio total de su proceso de fabricación de gis.

## A N E X O S

### III ESTUDIO POR EL C.D.M.I.T DE LA PLANTA DE PRODUCCION DE VINCI

El estudio realizado en la planta abarcó todo el proceso de fabricación del gis, dicho estudio arrojó la siguiente información:

- 1.- Los gises moldeados resultan de la reacción química de yeso (básicamente sulfato de calcio) con agua.
- 2.- Para obtener una mayor calidad se mezclan yesos de diferente calidad mediante un proceso de molienda y homogeneización.
- 3.- El siguiente paso es el moldeado del gis, el cual consta de 4 estaciones, cada una con, una tarja un mezclador, una tara para la medición de los aditivos, recipientes para cada uno de los diversos componentes, una mesa de moldeo y un operario.
- 4.- Cada operario prepara la mezcla de la siguiente manera:

a) En una cubeta de 18 lts. de agua aproximadamente se pone el yeso (mezcla), para después adicionarle agua en proporción con el peso, inmediatamente después se le pone a la mezcla el antiespumante con la finalidad de evitar poros en el producto en un porcentaje del 0.5%, también se le adiciona resina para proporcionar resistencia, en caso del gis de color se le agrega pigmento .

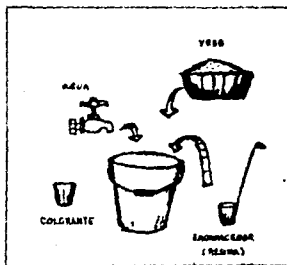


fig. 20

- b) El vaciado en el molde lo realiza el operario vaciando el



contenido de la cubeta sobre el molde dispuesto para tal fin. Para lograr un vaciado correcto en todas las cavidades, espárase con una espátula la mezcla hasta que el contenido de las cavidades este al nivel del molde, como se muestra en la figura No 21.

c) Teniendo todas las cavidades llenas se procede a retirar el exceso de pasta sobre el molde mediante la misma espátula de la acción anterior, el excedente va de 100 - 750 grs. por vaciado.

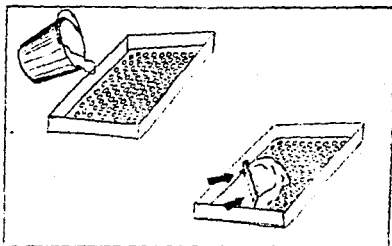


fig. 21

d) Se da tiempo a que la mezcla tome consistencia necesaria para ser sacado del molde sin deformarse, esto abarca un tiempo aproximado de 4 a 7 min.

e) Transcurrido el tiempo necesario el operario procede a sacar los gises del molde y colocarlos en las charolas adecuadas; según el procedimiento de secado, la acción transcurre de la siguiente manera:

La mesa de moldeo consta de un molde que permite obtener 1190 unidades por vaciado, tiene las cavidades maquinadas (rectificadas) con la forma cónica del gis, cuyas medidas estan normalizadas, al molde se acoplan los votadores (2.5 cm de longitud), tanto estos como el molde son de bronce (fig.22).

+ La mesa que sostiene al molde esta hecha de ángulo y tiene un mecanismo de engrane cremallera que sirve para acercar o alejar la charola de el molde, contiene tambien dos chumaceras que permiten

que el molde gire  $360^{\circ}$  y con trinquetes restringen el giro segun lo requieran (fig.22).

+ Para evitar que se salgan los botadores durante el vaciado estos se apoyan sobre una placa, que después de girar el molde para vaciar los gises en las bandejas, se quita, para posteriormente con un mazo de madera botar los gises hacia la bandeja (fig.23).

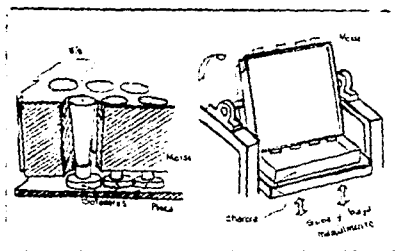


fig. 22

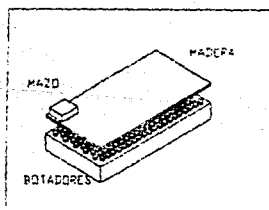


fig. 23

r) Los gises caen sobre la bandeja que después se saca de la mesa y se pone en los carritos correspondientes, posteriormente el operario procede a limpiar el molde con un accesorio especial y

procede a recearlo con desmoldante. Cada operario produce 60 bandejas por jornada.

5.- Con los gises en las bandejas y éstas en los carritos, son transportados al sitio donde se encuentra el secador o al patio destinado para depositar gises y que estos se sequen al sol.

Los carritos son de metal, construidos con ángulo y transportan 15 bandejas con 1190 gises cada una. (fig.24)

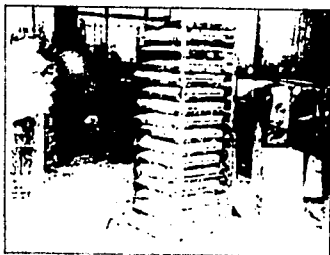


fig.24

El secado tiene dos opciones: 1) al aire libre y 2) mediante un secador.

1.- Secado al aire libre.

Esta opción se desarrolla cuando las condiciones climáticas lo permiten, presentando el inconveniente de usar gran parte del espacio destinado para la carga y descarga de insumos.

Los gises son colocados en lugar de bandejas de metal, en bandejas de madera, las cuales el operario (el que moldea los gise) acomoda una sobre la otra, para que posteriormente con un montacargas otro trabajador las transporte hacia la zona de secado (al aire libre). La operación de secado dura aproximadamente 28 días, la ventaja de este proceso es, que da al gis buenas propiedades mecánicas, también es el sistema más económico para socar el producto.

Durante el tiempo de secado los gises expuestos directamnete

al sol se manchan, los que quedan cubiertos con otros gises o con las bandejas superiores no se manchan y obtienen buenas características mecánicas, las figuras 25 y 26 muestran gises secándose al sol.



fig.25

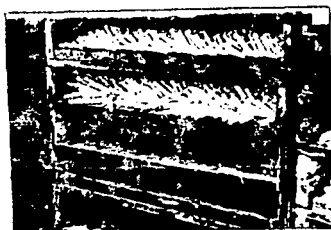


fig.26

## 2.- Secado en el horno.

La mayor parte de la producción se obtiene mediante este proceso de secado.

Los carritos ya en las bandejas, son conducidos a donde se

encuentra el secador, aproximadamente 8 mts. de distancia de la zona de moldeo. El mismo operario que transporto los carritos se encarga de colocar las charolas en otras más grandes que albergan a 4 de las primeras (fig.27). La bandeja grande descansa sobre dos cadenas, que la transportan a lo largo de 10 mts. que es la longitud del secador, en aproximadamente una hora (de 50 a 60 min.).

En el interior del secador existen temperaturas de 60 a 80 °C dependiendo de el ajuste manual de las válvulas de salida del combustible (gas) como lo muestra la figura 28. La flama de los quemadores inciden directamente con las charolas grandes, las cuales por conducción transmiten calor a los gises. El horno tiene un sistema de ventilación, el cual hace circular aire frío sobre los gises.



fig.27

Al finalizar el recorrido, los gises son palpados por el operario para detectar su consistencia, en el caso de no cumplir con la norma se vuelven a colocar al principio del recorrido. En promedio cada bandeja realiza de 4 a 5 veces el trayecto, consumiendo en promedio 4 hrs. En ocasiones es necesario colocar bandejas con gises aún húmedos debajo del secador junto a los quemadores, como se muestra en las figuras 29 y 28 y cuando éstas son bastantes las sacan al patio de secado al sol.

ANEXO A

La reducción en peso del gis al pasar por esta etapa es:

9.00 - 9.85 grs. al salir del molde.

4.75 - 5.25 grs. al terminar el secado.

(Datos para el gis blanco.)



fig.28

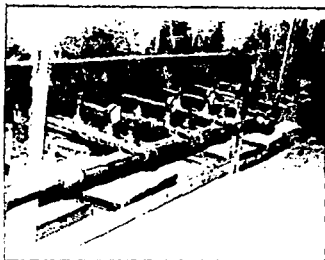


fig.29

## TRANSFERENCIA DE CALOR.

El calor es energía en tránsito, debido a diferencias de temperaturas. Transferencia de calor es al área de ingeniería que trata los mecanismos encargados de la transferencia de energía de un lugar a otro cuando existe una diferencia de temperaturas.

Los mecanismos de transferencia de calor son Conducción, Convección y Radiación.

## Conduccion

La conducción de calor se basa en la Ley de Conducción de Calor de Fourier. Esta Ley es una generalización de la información empírica, dicha Ley predice como se conduce el calor a través de un medio partiendo de una región de alta temperatura a una región de baja temperatura.

$$Q = K A \frac{dT}{dx}$$

donde K es la constante de proporcionalidad, y se llama conductividad térmica, esta constante es una propiedad física del material en cuestión.

## Convección

Los problemas de convección en la transferencia de calor son considerablemente mas difíciles que los que se encuentran en la conducción y con demasiada frecuencia es imposible encontrar soluciones analíticas.

El mecanismo básico para la convección es una combinación de conducción y movimiento de fluidos. La convección ocurre siempre que una superficie está en contacto con un fluido que tiene temperatura diferente a la de la superficie en cuestión.

Cuando el movimiento del fluido queda establecido por fuerzas naturales se llama convección natural o libre. Si una fuente externa (ventilador) provoca el movimiento del fluido se llama convección forzada.

En la ingeniería se usa la siguiente expresión para determinar razones de transferencia de calor por convección:

$$Q = h A (T_s - T_\infty)$$

donde

Q - Calor transferido de la superficie al fluido circulante (W).

A - Area de la superficie (m<sup>2</sup>)

T<sub>s</sub> - Temperatura en la superficie (K).

T<sub>∞</sub> - Temperatura del fluido circundante (K).

h - Coeficiente convectivo de transferencia de calor ( $\frac{W}{m^2 K}$ )

A diferencia de la conductividad térmica de un material, el coeficiente convectivo de transferencia de calor no es una propiedad, es una función de una variedad de factores, tales como la velocidad, densidad, viscosidad, conductividad térmica, calor específico del fluido, geometría de la superficie, presencia de fuerza de flotamiento, etc. Dicha dependencia tan amplia hace difícil llegar a una expresión analítica para el coeficiente de transferencia de calor. Existe teoría para establecer dicho coeficiente pero para circunstancias específicas, por lo general se obtiene experimentalmente.

#### Radiación

A diferencia de transferencia de calor por convección, no se requiere que intervenga un espacio lleno de materia para que la superficie intercambie calor por radiación, por que la radiación térmica es radiación electromagnética que se emite en la banda de longitud de onda entre 0.1 y 100 micrómetros (una micra es igual a 10<sup>-6</sup> metros) como resultado unicamente de la temperatura en la superficie. Por lo tanto, dicha radiación posee las mismas propiedades que los rayos X, la luz visible y las ondas de radio.

Los líquidos, sólidos y algunos gases emiten radiación térmica como resultado de sus temperaturas. Un emisor ideal, que se llama cuerpo negro, emite radiación térmica según la ecuación de Estefan-Boltzmann:

$$e_b = \sigma T^4$$



ANEXO B

donde

$e_b$  - es la potencia emisiva del cuerpo negro ( es la energía emitida por unidad de área de la superficie y unidad de tiempo).

$\sigma$  - es la constante de Estefan-Boltzmann.

$$\sigma = 5.668 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

T - temperatura de la superficie.

Las superficies no negras radian de acuerdo con la ecuación:

$$e = \epsilon e_b$$

donde

$\epsilon$  - es la emisividad (de una propiedad de la superficie y varía desde 0 hasta 1 para reflector ideal).

Cuando la diferencia de temperaturas entre una superficie y sus alrededores es pequeña, se define un coeficiente de radiación de transferencia de calor  $h_r$ , en la forma siguiente:

$$Q = h_r A (T_1 - T_2)$$

donde

A - es el área de la superficie ( $\text{m}^2$ )

$T_1$  - temperatura de la superficie (K)

$T_2$  - temperatura de las superficies de los alrededores (K)

$h_r$  - coeficiente radiativo de transferencia de calor ( $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$ )

y se define según la expresión:

$$h_r = 4\epsilon\sigma T_m^3$$

donde

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

el error en la transferencia de calor  $Q$  que resulta debido al uso de la ecuación anterior está dada por:

$$\% \text{ error} = 10^2 \left( \frac{T_1 - T_2}{2 T_m} \right)^2$$

Estas ecuaciones fueron utilizadas en el capítulo IV en el cálculo del tiempo de secado.

## VENTILADORES.

Los líquidos son poco compresibles y los gases muy compresibles. Si el gas puede considerarse prácticamente incompresible a su paso por la máquina, la máquina a utilizar se llama Ventilador y si el gas a de considerarse compresible la máquina se llama Turbocompresor.

Un ventilador es la turbomáquina que absorbe energía mecánica y restituye energía a un gas, comunicándole un incremento de presión tal que el influjo de la compresibilidad puede despreciarse.

Un compresor es la turbomáquina análoga a la anterior, pero que comunica al gas un incremento de presión tal que el influjo de la compresibilidad no puede despreciarse.

Por lo anterior el cálculo y funcionamiento del ventilador el gas se supone incompresible, el ventilador es una máquina hidráulica y el compresor una máquina térmica, el ventilador nunca se refrigera porque al ser la compresión pequeña (teóricamente despreciable), el gas no se calienta, mientras que el compresor con mucha frecuencia se refrigera.

Existen dos tipos de ventiladores:

- Axiales. (de hélice, turbo axial y de deflector axial.)
- Centrifugos o Radiales.

Ventiladores Axiales.

Existen 3 tipos de ventiladores axiales:

- 1) Ventiladores de hélice.
- 2) Ventiladores turbo axial.
- 3) ventiladores con paletas axiales.

Los ventiladores de hélice se emplean muchísimo para mover masas de aire, venciendo pequeñas resistencias al paso libre del gas trasegado como sucede en los aparatos de ventilación.

Tanto los ventiladores turbo axial como los de deflector axial tienen carcasas tubulares, paletas helicoidales montadas sobre grandes cubos, y pueden trabajar venciendo resistencias al

paso del fluido, del orden de 22 a 25 cm de agua.

Las paletas de los ventiladores axiales varían en cuanto a su número, forma, ajustabilidad, ángulo con respecto al eje de giro, material y forma de construcción, así como la relación del diámetro del cubo y del rodete.

Los ventiladores axiales, son utilizados en instalaciones donde la resistencia al paso del flujo trasegado es pequeña.

#### Ventiladores Centrifugos.

Este tipo de ventilador está constituido por un rodete que gira dentro de una carcasa envolvente, la cual puede cubrir total o parcialmente al rodete, dicha envolvente tiene la forma de espiral permitiendo de esa forma que el aire sea lanzado de la periferia del rodete con pérdidas reducidas y ligera turbulencia.

El efecto producido por el rodete al girar, surge al ser lanzado el aire adyacente a las paletas hacia afuera, como consecuencia de la fuerza centrífuga, siendo lanzado de los bordes de las paletas hacia la envolvente. Como resultado de este movimiento se origina una presión menor a la atmosférica en el centro del rodete y una presión positiva en la envolvente que la rodea, por este hecho se deduce que los ventiladores centrifugos pueden emplearse no solo como aspiradores de aire o gas de canalizaciones conectadas a su boca de aspiración u "oido", sino también puede utilizarse para descargar el mismo aire o gas a presiones (de varios centímetros de columna de agua) mayores, en canalizaciones unidas a su boca de salida o de descarga.

Cuando este tipo de ventilador se destina a producir tiro inducido o tiro forzado con aire precalentado deben ir equipados con cojinetes refrigerados, debido a la alta temperatura de los gases o aire trasegado (algunos ventiladores pueden trabajar a temperaturas de 200°C sin necesidad de enfriarlos con agua).

Existen dos tipos de ventiladores centrifugos:

- 1) Ventiladores de disco.
- 2) Ventiladores de paletas o de álaves múltiples.

Las formas que tienen las paletas de los diferentes ventiladores centrífugos, nos dan una velocidad diferente.

Existen paletas rectas, paletas dobladas hacia adelante y hacia atrás, las cuales constituyen rodetes con diferentes características de rendimiento. Si ponemos a funcionar ventiladores con rodetes constituidos con las paletas antes descritas a una misma velocidad angular, tenemos que el ventilador con el rodete de paletas dobladas hacia adelante produce la velocidad de aire máxima, mientras que el ventilador que tiene el rodete con paletas dobladas hacia atrás nos da la velocidad del aire menor.

Las paletas curvadas hacia atrás, permiten trabajar a velocidades elevadas con grandes rendimientos volumétricos y con amplios límites de capacidad a velocidad constante, con pequeñas variaciones en la potencia requerida.

#### Clasificación de Ventiladores Centrífugos.

Los ventiladores centrífugos se clasifican según:

- El número de bocas o entradas.
  - a) Simples.
  - b) Dobles.
- La anchura del rodete.
  - a) Simples.
  - b) Dobles.
- La boca de salida.
  - a) Alta.
  - b) Baja.
  - c) Vertical.
  - d) Horizontal.
  - e) Angular.
- La carcasa o envolvente.
  - a) Completa.
  - b) Siete octavos. (7/8)
  - c) Tres cuartos. (3/4)
- El sentido del giro.

ANEXO C

- a) A la derecha.
- b) A la izquierda.

Presiones de un Ventilador.

Durante el funcionamiento de los ventiladores desarrollan una presión total, la cual está compuesta de una presión dinámica y una presión estática.

La presión dinámica se utiliza para crear y mantener la velocidad del gas trasegado. La presión estática es la presión existente en el seno del fluido y sirve para vencer los rozamientos en la canalización y otras resistencias ofrecidas al paso del gas.

El Ventilador comercial.

Los ventiladores para su comercialización y para comodidad del usuario a la hora de elegir el ventilador que necesita, se han clasificado por clases tomando en cuenta la presión total máxima.

Ventiladores clase	I	para presión máxima de	9.5 cm.
Ventiladores clase	II	para presión máxima de	17.2 cm.
Ventiladores clase	III	para presión máxima de	31.1 cm.
Ventiladores clase	IV	para presión máxima de	> 31.1 cm.

(Todas estas presiones están expresadas en alturas de columna de agua)

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] John H. Perry      Manual del Ingeniero Químico Tom. I  
Ed. Hispano América.
- [2] Henández Goribar E.      Fundamentos de Aire Acondicionado y  
Ed. Limusa.      Refrigeración.
- [3] Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana  
Productos para oficina y escuelas - gises moldeados blancos  
para escritura y dibujo.
- [4] Severns-Degler- Miles      Energía mediante Vapor, Aire o Gas.  
Ed. Reverté
- [5] Claudio Mataix      Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.  
Ed. Harla.
- [6] B.V. Karlekar y R.M. Desmond      Transferencia de Calor.  
Ed. Interamericana
- [7] G.J. Van Wylen y R.E. Sonntag      Fundamentos de Termodinámica.  
Ed. Limusa.