UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE QUIMICA**

# DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR PARA ESPONJA CELULOSICA.

**T E S I S**

Que Para Obtener el Título de:

**INGENIERO QUIMICO**

P r e s e n t a

GABRIEL ALEMAN CORTES

México, D. F. 1978

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la 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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

CLAS TESIS 1978
DE M. 20 18
FECHA
PROC
$

FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M. BIBLIOTECA D.E.P.

A MIS PADRES

A MI ESPOSA E HIJOS

JURADO

| | |
|---|---|
| PRESIDENTE: | Prof. JULIO TERAN ZAVALETA |
| VOCAL: | Prof. ANTONIO REYES CHUMACERO |
| SECRETARIO: | Prof. FERNANDO ITURBE HERMANN |
| 1er SUPLENTE | Prof. ROLANDO BARRON RUIZ |
| 2o. SUPLENTE | Prof. MARGARITA GONZALEZ TERAN |

Tema desarrollado en Celanese Mexicana, S. A.

Planta Zacapu.

Sustentante: GABRIEL ALEMAN CORTES

Asesor del Tema: Prof. JULIO TERAN ZAVALETA

# C O N T E N I D O


CAP. I Descripción del proceso de elaboración de Esponja Celulósica

CAP. II Generalidades sobre Secado de Sólidos

CAP. III Diseño del secador

CAP. IV Especificaciones y diseño final

CAP. V Generalidades sobre el Método de Trayectoria Crítica para planeación y programación de -- trabajos

CAP. VI Aplicación del M.T.C. a la construcción e - instalación del secador como parte de un proyecto mayor.

CAP. VII Programa final

Datos obtenidos en laboratorio

Bibliografía.

# S U M A R I O

En el presente trabajo se hace el diseño de un Secador para -- Esponja de Celulosa y se complementa con la descripción breve de la aplicación de un método de planeación y programación para llevar a cabo la construcción del mismo.

Mediante éste método aplicado llamado de Trayectoria Crítica, es posible obtener una mejor coordinación entre los diversos -- trabajos que son necesarios para la realización de cualquier -- proyecto, permitiendo además un mayor rendimiento de los recursos humanos disponibles, así como también un mejor aprovechamiento - del equipo ó máquinas-herramienta.

Este método de Trayectoria Crítica no es el método más moderno y preciso que existe para planeación y programación, pero dada - su sencillez, es fácilmente aplicado. Además, por hacer más -- sencillo y objetivo el trabajo de supervisión, lo simplifica -- haciendo más notables los trabajos que requieren una mayor vigilancia y atención por parte de la administración.

La planeación y la programación tienen un papel muy importante - en los costos de construcción, reparación,modificación, producción, etc., por lo que a mejor planeación y programación corresponderá un menor desperdicio de mano de obra, materiales y tiempo, los cuales se traducen directamente a capital.

- - - - - - - - - - -

## CAPITULO I.

## DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION DE ESPONJA CELULOSICA.

La fabricación de esponja celulósica consta de 5 pasos principales que son:

Preparación de viscosa.
Preparación de masa.
Coagulación
Purificación
Corte y Empaque.

### PREPARACION DE VISCOSA.

La viscosa se prepara usando las siguientes materias primas: pulpa de madera, bisulfuro de carbono e hidróxido de sodio grado rayón.

La preparación de viscosa se divide a su vez en 3 - etapas que son: preparación del Alcali-celulosa, Xantagenación y Mezclado.

A continuación se describen brevemente cada uno de estos procesos.

### PREPARACION DE ALCALI-CELULOSA (A.C.)

La pulpa de madera que es una materia prima de importación se recibe en forma de hojas, las cuales después de haber sido cuidadosamente pesadas son acomodadas en grupos llamados libros, todos ellos con igual número de hojas. Los libros son colocados cada uno dentro de un compartimento de

la Prensa de Empape. Una Prensa de Empape es esencialmente un tanque rectangular una de cuyas paredes es movida por un cilindro hidraúlico y que prensa las hojas de pulpa contra la cara opuesta que es una compuerta que se levanta para dejar pasar las hojas de pulpa tratada. Ya acomodadas las hojas dentro de la Prensa de Empape, se llena el recipiente con solución al 18.0% de hidróxido de sodio el cual cubre totalmente a las hojas las cuales quedan en esas condiciones durante un tiempo previamente establecido y que es rigurosamente controlado. Una vez que ha transcurrido el tiempo especificado, se purga el tanque, simultaneamente la pared accionada por el cilindro hidraúlico oprime a las hojas de pulpa contra la pared-compuerta, exprimiéndolas al aplicar una presión fijada de antemano. Ya que se ha exprimido la pulpa, cesa la presión y se abre la compuerta permitiendo la salida de las hojas de pulpa.

Las hojas de pulpa tratada que son desalojadas de la prensa, caen por una tolva hasta un desmenuzador rotatorio el cual es un recipiente de construcción robusta con paredes estriadas en su interior con un par de agitadores dentados que giran rápidamente y que dejan un claro de 1 mm. entre la pared del tanque y el borde dentado del agitador. La pulpa al caer dentro de este recipiente es atrapada entre el agitador y la pared, desgarrándola hasta dejarla dividida en partículas muy pequeñas.

El tiempo que dura la pulpa dentro del desmenuzador es fijado según la calidad del producto obtenido, así como por el rendimiento. Transcurrido el tiempo de desmenuzado, se vacía el desmenuzador haciéndolo girar, de modo que descargue su contenido por gravedad.

El producto hasta aquí obtenido recibe el nombre de Alcali-Celulosa.

La reacción que se verifica durante este proceso es la siguiente:

$$( C_6H_9O_4\text{-}OH)_x + X\ NaOH \longrightarrow (C_6H_9O_4\text{-}ONa)_x + X\ H_2O$$

Celulosa. Alcali-Celulosa.

Las hemicelulosas son disueltas por la solución de sosa, eliminándose al drenarse de la tina de empape.

XANTAGENACION.

El Alcali-Celulosa desmenuzado al ser descargado del desmenuzador cae a un reactor en donde se agregará bisulfuro de carbono con el cual reaccionará para formar un xantato de celulosa y sodio.

El reactor o Churn es un recipiente provisto de agitación enérgica, tubos distribuidores para el bisulfuro de carbono, sello hermético de la tapa, camisa de enfriamiento y líneas para hacer vacío en su interior. Cuando el reactor ha recibido la carga de A.C., se cierra herméticamente y se le efectúa el vacío en su interior, con esto se elimina gran parte del oxígeno del aire el cual con el bisulfuro, por ser inflamable, provoca explosiones, además con la presión baja se evapora en su totalidad el bisulfuro mejorando su difusión entre la masa del Alcali-Celulosa siendo así una reacción más homogénea.

Cuando el vacío ha alcanzado un valor establecido, se cierra la válvula de las bombas y se agrega el bisulfuro, se deja que la reacción se efectúe durante dos horas aproximadamente. Como la reacción entre el Alcali-Celulosa es exotérmica y el xantato de celulosa y sodio es muy sensible a la temperatura, es necesario controlar ésta mediante la circula

ción de agua fría o salmuera por la camisa de enfriamiento. La circulación de agua de enfriamiento es controlada automáticamente.

Terminada la reacción, se rompe el vacío y se descarga al reactor.

Durante la reacción, el Alcali-Celulosa que es de color blanco va adquiriendo un color amarillo que se va haciendo más intenso conforme avanza la reacción terminando de color naranja intenso al terminar ésta.

La reacción que se efectúa es la siguiente:

Alcali-Celulosa. Xantato de Celulosa.

El color amarillo se debe a la formación de un subproducto llamado Tiocarbonato de Sodio ($Na_2CS_3$).

MEZCLADO.

El xantato de celulosa que se descarga del reactor cae por una tolva hasta el tanque mezclador, el cual es un tanque cilíndrico con una camisa de enfriamiento y agitación enérgica. Cuando el xantato de celulosa cae al mezclador, en este se encuentra una solución de hidróxido de sodio y el agitador en movimiento.

El xantato se disuelve en el agua alcalina produciendo una suspensión coloidal con una elevada viscosidad de alrededor de 4000 poises. Para facilitar la solución del xantato se pone a recircular mediante una bomba de engranes.

A la suspensión coloidal de xantato de celulosa se le dá el nombre de Viscosa.

Como la temperatura afecta notablemente a la viscosa, es necesario mantenerla a baja temperatura por lo cual se está contínuamente enfriando durante el mezclado y prosigue cuando se encuentra en los tanques de maduración y almacenamiento. La temperatura de la viscosa, en todos los casos es controlada automáticamente regulando el flujo de agua por las camisas de enfriamiento de estos equipos.

PREPARACION DE LA MASA.

En la preparación de masa de la cual se harán las esponjas, se emplean diferentes substancias, unas para obtener poros dentro de la masa de viscosa, otras son para dar mayor resistencia a la esponja, otras tendientes a mejorar la suavidad de la esponja y que actúan como plastificantes. El equipo empleado para la preparación de masa está compuesto por bombas medidoras y un mezclador con refrigeración para retirar el calor producido durante el mezclado. Este mezclador está provisto de dos agitadores en forma de Σ que giran en sentidos opuestos.

El mezclado se verifica de la siguiente manera: Primero se mide un volúmen dado de viscosa y se le agregan fibras naturales o sintéticas, colorantes y sulfato de sodio que formarán los poros en la esponja. Se prosigue mezclando hasta obtener una masa homogénea lista para coagularse.

COAGULACION O COCIMIENTO.

La masa preparada se vierte en moldes y se pasan a

las casetas de coagulación o cocimiento. Cuando la caseta de cocimiento se ha llenado con moldes llenos de masa, se procede a iniciar el cocimiento.

La coagulación se efectúa calentando la masa, siendo que la viscosa es muy sensible a la temperatura, al aumentar esta se coagula formando primeramente geles y después por descomposición del gel se regenera la celulosa.

Al gelificarse la viscosa que rodea a cada uno de los cristales de sulfatos de sodio, forma una estructura reticular quedando los cristales dentro de la retícula. Al seguir aumentando la temperatura se descompone el gel liberando -- agua la cual disuelve los cristales de sulfato de sodio dejando únicamente la estructura reticular de celulosa, que es la esponja.

PURIFICACION.

La masa ya cocida o sea ya esponja, queda impregnada de solución de sulfato de sodio, hidróxido de sodio, tiocarbonatos y otras substancias azufradas y coloridas las cuales es necesario eliminar a fin de obtener una esponja de - buena calidad.

Para eliminar todas las substancias solubles se procede a lavar las piezas de esponja con agua a contra-corriente recuperándose gran parte del sulfato de sodio que contiene - como impureza.

Durante el proceso de purificación, se exprime varias veces con el objeto de mejorar el lavado. El lavado se efectúa en forma contínua.

Después del lavado inicial donde se recupera el sulfato

de sodio, las piezas de esponja son sometidas a una serie de lavados con agua, hipoclorito de sodio y con bisulfito de sodio. Con el lavado con agua se termina la eliminación de sulfato de sodio, con el hipoclorito de sodio se blanquea, eliminándose el residuo de este con bisulfito de sodio, los residuos de bisulfito se eliminan con un último lavado con agua.

PLASTIFICADO.

Las esponjas ya purificadas se someten a un tratamiento con una solución que contiene plastificante, agentes fungicidas y algunas otras substancias que tienden a mejorar la calidad del producto terminado.

Como plastificante se emplean diversas substancias, todas ellas polialcoholes; como fungicidas se emplean compuestos clorados como el hexaclorofenol.

Después del tratamiento de plastificado las esponjas son exprimidas mediante presión en una prensa hidráulica de donde sale con una humedad 100% base seca.

CORTE Y EMPAQUE.

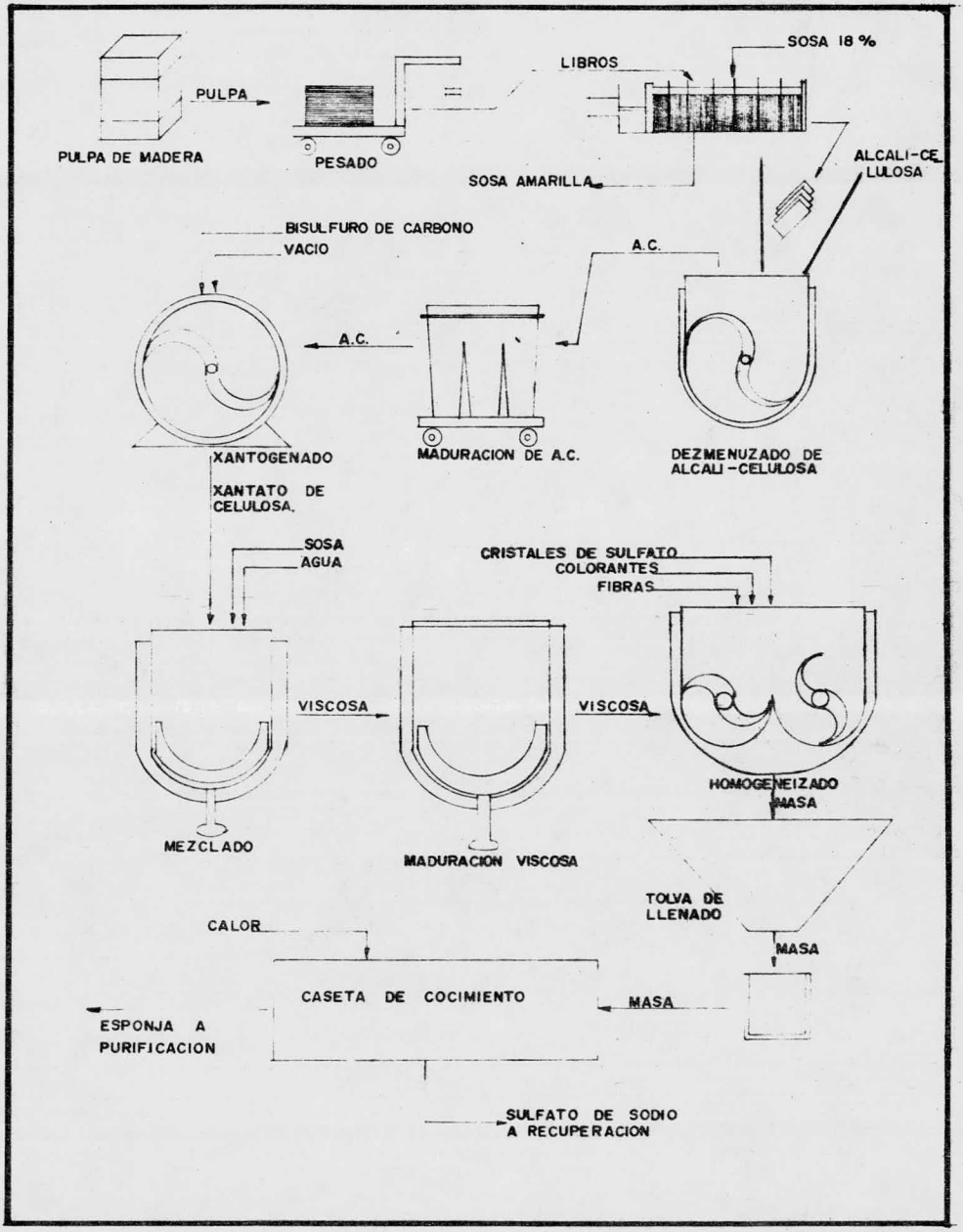
Las esponjas ya plastificadas y exprimidas, son cortadas para obtener piezas de tamaños comerciales y eliminar las cortezas que cubren a las piezas grandes de esponja.

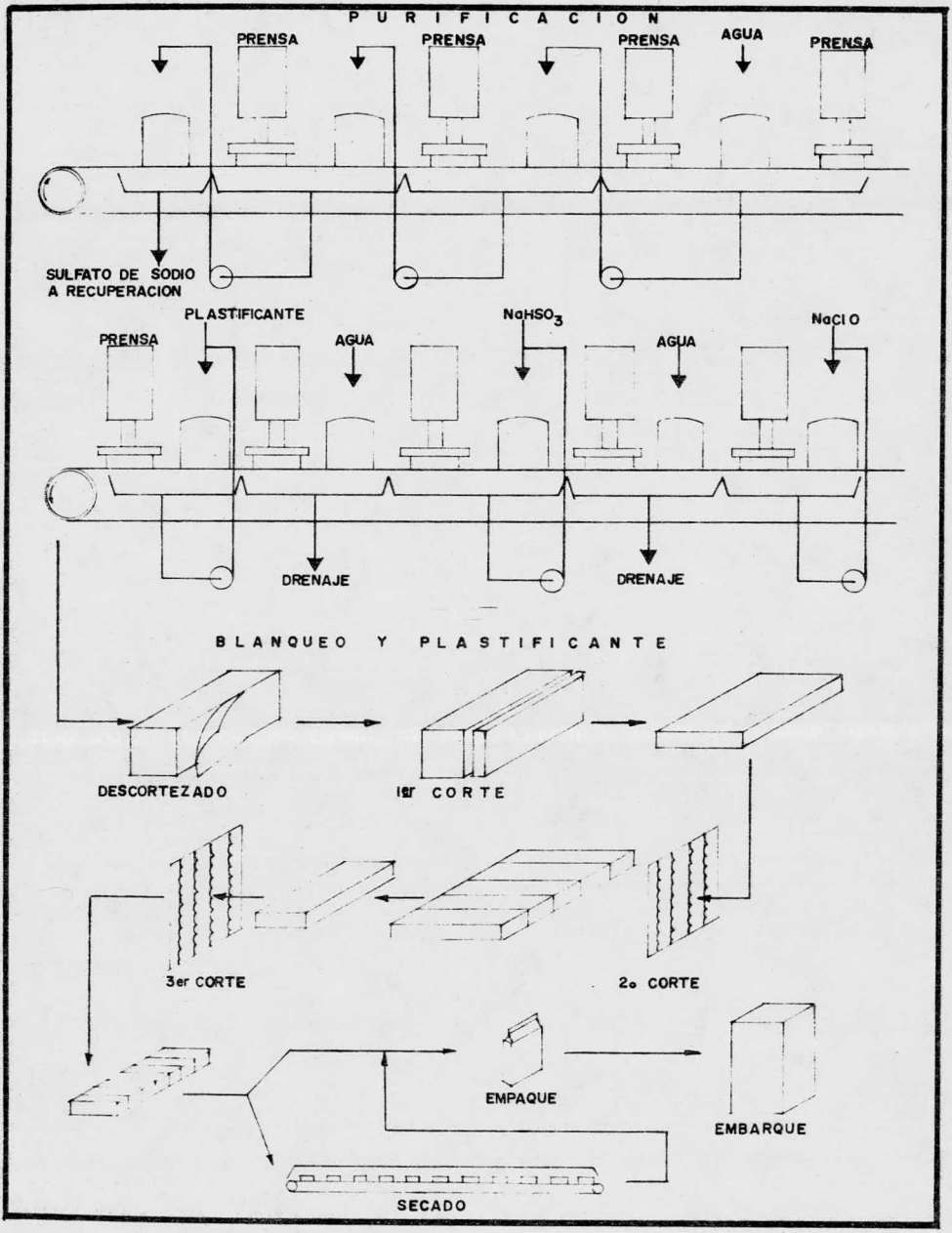
Para cortar la esponja se emplean navajas contínuas para eliminar las cortezas y hacer los cortes grandes, obteniéndose esponjas de dimensiones múltiples de los tamaños comerciales. Estas piezas grandes son cortadas a sus dimensiones finales mediante una máquina cortadora de navajas --

múltiples que trabajan en vaivén y en forma alterna.

Las piezas de esponja ya cortada son transportadas mediante una banda hasta la selladora de empaque; durante el trayecto son examinadas y clasificadas cada una de las piezas, empacándose en bolsas de polietileno aquellas esponjas que se consideran como de primera calidad.

Al final de la banda transportadora, las bolsas con esponjas pasan por una máquina termoselladora que las cierra y las deposita en una mesa de donde son tomadas y empacadas en cajas de cartón para su envío al mercado.


PULPA DE MADERA
PULPA
PESADO
LIBROS
SOSA 18 %
SOSA AMARILLA
ALCALI-CELULOSA
BISULFURO DE CARBONO
VACIO
A.C.
A.C.
XANTOGENADO
MADURACION DE A.C.
DEZMENUZADO DE ALCALI-CELULOSA
XANTATO DE CELULOSA.
SOSA
AGUA
CRISTALES DE SULFATO
COLORANTES
FIBRAS
VISCOSA
VISCOSA
MEZCLADO
MADURACION VISCOSA
HOMOGENEIZADO MASA
TOLVA DE LLENADO
MASA
CALOR
CASETA DE COCIMIENTO
MASA
ESPONJA A PURIFICACION
SULFATO DE SODIO A RECUPERACION


PURIFICACION
PRENSA
PRENSA
PRENSA
AGUA
PRENSA
SULFATO DE SODIO
A RECUPERACION
PLASTIFICANTE
NaHSO3
NaClO
PRENSA
AGUA
AGUA
DRENAJE
DRENAJE
BLANQUEO Y PLASTIFICANTE
DESCORTEZADO
1er CORTE
3er CORTE
2o CORTE
EMPAQUE
EMBARQUE
SECADO

## CAPITULO II

## GENERALIDADES SOBRE SECADO DE SOLIDOS

Definición.- Secado de sólidos es la operación unitaria en la cual se elimina por medios térmicos la totalidad o parte del líquido que acompaña a un sólido. Aparentemente no hay una diferencia marcada entre la evaporación y el secado y la diferencia existente se basa fundamentalmente, en el equipo empleado para la separación. Por lo anterior, en ocasiones es difícil definir si un proceso es evaporación o es secado. En la industria la operación de secado se efectúa - por diferentes motivos entre los cuales podemos enumerar seis que son los principales:

1) Facilitar el manejo posterior del material.
2) Permitir el empleo satisfactorio del mismo.
3) Reducir costos de embarque.
4) Aumentar capacidad de equipo existente.
5) Preservar los productos durante su almacenaje y transporte.
6) Aumentar el valor de productos residuales o subproductos.

En la práctica, el líquido que se separa con mayor - frecuencia es el agua aunque también se separan solventes orgánicos como ocurre en la fabricación de fibras sintéticas hechas a base de acetato y triacetato de celulosa o con el papel celofán durante su recubrimiento y muchos otros casos más.

Debido a la situación del secado dentro de la mayoría

de los procesos ésta operación puede considerarse como de -- acabado, ya que generalmente se le encuentra antes de envasado y embarque.

TEORIA.- Cuando un sólido se seca, lo hace por medio de dos procesos fundamentales y simultáneos: Transmisión de - calor para evaporar al líquido y Transferencia del líquido evaporado y humedad interna hacia el exterior del cuerpo. Los -- factores que afectan a éstos dos procesos nos determinarán en consecuencia la velocidad del secado.

El suministro de calor puede ser efectuado por convección, conducción, radiación o generando calor por corrientes - eléctricas. En las tres primeras formas, el calor ha de transmitirse primero a la superficie del cuerpo y de ahí hacia el - interior del mismo. En el cuarto caso el calor se genera con corrientes eléctricas de alta frecuencia en el interior del - cuerpo y de ahí se transmite a la superficie del mismo o sea - que el flujo de calor será inverso, con respecto a los otros - métodos de calefacción.

La transferencia de masa en todos los casos es del - interior del cuerpo hacia el exterior.

El flujo de calor y el flujo de humedad serán en sentidos opuestos en todos los casos con excepción del proceso con calentamiento por corrientes de alta frecuencia en el cual el flujo de calor y el flujo de masa son en el mismo sentido.

De lo anterior se observa que hay condiciones exter-- nas y condiciones internas que afectan la velocidad de secado. Condiciones internas son: Flujo de calor, flujo del líquido - dentro del sólido y el grado de subdivisión del mismo. Como -- condiciones externas tenemos aquellas del medio que rodea al -

cuerpo durante el proceso de secado y que son: Presión, - temperatura, velocidad, humedad relativa.

Por ser las condiciones internas mucho más importantes que las externas y por ser diferentes de un cuerpo a otro el estudio de la teoría del secado deberá por lo tanto basarse en éstas condiciones internas.

MECANISMO DE FLUJO DE LIQUIDO.- El flujo del líquido en el interior del sólido puede efectuarse de cinco formas distintas:

A) Difusión dentro de un cuerpo sólido homogéneo.

B) Capilaridad dentro de un sólido poroso.

C) Flujo mecánico ocasionado por encogimientos que originan gradientes de presión dentro del sólido.

D) Flujo gravitacional originado por la acción de - la gravedad.

E) Flujo compuesto por una secuencia de vaporizaciones y condensaciones sucesivas.

Generalmente uno de éstos mecanismos predomina en -- cierta parte del proceso de secado y no es extraño que varios de éstos mecanismos predominen en diferentes etapas del proceso.

De los mecanismos citados los más importantes son los de difusión de líquidos y vapores y el de capilaridad, los cuales se describen brevemente a continuación:

DIFUSION.- El vapor puede moverse dentro del sólido que presenta un gradiente de temperatura que se establece al -

calentarlo y el cual provoca un gradiente de presión de vapor. Esto se presenta cuando el sólido se calienta por un lado y se seca por el otro, ó sea flujos de calor y vapor - paralelos. El movimiento difusional de líquidos dentro de los sólidos está restringido por el equilibrio entre la humedad del sólido y la humedad de saturación de la atmósfera que lo rodea. También está restringido a aquellos casos en los que el líquido y el sólido son solubles entre sí.

En el primer caso se encuentra el secado de barros, almidón, textiles, papel, etc. y en el segundo están las -- gomas, pastas, geles, etc.

CAPILARIDAD.- El flujo por capilaridad se presenta en sólidos fibrosos o granulares en donde el líquido se encuentra llenando los intersticios del interior del sólido.

El flujo se presenta cuando algunas hoquedades son vaciadas por evaporación, entonces el líquido que se encuentra en los poros adyacentes, por capilaridad tiende a llenar los huecos secos. Este proceso se encuentra presente en el secado de papel, cuero, textiles, pigmentos sólidos finamente granulados, etc., siempre y cuando su humedad esté muy -- por encima de su punto de saturación.

PERIODOS DE SECADO.- Durante el secado se pueden - distinguir cuatro fases distintas:

1.- Período de inducción.

2.- Período de velocidad constante.

3.- 1er. período de velocidad decreciente.

4.- 2o. período de velocidad decreciente o final.

PERIODO DE INDUCCION.- Este período llamado también de calentamiento puede ser o no ser importante y está compendido entre la iniciación del período de secado y la estabilización inicial del mismo. Durante éste período, la velocidad de secado va aumentando paulatinamente y se considera que termina cuando se hace constante.

PERIODO DE VELOCIDAD CONSTANTE.- Como su nombre lo indica, durante éste período la velocidad de secado permanece constante y se considera que se inicia al terminar el período de inducción y se considera que termina cuando la velocidad de secado comienza a decrecer.

Durante éste período, el líquido que se evapora es el que se encuentra libre sobre la superficie del sólido que se está secando. Este período dura tanto tiempo como la difusión del líquido en el interior o el transporte del líquido por capilaridad, puedan mantener totalmente mojada la superficie del sólido. Durante éste período la temperatura de la superficie del cuerpo tiende a mantenerse constante muy cerca de la temperatura de bulbo húmedo del aire que está en contacto con él. Estas temperaturas no se igualan ya que hay un flujo de calor del aire hacia el interior, lo que hace que la temperatura quede comprendida entre la de bulbo seco y bulbo húmedo del aire. Si el flujo de calor se aumenta calentando al cuerpo por conducción o radiación, la velocidad de secado aumentará también en forma proporcional, aún sin variar las condiciones del aire de secado.

Durante éste período cuando el calentamiento se hace con un gas caliente hay un equilibrio entre el calor cedido al sólido por el gas y la cantidad de líquido evaporado. Este equilibrio se expresa con la ecuación:

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{h_t\ A(ta-ts)}{\lambda} = k_g\ A(Ps-Pa)$$

En donde $dw/d\theta$ : velocidad de secado

$h_t$ = Coef. de transmisión de calor.

A = Area de transferencia de calor y masa

$\lambda$ = Calor latente de evaporación del líquido.

ta = Temperatura del aire.

ts = Temperatura de la superficie de evaporación

Ps = Presión de vapor del líquido a ts.

Pa = Presión parcial de vapor del líquido en la atmósfera.

$k_g$ = Coef. de transferencia de masa.

El coeficiente de transmisión de calor $h_t$ es el coeficiente total o sea el resultado de la suma de los coeficientes de transmisión por convección (hc) y por radiación (hr) pero éste último por ser de poca magnitud en la mayoría de los secadores, no se considera determinante por lo que solo el coeficiente de convección es el que determina la magnitud de la velocidad constante de secado. El coeficiente de transmisión de calor por convección es función de la velocidad y dirección del flujo de aire, de acuerdo con la ecuación:

$$hc = 0.0128\ G^{0.8}$$

En donde G: masa-velocidad del aire seco.

Si el flujo es paralelo a la superficie de evaporación. Pero si el flujo es perpendicular a la superficie, el coeficiente será de acuerdo con la ecuación:

$$hc = 0.37\ G^{0.37}$$

De acuerdo con lo anterior, la ecuación de la velocidad de secado constante quedará:

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{0.0128\ G^{0.8}\ A\ (ta-tw)}{\lambda}$$

o bien, expresándola como rapidez de cambio de la humedad,

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{0.0128\ G^{0.8}\ A\ (ta-tw)}{\rho s\ \lambda\ L}$$

en donde w = humedad base seca.

$\rho s$ = peso específico del sólido seco.
L = espesor del sólido.
tw = temperatura bulbo húmedo del aire

Cuando la superficie recibe radiación, la relación entre la transmisión de calor y la evaporación queda

$$k'g\ A\ \lambda\ (Hs - Ha) = hc\ A\ (ta - ts) + hr\ \varepsilon\ A\ (tr - ts)$$

en donde: k'g es aproximadamente 1.6 kg coeficiente de transferencia de masa.

ts = Temperatura de la superficie húmeda.
tr = Temperatura de la superficie radiante.
$\varepsilon$ = Emisividad de la superficie radiada.

Si se considera que hc/k'g = Cs = Capacidad cloríffica del aire húmedo, la ecuación quedará:

$$\frac{\lambda}{Cs}\ (Hs - Ha) = (ta - ts) + \varepsilon \frac{hr}{hc}\ (tr - ts)$$

Si la radiación y conducción son importantes, se comete un grave error al considerar que la superficie - de evaporación es igual a la temperatura de bulbo húmedo por lo que es necesario estimar en forma más aproximada la magnitud de la temperatura de evaporación.

Para estimar la temperatura de evaporación se hace sobre una gráfica sicrométrica trazando una línea recta pendiente $h_t C_s / \lambda h_c$ a partir de las condiciones iniciales del aire hasta cortar la curva de saturación punto que estará determinado por $H_s$ y $t_s$ ó sea la humedad de saturación a la temperatura de evaporación. Esta relación está dada por la ecuación.

$$(H_s - H_a) = \frac{h_t \ C_s}{\lambda \ h_c} (t_a - t_s)$$

En donde $h_c$ = Coeficiente de transmisión de calor por conducción, y $h_t = (h_c + h_r)\left[1 + \frac{A_v}{1 + L(h_c + h_r/k)}\right]$

siendo $A_v$ = Proporción de superficie húmeda = $\frac{\text{Superficie Húmeda.}}{\text{Superficie Total.}}$

$k$ = Conductividad térmica del material húmedo.

Cuando la velocidad de secado comienza a disminuir se dice que el sólido ha alcanzado la humedad crítica y a partir de ese instante se inicia el tercer periodo de secado.

Primer periodo de velocidad de secado decreciente.

A este periodo se le llama de secado de superficie no saturada o sea que la superficie del cuerpo no está totalmente mojada debido a que han comenzado a aparecer zonas "secas".

Los factores que intervienen en este periodo son - los mismos que afectan a los de velocidad constante dado que el mecanismo de evaporación es el mismo.

La relación entre el contenido de humedad y superficie húmeda, frecuentemente es lineal.

Segundo periodo de secado a velocidad decreciente.

Durante este periodo la velocidad de evaporación está determinada por el flujo del líquido en el interior del sólido, en donde el secado se hace hasta obtener bajas humedades o se procesan materiales de secado lento; este periodo cubre casi todo el tiempo de secado.

Durante este periodo las limitaciones son los mecanismos de flujo del líquido, las cuales pueden ser: Difusión, Capilaridad, Gradientes de presión, Encogimiento - del sólido, evaporaciones y condensaciones sucesivas, etc.

Cuando la difusión es la que limita a este periodo se ha encontrado que esta obedece a las mismas leyes que se aplican a la difusión de calor.

Para sólidos con humedad uniforme con superficie seca o a su humedad de equilibrio se aplica la ecuación:

$$\frac{W - We}{Wo - We} = \frac{8}{\pi^2}\left[e^{-D\Theta\left(\frac{\pi}{2L}\right)^2} + \frac{1}{9}e^{-9D\Theta\left(\frac{\pi}{2L}\right)^2} + \frac{1}{25}e^{-25D\Theta\left(\frac{\pi}{2L}\right)^2} + \cdots\right]$$

En donde
- $W$ = Humedad inicial.
- $Wo$ = Humedad final.
- $We$ = Humedad de equilibrio.
- $D$ = Difusividad del líquido.
- $L$ = 0.5 del espesor del sólido.

Esta ecuación está basada en una difusividad constante lo cual no es verídico ya que esta varía con el contenido de humedad.

Cuando el tiempo de secado es muy prolongado, la ecuación queda:

$$\frac{W-We}{Wo-We} = \frac{8}{\pi^2} e^{-D\theta\left(\frac{\pi}{2L}\right)^2}$$

ó expresándola como velocidad de secado:

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{\pi^2 D}{4L^2}(W-We)$$

Estas ecuaciones son válidas solo cuando

$$\frac{W-We}{Wo-We} < 0.6$$

La velocidad de secado se puede expresar, aunque con poca exactitud con la ecuación :

$$\left(\frac{dW}{d\theta}\right)_f = -K(W-We)$$

en donde $K$ es función de la velocidad de secado constante, siendo:

$$K = \frac{\left(\frac{dw}{d\theta}\right)_c}{Wc-We}$$

en donde $Wc$ = Humedad crítica
o bien substituyendo $\left(\frac{dW}{d\theta}\right)_c$ por su valor

$$K = \frac{h_t(t_a - t_s)}{\rho_s L \lambda (W_c - We)}$$

Substituyendo:

$$\left(\frac{dw}{d\theta}\right)_f = \frac{h_t(t_a - t_s)(W-We)}{\rho_s L \lambda (W_c - We)}$$

El tiempo de secado obtenido por la integración de las ecuaciones anteriores, será:

Para la ecuación basada en la difusión:

$$\theta_f = \frac{4L^2}{D\pi^2} \ln\left(\frac{W_c - W_e}{W - W_e}\right)$$

Y para la basada en el espesor del material:

$$\theta_f = \frac{\rho_s L \lambda (W_c - W_e)}{h_t (t_a - t_s)} \ln\left(\frac{W_c - W_e}{W - W_e}\right)$$

El tiempo total de secado será la suma de los tiempos de secado parciales o sea la suma del tiempo de secado a velocidad constante $(\theta_c)$, el tiempo de secado a velocidad decreciente $(\theta_f)$ y el tiempo de calentamiento $(\theta_i)$.

$$\theta_t = \theta_c + \theta_f + \theta_i$$

Sustituyendo en la ecuación para el cálculo del tiempo total de secado queda:

$$\theta_t = \theta_c + \theta_f = \frac{(W_o - W_c)\lambda L \rho_s}{h_t (t_a - t_s)} + \frac{\rho_s L \lambda (W_c - W_e)}{h_t (t_a - t_s)} \ln\frac{W_c - W_e}{W - W_e}$$

## CAPITULO III.

### DISEÑO DEL SECADOR.

La parte inicial del diseño consiste en la elección del tipo de secador que sea más adecuado para efectuar la -- operación al menor costo y con la menor pérdida de calidad. Originalmente se pensó en secar los bloques de esponja, inmediatamente después de la prensa de plastificado y una vez - secos tajarlos hasta obtener piezas de tamaños comerciales. Este procedimiento no se pudo aplicar ya que durante las pruebas piloto se presentaron fenómenos que van en detrimento de la calidad del productos y que fueron:

a). Encogimiento no uniforme durante el secado. Esto origina que las piezas tajadas al volverse a humedecer adquieran formas irregulares.

b). La presencia de la corteza en los bloques por - ser poco porosa y casi contínua, forma una barrera que impide el paso de la humedad interior hacia afuera, siendo entonces necesario prolongar el tiempo de secado.

c). El espesor del bloque hace que el tiempo de secado sea muy prolongado, requiriéndose un equipo demasiado grande.

d). Se presentó una migración de plastificante y fungicidas del interior hacia la corteza.

Este último fenómeno es muy importante, ya que es el que nos va a limitar las condiciones de secado definitivas.

Para eliminar los defectos a, b y c se optó por tajar

las esponjas húmedas en forma normal, o sea hasta obtener piezas de tamaños comerciales procediendo luego a su secado.

Se efectuaron pruebas de secado de esponjas tajadas, las cuales por sus dimensiones pudieron ser secadas con diferentes tipos de secadores, lo que permitió la elección del tipo de secado más adecuado. Las pruebas y sus resultados fueron los siguientes:

Secador de Tunel a 130°C- No afecta notablemente a la forma de la esponja. La migración de plastificante y - fungicidas no es muy notable, no sintiéndose pegajosa al tacto.

Secador de Tambor Rotativo 80°C. La migración de plastificantes es muy pequeña. La forma de la esponja es afectada al redondearse las esquinas.

Secador de Tipo Dieléctrico. El tiempo de secado - fué muy corto, casi no se presentó la migración de plastificante. La forma de la esponja no fué afectada notablemente.

Secador de Aire Caliente a través de la Esponja. -- Tiempo de secado corto. Se presenta migración de plastificante. No se afecta notablemente la forma de la esponja.

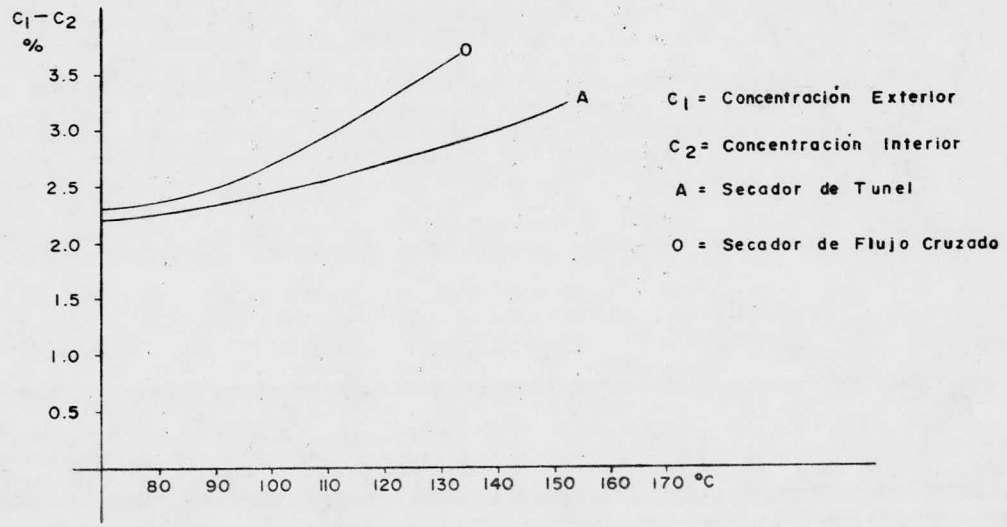
De las observaciones anteriores encontramos que el - mejor secador es el dieléctrico siguiéndole en órden decreciente el secador de flujo cruzado, el de túnel y el de -- tambor rotativo.

El secador de tambor rotativo ha de ser descartado, pues al redondear las esquinas de las esponjas afecta su calidad, ya que su apariencia deja mucho que desear.

El secador dieléctrico a pesar de ser el mejor, ha de ser descartado por su elevado costo. Por tratarse de un generador de alta frecuencia (20 Kc) y para la capacidad de operación requerida su costo inicial es del órden de - - $ 700,000.00, cantidad que es demasiado alta para que pueda ser económicamente costeable su inversión.

De los secadores restantes, o sea el de tunel y el - de flujo cruzado, aparentemente es mejor este último, pero por haberse efectuado las pruebas en diferentes condiciones es necesario determinar si existe alguna relación entre la temperatura de secado y la migración del plastificante, o si la diferencia observada es debida exclusivamente al sistema empleado.

Para determinar la influencia de la temperatura de secado sobre la migración del plastificante y los fungicidas, se hizo una serie de pruebas, secando varias muestras en diferentes condiciones, anotándose los resultados en la gráfica siguiente:



En la gráfica de Migración de plastificante vs. - temperatura de secado, se puede observar que si hay diferencia entre los dos diferentes sistemas. En el de flujo cruzado la migración a baja temperatura es poca, pero al aumentar la temperatura de secado, el incremento de migración por °C es mayor.

De acuerdo con las especificaciones fijadas por el Departamento de Control de Calidad, la máxima diferencia de concentración de plastificante permitida es de 3%, lo - cual corresponde a 110°C de temperatura de secado en el secador de flujo cruzado, y 145°C en el secador de túnel.

Para poder tomar una decisión en cuanto a que tipo de secador se usará, es necesario hacer una determinación aproximada del costo de cada uno de ellos, así como sus costos de operacipon.

Dadas las características de construcción ennumeradas en la siguiente tabla comparativa, se puede apreciar - que el secador de flujo cruzado tiene un costo inicial más elevado que el secador de túnel, sucediendo lo mismo con los costos de operación.

| SECADOR DE FLUJO CRUZADO. | SECADOR DE TUNEL CONTINUO. |
|---|---|
| 1. Transporte.- Dos bandas de malla de acero inoxidable. Transmisión para 2 rodillos. | 1. Banda de acero inoxidable de mayor longitud. Transmisión para 1 rodillo. |
| 2. Calentamiento. Un banco de serpentines aletados para vapor, que suministra todo el calor necesario en el secado. | 2. Tres bancos de serpentines aletados que proporcionan en conjunto todo el calor necesario para el secado. |

| | |
|---|---|
| 3. Sellos para evitar fugas de aire. | 3. No necesita sellos. |
| 4. Ventilador: un ventilador de alta presión. | 4. Tres ventiladores de baja presión. |
| 5. Ductos: de aluminio o S.S., que deben trabajar a presión. | 5. Ductos de aluminio que trabajan a baja presión. |
| 6. Mano de Obra: requiere un acomodo cuidadoso de las piezas por secar. | 6. Requiere un acomodo que no necesita especial atención para efectuarlo. |
| 7. Consumo de vapor: De acuerdo con el volúmen de aire por calentar. | 7. Consumo de vapor ligeramente mayor. |
| 8. Energía eléctrica: Correspondiente a 35 HP aproximadamente. | 8. Menor consumo de corriente eléctrica, suficiente para 16 HP aproximadamente. |
| 9. Mantenimiento de sellos. | 9. Menor costo de mantenimiento. |

Después de haber analizado brevemente las alternativas posibles, se decidió instalar un secador de túnel contínuo por ser más sencillo y barato en su construcción, y por lo mismo tener un menor costo de mantenimiento.

Una vez que se ha decidido que tipo de secador ha de ser usado, se procede al diseño del mismo.

El tamaño del secador, es directamente proporcional a la cantidad de material por secar, y al tiempo total de secado del mismo.

Por no contarse con los datos necesarios para hacer el cálculo teórico del secador, es necesario determinarlos experimentalmente. Para ellos se tomaron muestras de diferentes tamaños, correspondientes a distintos lotes de producción, con el fin de que dichas muestras sean representativas del producto. Sobre dichas muestras se hicieron las siguientes determinaciones:

1. Variación de la velocidad de secado con respecto a la humedad.
2. Variación de la humedad con respecto al tiempo.
3. Variación de la velocidad de secado con respecto al tiempo.
4. Variación de la humedad de equilibrio con respecto a la humedad relativa de la atmósfera.
5. Encogimiento.

Estas determinaciones se hicieron para saber como se comporta el material durante el secado, así como la humedad crítica, humedad inicial, velocidades de secado y migraciones de plastificante y fungicidas.

Las gráficas obtenidas de las determinaciones anteriores se encuentran en el apéndice.

En estas gráficas se observa que todo el secado se efectúa a velocidad decreciente y que no hay periodo de velocidad constante de secado o sea que el producto tiene una humedad inicial inferior a la humedad crítica.

En la gráfica de Variación de Humedad con respecto al tiempo, que en última instancia nos representa el estado del material en los diferentes puntos del secador, se observa que el tiempo de secado para obtener esponjas con una humedad de 12% es el siguiente:

Para esponja chica (115x75x18) 49 minutos
Para esponja media (150x85x28) 57 minutos
Para esponja grande (175x98x38) 71 minutos

Se tomó como humedad final 0.12 g. de $H_2O$/g. de esponja, por ser ésta la humedad de equilibrio correspondiente a las condiciones atmosféricas que prevalecen en las bodegas de almacenamiento de fibra de Rayón, que son las mismas en donde se almacenarán y acondicionarán las esponjas.

Al sustituír los datos en las ecuaciones para determinar el tiempo de secado éstos no coinciden con los tiempos obtenidos prácticamente, por lo que se optó por tomar éstos para efectuar el diseño mecánico del secador necesario.

Considerando que se van a secar 5 $m^3$. de esponja por día en un turno de 8.5 hrs. (1er. turno) el área que pasa por el secador deberá ser:

$$\text{Area necesaria} = \frac{\text{Volumen por secar}}{\text{Volumen por pieza}} \times \text{Area por pieza}$$

Area por pieza:

Esponja grande = 171.5 $cm^2$ = 0.01715 $m^2$

Esponja media = 127.5 $cm^2$ = 0.01275 $m^2$

Esponja chica = 86.2 $cm^2$ = 0.00862 $m^2$

Volumen por pieza:

Esponja grande = 652 cc. = 0.000652 $m^3$

Esponja media = 357 cc. = 0.000357 $m^3$

Esponja chica = 155 cc. = 0.000155 $m^3$

Area necesaria:

$$\text{Para esponja grande} = \frac{5\ m^3}{0.000652\ m^3} \times 0.01715 m^2$$

$$= 130.50\ m^2$$

$$\text{Para esponja media} = \frac{5}{0.000357} \times 0.01275$$

$$\text{Para esponja chica} = \frac{5}{0.000155} \times 0.000862$$

El área necesaria se agrega un 15% que corresponde al área de banda no cubierta por las esponjas quedando:

Grande = 150.0 $m^2$

Media = 205.3 $m^2$

Chica = 319.8 $m^2$

En el secador se usará una banda transportadora de malla de acero inoxidable de 1.52 m. (5') de ancho del cual se utilizará solamente 1.42 y los restantes 10 cm. serán - para guías y margen para evitar que las esponjas caigan del transportador.

Como la relación de tiempos de secado entre la es-- ponja grande y la chica no es igual a la relación corres-- pondiente a las áreas:

$$\text{Relación de tiempos} = \frac{71}{49} = 1.448$$

$$\text{Relación de áreas} = \frac{319.8}{150.0} = 2.13$$

El secador se calculará para la mayor de ellas o sea para las esponjas de tamaño chico, por lo que cuando se sequen esponjas grandes la capacidad del secador será algo mayor que la de diseño (5 m3/día)

$$\text{Velocidad de la banda} = \frac{\text{Area necesaria}}{\text{Area por unidad x tiempo de secado}}$$

Tiempo de trabajo = tiempo disponible - (tiempo de residencia)

Tiempo de trabajo = 510 min - 49 min = 461 min.

$$\text{Velocidad de la banda} = \frac{319.8}{1.42 \times 461} = \frac{319.8}{654.6}$$

$$= 0.488 \text{ m/min.}$$

Longitud del secador = Velocidad de la banda x tiempo de residencia.

Longitud = 0.488 x 49 = 23.91 m.

Velocidades para los tamaños medio y grande.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Longitud}}{\text{Tiempo residencia}}$$

$$\text{Esponja grande} = \frac{23.91}{71} = 0.337 \text{ m/min.}$$

$$\text{Esponja media} = \frac{23.91}{57} = 0.419 \text{ m/min.}$$

Relación de variación de velocidad en la transmisión de movimiento a la banda.

$$\text{Relación} = \frac{\text{Velocidad máxima}}{\text{Velocidad mínima}}$$

$$\text{Relación de velocidades} = \frac{0.488}{0.337} = 1.45$$

Se instala un variador de velocidad con relación de variación de 2 : 1, repartiendo el excedente a ambos lados del rango necesario, con el fin de poder efectuar ajustes

a los tiempos de secado y eliminar así la influencia de la humedad inicial variable sobre el producto final.

Velocidades:

Velocidad máxima = 0.549 m/min.
Velocidad mínima = 0.275 m/min.

Sistema de aire caliente:

El secador deberá recircular todo el aire que sea - posible, y éste está limitado por la humedad relativa que va aumentando conforme se va evaporando el agua de las esponjas.

Cantidad de aire que deberá pasar por el secador:

$$\text{Cantidad de aire} = \frac{\text{Agua evaporada.}}{\text{Humedad inicial - Humedad final.}}$$

Agua evaporada = Volúmen de esponja x Densidad (Humedad final - Humedad inicial).

Volúmen de esponja = 5 $m^3$

Densidad de esponja seca = 0.045 g/cc. = 45 Kg/m3.

Humedad inicial B.S. = 1.53 $gH_2O/g$ esponja seca.

Humedad final B.S. = 0.12 $gH_2O/g$ esponja seca.

Agua evaporada = 5 x 45 (1.53 - 0.12)

= 225 x 1.41 = 317.25 Kg de $H_2O$ = 697.95 lb $H_2O$

$$\text{Cantidad de aire} = \frac{698 \text{ lb } H_2O}{\text{Humedad final - Humedad inicial.}}$$

Humedad inicial = 60% Hr a 75° F = 0.014 $\frac{\text{lb } H_2O}{\text{lb Aire}}$

Como la temperatura de secado es superior a la temperatura de ebullición del agua, el aire puede tener una humedad relativa lo suficientemente alta para que el producto - tenga la humedad de equilibrio igual a la humedad final deseada.

Siendo la humedad de equilibrio de 0.12, el aire puede tener hasta una humedad relativa de 60 a 65% sin afectar la velocidad de secado.

Considerando que el aire sale del secador a 140°C y con humedad de $0.56 \frac{\text{lb } H_2O}{\text{lb Aire}}$

$$\text{Cantidad de aire} = \frac{698}{0.56 - 0.014} = \frac{698}{0.546} = 1278.3 \text{ lb aire.}$$

$$\text{Gasto de aire} = \frac{\text{Peso de aire}}{\text{Tiempo}}$$

$$\text{Gasto} = \frac{1278.3 \text{ lb.}}{510 \text{ min}} = 2.506 \text{ lb/min.}$$

Volúmen de aire desfogue = $2.506 \times 25.0 = 62.65 \text{ ft}^3/\text{min.}$
Volúmen de aire admisión = $2.506 \times 16.8 = 42.10 \text{ ft}^3/\text{min.}$

Circulación de aire:

Habiéndose escogido una velocidad de 1000 ft/min. (305 m/min.) sobre la superficie de las esponjas y un claro de 5 cm. (2") arriba y abajo de la esponja el volúmen de aire circulante será:

Area de flujo x velocidad = gasto.
$(0.10 \times 1.60) \times 305.0 = 48.8 \text{ m}^3/\text{min.} = 1723 \text{ ft}^3/\text{min.}$

En estas condiciones el % de aire recirculando será:

Recirculación = 100 - $\frac{62.65}{1723}$ x 100 - 3.63 = 96.37 %

Como se observa, esta recirculación es ligeramente alta, ya que lo recomendado es entre 90 y 95 %.

Consumo de vapor para Calentamiento:

Cantidad de vapor = $\frac{\text{Cantidad de calor necesaria}}{\text{Diferencia de entalpia del vapor}}$

Cantidad de calor = Calor de calentamiento al material ($Q_1$) + Calor para evaporar el agua ($Q_2$) + Calor para renovación del aire ($Q_3$) + Pérdidas por ductos y equipo ($Q_4$).

Calor calentamiento material = m Cp ($\Delta$t) + mW Cp ($\Delta$t)

$Q_1$ = 495 x 0.27 (293 - 70) + 495 x 1.53 x 1.0 (293 - 70)

= (133.65 + 698) (293 - 70) = 185,788 BTU.

Calor para evaporar agua = m $\lambda$

$Q_2$ = 698 x 950 = 663,100 BTU

Calor para renovación de aire = $m_a$ Cp $\Delta$t

$Q_3$ = 1278.3 x 0.244 (293 - 70) = 69553 BTU

Pérdidas de calor por ductos = Area x q = Area x Pérdidas unitarias

Area = Largo secado x ancho x 2 + largo ductos x perímetro

A = 22 x 1.6 x 2 + 22 x 3
A = 70.4 + 66 = 136.4 $m^2$ = 1467.6 $ft^2$
V = Según catálogo M.A.S.A. para aislamiento Supertemp de 1 1/2" de espesor y temperaturas de 293 y 70°F.

$V = 25 \text{ BTU/hr ft}^2$

$Q_4 = 1467.6 \times 25 = 36{,}690 \text{ BTU/hr.}$

en 8.5 hs:

$Q_4 = 311{,}865 \text{ BTU.}$

Cantidad de calor necesaria = $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$

$Q = 185, 788 + 663{,}100 + 69{,}553 + 311{,}865.$

$Q = 1{,}230{,}306 \text{ BTU.}$

Por hora:

$$Q = \frac{1{,}230{,}306 \text{ BTU}}{8.5 \text{ hr.}} = 144{,}741 \text{ BTU/hr.}$$

$$\text{Consumo de vapor} = \frac{144{,}741 \text{ BTU/hr}}{868 \text{ BTU/lb}} \quad \text{(de 125 PSIG)}$$

Consumo de vapor = 166.7 lb/ hr

Total del ciclo = 166.7 x 7.68 = 1446.9 lbs.

Relación de consumo de vapor y agua evaporada:

$$\frac{\text{lbs Vapor consumido}}{\text{lbs Agua evaporada}} = \frac{1446.9}{698} = 2.07$$

Tamaño del equipo necesario para aire caliente:

Para tener uniformidad en el equipo que se instalará, las cantidades de calor necesarias en cada una de las secciones (3), deberán de ser más o menos igual a las restantes con ésto se logra que el equipo de calentamiento sea uniforme, con lo que se dan facilidades a Mantenimiento y Almacenes ya que una refacción sirve para cualquier sección.

Siendo la velocidad del aire uniforme a todo lo largo

del secador y teniendo además sección transversal uniforme, los volúmenes de aire movidos por cada ventilador serán -- iguales variando únicamente las pérdidas de presión por fricción, las cuales serán diferentes para cada sección por ser proporcionales a la longitud de cada una de ellas.

Los ventiladores son seleccionados para la sección de mayor caida de presión regulando el flujo en los demás - mediante válvulas de mariposa, ésto además de permitirnos - el uso de equipo uniforme de mayor flexibilidad en cuanto a condiciones de operación se refiere.

Calentamiento.

| | | |
|---|---|---|
| Calor necesario | 185,788 | BTU |
| Por hora (7.68 hs) | 24,190 | BTU/hr. |
| Por cada tramo (28) | 864 | BTU/hr - Sección. |

Evaporación.

| | | |
|---|---|---|
| Calor necesario | 663,100 | BTU. |
| Por hora (7.68 hs) | 86,341 | BTU/hr. |
| Por cada 0.01 $\Delta$ W (1.41) | 613.0 | BTU/hr - 0.01 $\Delta$ W. |

Radiación.

| | | |
|---|---|---|
| Calor total | 311,865 | BTU. |
| Por hora (8.50 hs) | 36,690 | BTU/hr. |
| Por tramo (28) | 1,310 | BTU/hr - Sección. |

Aire de renuevo.

| | | |
|---|---|---|
| Calor necesario | 69,553 | BTU |
| Por hora (8.50 hs.) | 8,182 | BTU/hr |

Calor total por hora.

$Q = 24190 + 86341 + 36690 + 8182 = 155,403$ BTU/hr.

Calor ideal por sección = $\frac{155.403}{3} = 51,801$ BTY/hr.

La determinación de la longitud de cada una de las secciones se hizo acumulando las cantidades de calor necesarias para cada tramo hasta igualar la cantidad de calor ideal por sección. Esto se efectuó en la siguiente tabla:

| Sección. | ΔW. | Q. Evap. | Q.rad. | Q calent. | Q renuevo | Q. tramo. | Q. acumulado. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.190 | 12716 | 1310 | 864 | | 14890 | 14890 | |
| 2 | 0.190 | 12716 | 1310 | 864 | | 14890 | 29780 | |
| 3 | 0.07 | 4685 | 1310 | 864 | | 6859 | 43498 | |
| 4 | 0.07 | 4685 | 1310 | 864 | | 6859 | 43498 | |
| 5 | 0.07 | 4685 | 1310 | 864 | | 6859 | 50357 | 1a. Sección |
| 6 | 0.07 | 4685 | 1310 | 864 | | 6859 | 57216 | |
| 7 | 0.055 | 3681 | 1310 | 864 | | 5855 | 63071 | |
| 8 | 0.055 | 3681 | 1310 | 864 | | 5855 | 68926 | |
| 9 | 0.045 | 3012 | 1310 | 864 | | 5186 | 74112 | |
| 10 | 0.045 | 3012 | 1310 | 864 | | 5186 | 79298 | |
| 11 | 0.045 | 3012 | 1310 | 864 | | 5186 | 84484 | |
| 12 | 0.045 | 3012 | 1310 | 864 | | 5186 | 89670 | |
| 13 | 0.040 | 2677 | 1310 | 864 | | 4851 | 94521 | 2a. Sección |
| 14 | 0.040 | 2677 | 1310 | 864 | | 4851 | 99372 | |

| Sección. | W | Q. evap. | Q. rad. | Q. calent. | Q. renuevo | Q. tramo | Q. acumulado | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | 0.035 | 2342 | 1310 | 864 | | 4516 | 103,888 | 2a. |
| 16 | 0.035 | 2342 | 1310 | 864 | | 4516 | 108,404 | |
| 17 | 0.030 | 2008 | 1310 | 864 | | 4182 | 112,586 | |
| 18 | 0.030 | 2008 | 1310 | 864 | | 4182 | 116,768 | |
| 19 | 0.030 | 2008 | 1310 | 864 | | 4182 | 120,950 | |
| 20 | 0.030 | 2008 | 1310 | 864 | | 4182 | 125,132 | |
| 21 | 0.015 | 1004 | 1310 | 864 | | 3178 | 128,310 | |
| 22 | 0.015 | 1004 | 1310 | 864 | | 3178 | 131,488 | |
| 23 | 0.010 | 670 | 1310 | 864 | | 1944 | 133,432 | |
| 24 | 0.010 | 670 | 1310 | 864 | | 1944 | 135,376 | |
| 25 | 0.010 | 670 | 1310 | 864 | | 1944 | 137,320 | |
| 26 | 0.010 | 670 | 1310 | 864 | | 1944 | 139,264 | 3a. Sección |
| 27 | 0.005 | 335 | 1310 | 864 | | 1609 | 140,873 | |
| 28 | 0.005 | 335 | 1310 | 864 | 8182 | 1609 | 150,664 | |

De los datos de las tablas anteriores se calcula la longitud de cada una de las tres secciones de que consta el secador.

$$\text{Longitud de cada sección} = \frac{\text{Long. total}}{\text{N°. de tramos}} \times \text{N°de tramos/sección.}$$

$$\text{1a. Sección} = \frac{23.91 \text{ m}}{28} \; 5 = 4.27 \text{ m.}$$

$$\text{2a. Sección} = \frac{23.91 \text{ m}}{28} \; 10 = 8.54 \text{ m.}$$

3a. Sección = $\frac{23.91 \text{ m.}}{28}$ 13 = 11.10 m.

Para determinar el tamaño de los cambiadores de calor para calentar el aire en cada sección. Como las cantidades -- de calor cedidas por el aire y el volúmen del mismo, son aproxi madamente iguales para cada sección, bastará con calcularla pa ra el promedio de ellas.

Temperatura final = Temperatura inicial - $\Delta$ t.

$$\Delta t = \frac{Q}{m \, Cp}$$

$$T_F = T_1 - \frac{Q}{m \, Cp}$$

Q = 51800 BTU/hr = 863 BTU/min.
m = masa de aire circulando = Volúmen/volúmen específico.
m = 1723 PCM/Vol. específico a 140°C (284°F)
m = 1723/23.4 = 73.6 lb/min.

$$\Delta t = \frac{863}{73.6 \times 0.25} = 46.8° \text{ F} = 26° \text{ C}$$

Temperatura final = 237.2°F = 114.0° C.

Selección de los calentadores de aire.

Para calentar el aire se dispone de vapor a 125 PSIG (136 PSIA) con temperatura de 350.7°F.

De acuerdo con el catálogo TRANE DS-385, pág. 18.

Si se usan serpentines Sigma - Flo tipo A el tamaño de éstos se determinará de la siguiente manera. (Ver apéndice)

$\Delta$ t necesario mínimo = 46.8° F.

$\Delta$ t entre el vapor y el aire = 350.7 - 257.2 = 113.5°F.

$\Delta$ t de aire/ $\Delta$ t vapor - aire = $\frac{46.8}{113.5}$ = 0.412

De la gráfica para una relación de 0.400 y una velocidad de 500 ft/min. corresponde un serpentín de la serie 16. Se ha escogido una velocidad baja para evitar grandes pérdidas de presión por fricción en el calentador.

Para 1723 $ft^3$/min. el área de flujo necesaria es de 3.45 $ft^2$, ó sea que necesitamos un serpentín de 30 x 18 pulgadas de área de flujo. Para mejorar el trabajo de ductería se prefiere un calentador cuadrado, el más próximo al área necesaria es de 24 x 24 pulgadas con un área de 4.0 $ft^2$, por lo que tendremos un 16% de exceso de capacidad suficiente para absorber cualquier variación en las condiciones del proceso.

Selección de los ventiladores.

Para poder determinar el tamaño de los ventiladores necesarios, debemos conocer la presión mínima a la descarga del ventilador. La presión mínima a la descarga del ventilador es igual a las pérdidas de presión debido a la fricción.

De acuerdo con los siguientes datos:

Volúmen de aire = 1723 ft3/min.

Temperatura = 140°C = 284° F.

Velocidad en el cambiador = 500 ft/min.

$\Delta$P en calentador.

De la gráfica de caídas de presión en los calentadores tenemos $\Delta P$ =0.105" $H_2O$ para aire a 70°F. Para aire a 284°F

es $\frac{1}{0.71}$ ó sea: 1.41, por lo que la caída total en el calentador será:

$\Delta P$ calentador = 0.105 x 1.41 = 0.148 pulgadas de columna de agua.

Sección de ductos.

Para determinar el área de flujo en los ductos se estima que la velocidad del aire dentro de ellos será de 2000 ft/min. por lo que la sección será.

$$\text{Sección} = \frac{\text{Flujo}}{\text{Velocidad}} = \frac{1723}{2000} = 0.861 \text{ ft2.}$$

Esta sección corresponde a un ducto redondo de 1.05 ft. de diámetro interior (12.6") . El diámetro exterior del ducto es: DE = 12.6 + 2e, en donde e es el espesor de la pared del ducto que en este caso será 1/16" (0.0625") quedando:

DE = 12.6 + 0.125 = 12.725

El diámetro exterior del ducto permite el uso de aislamiento preformado para tubería de 12", que tiene un diámetro interior de 12.750", por lo que se obtiene algún ahorro en mano de obra, por concepto de aislamiento.

Pérdida de presión por fricción en la sección más larga del secador.

Secador.

Longitud = 11.10 m. = 33.8 ft.
Sección = 0.05 x 1.50 m. = 2" x 63" c/u de 2 ductos.

$$\text{diámetro equivalente} = 1.3 \frac{(AB)\ 0.625}{(A + B)\ 0.25}$$

$$\text{Diámetro equivalente} = 1.3 \frac{(2 \times 63)^{0.625}}{(2 + 63)^{0.25}}$$

$$= 1.3 \frac{126^{0.625}}{65^{0.25}} = 1.3 \frac{20.6}{2.84} = 1.3 \times 7.25$$

$$= 9.43"$$

De la gráfica (apéndice) para caídas de presión, para un ducto de 9.43" ø y 1700 ft3/min. se lee:

$\Delta P$ = 1.8 pulgadas de agua por cada 100 pies de longitud a 70° F.

$\Delta P$ en secador = 1.8 x 0.338/0.7 = 0.87" Agua a 284°F

Ductos Longitud 11.10 m + 2.0 m = 13.10 m = 43 ft.
Codos 7
Expansiones 2 (12" ø a 18" rectangular) (12" a 2" x 63")
Contracciones 2 (18" rect. a 12" ø) (2" x 63" a 12" ø)

Longitud equivalente un codo = 15 x diám. = 15 ft.
Longitud equivalente = 7 x 15' =105'

$\Delta P$ ductos = (105 + 43) $\Delta P/100$ = 148 x 0.45/100 = 0.66

Pérdidas por fricción en expansión

$\Delta P = n\ h_{vl}$

De las gráficas para 2000 ft/min $h_{vl}$ = 0.25 (ver apéndice)

para $V_2/V_1$ = 0.25 h = 0.32

para $V_2/V_1$ = 0.50 h = 0.48

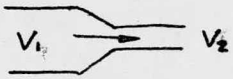
$\Delta P$ expansión = 0.32 x 0.25 = 0.08 in. $H_2O$

$\Delta P$ expansión = 0.48 x 0.25 = 0.12 in. $H_2O$

$\Delta P$ expansiones= 0.20 in. agua.

Pérdidas en contracciones.

$\Delta P = n\ h_{v2}$




Para $V_1/V_2$ = 0.25 n = 1.24 hv para 2000 ft = 0.25

Para $V_1/V_2$ = 0.50 n = 0.96

$\Delta P$ contracción = 0.096 x 0.25 = 0.24

$\Delta P$ contracción = 1.24 x 0.25 = 0.31

$\Delta P$ contracciones = 0.55 in $H_2O$

Pérdidas totales por fricción.

$\Delta Pt$ = $\Delta P$ ductos + $\Delta P$ expansiones + $\Delta P$ contracciones + $\Delta P$ calentador + $\Delta P$ secador.

Pérdidas totales por fricción.

$\Delta P$ Ductos = 0.66

$\Delta P$ Expansiones = 0.20

$\Delta P$ Contracciones = 0.55

$\Delta P$ Calentador = 0.15

$\Delta P$ Secador = 0.87

$\Delta P$ Total = 2.43 pulgadas de columna de agua

Selección del ventilador para la sección más grande del secador.

Volúmen de aire = 1723 $ft^3/min$ = 48.5 $m^3/min$.
Temperatura = 140°C
Presión de descarga = 2.43" Agua = 61.7 mm. Agua.

Del catálogo Armee se escoge el ventilador A-359, (Ver apéndice) que es capaz de mover 48.5 $m^3/min$ contra - una presión de 125 mm. y es impulsado por un motor de 5 HP a 3500 RPM.

Corrigiendo por presión atmosférica y temperaturas de acuerdo con los factores que se encuentran en el mismo catálogo presión estática real de operación es:

Para 1950 mts. de altura sobre el nivel del mar y - 140°C, el factor es 1.80 .
Presión real = 125/1.80 = 69.5 mm $H_2O$.

Este ventilador es adecuado para el servicio y el exceso de capacidad se usará para absorver variaciones en el - proceso y otras pérdidas no consideradas.

Tamaño de motoreductor, variador de velocidad y motor del transportador.

Para poder determinar el tamaño de estos componentes debemos saber la potencia del motor, la cual está dada por el tipo de banda, tipo de rodillos, velocidad, peso de los materiales, peso de la banda, resistencia debida a chumaceras etc.

$$HP = \frac{T\ (P - P_1)}{33000}$$

En donde T = Velocidad de la banda en ft/min.

P = Tracción necesaria para mover la banda.

$P_1$ = Tracción en el retorno de la banda.

$P = x + y + z$

x = Tracción necesaria para mover el material.

y = Tracción necesaria para mover las partes del transportador en la zona cargada.

z = Tracción necesaria para mover el transportador en la zona vacía.

Con el peso de las esponjas comparado con el peso de la banda es muy pequeño, se considera que $y = z$ y $x = 0$

$$P = 2X$$

$$X = WL ( F \cos \alpha - \operatorname{sen} \alpha )$$

en donde $\alpha$ es el ángulo de la banda por ser horizontal $\cos \alpha = 1$ y $\operatorname{Sen} \alpha = 0$.

F = Coeficiente de fricción. Para bandas metálicas que corren sobre rieles

F = 0.33

W = Peso de la banda y sus componentes en lb/ft.

L = Longitud del transportador.

Peso aproximado del transportador y sus componentes.

Banda = 0.60 lb/ft2. Longitud = 78.5 ft. Ancho = 5 ft.

Peso de la banda = 0.60 x 78.5 x 5 = 135.50 lbs.

Rodillos = 2 x 470 lbs = 940 lbs.

Peso de la banda y componentes = 940 + 135.5 = 1075.5 lbs.

$$W = \frac{1075.5}{78.5} = 13.7 \text{ lb/ft.}$$

$$X = 13.7 \times 0.33 \times 78.5$$

$$X = 354.9 \text{ lbs.}$$

Por lo que P = 2 x 354.9 = 709.8 lbs.
Considerando que P1 = 0 y la velocidad de la banda de 2 ft/min, la potencia necesaria será:

$$HP = \frac{2 \times 709.8}{33000} = 0.043 \text{ HP}$$

Considerando las eficiencias en las transmisiones.

$$\text{HP real} = \frac{\text{Hp teórico}}{Ef_1 \times Ef_2 \times Ef_3} \times \text{Factor seguridad}$$

Eficiencias en las partes de la transmisión

Cada cople = 0.98 (una pieza)

Cada catarina y cadena = 0.90 (3 juegos)

$$\text{HP real} = \frac{0.043}{0.98 \times 0.90 \times 0.90 \times 0.90} \times 4 = 0.06 \times 4$$

$$= 0.24 \text{ HP}$$

Por lo anterior se usará un motorreductor P.I.V. de 1/2 HP con relación de variación de 2 a 1 y tres juegos de catarinas para cadena de rodillos para obtener 0.412 m/min en la banda a velocidad media del reductor o sea 0.224 RPM en el rodillo motriz, que es de 0.6 m. de diámetro.

## CAPITULO IV

## ESPECIFICACION FINAL

Una vez que han quedado completamente definidas las condiciones de operación del equipo, se requiere elaborar una especificación que lo describa para poder solicitar cotizaciones a diferentes posibles proveedores y mediante una tabla comparativa seleccionar al más conveniente.

Siendo que este secador difiere en su diseño de los secadores estándar, se requiere de hacer los dibujos necesarios para su construcción. Los dibujos que normalmente se hacen en proyecto no son tan detallados para que puedan ser usados directamente en el taller de fabricación.

Para efectuar la construcción el fabricante, basado en los dibujos generales del proyecto, elabora sus dibujos de taller, los cuales normalmente son aprobados por proyecto antes de iniciar la construcción.

En los dibujos de taller se hace uso de los dibujos certificados de los componentes fabricados por otros, con el fin de evitar desajustes y contratiempos, pudiéndose planear mejor las soluciones de los problemas constructivos.

En el caso de este secador, se decidió que fuera construído en los talleres de la Planta, los cuales tienen capacidad suficiente para efectuar la construcción del equipo e instalación del sistema completo.

Con el fin de poder programar las actividades inherentes, se envían los dibujos a cada uno de los talleres involucrados, de los cuales se recibe una estimación de tiempo y costo para los trabajos que les corresponde a cada uno de ellos, incluyendo además el costo de los materiales requeridos.

Para los equipos de línea se debe llenar una especificación y hacer una requisición, la cual es entregada al Departamento de Compras.

El Departamento de Compras solicita cotizaciones a diversos fabricantes o proveedores y con las cotizaciones recibidas hace una tabla comparativa, la cual es turnada a Ingeniería para que sea seleccionado el proveedor. Ya seleccionado el proveedor, se le hace un Pedido en las condi--

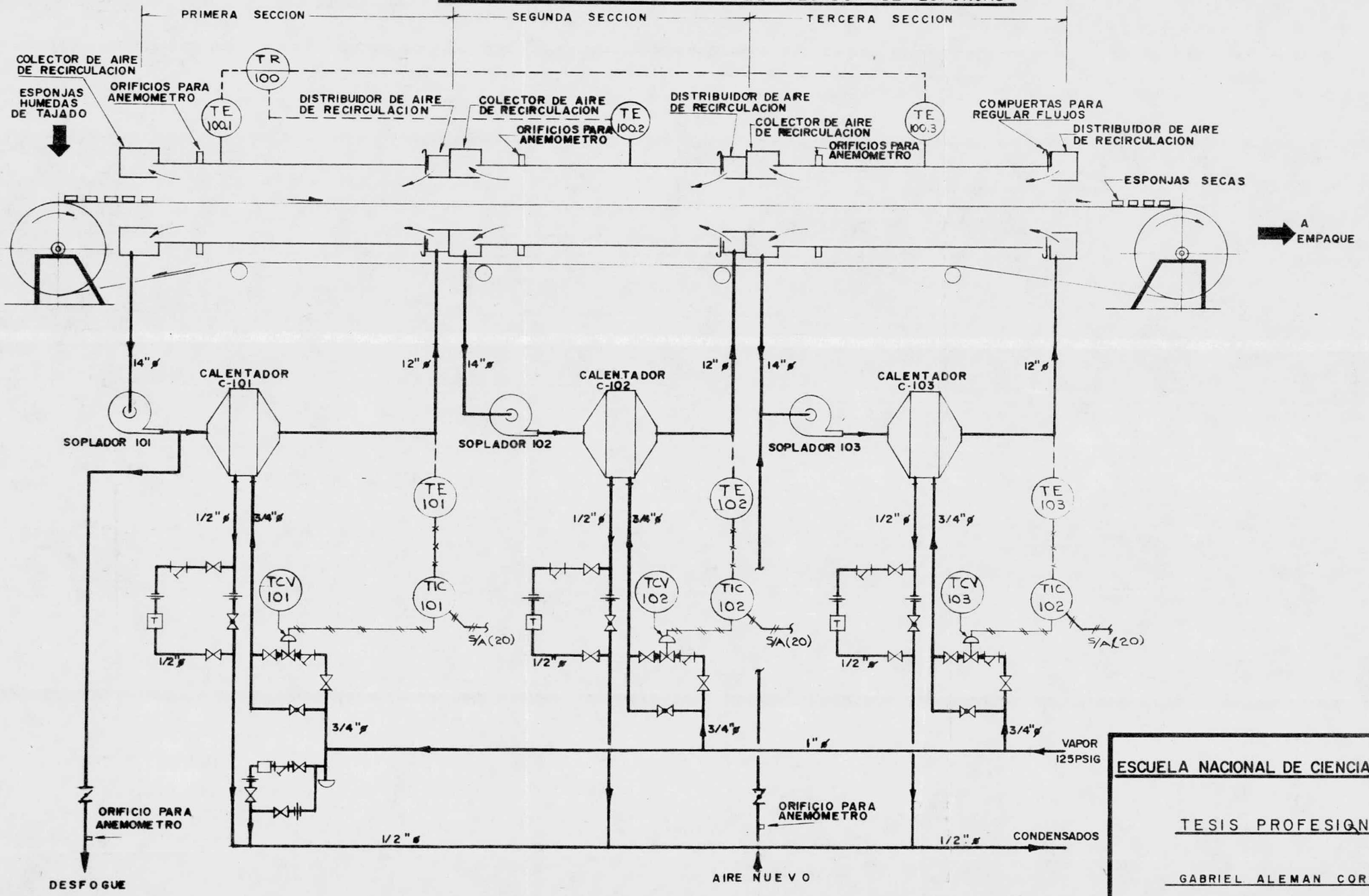
ciones ya estipuladas.

Los materiales para instalación y los comunes de tuberías y accesorios no se especifican a detalle sino como parte de un sistema.

Los equipos de línea para esta instalación son los si--- guientes:

| | |
|---|---|
| 3 | Serpentines de Calentamiento para aire |
| 3 | Ventiladores para circulación de aire caliente |
| 3 | Controles para temperatura |
| 1 | Registrador múltiple de temperatura |
| 3 | Termopares |
| 1 | Motorreductor |
| 3 | Válvulas de control para vapor |

# DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL SECADOR DE ESPONJAS




ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

TESIS PROFESIONAL

GABRIEL ALEMAN CORTES

## ESPECIFICACION PARA SERPENTINES DE CALENTAMIENTO PARA AIRE

| | |
|---|---|
| Servicio: | Calentamiento de aire para secador |
| Cantidad: | Tres unidades No. Equipo.- 101,102 y 103 |

### CONDICIONES DE OPERACION

| | |
|---|---|
| Elevación: | 1950 msnm |
| Caída de presión: | 0.148 in cal. agua |
| Flujo de aire: | 1723 PCM Horizontal |
| Velocidad del aire: | 431 ft/min. |
| Area de flujo: | 4.0 $ft^2$ |
| Temperatura entrada: | 237.2°F = 114 °C |
| Temperatura salida: | 284°F = 140°C |
| Presión del vapor: | 125 Psig |
| Temperatura del Vapor: | 350.7°F |

### CONSTRUCCION

| | |
|---|---|
| Tipo: | Tubo aletado con cabezal para vapor |
| Dimensiones: | 24" x 24" (61 x 61 cm) |
| Número de hileras: | Una |
| Aletado: | 16 por pulgada |
| No. de pasos: | Uno |
| Conexiones: | Roscadas NPT laterales para servicios<br>Bridado para conector a ductos |

### MATERIALES

| | |
|---|---|
| Tubos: | Cobre |
| Aletas: | Aluminio |
| Marco: | Acero al carbón galvanizado |
| Cabezales: | Acero al carbón |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | TESIS PROFESIONAL Gabriel Aleman C. | | ESPECIFICACION. | |
| | | | | Dib | Rev. | | |
| Rev. | Descripción | Fecha | Revisó | Calc | Appo | Fecha | |

## SOPLADORES

Servicio: Aire caliente en secador
Num. de unidades: Tres No. de Equipo.- 101, 102 y 103

## CONDICIONES DE OPERACION .

| | |
|---|---|
| Fluído: | Aire |
| Flujo: | 1723 PCM |
| Temperatura: | 284°F = 140°C max. |
| Altitud: | 1950 msnm |
| Presión de descarga: | 61.7 mm Cal. agua |
| Presión de succión: | Atm. |

## CONSTRUCCION

| | |
|---|---|
| Tipo: | Centrífugo |
| Velocidad: | 3500 RPM Giro: Según reloj |
| Arreglo: | Directamente acoplado |
| Aspas: | Tipo atrasado |
| Conexiones: | Bridadas |
| Posición de Descarga: | Inferior horizontal (BH-CW) |
| Base: | Antivibratoria |

## TRANSMISION

| | |
|---|---|
| Motor: | Eléctrico tipo jaula de ardilla |
| Armazón: | Totalmente cerrado con ventilador externo |
| Corriente: | 440 V - 60 Cps - 3 fases |
| Acoplamiento: | Directo mediante cople flexible |

## MATERIALES DE CONSTRUCCION

| | |
|---|---|
| Cuerpo: | Acero al Carbón |
| Rodete: | Aluminio |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | TESIS PROFESIONAL Gabriel Aleman C. | | ESPECIFICACION. | | |
| | | | | Dib | Rev. | | | |
| Rev | Descripción | Fecha | Revisó | Ch'd. | Appo | Fecha | | |

## CONTROL DE TEMPERATURA

| | |
|---|---|
| Servicio: | Control de Temperatura de cada sección del Secador de Esponja |
| Cantidad: | Tres |
| Identificación: | TIC-101, 102 y 103 |
| Localización: | Cada Sección de Secador de Esponja |

## CONDICIONES DE OPERACION

| | |
|---|---|
| Variable: | Temperatura |
| Rango Control: | 50 - 160°C |
| Acción: | Inversa |
| Temperatura de Operación: | Ambiente Máxima - 40°C. |
| Suministro de Aire: | 20 Psig |
| Salida: | 3 - 15 Psig. |

## CONSTRUCCION

| | |
|---|---|
| Tipo: | Montaje Local |
| Sistema: | Termal líquido Tipo IB |
| Longitud de Capilar: | 6 m (20 ft) |
| Caja: | A prueba de intemperie |
| Modos: | Banda Proporcional y Reset. |
| Elemento Sensor: | Bulbo para aire (1 max 20 cm) |
| Montaje de Sensor: | En ducto 12" Diam. Sin termopozo |
| Accesorios: | Yugo de montaje<br>Partes para montar elemento<br>Estación de suministro de aire (Filtro-Regulador) |

| Rev: | Descripción | Fecha | Revisó | TESIS PROFESIONAL Gabriel Aleman C. | | ESPECIFICACION. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Dib. | Rev. | | |
| | | | | Calc. | Apbo: | Fecha | |

## VALVULA DE CONTROL

| | |
|---|---|
| Servicio: | Control de flujo de vapor a calentadores de Secador. |
| Cantidad: | Tres |
| Identificación: | TCV-101, 102 y 103 |

## CONDICIONES EN OPERACION

| | |
|---|---|
| Fluído: | Vapor saturado a 125 Psig. |
| Temperatura: | 352°F = 177.8°C |
| Flujo Normal: | 57 lb/hr = 25.9 Kg/hr. |
| Pérdida Permisible: | 5 Psi |
| Tamaño: | 1/2" |
| Tapón: | Igual porcentaje |

## CONSTRUCCION

| | | | |
|---|---|---|---|
| Cuerpo: | Hierro | Forma.- | Globo |
| Puertos: | Uno | Asientos.- | Endurecidos (Stellite) |
| Conexiones: | Roscadas NPT | | |
| Operador: | Neumático 3-15 (Resorte y Diafragma) | | |
| Sellos: | Estoperos | | |
| Posición en Falla: | Cierra | | |

| Rev: | Descripción | Fecha | Revisó |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

TESIS PROFESIONAL
Gabriel Aleman C.

| Dib. | Rev. |
|---|---|
| Calc. | Apbo: |

ESPECIFICACION.

Fecha

## REGISTRADOR DE TEMPERATURAS

| | |
|---|---|
| Servicio: | Registro de temperaturas del Secador |
| Cantidad: | Un Sistema Identificación.- TR-100 |
| No. de Puntos: | Tres |

## CONDICIONES DE OPERACION

| | |
|---|---|
| Medición: | 40 - 180°C |
| Elemento Sensor: | Termopar |
| Tipo Termopar: | Hierro-Constantan (J) |
| Registro: | Gráfica circular |
| Duración Registro: | 24 hs. |
| Impresión: | Un color para cada punto de medición |
| Operación: | Corriente eléctrica 110 V-60 Cps. |

## CONSTRUCCION

| | |
|---|---|
| Caja: | Metálica a prueba de intemperie |
| Montaje: | En campo |
| Accesorios: | Yugo de montaje |
| Prototipo: | Foxboro Dynalog B5504 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | TESIS PROFESIONAL Gabriel Aleman C. | | ESPECIFICACION. | |
| | | | | Dib. | Rev. | | |
| Rev: | Descripción | Fecha | Revisó | Calc. | Apbo: | Fecha | |

## TERMOPARES

| | |
|---|---|
| Servicio: | Medición de temperaturas en secador |
| Cantidad: | Tres Identificación.-TE-100.1,100.2 y 100.3 |
| Tipo: | Hierro-Constantan (J) |
| Cubierta: | Acero Inoxidable Tipo 304 |
| Aislamiento Interno: | Oxido de Magnesio |
| Diámetro: | 1/8" |
| Longitud: | 10" = 25 cm |
| Caja de conexión: | Fundición de Aluminio |
| Tipo de caja: | A prueba de intemperie |
| Conexión: | Roscada NPT |
| Extensión: | No |
| Diámetro de conexión | 1/2" |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | TESIS PROFESIONAL Gabriel Aleman C. | | ESPECIFICACION. | |
| | | | | Dib. | Rev. | | |
| Rev: | Descripción | Fecha | Revisó | Calc | Apbo: | Fecha | |

## MOTORREDUCTOR

| | |
|---|---|
| Servicio: | Movimiento para banda de Secador de esponja |
| Cantidad: | Uno |
| Identificación: | MR-100 |

## CONDICIONES DE OPERACION

| | |
|---|---|
| Tipo: | Unidad Motor-Reductor integral |
| Potencia: | 1/2 H.P. |
| Reducción: | Infinitamente variable (PIV) |
| Variación de Reducción: | 2:1 |
| Velocidad de Salida: | 16 RPM Max<br>8 RPM Min |
| Velocidad de Motor: | 6 polos (1200 RPM) |
| Armazón: | Totalmente cerrado con ventilación externa |

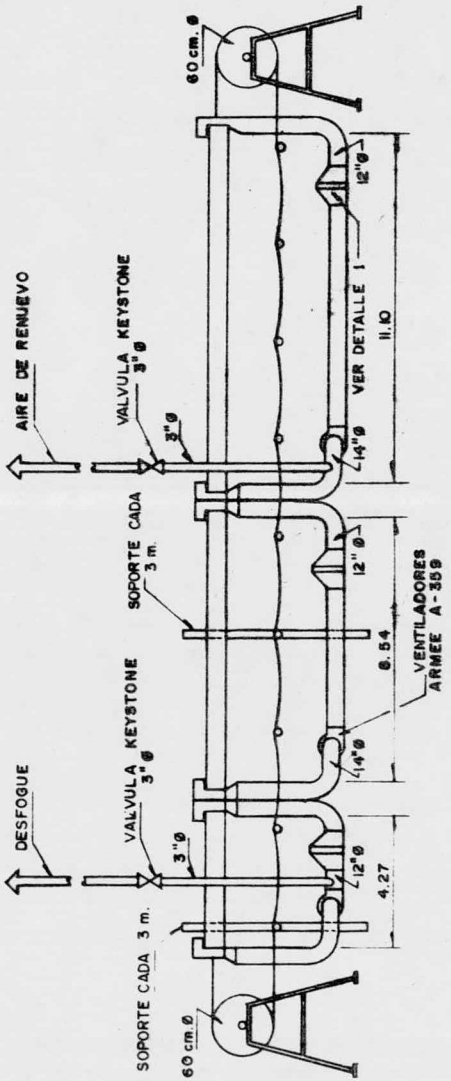
| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | TESIS PROFESIONAL Gabriel Aleman C. | | | ESPECIFICACION. | |
| | | | | Dib. | Rev. | | | |
| Rev: | Descripción | Fecha | Revisó | Calc. | Apbo: | Fecha | | |

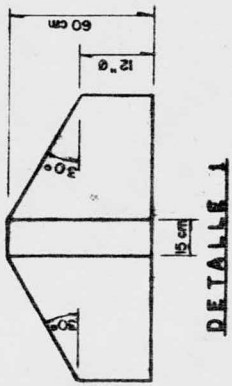
# ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

## U.N.A.M.

TESIS PROFESIONAL

Gabriel Aleman Cortes




DETALLE 1

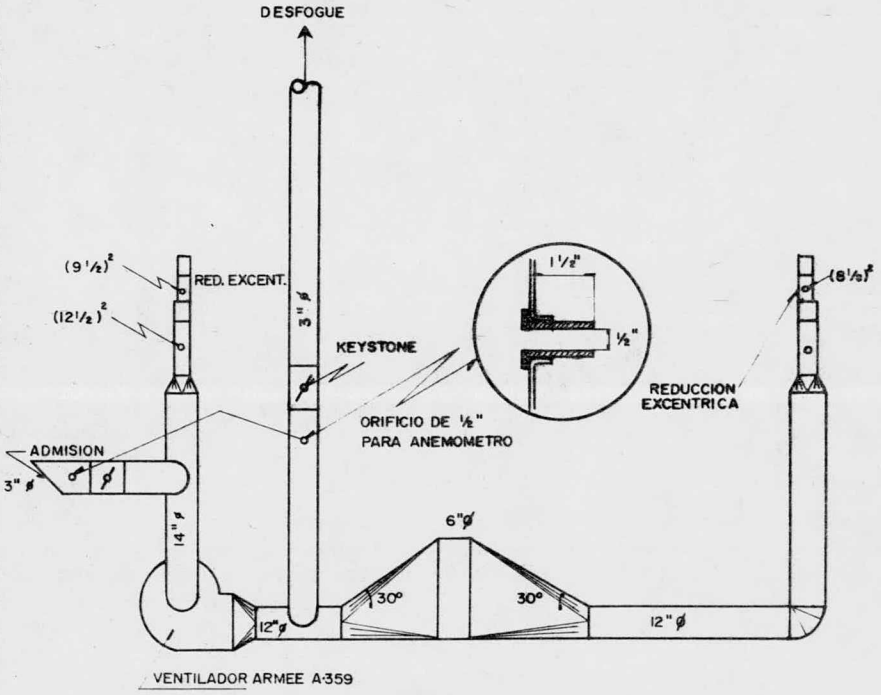
# ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

## U.N.A.M.

TESIS PROFESIONAL

Gabriel Alemán Cortés

# D U C T O S




DUCTOS AIRE CALIENTE

1º. SECCION SIN ADMISION
2º. SECCION SIN ADMISION Y SIN DESFOGUE
3º. SECCION SIN DESFOGUE

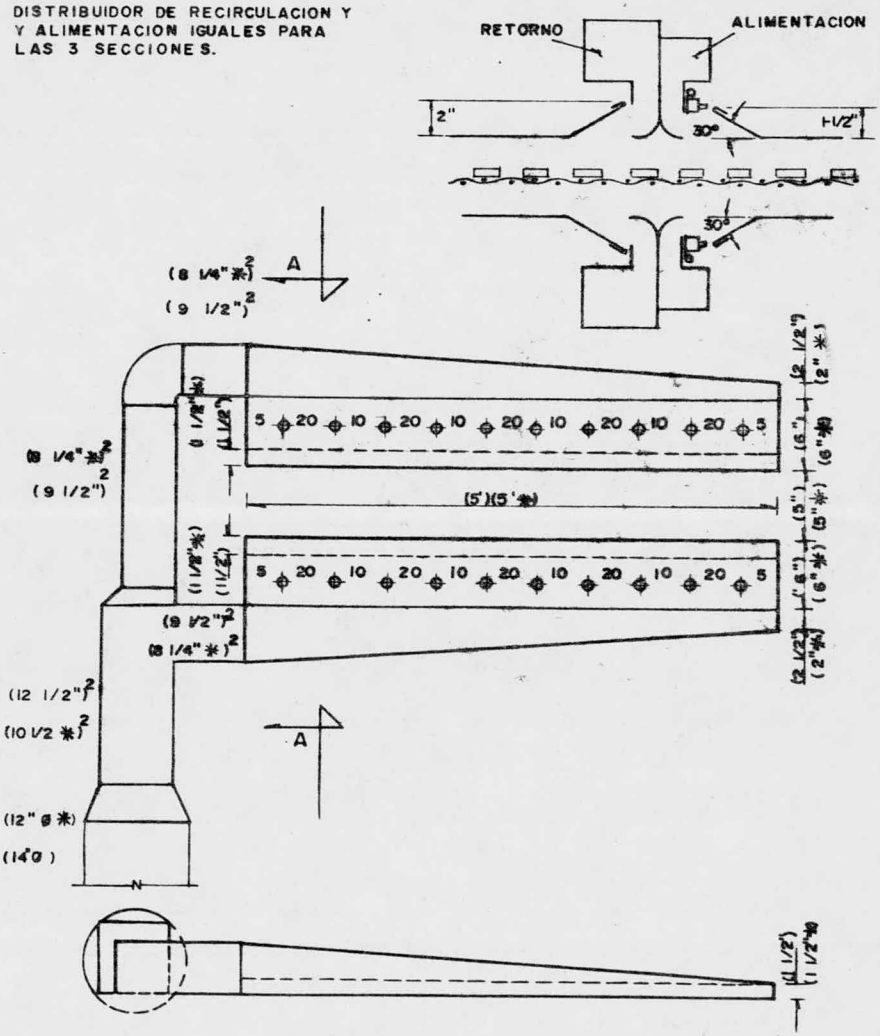
# ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

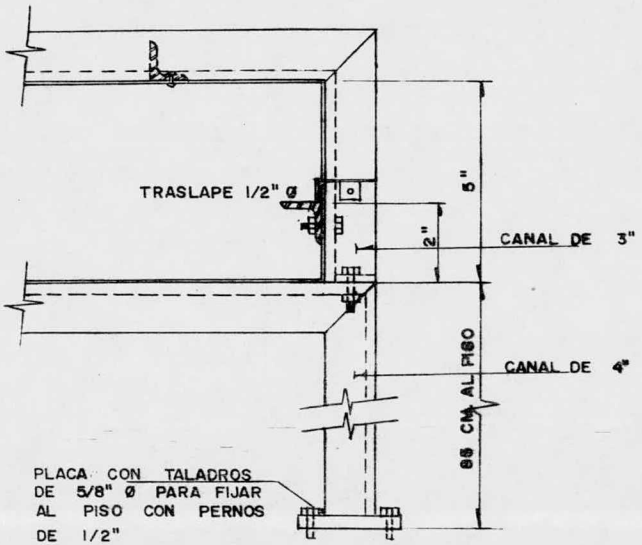
## U. N. A. M.

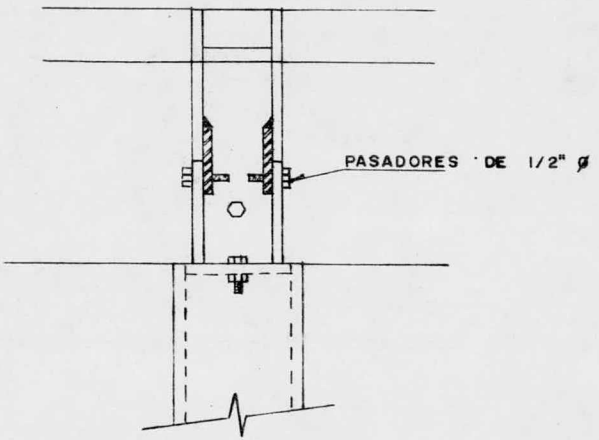
TESIS PROFESIONAL

Gabriel Alemán Cortés

DISTRIBUIDOR DE RECIRCULACION Y Y ALIMENTACION IGUALES PARA LAS 3 SECCIONES.




TRASLAPE 1/2" Ø
5"
2"
CANAL DE 3"
CANAL DE 4"
85 CM AL PISO
PLACA CON TALADROS DE 5/8" Ø PARA FIJAR AL PISO CON PERNOS DE 1/2"


PASADORES DE 1/2" Ø

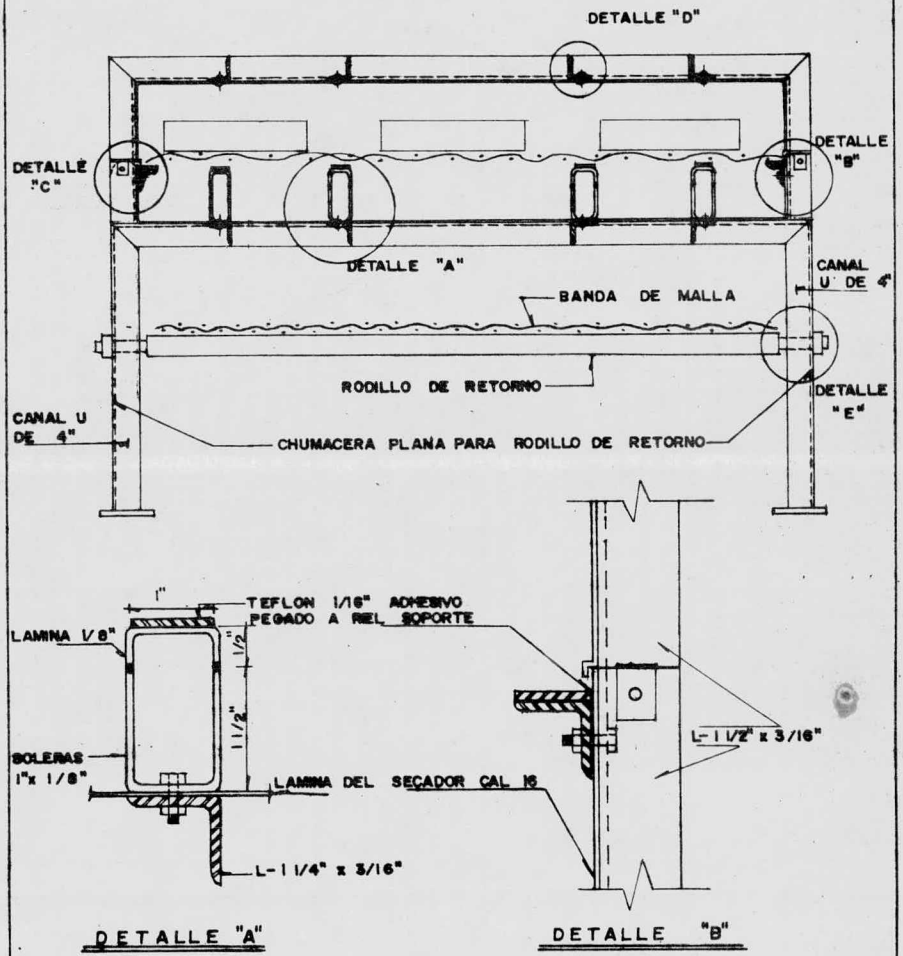
DETALLE "C"

# ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

## U. N. A. M.

TESIS PROFESIONAL

Gabriel Alemán Cortés

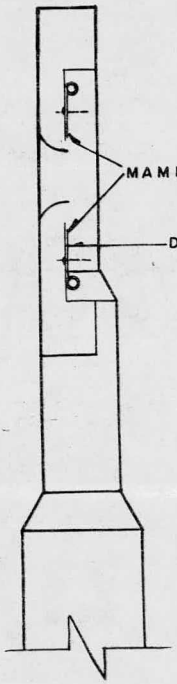


# ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

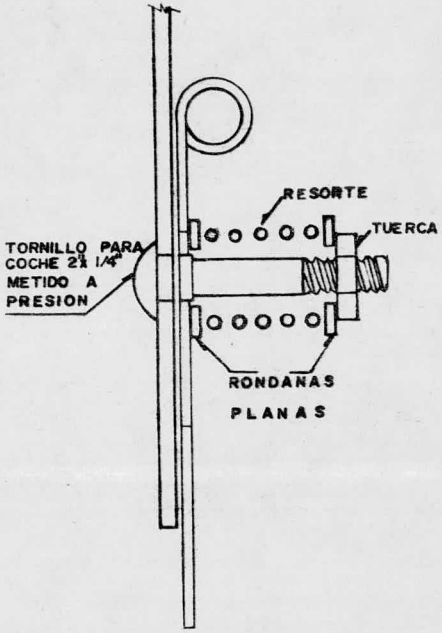
**U. N. A. M.**

TESIS PROFESIONAL

Gabriel Alemán Cortés

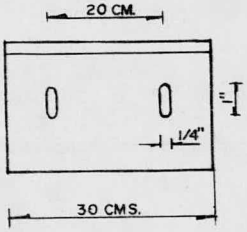



CORTE A–A

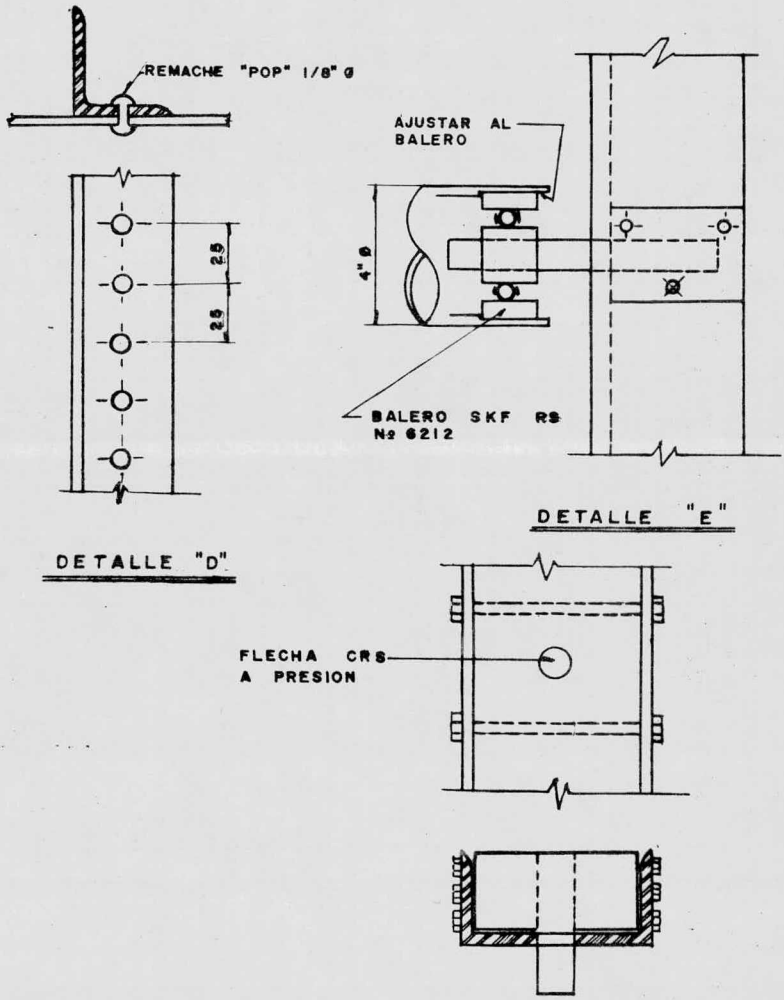



DETALLE B

LA SECCION □ DEL TORNILLO SIRVE COMO GUIA A LA MAMPARA-REGULADORA DE FLUJO




MAMPARA

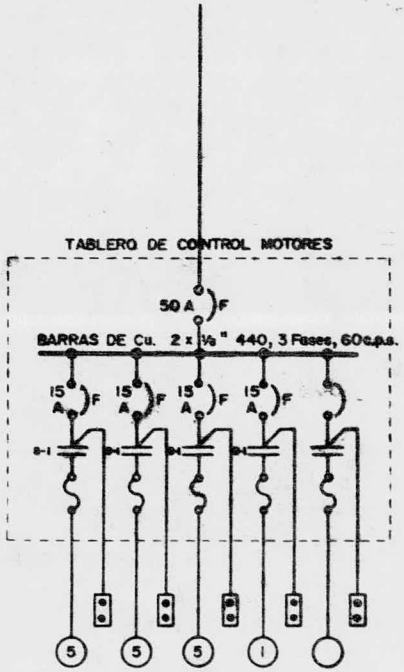



DETALLE "D"

DETALLE "E"

Gabriel Alemán Cortés

# DIAGRAMA UNIFILAR
# PARA SECADOR DE ESPONJAS



## CAPITULO V

## GENERALIDADES SOBRE EL METODO DE TRAYECTORIA CRITICA PARA PLANEACION Y PROGRAMACION.

Esta técnica para planeación y programación fué idea da por James E. Kelly Jr. y Morgan R. Walker y es en sí - una modificación a la técnica PERT (Técnica de Programación por Evaluación Regresión). El Método de Trayectoria Crítica se comenzó a usar en 1957 y de su aplicación se han obtenido excelentes resultados en operaciones industriales complicadas y en las diferentes ramas de la Ingeniería.

El M.T.C. es de gran ayuda para todas aquellas opera ciones en las que la planeación y programación tienen un papel importante; entre las cualidades de este sistema, podemos enumerar las siguientes:

a) Proporciona bases disciplinadas para planear un proyecto.
b) Se agudiza el razonamiento de quien planea, al aquilatar los problemas involucrados en un trabajo y su relación con los demás trabajos que intervienen en el proyecto total.
c) Proporciona un medio para evaluar estrategias alternativas y sus objetivos.
d) Incrementa la coordinación del trabajo.
e) Permite identificar los factores-problema, pudién dose prever con bastante anticipación.
f) Hace posible la administración por excepciones.
g) Es de fácil reprogramación de acuerdo con las - condiciones cambiantes e imprevistas.

Para lograr la programación eficiente de cualquier trabajo, deben de tomarse en cuenta tres factores principales:

1) Mano de Obra.
2) Tiempo
3) Dinero.

El M.T.C. constituye una herramienta con la cual se puede incrementar el uso eficiente de estos tres factores pero en ningún caso substituye a la experiencia y capacidad de la persona que lo usa, por lo que la exactitud de resultados dependerá de la competencia de quien haya hecho el plan y el programa mediante este método.

La administración de un proyecto es una tarea difícil ya que el encargado del proyecto es responsable de su iniciación, desarrollo y terminación, obteniendo sus metas a través de los esfuerzos coordinados de otros grupos tales como: Producción, Desarrollos, Ingeniería, Diseñadores, Dibujantes, Agentes de Compras, Expeditadores de Materiales, Sobrestantes de Talleres, etc., por lo que la coordinación entre estos grupos es básica y cuanto mejor coordinados se encuentren, mejores serán los resultados obtenidos..

Siendo la planeación y la programación dos funciones distintas, han de manejarse como tales, de acuerdo con la definición de ellas:

Planeación.

Es el proceso en el cual se determina cuales son las actividades que deben realizarse, sus inter-relaciones y la secuencia lógica en la que deberán efectuarse.

Programación.

Es el proceso mediante el cual se ajusta un plan esta

blecido a la secuencia cronológica.

Por lo anterior se observa, que antes de iniciar -- cualquier actividad, debe de contarse con un plan elaborado de antemano para obtener los mejores resultados en el - menor tiempo.

Para un mejor entendimiento de esta técnica, es necesario definir los siguientes términos que se usarán con cierta frecuencia:

Trabajo ó Actividad.- Una operación en particular.

Proyecto.- Dos ó más operaciones ejecutadas para lograr una meta común.

Duración.- Lapso de tiempo requerido para ejecutar un trabajo o un proyecto (duración del trabajo y duración del proyecto.

Evento.- Principio y terminación de un trabajo. Un evento ocurre cuando los trabajos relacionados con él se han terminado.

Recursos.- Mano de obra, equipo y dinero necesario para ejecutar un trabajo o un proyecto.

Trayectoria Crítica.- Secuencia más larga (en función del tiempo) a través del proyecto. Esta trayectoria determina la duración total del proyecto.
Los trabajos comprendidos en esta trayectoria no disponen de margen de tiempo para su ejecución.

Trabajos Flotantes.- Son aquellos que no se encuentran en la trayectoria crítica, por lo que cuentan con cierto margen de tiempo para su ejecución.

Comodines.- Representación gráfica (mediante flechas

de guiones) de las restricciones o para lograr la secuencia lógica y correcta de un grupo de actividades.

Tiempo Mínimo óptimo.- La duración mínima posible de un trabajo o proyecto.

Costo Mínimo Optimo.- El mínimo costo posible de un trabajo o proyecto ejecutado en el - tiempo mínimo.

## PLANEACION.

En la técnica de M.T.C. la lógica de la planeación se ilustra esquemáticamente por medio de flechas; cada flecha representa un trabajo o actividad y su situación en el conjunto nos indica su relación o dependencia con los demás trabajos del proyecto.

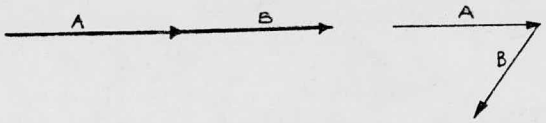
Para poder interpretar o elaborar un diagrama de - flechas, es necesario considerar las siguientes normas:

1) Cada trabajo o actividad se representa mediante una flecha no teniendo significado alguno ni la longitud ni la dirección. Se puede anotar brevemente la descripción del trabajo sobre la flecha.

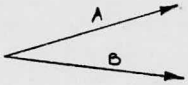
Preparar Bases Bombas. →

2) La relación de un trabajo con respecto a los demás se muestra por la colocación de la flecha con respecto a las demás, suponiendo que los trabajos se desarrollan de la cola de la flecha hacia la punta.

Los siguientes ejemplos dan una idea más clara sobre el particular:




Esto significa que el trabajo "A" debe de terminarse antes de poder iniciar el trabajo "B".




Los trabajos "A" y "B" pueden iniciarse simultáneamente y son independientes el uno del otro:

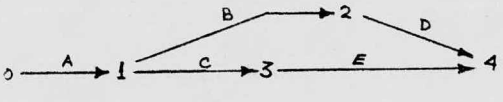
El trabajo "A" debe de terminarse antes de poder iniciar los trabajos "B" y "C".

3) Los eventos es el lugar en donde se terminan o inician uno o varios trabajos.

Para facilitar la referencia de trabajos individuales, los eventos se numeran en forma progresiva de izquierda a derecha, esto es con el fin de identificar los trabajos mediante los números de evento de iniciación y terminación sin necesidad de recurrir a descripciones extensas. El número de iniciación se denomina

"i" y el de terminación "j".

Los números de la cola y de la punta de la flecha sí debe de ser mayor que el correspondiente a la cola.



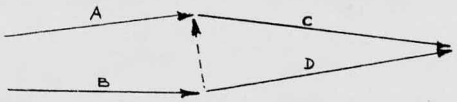

| Trabajo | i | j |
|---|---|---|
| A | 0 | 1 |
| B | 1 | 2 |
| C | 1 | 3 |
| D | 2 | 4 |
| E | 3 | 4 |

4) Los comodines son flechas punteadas o de guiones y se utilizan para mantener la secuencia lógica y correcta en un grupo de flechas.

Los siguientes ejemplos dan una idea más clara - sobre esto:

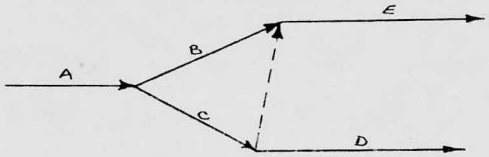
En la siguiente situación el trabajo D no puede iniciarse si no se ha terminado el trabajo B, pero es independiente de A y C; además el trabajo C solamente puede iniciarse después de que A y B han sido terminados.

La forma de representar esta situación es imposible sin el uso de un comodín:

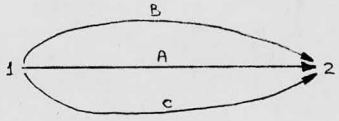


En un proyecto han de realizarse los trabajos A,B,C,D, y E. Los trabajos B y C no pueden iniciarse si no se ha concluído A. El trabajo D puede iniciarse tan pronto como se termine C. El trabajo E solo puede iniciarse cuando B y C estén terminados.

La forma de representar estas relaciones es imposible sin usar un comodín.

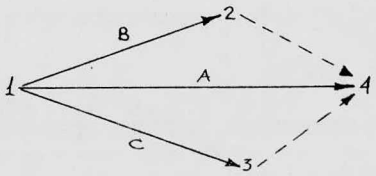



Los comodines son empleados para mantener las referencias de los trabajos con identificaciones únicas cuando dos o más de ellos podrían tener igual identificación:




| | i | j |
|---|---|---|
| A | 1 | 2 |
| B | 1 | 2 |
| C | 1 | 2 |

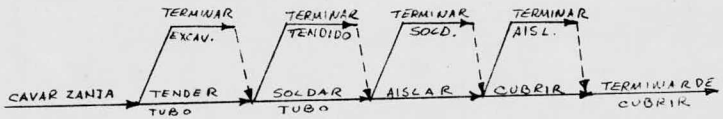
Los trabajos A, B y C tienen igual identificación. Para diferenciarlos se hace uso de los comodines:




| | i | j |
|---|---|---|
| A | 1 | 4 |
| B | 1 | 2 |
| C | 1 | 3 |

Es una buena práctica revisar cuidadosamente los diagramas de flechas antes de numerarlos con el fin de evitar los comodines innecesarios que aunque no alteran la lógica del diagrama, sí introducen nuevos eventos que pueden complicar innecesariamente los problemas.

5) Flechas múltiples. En algunas ocasiones, con el fín de mostrar el flujo de trabajos simultáneos, es necesario dividir algunas de las -- flechas de trabajos en dos o más componentes; como un ejemplo típico de esta situación tenemos el tendido de tubería en el cual se deben de efectuar los trabajos de abrir la zanja, tender tubos, soldar, aislar y cubrir. Como se ve, no es necesario que esté totalmente cavada la zanja para poder comenzar a tender los tubos y tampoco es necesario que todos los tubos estén tendidos para comenzar a soldarlos, etc. y solamente es necesario que una parte del trabajo anterior esté terminada para poder iniciar la actividad siguiente. Esto se representa gráficamente así:




Para lograr una representación gráfica de cada una de las actividades que comprende un proyecto, antes de poner una flecha en el diagrama se

Deben de hacer las siguientes preguntas:

a) Que otro trabajo puede realizarse simultáneamente?
b) Que trabajo o trabajos deben de estar terminados o parcialmente ejecutados antes de poder iniciar el trabajo nuevo?
c) Que trabajos no podrán iniciarse si no se ha terminado este trabajo?

## RESUMEN DE LA PLANEACION POR MEDIO DE DIAGRAMAS.

El punto más importante de la planeación por medio de diagramas es considerar la secuencia de los trabajos - en una forma lógica y completa y obviamente si la lógica empleada es errónea o si se omite alguno de los trabajos, el plan resultante será afectado y se tendrá una falsa ilustración de las operaciones. Por lo que se debe de tener especial cuidado al hacer el diagrama de flechas para que este quede correcto.

Al preparar un diagrama de flechas se ve uno precisado a razonar mejor y más detalladamente en forma mucho más eficiente que con cualquier método convencional.

Revisar cuidadosamente los diagramas hechos para evitar la presencia de comodines innecesarios y situaciones mal representadas.

## PROGRAMACION.

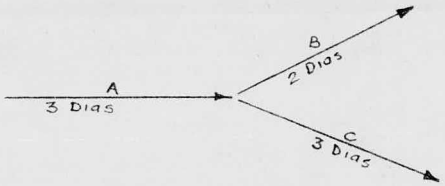
La programación es el paso siguiente a la planeación

y que consiste en ajustar el plan establecido a un horario o plan cronológico. Al hacer el programa se conoce cuando puede ejecutarse cada uno de los trabajos, cuando deben de ser efectuadas las entregas de material, cuanto tiempo sobrante hay para cada trabajo y en que tiempo podemos esperar que esté terminado todo el proyecto. También se está en posibilidades de conocer cuales trabajos son críticos - y hasta que grado la demora de un trabajo puede afectar a - los trabajos subsecuentes.

Lo primero que debemos de conocer antes de programar una actividad o trabajo, es cuanto tiempo debe tardar en - ejecutarse en condiciones normales, es decir, su Duración __ Normal. Este tiempo se estima sobre experiencia previa y en muchas ocasiones se obtiene consultando con los sobrestantes de los talleres que van a intervenir en la ejecución de los trabajos. Si no se puede contar con la información anterior por ser trabajos nuevos, los tiempos pueden estimarse haciendo un análisis cuidadoso de todas las operaciones que se efectuarán al ejecutar cada trabajo y mediante el uso de estándares de tiempo para operaciones aisladas, se puede elaborar un estándar sintético. Para lograr lo anterior, se necesita recurrir a los estudios de tiempos y movimientos hechos por -- Ingeniería Industrial y mientras más apegadas a la realidad sean nuestras estimaciones, tanto más precisa será nuestra -- programación y los resultados serán más satisfactorios. Lo - anterior es válido no solo para el M.T.C. sino también para cualquier otro método que se emplee.

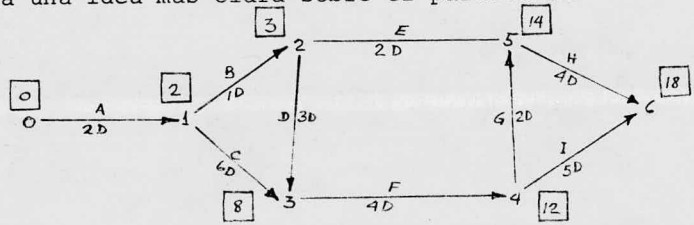
La duración de los trabajos se marca en el diagrama de flechas debajo de la flecha correspondiente a cada duración y pueden expresarse en minutos, horas, días, etc., como se juzgue más conveniente en cada caso, usando naturalmente unidades

de tiempo consistentes en todo el diagrama. Los comodi nes tienen siempre una duración de cero.




Tiempo más próximo de un evento. Es la fecha o momento más cercano en el que un evento puede ocurrir y es el tiempo de la secuencia más larga que conduce a ese evento.

Este tiempo se marca en el diagrama de flechas con un número encerrado en un rectángulo. El siguiente ejemplo dá una idea más clara sobre el particular:

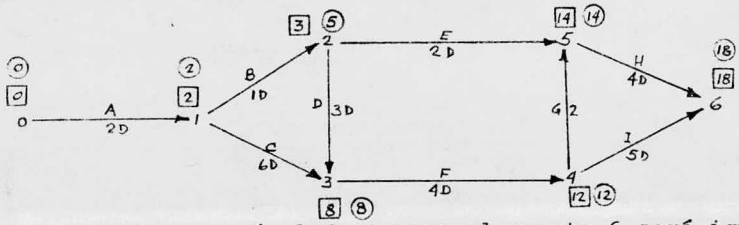



El tiempo más próximo en que el evento 1 puede ocurrir es 2 días (trabajo A). El tiempo más próximo para el evento 2 es de 3 días (A + B); a este evento solo conduce una secuencia. Para el evento 3 hay 2 secuencias que conducen a él y que es la proveniente del evento 1 y la del evento 2, por lo que el evento por una trayectoria podría ocurrir a los 6 días (A + B + D), pero la otra trayectoria tiene una duración mayor por lo que es la determinante de la ocurrencia del evento y esta será a los 8 días (A + C) y - así sucesivamente. hasta determinar los tiempos más próximos de todos los eventos del diagrama.

El tiempo más próximo del evento final será la dura-

ción total del proyecto.

Tiempo más lejano del evento. Es el tiempo más tardío en el que puede ocurrir un evento sin afectar la duración total del proyecto. Por lo que el tiempo más lejano del evento de terminación será igual al tiempo más próximo del mismo. Los tiempos más lejanos de los eventos se calculan restando de la duración total de un proyecto la duración de la secuencia más larga que conducen al evento en sentido contrario a las flechas. Los tiempos más lejanos se indican encerrándolos en un cfículo. El siguiente ejemplo dá - una idea más clara sobre esto:




El tiempo más lejano para el evento 6 será igual al tiempo más próximo del mismo evento.

Para el evento 5 el tiempo más lejano será 18 - 4 = 14

Para el evento 4 hay dos trayectorias, la que viene del evento 6 y la que viene del evento 5. La primera es 18 - 5 = 13 y la segunda 14 - 2 =12, siendo ésta la más larga el tiempo más lejano para evento 4 será 12.

Se prosigue de igual manera hasta llegar al evento inicial en donde una de las trayectorias nos indique que el tiempo más lejano del evento es cero.

Con las determinaciones de los tiempos más próximos o más lejanos de los eventos, estamos en posibilidad de conocer por qué flecha van a ocurrir, sin embargo, no podemos decir lo mismo de cada una de las actividades, por lo que es necesario determinarlas.

Tiempo más próximo de iniciación de un trabajo. Es la misma fecha del evento en la cual se inicia.

Tiempo más próximo de terminación de un trabajo. Es la fecha más próxima en la que se puede esperar que se termine un trabajo y su valor será: la fecha más próxima de iniciación más la duración del trabajo.

Tiempo más lejano de terminación de un trabajo. Es la fecha más lejana en la que pueda ocurrir el evento en el cual termina.

Tiempo más lejano de iniciación de un trabajo. Es la fecha más tardía en la cual se puede iniciar un trabajo sin afectar a los trabajos que le siguen. Su valor será la fecha más lejana de terminación del trabajo menos su duración.

Aplicando lo anterior al diagrama tendremos:

| Trabajo | Duración | Tiempo de Iniciación Más Próximo | Tiempo de Iniciación Más Lejano. | Tiempo de Terminación. Más Próximo | Tiempo de Terminación. Más Lejano. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0-1 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 1-2 | 1 | 2 | 4 | 3 | 5 |
| 1-3 | 6 | 2 | 2 | 8 | 8 |
| 2-3 | 3 | 3 | 5 | 6 | 8 |
| 2-5 | 2 | 3 | 12 | 5 | 14 |
| 3-4 | 4 | 8 | 8 | 12 | 12 |
| 4-5 | 2 | 12 | 12 | 14 | 14 |
| 4-6 | 5 | 12 | 13 | 17 | 18 |
| 5-6 | 4 | 14 | 14 | 18 | 18 |

Como se puede observar, en esta tabla hay actividades

las cuales sus tiempos de iniciación más próximos y más lejanos son iguales o sea que han de iniciarse en una fecha fija sin tolerancias y lo mismo ocurre en su terminación que también debe de ocurrir en una fecha fija. Los trabajos que se encuentran en estas condiciones, se dice que son críticos

Si se localizan estos trabajos en el diagrama se verá que forman una secuencia contínua desde la iniciación del proyecto hasta su terminación; a ésta secuencia de trabajos se le llama Trayectoria Crítica por estar formada solamente por trabajos críticos y no habrá trabajos críticos fuera de ella aunque puede haber más de una Trayectoria Crítica.

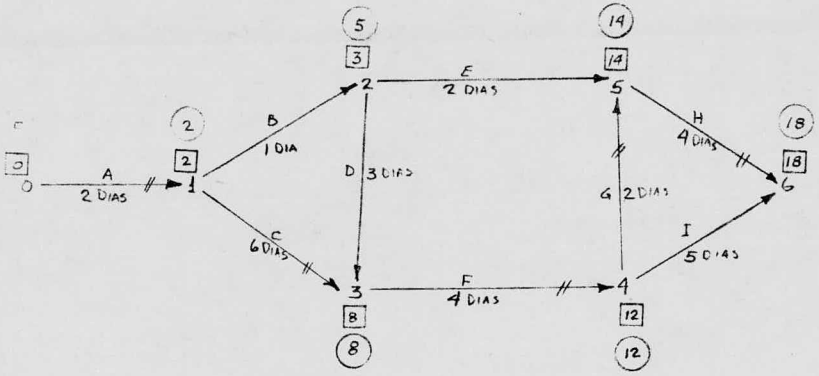
La Trayectoria Crítica puede ser una línea contínua o ramificada y es la secuencia más larga y la que determina la duración total.

Para identificar fácimente los trabajos críticos de un proyecto, hay que tomar en cuenta las siguientes características de estos:

a) Los tiempos más próximos y más lejanos del evento de terminación son iguales.
b) Los tiempos más próximo y más lejanos del evento de iniciación de un trabajo crítico son iguales.
c) El tiempo comprendido entre los eventos o sea el tiempo máximo disponible es igual a la duración del trabajo.

Para identificar los trabajos críticos en un diagrama de flechas, se acostumbra cruzar las flechas correspondientes a los trabajos críticos con dos líneas paralelas.

El diagrama hasta ahora, quedará:




La administración adecuada del margen o tiempo - libre disponible es muy valiosa en la asignación de mano de obra y uso de materiales, pudiendo resultar aumentos de eficiencia y ahorros substanciales en los gastos.

El margen o tiempo libre lo podemos dividir en 3 tipos:

a) Margen Total. Es el máximo tiempo disponible para efectuar un trabajo en un momento dado - menos la duración del mismo. Al emplear todo este margen, los trabajos que le siguen formarán una nueva Trayectoria Crítica.

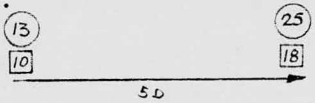
b) Margen Libre. Es el tiempo disponible para - efectuar un trabajo menos su duración, suponiendo que los trabajos subsecuentes se indicarán en su fecha más próxima. El uso de este margen no altera a los trabajos posteriores.

c) Margen Independiente. Es el tiempo disponible,

que queda si se inicia el trabajo en su fecha más lejana y los trabajos que le siguen se inician en su fecha más próxima. El uso de este margen no altera a los trabajos posteriores.

Para una mejor comprensión se ilustra con el siguiente ejemplo:

Se determinarán los márgenes para un trabajo cualquiera de un proyecto.

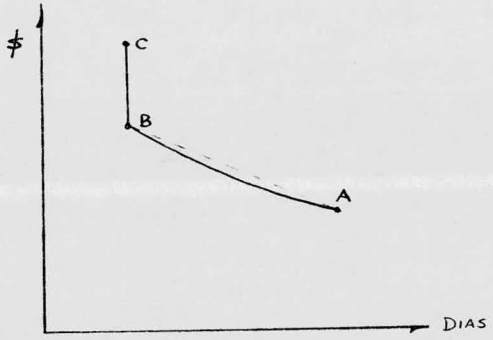



| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Margen total | (25) | - | [10] | - | 5 | = | 10 |
| Margen libre | [18] | - | [10] | - | 5 | = | 13 |
| Margen Indep. | [18] | - | (13) | - | 5 | = | 0 |

Cuando ya se tienen todos los datos necesarios tales como fechas de iniciación y terminación, márgenes, duraciones, personal requerido, etc., se procede a transportar el diagrama de flechas a una escala cronológica en donde ya la longitud de las flechas nos indica su duración. Lo primero que se pasa a la escala cronológica son los trabajos críticos, en seguida se pasan los demás trabajos distribuyendo los márgenes de acuerdo con el grado de dificultad de cada uno de ellos. Sobre la escala de tiempos es posible distribuir el personal en forma más uniforme posible y para mejorar la uniformidad, los trabajos con margen se acomodan en la forma más conveniente. Ya establecido el programa, se puede hacer una gráfica de barras para entregarse a los talleres y para poder llevar un registro de avances compacto y de fácil consulta.

En la gráfica de barras se acostumbra poner una barra sólida que indique la duración del trabajo y una barra hueca que nos indique el tiempo disponible y avance.

Costos. Hasta ahora no se ha hablado nada sobre costos ya que cuando estimamos la duración de un trabajo se pensó que esto se realizaría en forma normal y por lo tanto su costo será normal también. Pero un trabajo puede realizarse en muchas formas, todas ellas de diferente costo, aumentando éste al disminuir la duración. La curva de costo de un trabajo tiene generalmente la siguiente forma:




En el punto A la duración es normal y su costo es también normal. . Al disminuir la duración el costo aumenta hasta llegar al punto B en donde la duración es la mínima posible y su costo es el mínimo óptimo. Si se aumenta el personal o los bonos al mismo, el costo aumentará hasta C sin que se logre disminuir la duración. Para fines de cálculo se considera que los puntos A y B están unidos no por una curva sino por una recta con una pendiente fija. En estos casos se dice que el trabajo tiene una función de costos contínua.

Hay trabajos o actividades que no tienen función de costos contínua pues son solamente puntos aislados en la .

gráfica, como sucede con la compra de equipo en donde -- diferentes proveedores dan diferentes cotizaciones con diferentes tiempos de entrega y donde no hay puntos intermedios para escoger o cambiar a voluntad.

La duración total de un proyecto puede reducirse si se reducen las duraciones de los trabajos críticos, - lo que es más económico evitando reducir la duración de los trabajos que no están en la Trayectoria Crítica y que por lo tanto no influyen sobre la duración total del proyecto.

El costo total de un proyecto está compuesto por cuatro costos parciales:

a) Costos Fijos. Comprende todos aquellos gastos que se efectúan solo una vez, tales como licencias, aprobaciones, compra de equipo, materiales, etc.

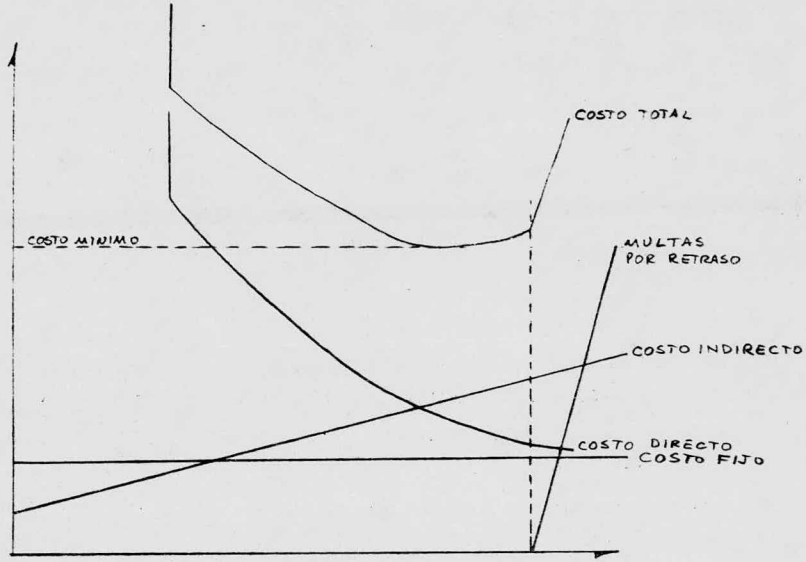
b) Costos Indirectos. Son aquellos gastos que se efectúan diariamente como renta de equipo, de - herramientas, etc.

c) Costos Directos.- Son los gastos debidos a pago de salarios.

d) Pago de bonos, multas por retrasos o adelantos.

La curva de costos de un proyecto para diferentes duraciones, es similar a la siguiente:

- - -




Se observa que el costo total más bajo no corresponde a la duración normal, sino a un tiempo menor.

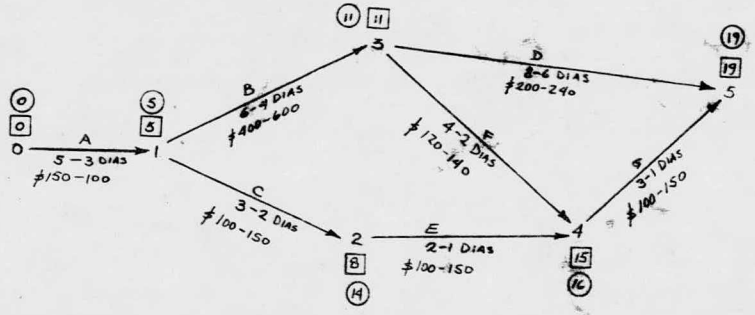
Con frecuencia se presenta el problema de atrasos o de reducción del tiempo total disponible, en donde se debe de decidir qué trabajos hay que expeditar para reducir la duración total del proyecto al costo más bajo posible o para hacer que un proyecto atrasado se ajuste nuevamente al programa original.

Si para reducir la duración total o poner al día un proyecto se pagan primas en todos los trabajos a fín de reducir su duración, se comete el error de acelerar - trabajos que no influyen en la duración total o sea que se ha gastado dinero inútilmente sin obtener beneficio alguno, siendo ésta la forma más costosa de recuperar o ganar tiempo.

Siendo el objetivo principal de la administración el obtener resultados al menor costo, es muy importante hacer una revisión de los trabajos no críticos para lograr economías mediante la utilización de los márgenes, redu-

ciendo duración solamente en los trabajos críticos, comen zando por los de menor costo.

En el siguiente ejemplo se desarrolla la curva de costos de un proyecto pequeño



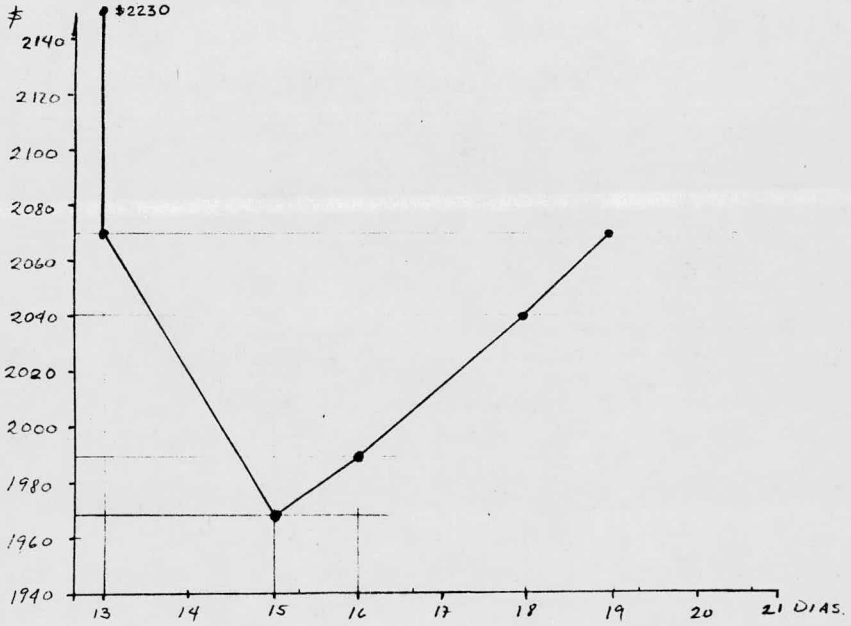

Costos Indirectos - $ 50.00 diarios.

| Trabajo | i-j | Costo Nor. | Min. OP | Duración Nor. | Duración Min. | Pendiente | Días expeditados y su costo. 1 | 3 | 4 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0-1 | 100 | 150 | 5 | 3 | 25 | | 50 | | |
| C | 1-2 | 100 | 150 | 3 | 2 | 20 | | | | |
| B | 1-3 | 400 | 600 | 6 | 4 | 100 | | | | 200 |
| E | 2-4 | 100 | 150 | 2 | 1 | 50 | | | | |
| F | 3-4 | 120 | 140 | 4 | 2 | 10 | | | 10 | |
| D | 3-5 | 200 | 240 | 8 | 6 | 20 | 20 | 20 | 20 | |
| G | 4-5 | 100 | 150 | 3 | 1 | 25 | | | | |
| Costo directo | | 1120 | 1580 | | | | 1140 | 1190 | 1220 | 1420 |
| Costo Indirecto. | | 950 | 650 | | | | 900 | 800 | 750 | 650 |
| Costo Total. | | 2070 | 2230 | | | | 2040 | 1990 | 1970 | 2070 |
| Duración. | | 19 | 13 | | | | 18 | 16 | 15 | 13 |

En este ejemplo se ve que la trayectoria crítica - varía según se reduce su duración.

La duración mínima del proyecto son 13 días si expeditamos todos los trabajos al mínimo se tiene un costo de $ 2,230.00 y expeditando solo los trabajos críticos es costo se reduce a $ 2,070.00 pero si se termina el proyecto en 15 días, el costo será de $ 1,970.00 o sea $ 100.00 menos - que el costo normal y 4 días antes de la fecha de terminación normal.

La curva de costos de este ejemplo es la siguiente:




Como una ayuda para calcular la trayectoria crítica la nivelación de mano de obra, la programación, costos, etc., se han desarrollado una serie de programas para las diferentes máquinas computadoras. El uso de estas máquinas es recomendable solo para proyectos con más de 150 trabajos.

Sea cual fuere el método de cálculo, la planeación ha de hacerse manualmente así como la recopilación de todos los datos pertinentes.

Por medio de una computadora se ahorra mucho tiempo en proyectos de consideración, en donde los cálculos a mano se hacen muy extensos y laboriosos. Estas máquinas pueden ejecutar las tareas rutinarias de revisión y reprogramación dejando más tiempo disponible al Ingeniero de Proyecto.

Los detalles de programa para las diferentes máquinas varían de acuerdo con el tamaño y capacidad de las mismas. Entre las de mayor capacidad está la GE-225 de General Electric que puede manejar proyectos hasta de 2100 trabajos y - 1000 eventos.

Para orientar y dar información a la máquina es necesario llenar la Forma de Registro de Datos (GE-225-Critical Path-Method-Code-Imput-Sheet). Esta información se perfora en tarjetas IBM a razón de una por actividad; estos datos -- se almacenarán en la sección de memoria de la Máquina. El - programa a seguir se proporciona a la máquina por medio de - cinta magnética o tarjetas perforadas lo que es un proceso rutinario y elaborado de antemano para cada máquina.

Al ponerse a trabajar la máquina imprime las respuestas que en este caso es el programa sin tomar ninguna decisión, la cual queda a cargo de la Administración.

Básicamente se han desarrollado 4 tipos de programas que se ajustan a la técnica M.T.C., que son:

1. Programa normal de tiempo.
2. Análisis de costos.

3. Programación normal de mano de obra y recursos.
4. Programación de mano de obra y recursos con limitaciones.

1.- Programa normal de tiempo (GE-225-Estático).

La información mínima requerida para este programa es:

a). Números i-j de cada una de las actividades.
b). Descripción breve de cada actividad.
c). Duración normal de cada actividad.
d). Factor de evaluación.
e). Duración mínima de cada trabajo.

La impresión proporcionada por la máquina consistirá en el programa mostrando el número i-j, la descripción de la actividad, el tiempo programado, tiempos mínimos y máximos, margen programado, margen libre y margen total para cada actividad. Sí se han incluído el punto e), se obtendrá además la duración normal y mínima de todo el proyecto.

2.- Programa de Análisis de Costos (GE-225 Dinámico) (MCS)

La información requerida para este programa es:

a). Identificación i-j para cada actividad.
b). Descripción alfanumérica de la descripción de las actividades.
c). Duración normal.
d). Duración mínima.
e). Costo normal.
f). Costo mínimo a duración mínima.
g). Factor de evaluación de actividades.
h). Indicación sobre la continuidad de la función de costos.

La información que porporciona la máquina es una serie

de programas del proyecto, dsde el normal va reduciendo la duración en cada nuevo programa hasta alcanzar la duración mínima.

De esta serie de programas se tiene:

1). Soluciones normales.
2). Análisis de actividades críticas.
3). Selección y compresión de actividades críticas que reducen la duración total con un mínimo de aumento en el costo.
4). Programa de costos y tiempos.
5). Repite los pasos 3 y 4 reduciendo cada vez más el tiempo hasta que este es irreductible.

3.- Programa de recursos con tiempo normal.

La información mínima requerida para este programa es:

a). Identificación i-j para cada actividad.
b). Descripción alfanumérica de las actividades.
c). Duración normal de cada actividad.
d). Númrero de talleres necesarios.
e). Número de trabajadores de cada taller necesarios para cada actividad.

El programa impreso dá la siguiente información:

1). Fecha de iniciación de cada trabajo.
2). Talleres requeridos.
3). Número de trabajadores de cada taller.
4). Margen de tiempo en cada actividad.

En una segunda impresión indica:

5). Duración del proyecto.

6). Trabajadores necesarios.
7). Número de trabajadores necesarios diariamente en cada taller.

Este programa se utiliza donde la mano de obra no constituye un problema, donde la duración es esencial o - para proyectos pequeños.

4.- Programación de mano de obra y recursos con limitaciones (RPSM).

Este programa se emplea cuando la mano de obra o recursos son limitados. Este programa es extenso y complicado. - Las limitaciones pueden ser:

a). Personal disponible para efectuar los trabajos.
b). Tarifa de aumento de los recursos disponibles.
c). Terminación de contratos temporales.

Este programa al igual que los anteriores, se manejan los talleres y mano de obra disponibles en cada uno con limitaciones de recursos y obreros especializados. Los trabajos se programan dentro de los límites de recursos disponibles - con la mínima fluctuación diaria posible.

Información para la computadora GE-225. La información que se proporciona a la máquina va codificada en tarjetas perforadas las cuales por sí solas se explican, con excepción de las columnas de "Pendiente Opcional", "W" y "C/N". - En la columna marcada (Optional Slope) "Pendiente Opcional" - puede anotarse una pendiente artificial a criterio de quién va a usar el programa. Esta opción prevista para que quién utiliza la computadora GE-225 pueda hacer estables ciertas

actividades que de otra manera tendrían que expeditarse para hacer que el programa permanezca relativamente estable. Por ejemplo, si una actividad que tiene una pendiente muy baja y no se desea expeditar, se pone una pendiente artificial que preceda a la real. Si no se registra nada en la columna de (Optional Slope) "Pendiente Opcional", se calcula la pendiente real en forma automática. Todos los cálculos de costos están basados en la pendiente real sin importar si se registra pendiente artificial o nó. En la columna de pendiente hay 4 espacios disponibles con un punto decimal después de las 2 primeras cifras por lo que la pendiente más -- alta que puede registrar es de 99.99.

La columna marcada "W" tiene capacidad para una cifra del 0 al 9 y es un factor de evaluación del margen asignado o sea que mientras más grande sea el factor, mayor será el - margen proporcional asignado a esa actividad. La asignación de in margen proporcional está sujeta a la tendencia del programa ya que se reserva un pequeño margen para la actividad final de una cadena de actividades sin importar si se prevee esta necesidad en las instrucciones proporcionadas a la máquina o nó. La utilidad de este factor es poder reservar la proporción más grande de margen para aquellas actividades que presenten mayor dificultad o sea que su duración real es incierta.

La columna marcada "C/N" es utilizada para indicar si la función de costos para la actividad es contínua o no contínua, marcando "C" cuando es contínua y "N" cuando no lo es.

Revisión, reprogramación y actualizado de programas.

Cuando un proyecto está en proceso y hay retraso con respecto al programa original, es necesario hacer revisiones

periódicas para cerciorarse de la buena marcha del mismo. - cuando se presentan retrasos en la ejecución de un proyecto, es necesario hacer una revisión para reprogramar las actividades restantes y actualizar así el programa. Al actualizar un programa retrasado se obtiene también el aumento de costo necesario para poder terminar el proyecto en la fecha establecida en el programa original si esto es posible y sí no, establece la fecha más conveniente para la terminación.

Para efectuar la revisión se procede de la siguiente manera:

a). Se revisan las tarjetas de cada actividad corrigiendo la duración cuando ésta no fué correctamente estimada.

b). Las tarjetas de las actividades que estén totalmente al tomar los datos de progreso, son sustituídas por nuevas, registrándose como si fuesen como dines o sea duración, cero, dejando el resto de la información sin modificar.

c). Se revisan los costos normal y la duración mínima.

d). Las tarjetas revisadas son puestas nuevamente en la máquina para que las memorice y proceda a elaborar un nuevo programa el cual se hará según sean las necesidades de la Administración.

Procedimiento para aplicar el M.T.C. a un proyecto típico.

1). Hacer una lista de todas y cada una de las actividades.

2). Estimar la duración normal de cada actividad.

3). Estimar el costo normal y a la duración mínima.

4). Hacer diagrama de flechas.

5). Encontrar la duración normal del proyecto incluyendo los tiempos de iniciación y terminación de las actividades. Se calculan también los margenes y costos del proyecto además se determina la trayectoria crítica.

6). Evaluar el proyecto haciendo los cambios deseados en la secuencia lógica y en los costos estimados.

7). Estimar la duración y el costo mínimo óptimo para cada actividad que pueda ser expeditada.

8). Determinar los costos mínimos a diferentes duraciones del proyecto. (Si se usa computadora GE-225 se hace según el instructivo GE-CPB-198).

9). Hacer curva de costos.

10). Selección del programa más conveniente.

11). Hacer análisis de necesidades de mano de obra.

12). Al progresar el proyecto, hacer revisiones periódicas al programa y al diagrama de flechas para incluir actividades no consideradas o eliminar actividades innecesarias.

## CAPITULO VI

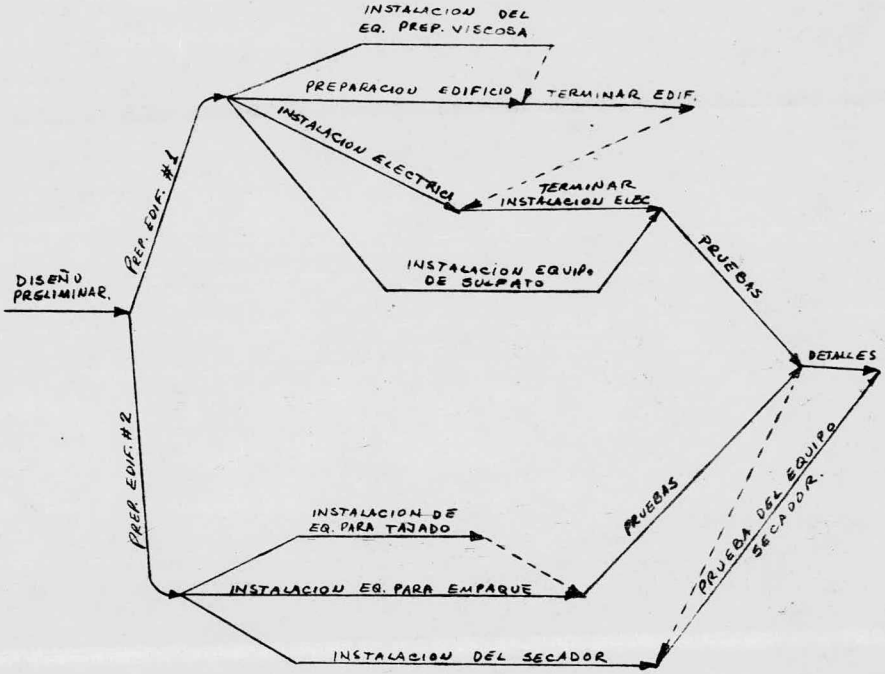
## Aplicación del M.T.C. a la construcción e instalación del secador como parte de un proyecto mayor.

El diseño, construcción e instalación de este secador forma parte de un proyecto mayor en el que el objetivo es la producción de Esponja Celulósica.

Para iniciar este proyecto se comenzó por hacer un diseño preliminar en el cual se toma en cuenta el espacio disponible dentro de las instalaciones existentes, disposición del equipo, capacidades del mismo, posibles modificaciones al equipo obsoleto existente para su uso en el nuevo proceso, disponibilidad de servicios, etc. Durante este -- diseño preliminar se consulta frecuentemente al Departamento de Ingeniería Industrial, a fín de que la disposición del equipo sea adecuada para una fácil operación desde el punto de vista de métodos, tiempos y movimiento, lo cual permite un mejor aprovechamiento de la mano de obra.

Terminado el diseño preliminar se inician los trabajos de diseño, construcción e instalación de cada una de las secciones que forman el proceso completo.

Siendo que la cantidad de actividades involucradas en el proyecto completo, es muy grande y con el fín de -- simplificar el trabajo, se consideró a todos los trabajos realizados en cada sección como uno solo, así pues la construcción e instalación del secador aparece como una actividad en el diagrama general del proyecto.




Como se había dicho anteriormente, cada una de las actividades mostradas en el diagrama anterior, es en sí - un proyecto completo y se trata como tal.

Para determinar las fechas en las que ocurrirán los eventos del diagrama general, se hace en igual forma como si se tratara de trabajos sencillos, siendo su duración del proyecto parcial correspondiente y por supuesto existen -- proyectos parciales críticos, formando a su vez una trayectoria crítica.

La trayectoria crítica del proyecto general, será

la cadena de trayectorias críticas de los proyectos parciales críticos y que comienza el día cero para concluir en la fecha de terminación.

Como el proyecto parcial que interesa ahora es la construcción del secador, se seguirá describiendo el proceso empleado para su programación.

Lista de trabajos o actividades que intervienen:

1. Pruebas de Laboratorio con material de planta piloto.
2. Diseño.
3. Pedido y entrega de material eléctrico para - ventiladores.
4. Pedido de ventiladores.
5. Pedido de material para tubería de vapor y serpentines.
6. Pedido de banda de malla de acero inoxidable.
7. Pedido de materiales para la transmisión.
8. Pedido de material eléctrico para la transmisión.
9. Pedido de material para estructura.
10. Pedido de material para rodillos.
11. Pedido de chumaceras.
12. Pedido de material para ductos.
13. Pedido de aislamiento y acabado.
14. Construcción de bases.
15. Construcción de estructura.
16. Construcción de rodillos.
17. Dibujo de bases.
18. Dibujo de estructura.
19. Dibujo de ductos.
20. Dibujo de rodillos.

21. Construcción de ductos.
22. Instalar estructura.
23. Instalar rodillos.
24. Instalar ductos.
25. Instalar ventiladores.
26. Instalar transmisión.
27. Instalación eléctrica para ventiladores.
28. Instalación eléctrica para transmisión.
29. Instalar tubería y serpentines para vapor.
30. Aislar y terminar ductos.
31. Instalar bandas.
32. Ajustes.
33. Pruebas.
34. Compra de instrumentos de control.
35. Instalación de instrumentos de control.

Como su primer paso se hace un diagrama de flechas para determinar la secuencia lógica de todas las actividades antes citadas.

Posteriormente se determina la duración de cada una de ellas, recurriendo a cotizaciones, antecedentes, estimación de tiempos por parte de talleres o estimación por medio de estandares. Al mismo tiempo se determina que cantidad de personal trabajará en cada una de las actividades que así lo requieren.

A continuación se presenta el diagrama de flechas al que ya se han numerado los eventos, indicando las duraciones, requerimientos de personal, fechas más próximas y más lejanas de los eventos y la lista de trabajos ordenados por la secuencia i-j en una tabla donde se muestran también los tiempos más próximos y más lejanos de iniciación y terminación de cada una de las actividades, así como también sus margenes libre y total, y los departamentos ó talleres encargado de cada una de ellas.

# CAPITULO VII

# PROGRAMA FINAL

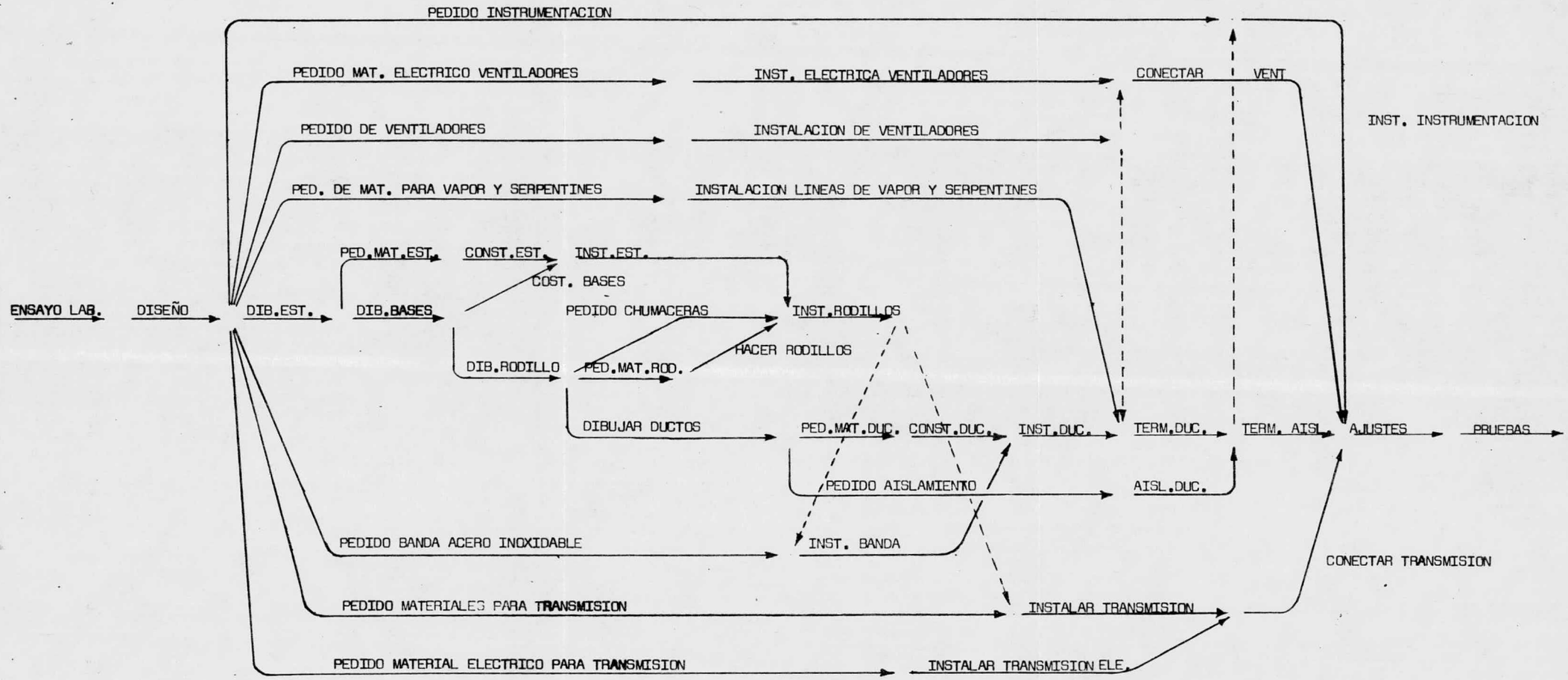
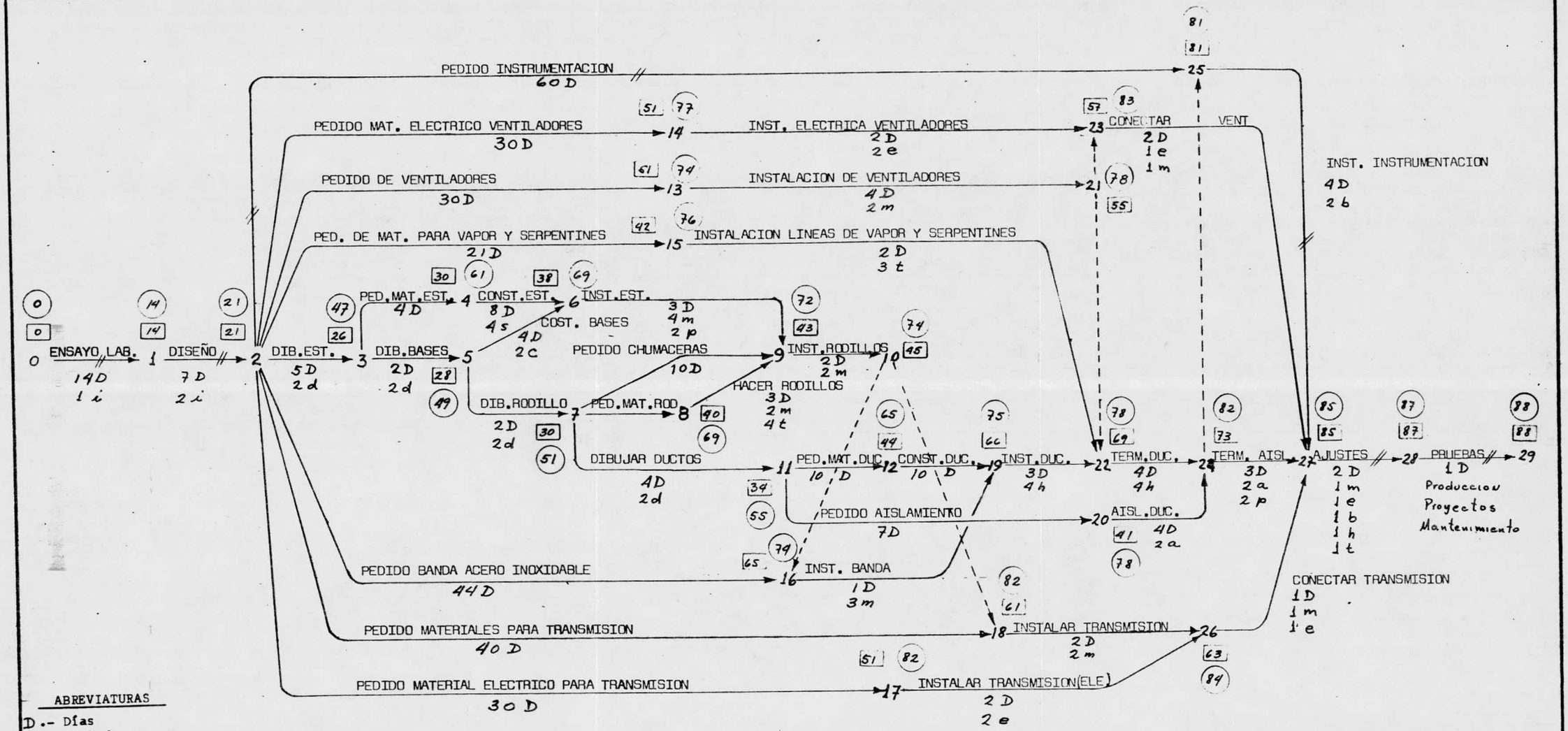



DIAGRAMA DE FLECHAS.

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

TESIS PROFESIONAL

GABRIEL ALEMAN CORTES




ABREVIATURAS

D .- Días
a .- Aislador
b .- Instrumentista
c .- Albañil
d .- Dibujante
e .- Electricista
h .- Hojalatero
i .- Ingeniero
m .- Mecánico
p .- Pintor
s .- Soldador
t .- Tubero

Oficiales .- Indicados
Ayudantes .- Igual a Oficiales

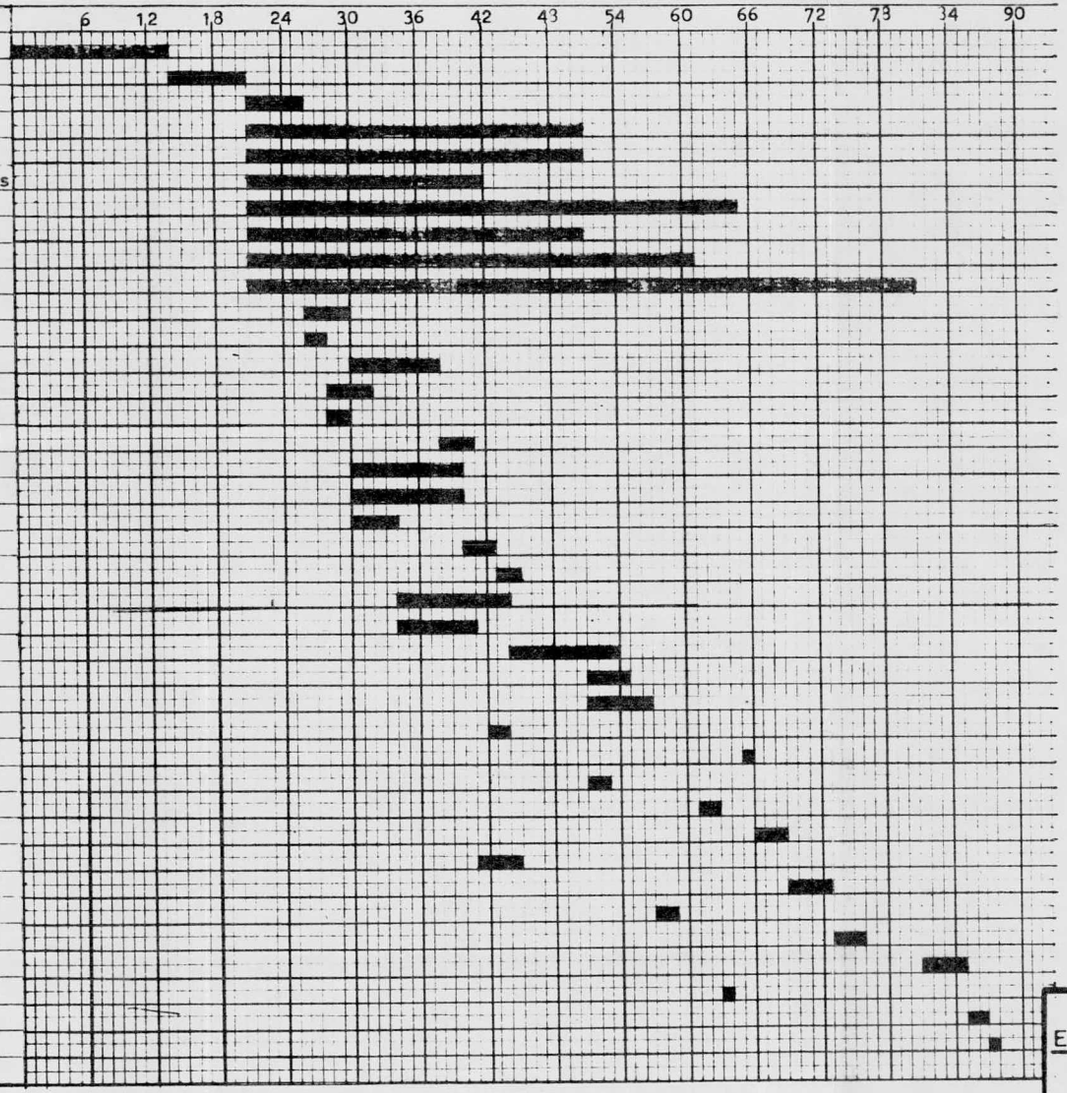
RED CON RUTA CRITICA Y RECURSOS

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

TESIS PROFESIONAL

GABRIEL ALEMAN CORTES

| ENCARGADO | I | J | TRABAJO |
|---|---|---|---|
| Proyecto | 0 | 1 | Ensayos en laboratorio |
| Proyecto | 1 | 2 | Diseño del secador |
| Dibujo | 2 | 3 | Dibujo de estructura |
| Compras | 2 | 13 | Compras de Ventiladores |
| Compras | 2 | 14 | Compra mat. elect. vent. |
| Compras | 2 | 15 | Comp. Mat. Vapor y serpentines |
| Compras | 2 | 16 | Comp. banda inoxidable |
| Compras | 2 | 17 | Comp. Mat. Ele. transmisión |
| Compras | 2 | 18 | Compra Mat. transmisión |
| Compras | 2 | 25 | Compra Instrumentación |
| Compras | 3 | 4 | Comp. Material estructura |
| Dibujo | 3 | 5 | Dibujo de bases |
| Soldad. | 4 | 6 | Construcción estructura |
| Albañ. | 5 | 6 | Construir bases |
| Dibujo | 5 | 7 | Dibujo de Rodillos |
| Mec. Pint. | 6 | 9 | Instalación estructura |
| Compras | 7 | 8 | Compra Mat. rodillos |
| Compras | 7 | 9 | Compra chumaceras |
| Dibujo | 7 | 11 | Dibujar ductos |
| Sol-Tor | 8 | 9 | Hacer rodillos |
| Mecánico | 9 | 10 | Instalar rodillos |
| Compras | 11 | 12 | Compra Mat. ductos |
| Compras | 11 | 20 | Compra aislamiento |
| Hojalat. | 12 | 19 | Hacer ductos |
| Mecánico | 13 | 21 | Instalar ventiladores |
| Eléctrico | 14 | 23 | Inst. Elec. ventiladores |
| Tuberías | 15 | 22 | Inst. Tub. y serpentines |
| Mecánico | 16 | 19 | Instalar banda |
| Eléctrico | 17 | 26 | Instalación Elec. Transm. |
| Mecánico | 18 | 26 | Instalar transmisión |
| Hojalat. | 19 | 22 | Instalar ductos |
| Aislam. | 20 | 24 | Aislar ductos |
| Hojalat. | 22 | 24 | Terminar ductos |
| Eléctrico | 23 | 27 | Conectar ventiladores |
| Ais.-Pint. | 24 | 27 | Terminar aislamiento |
| Instrum. | 25 | 27 | Instalar instrumentos |
| Eléctrico | 26 | 27 | Conectar Transmisión |
| Proy-Tall. | 27 | 28 | Ajustes |
| Proy-Prod. | 28 | 29 | Pruebas |




PROGRAMA DE BARRAS

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

TESIS PROFESIONAL

GABRIEL ALEMAN CORTES

| ENCARGADO | SECUENCIA I | SECUENCIA J | DESCRIPCION | INICIACION PROX. | INICIACION LEJ. | TERMINACION PROX. | TERMINACION LEJ. | MARGENES TOT. | MARGENES LIB. | DIAS | OBSERVACIONES |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| proyecto | 0 | 1 | Ensayos en laboratorio. | 0, | 00 | 14 | 14 | 0 | 0 | 14 | |
| Proyecto | 1 | 2 | Diseño del Secador | 14 | 14 | 21 | 21 | 0 | 0 | 7 | |
| Dibujo | 2 | 3 | Dibujo de Estructura | 21 | 42 | 26 | 47 | 21 | 0 | 5 | |
| Compras | 2 | 13 | Compras de Ventiladores | 21 | 44 | 51 | 74 | 23 | 0 | 30 | |
| Compras | 2 | 14 | Compra Mat. Elect. Vent. | 21 | 47 | 51 | 77 | 26 | 0 | 30 | |
| Compras | 2 | 15 | Comp. Mat. Vapor y Serpentines | 21 | 55 | 42 | 76 | 34 | 0 | 21 | |
| Compras | 2 | 16 | Comp. Banda inoxidable | 21 | 30 | 65 | 74 | 9 | 0 | 44 | |
| Compras | 2 | 17 | Comp. Mat. Ele. transmisión | 21 | 52 | 51 | 82 | 31 | 0 | 30 | |
| Compras | 2 | 18 | Compra Mat. transmisión | 21 | 42 | 61 | 82 | 21 | 0 | 40 | |
| Compras | 2 | 25 | Compra Instrumentación | 21 | 21 | 81 | 81 | 0 | 0 | 60 | |
| Compras | 3 | 4 | Comp. Material Estructura | 26 | 57 | 30 | 61 | 31 | 0 | 4 | |
| Dibujo | 3 | 5 | Dibujo de bases | 26 | 47 | 28 | 49 | 21 | 0 | 2 | |
| Soldad. | 4 | 6 | Construcción Estructura | 30 | 61 | 38 | 69 | 31 | 0 | 8 | |
| Albañ. | 5 | 6 | Construir Bases | 28 | 65 | 32 | 69 | 37 | 6 | 4 | |
| Dibujo | 5 | 7 | Dibujo de Rodillos | 28 | 49 | 30 | 51 | 21 | 0 | 2 | |
| Mec. Pint. | 6 | 9 | Instalación Estructura | 38 | 69 | 41 | 72 | 31 | 2 | 3 | |
| Compras | 7 | 8 | Compra Mat. Rodillos | 30 | 69 | 40 | 69 | 29 | 0 | 10 | |
| Compras | 7 | 9 | Compra Chumaceras | 30 | 62 | 40 | 72 | 32 | 3 | 10 | |
| Dibujo | 7 | 11 | Dibujar Ductos | 30 | 51 | 34 | 55 | 21 | 0 | 4 | |
| Sol-tor | 8 | 9 | Hacer Rodillos | 40 | 69 | 43 | 72 | 29 | 0 | 3 | |
| Mecánico | 9 | 10 | Instalar Rodillos | 43 | 72 | 45 | 74 | 29 | 0 | 2 | |
| | 10 | 16 | Comodín | | | | | | | | |
| | 10 | 18 | Comodín | | | | | | | | |
| Compras | 11 | 12 | Compra material para ductos. | 34 | 55 | 44 | 65 | 21 | 0 | 10 | |
| Compras | 11 | 20 | Compra Asilamiento | 34 | 71 | 41 | 78 | 37 | 0 | 7 | |
| Hojalat. | 12 | 19 | Hacer Ductos | 44 | 65 | 54 | 75 | 21 | 12 | 10 | |
| Mecánico | 13 | 21 | Instalar Ventiladores | 51 | 74 | 55 | 78 | 23 | 0 | 4 | |
| Eléctrico | 14 | 23 | Inst. Elec. ventiladores | 51 | 77 | 57 | 83 | 26 | 0 | 6 | |
| Tuberías | 15 | 22 | Inst. Tub. y Serpentines | 42 | 76 | 44 | 78 | 34 | 25 | 2 | |
| Mecánico | 16 | 19 | Instalar Banda | 65 | 74 | 66 | 75 | 9 | 0 | 1 | |
| Eléctrico | 17 | 26 | Instalación Elec. Transm. | 65 | 74 | 66 | 75 | 9 | 0 | 1 | |
| Mecánico | 18 | 26 | Instalar Transmisión | 61 | 82 | 63 | 84 | 21 | 0 | 2 | |
| Hojalat. | 19 | 22 | Instalar Ductos | 66 | 75 | 69 | 78 | 9 | 0 | 3 | |
| Aislam. | 20 | 24 | Aislar Ductos | 41 | 78 | 45 | 82 | 37 | 28 | 4 | |
| | 21 | 22 | Comodín | | | | | | | | |
| | 21 | 23 | Comodín | | | | | | | | |
| Hojalat. | 22 | 24 | Terminar Ductos | 69 | 78 | 73 | 82 | 9 | 0 | 4 | |
| Eléctrico | 23 | 27 | Conectar ventiladores | 57 | 83 | 59 | 85 | 26 | 26 | 2 | |
| Aisl-Pint. | 24 | 27 | Terminar aislamiento. | 73 | 82 | 76 | 85 | 9 | 9 | 3 | |
| Instrum. | 25 | 27 | Instalar instrumentos. | 81 | 81 | 85 | 85 | 0 | 0 | 4 | |
| Electrico | 26 | 27 | Conectar transmision. | 63 | 84 | 64 | 85 | 21 | 21 | 1 | |
| Proy-Tall. | 27 | 28 | Ajustes | 85 | 85 | 87 | 87 | 0 | 0 | 2 | |
| Proy-Prod. | 28 | 29 | Pruebas | 87 | 87 | 88 | 88 | 0 | 0 | 1 | |

PROGRAMA CON HOLGURAS

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

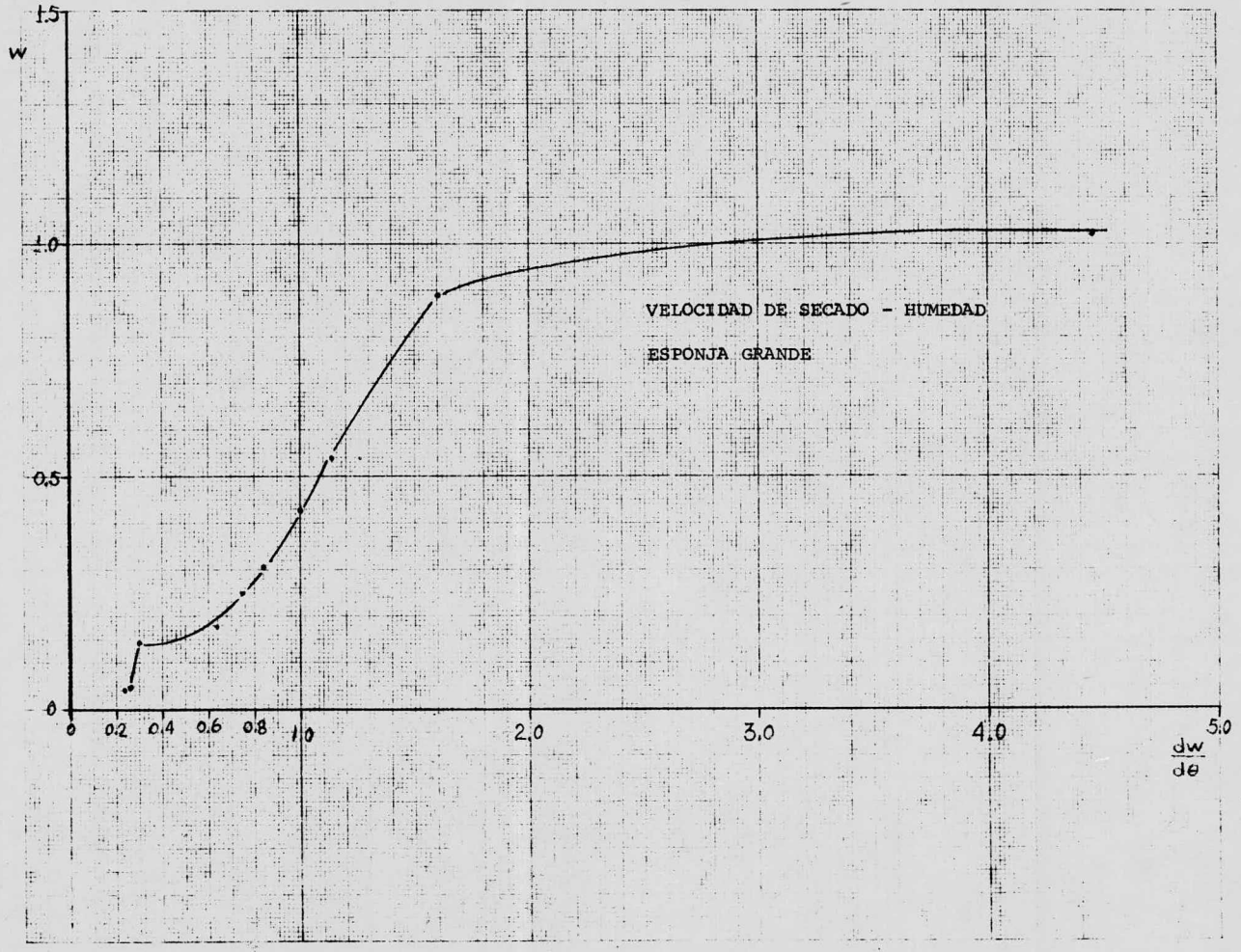
TESIS PROFESIONAL

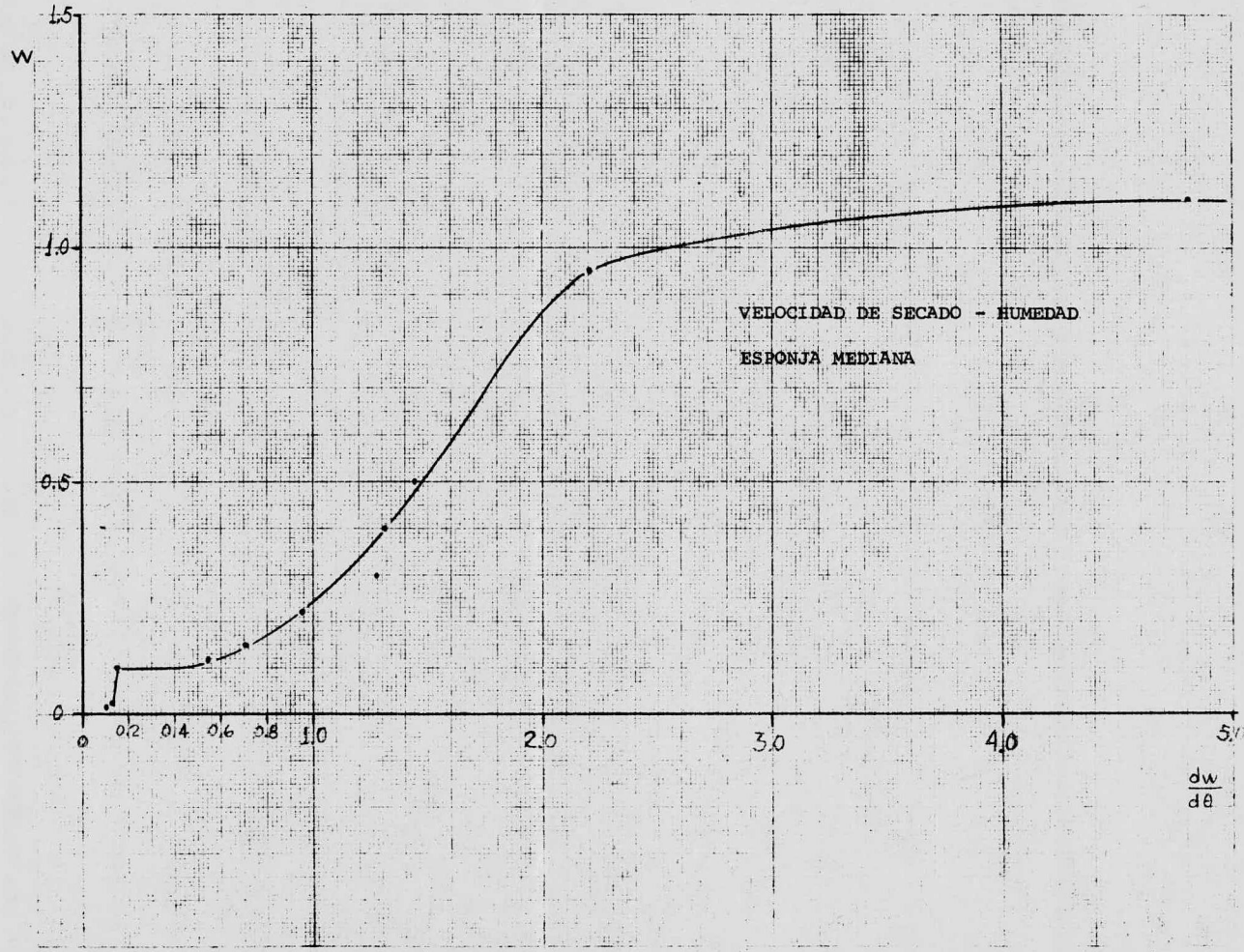
GABRIEL ALEMAN CORTES

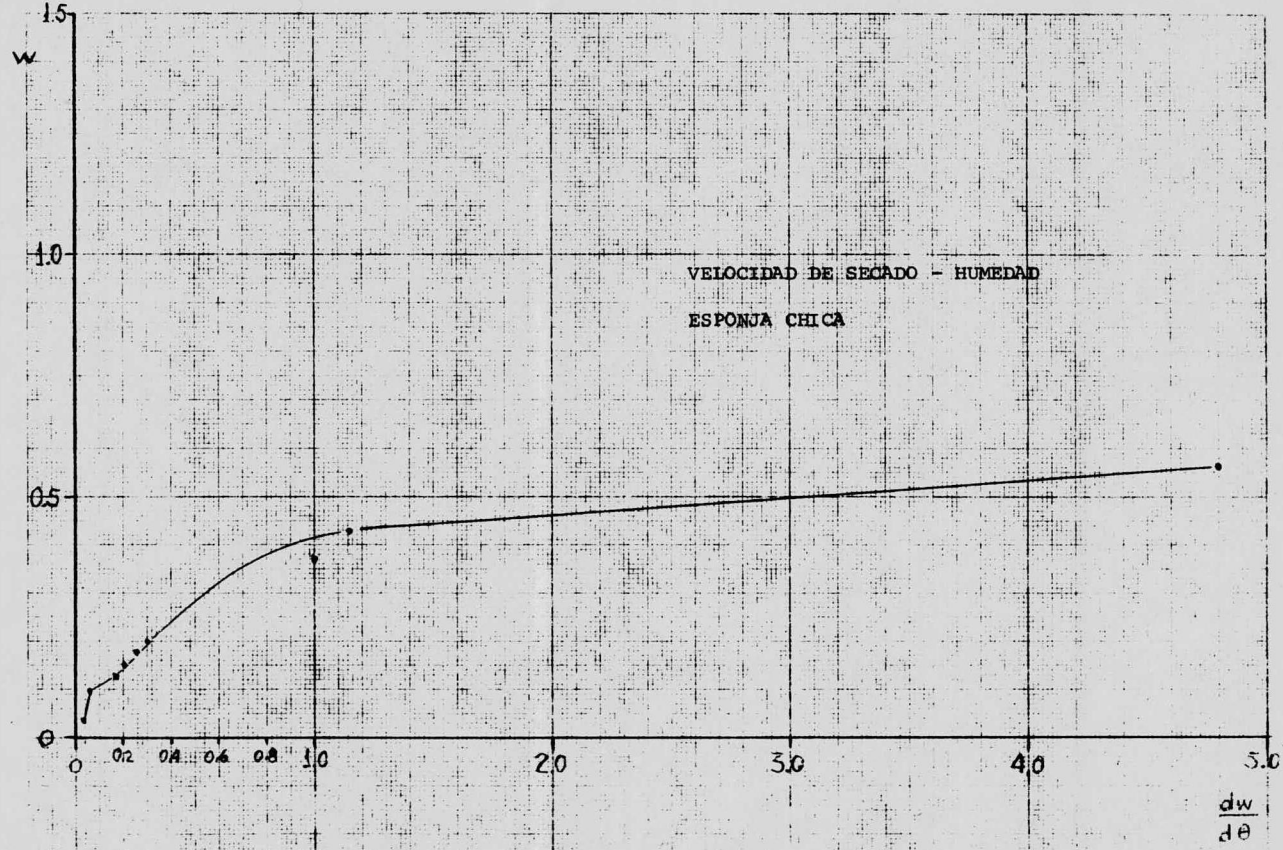
# DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

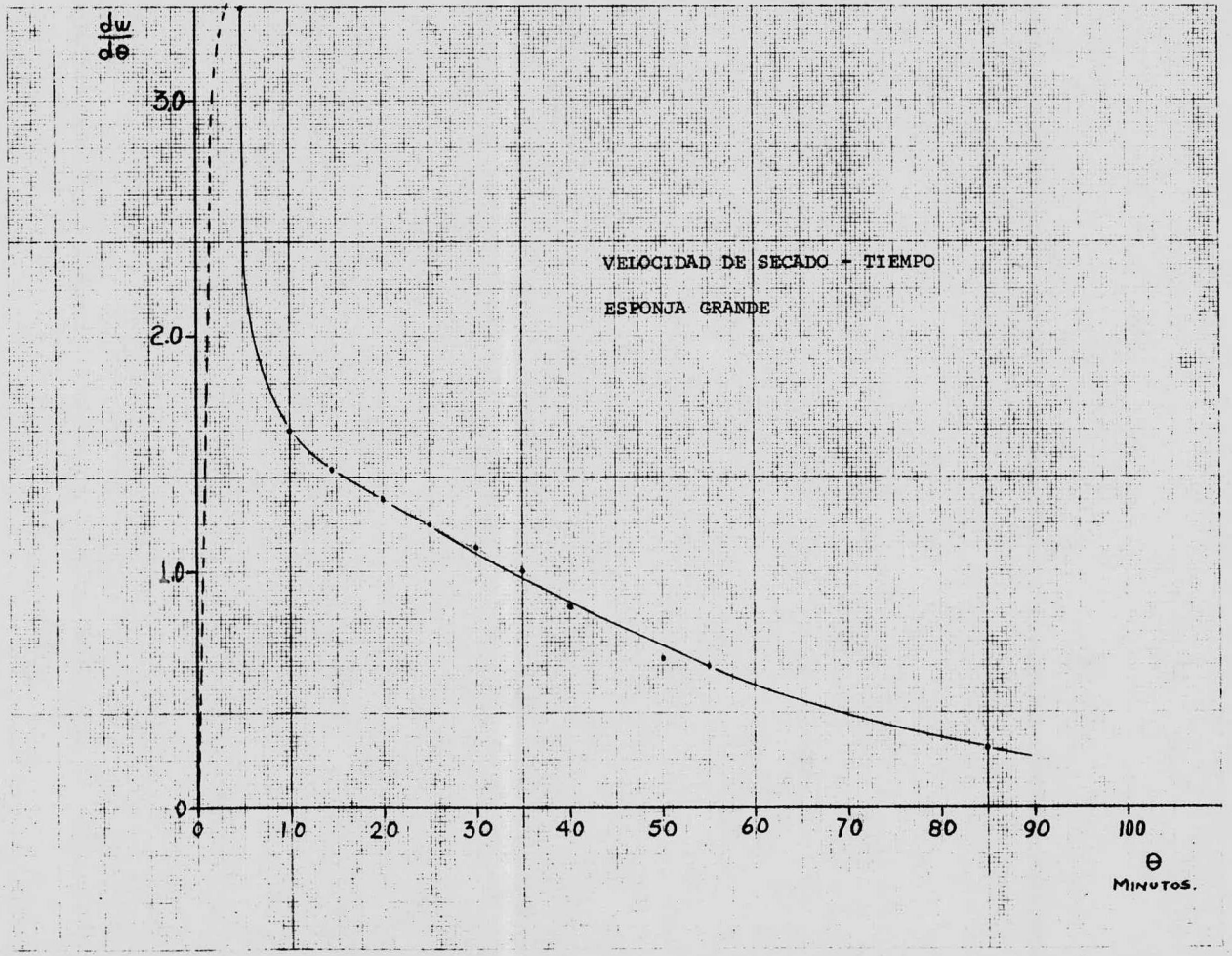
# Y

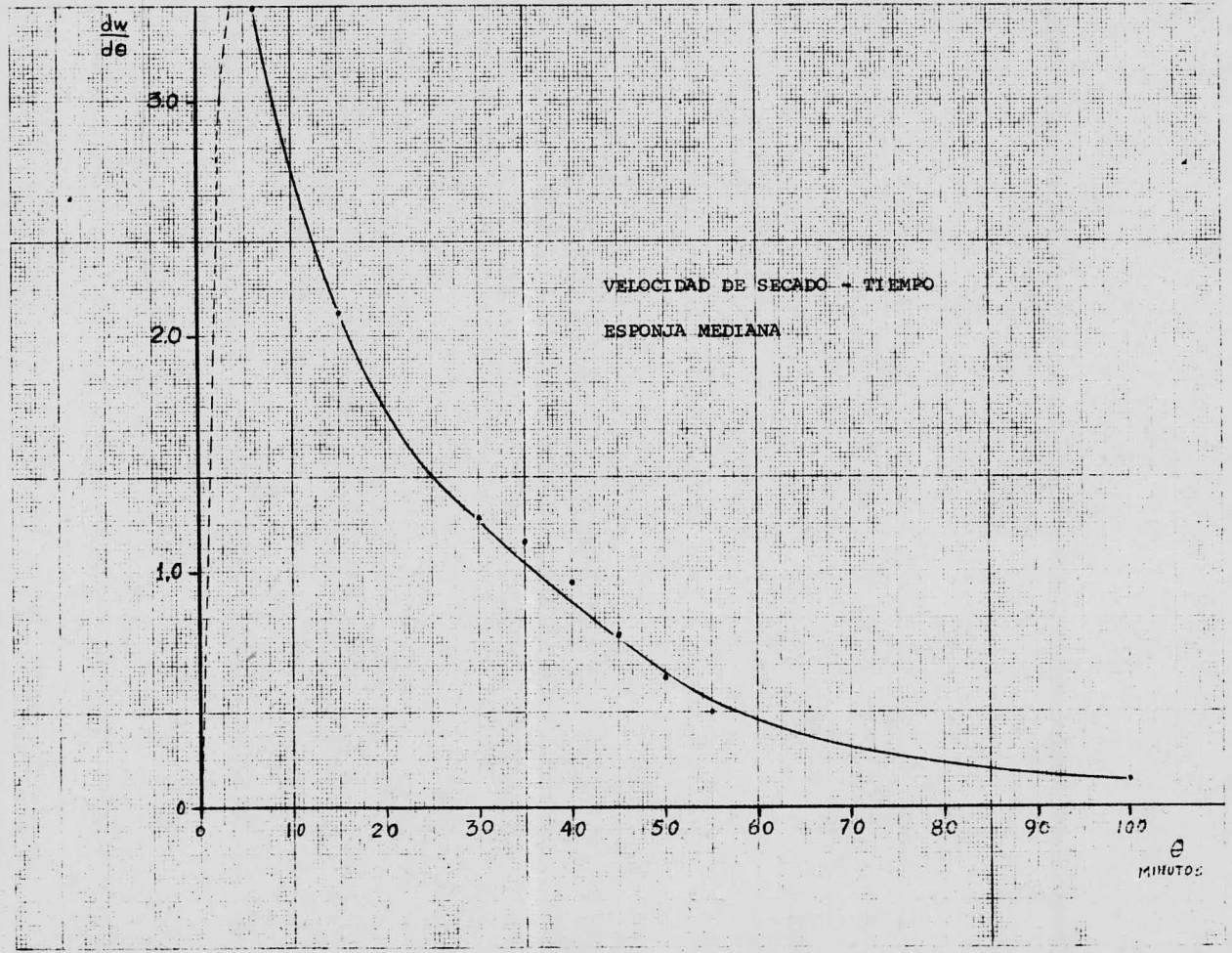
# REFERENCIAS DE EQUIPOS

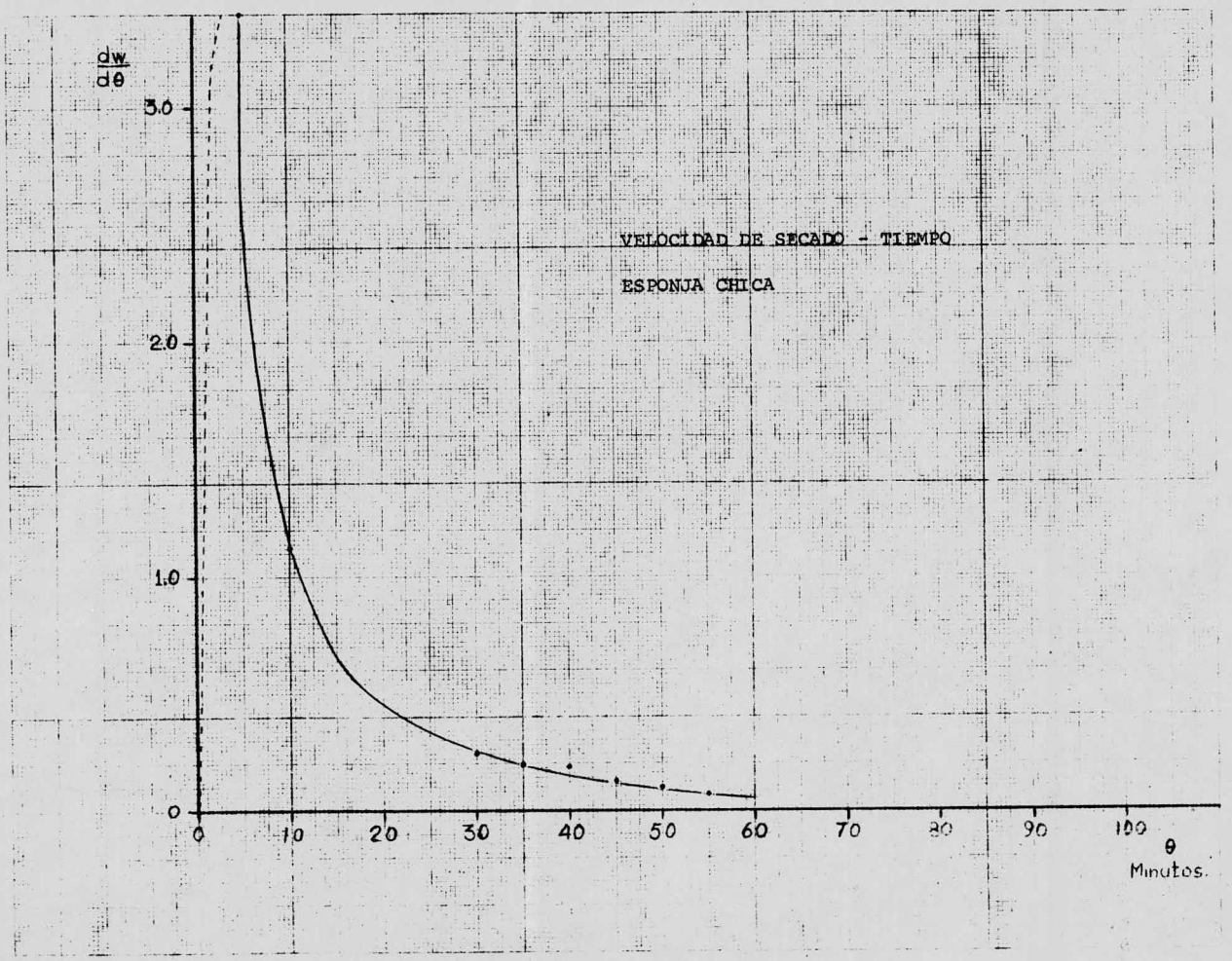

w
1.5
1.0
0.5
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
dw/dθ
VELOCIDAD DE SECADO - HUMEDAD
ESPONJA GRANDE

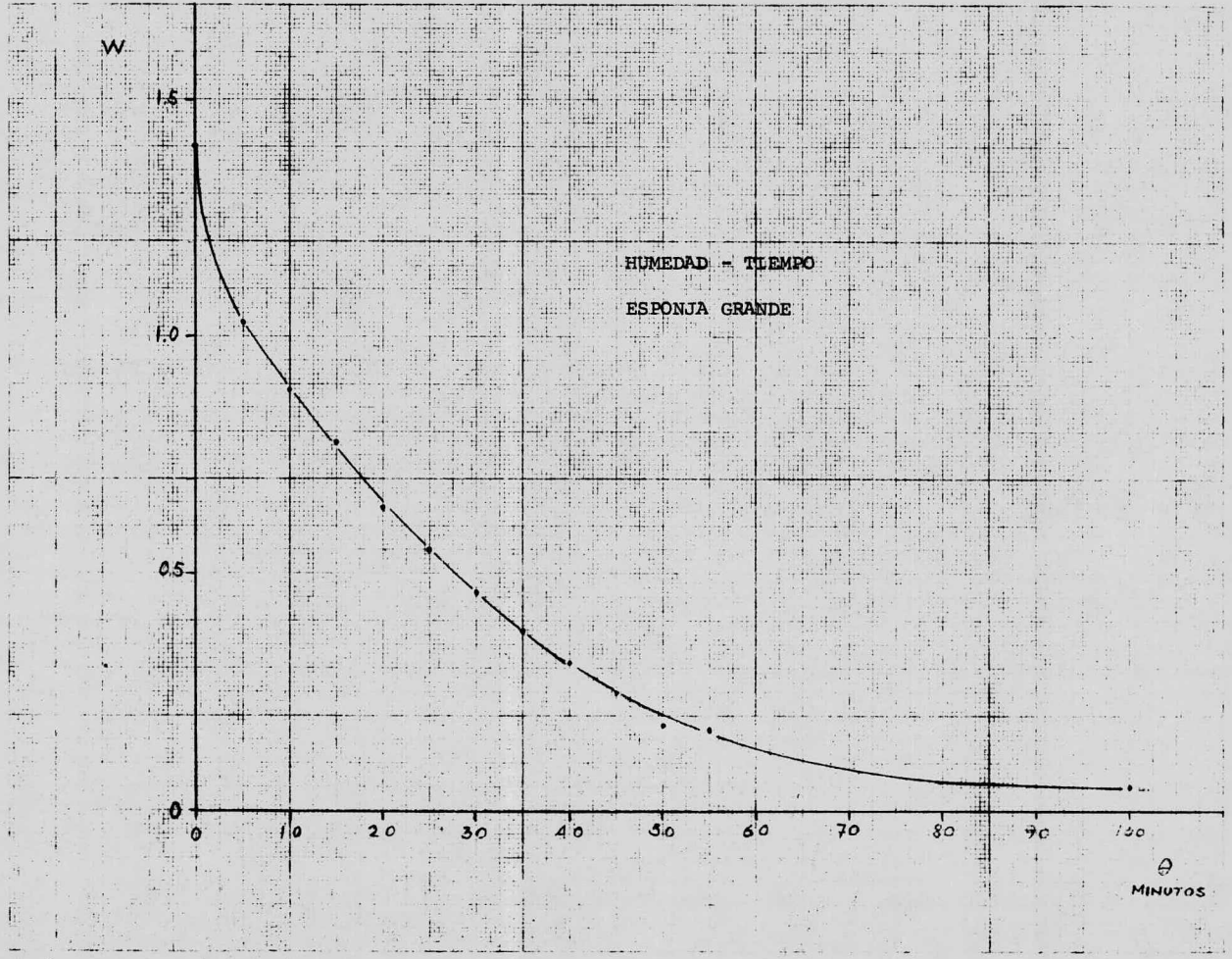

W
1.5
1.0
0.5
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
dw/dθ
VELOCIDAD DE SECADO - HUMEDAD
ESPONJA MEDIANA

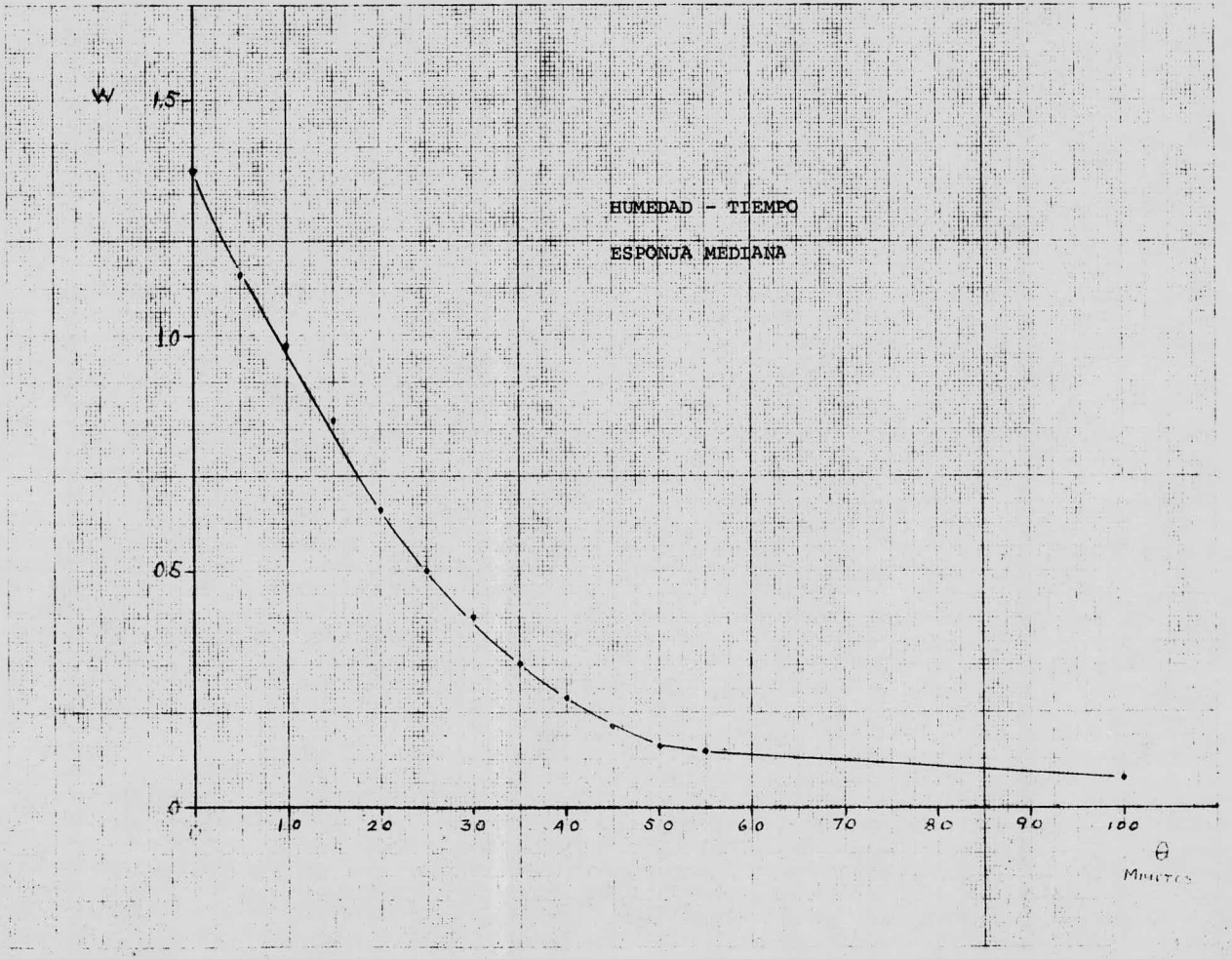

VELOCIDAD DE SECADO - HUMEDAD
ESPONJA CHICA
w
1.5
1.0
0.5
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
dw/dθ

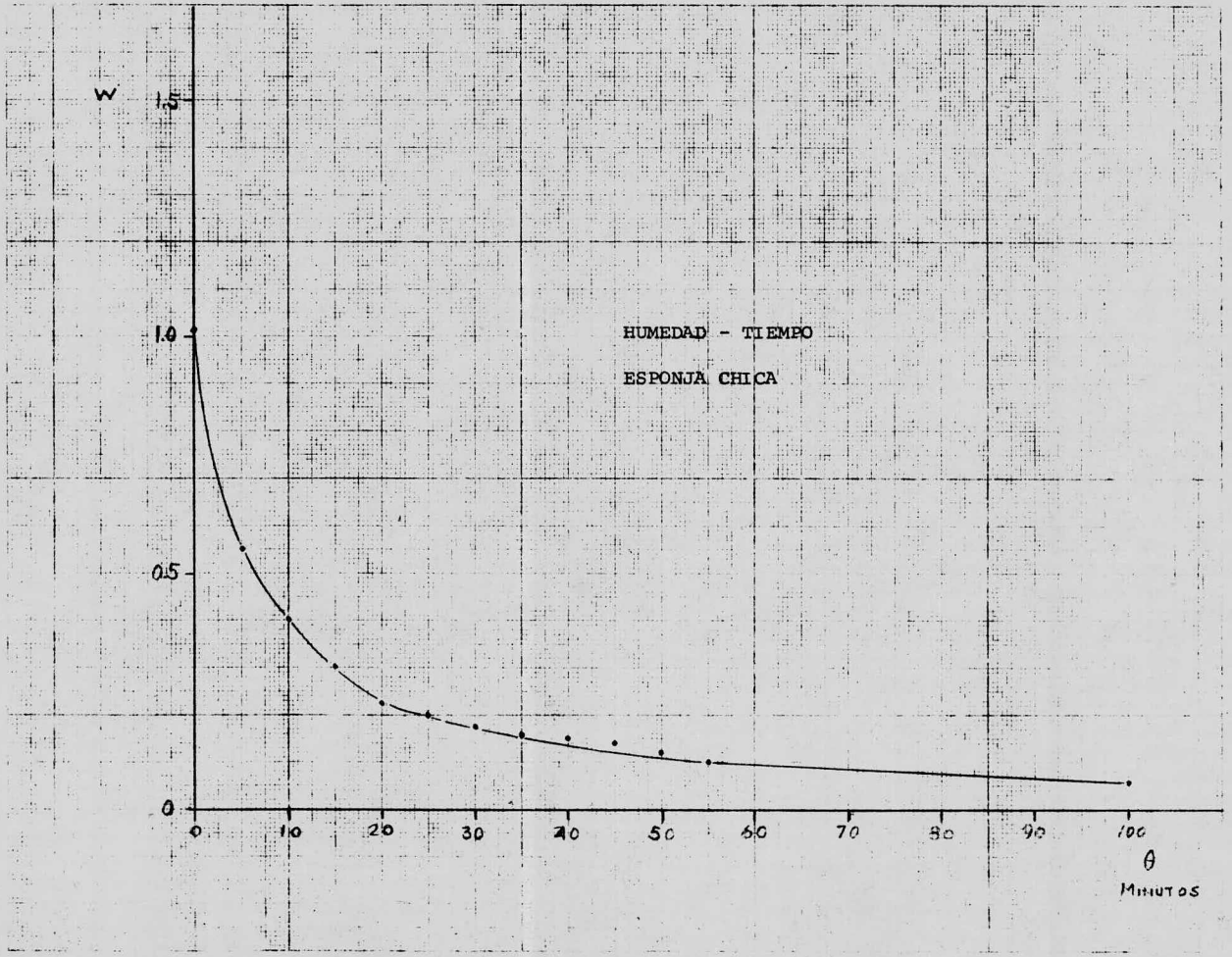

dw/dθ
3.0
2.0
1.0
0
VELOCIDAD DE SECADO - TIEMPO
ESPONJA GRANDE
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
θ
MINUTOS.

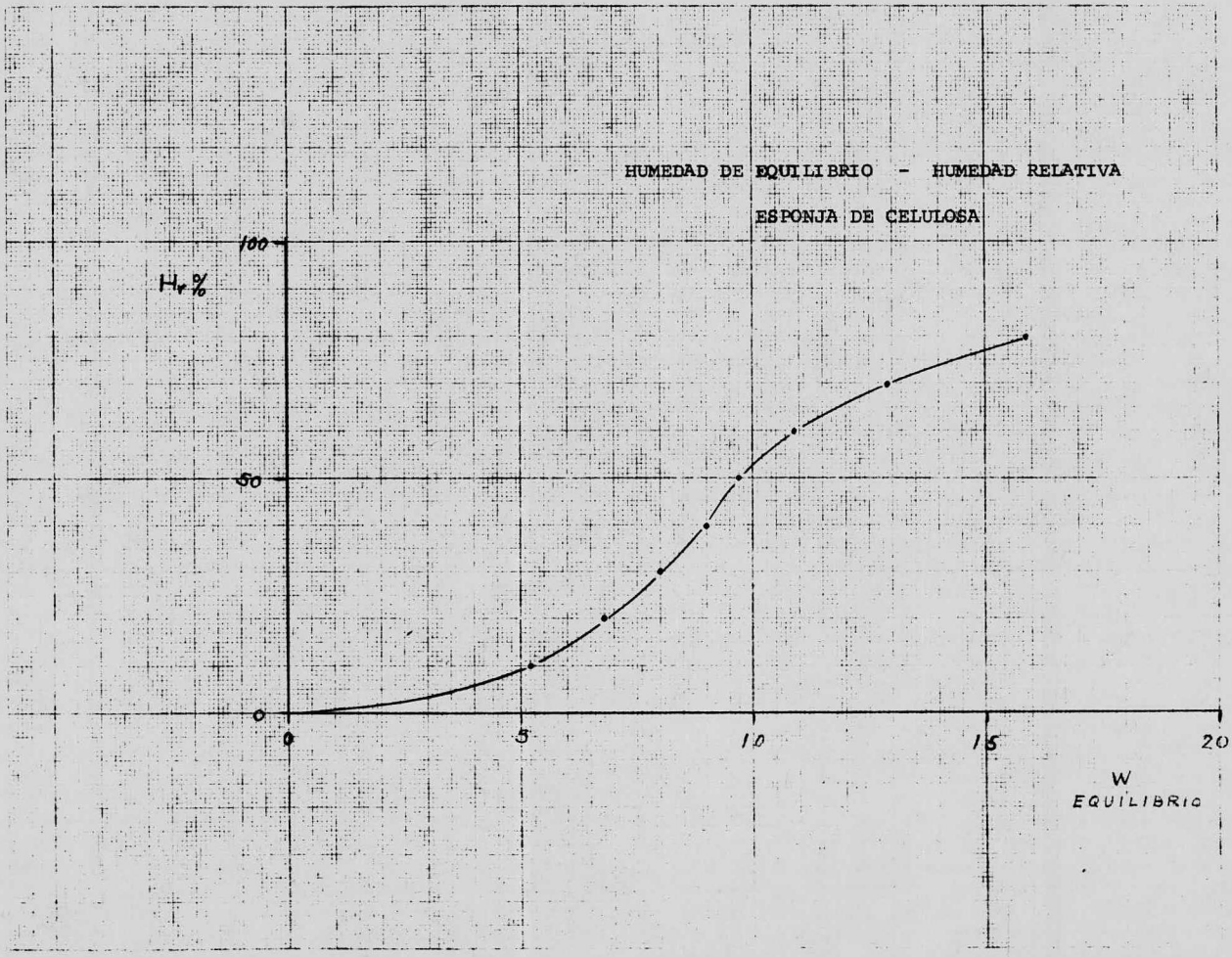

dw/dθ
3.0
2.0
1.0
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
θ
MINUTOS
VELOCIDAD DE SECADO - TIEMPO
ESPONJA MEDIANA

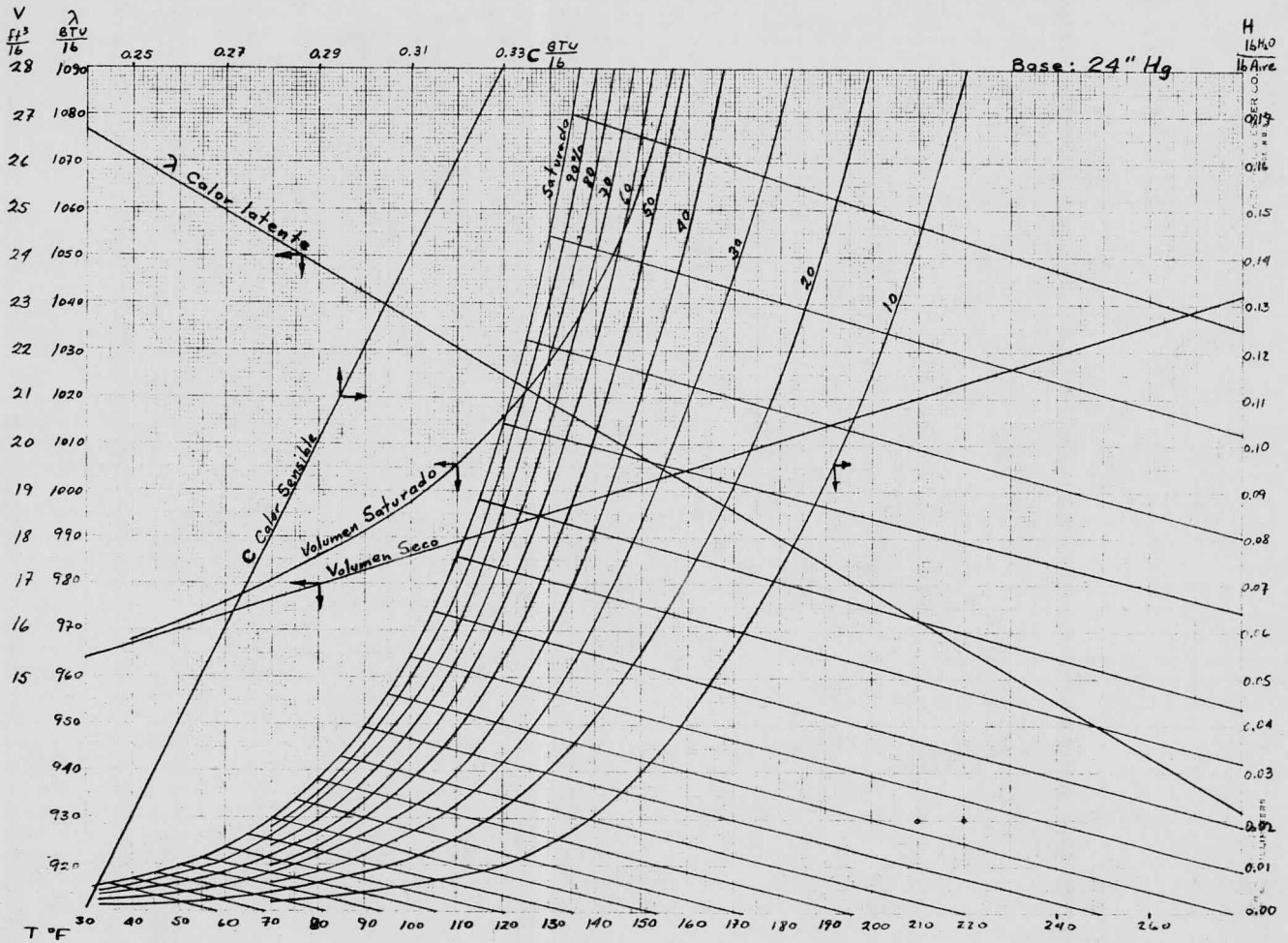

dw/dθ
3.0
2.0
1.0
0
VELOCIDAD DE SECADO - TIEMPO
ESPONJA CHICA
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
θ
Minutos.


W
1.5
1.0
0.5
0
HUMEDAD - TIEMPO
ESPONJA GRANDE
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
θ
MINUTOS


W
1.5
1.0
0.5
0
HUMEDAD - TIEMPO
ESPONJA MEDIANA
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
θ
Minutos


W
1.5
1.0
0.5
0
HUMEDAD - TIEMPO
ESPONJA CHICA
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
θ
MINUTOS

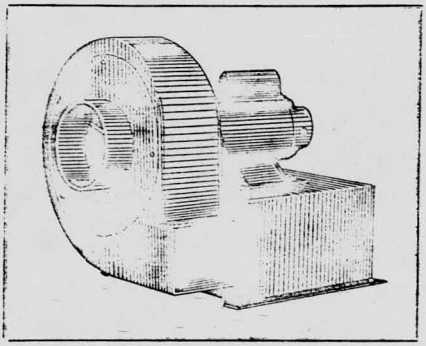

HUMEDAD DE EQUILIBRIO - HUMEDAD RELATIVA
ESPONJA DE CELULOSA
100
Hr %
50
0
0
5
10
15
20
W
EQUILIBRIO


V
Ft³/lb
λ
BTU/lb
C BTU/lb
Base: 24" Hg
H
lb H2O / lb Aire
λ Calor latente
C Calor Sensible
Volumen Saturado
Volumen Seco
Saturado
90%
80
70
60
50
40
30
20
10
T °F

COPIAS DE CATALOGOS.

APDO. POSTAL 31474
AV. TOLUCA 320 (Calz. de Amevalco, Oliver de los Padres, Villa Obregón) MEXICO 20, D. F.
TELS.: 48-03-99 48-21-31 48-12-80 48-13-13 48-12-76

# VENTILADORES EXTRACTORES PRESION VOLUMEN "ARMEE"



Recomendados para pequeños sistemas de [illegible] y extracción, donde el aire es transportado con partículas ásperas y duras o polvo, también para inyectar aire a presión (hasta 150 mm.), para transporte de materiales, enfriamiento, etc.

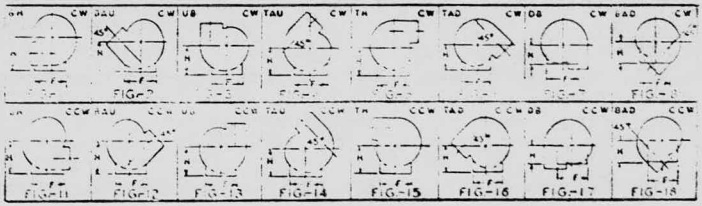
De gran uso en fraguas, laboratorios den[illegible] ópticos y en joyerías donde la recolección de [illegible] residuos es necesario.

Robusta construcción en lámina, con rotor de aspas radiales de auto-limpieza balanceado [illegible]-trodinámicamente, en cualquier material como acero, aluminio, bronce, etc.
Fabricados para rotación según las manecillas del reloj (CW) y descarga horizontal abajo (B[illegible], pueden ser cambiados a otra descarga al momento de instalarse o al ordenar su envío.
Acabados en pintura inoxidable.

## TABLA DE CARACTERISTICAS

| MODELO | PESO Kg. | RPM | CAPACIDAD EN M³ / Min. | | | | | | MOTOR | ENT. | SALIDA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 25 mm | 50 mm. | 75 mm. | 100 mm. | 125 mm. | 150 mm | | | |
| A-356 | 10.000 | 3500 | 15.0 | 13.5 | 11.7 | 9.5 | 4.5 | —— | 1/3 HP | 125 | 95x95 mm. |
| | | 2900 | 12.5 | 11.2 | 9.8 | 7.9 | 3.8 | | 1/4 HP | mm. | |
| A-357 | 17.200 | 3500 | 23.0 | 21.6 | 20.4 | 18.7 | 16.4 | 13.6 | 1 HP | 150 | 95X102 mm. |
| | | 2900 | 19.2 | 18.0 | 17.0 | 15.6 | 13.7 | 11.3 | 3/4 HP | mm. | |
| A-358 | 22.500 | 3500 | 40.4 | 37.6 | 34.7 | 31.7 | 28.6 | 25.6 | 2 HP | 175 | 102X127 mm. |
| | | 2900 | 33.6 | 31.4 | 29.0 | 26.4 | 23.8 | 21.4 | 1.5 HP | mm. | |
| A-359 | 45.500 | 3500 | 60.5 | 57.4 | 54.5 | 51.5 | 48.5 | 45.7 | 5. HP | 200 | 181x146 mm. |
| | | 2900 | 50.5 | 47.8 | 45.5 | 43.0 | 40.5 | 38.2 | 3. HP | mm. | |

## DIFERENTES POSICIONES DE DESCARGA Y SENTIDOS DE ROTACION POSIBLES.



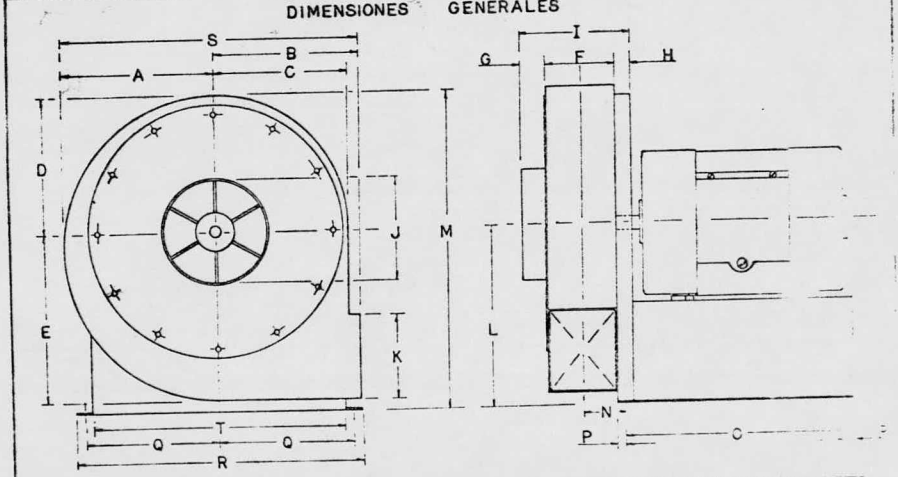
## TABLA DE CORRECCION POR ALTITUD Y TEMPERATURA PARA AIRE [illegible] Y SECO.

| Temperatura | | 0 mts. | 152 | 305 | 457 | 610 | 762 | 915 | 1069 | 1220 | 1372 | 1524 | 1676 | 1829 | 1981 | 2134 | 2[illegible] | 2[illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| °C | °F | 0 pies | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 4500 | 5000 | 5500 | 6000 | 6500 | 7000 | 750[illegible] | [illegible]00 | [illegible] | 5000 | [illegible].000 | |
| - 17.7 | 0° | .87 | .89 | .91 | .92 | .94 | .96 | .98 | .99 | 1.01 | 1.03 | 1.05 | 1.06 | 1.09 | 1.10 | 1.13 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible].22 | [illegible].25 | |
| 4.4 | 40° | .94 | .96 | .98 | 1.00 | 1.02 | 1.04 | 1.06 | 1.08 | 1.10 | 1.12 | 1.14 | 1.16 | 1.19 | 1.21 | 1.23 | 1.[illegible] | 1.28 | [illegible] | [illegible].32 | 1.36 | |
| 21.1 | 70° | 1.00 | 1.02 | 1.04 | 1.06 | 1.08 | 1.10 | 1.12 | 1.14 | 1.16 | 1.18 | 1.20 | 1.22 | 1.25 | 1.27 | 1.30 | 1.32 | 1.35 | [illegible] | [illegible].40 | 1.45 | |
| 26.6 | 80° | 1.02 | 1.04 | 1.06 | [illegible].08 | 1.10 | 1.12 | 1.14 | 1.16 | 1.18 | 1.19 | 1.21 | 1.23 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.33 | 1.36 | 1.38 | [illegible] | 1.46 | |
| 37.7 | 100° | 1.06 | 1.08 | 1.10 | 1.12 | 1.14 | 1.16 | 1.19 | 1.21 | 1.23 | 1.25 | 1.28 | 1.30 | 1.33 | 1.35 | 1.38 | 1.41 | 1.43 | [illegible] | 1.48 | 1.54 | |
| 48.8 | 120° | 1.09 | 1.12 | 1.14 | 1.16 | 1.18 | 1.20 | 1.23 | 1.25 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.35 | 1.38 | 1.40 | 1.43 | 1.46 | 1.48 | [illegible] | 1.53 | 1.60 | |
| 60.0 | 140° | 1.13 | 1.15 | 1.18 | 1.20 | 1.22 | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.32 | 1.34 | 1.37 | 1.40 | 1.42 | 1.45 | 1.48 | [illegible] | 1.54 | [illegible] | [illegible].58 | 1.65 | |
| 71.1 | 160° | 1.17 | 1.19 | 1.22 | 1.24 | 1.26 | 1.29 | 1.31 | 1.34 | 1.36 | 1.39 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.50 | 1.53 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 1.70 | |
| 82.2 | 180° | 1.21 | 1.23 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.33 | 1.36 | 1.38 | 1.41 | 1.43 | 1.46 | 1.49 | 1.52 | 1.55 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 1.64 | [illegible] | [illegible].75 | |
| 93.3 | 200° | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.32 | 1.34 | 1.37 | 1.40 | 1.42 | 1.45 | 1.48 | 1.51 | 1.54 | 1.57 | 1.60 | [illegible] | [illegible] | 1.69 | [illegible] | [illegible] | 1.81 | |
| 121.1 | 250° | 1.34 | 1.36 | 1.39 | 1.42 | 1.45 | 1.47 | 1.50 | 1.53 | 1.56 | 1.59 | 1.62 | 1.65 | 1.68 | 1.71 | 1.74 | 1.78 | 1.82 | 1.85 | 1.88 | 1.94 | |
| 149.0 | 300° | 1.43 | 1.46 | 1.49 | 1.52 | 1.55 | 1.58 | 1.61 | 1.64 | 1.67 | 1.70 | 1.74 | 1.77 | 1.80 | 1.84 | 1.87 | 1.91 | 1.94 | 1.98 | 2.00 | 2.08 | |
| 177.0 | 350° | 1.53 | 1.56 | 1.59 | 1.62 | 1.65 | 1.68 | 1.72 | 1.75 | 1.78 | 1.81 | 1.85 | 1.88 | 1.92 | 1.96 | 2.00 | 2.04 | 2.07 | 2.11 | 2.14 | 2.22 | |
| 204.4 | 400° | 1.62 | 1.65 | 1.69 | 1.72 | 1.75 | 1.79 | 1.82 | 1.85 | 1.89 | 1.93 | 1.96 | 2.00 | 2.04 | 2.08 | 2.12 | 2.16 | 2.20 | 2.25 | 2.27 | 2.35 | |
| 232.2 | 450° | 1.72 | 1.75 | 1.79 | 1.82 | 1.86 | 1.89 | 1.93 | 1.96 | 2.00 | 2.04 | 2.08 | 2.12 | 2.16 | 2.20 | 2.24 | 2.29 | 2.33 | 2.38 | 2.41 | 2.50 | |
| 260.0 | 500° | 1.81 | 1.85 | 1.88 | 1.92 | 1.96 | 1.99 | 2.03 | 2.07 | 2.11 | 2.15 | 2.19 | 2.23 | 2.28 | 2.32 | 2.36 | 2.41 | 2.46 | 2.51 | 2.54 | 2.62 | |
| 287.8 | 550° | 1.91 | 1.94 | 1.98 | 2.02 | 2.06 | 2.10 | 2.14 | 2.18 | 2.22 | 2.26 | 2.30 | 2.35 | 2.40 | 2.44 | 2.49 | 2.54 | 2.58 | 2.63 | 2.68 | 2.77 | |
| 315.6 | 600° | 2.00 | 2.04 | 2.08 | 2.12 | 2.16 | 2.20 | 2.24 | 2.29 | 2.33 | 2.38 | 2.42 | 2.47 | 2.50 | 2.56 | 2.61 | 2.66 | 2.71 | [illegible] | 2.80 | 2.90 | |
| 343.3 | 650° | 2.10 | 2.14 | 2.18 | 2.22 | 2.26 | 2.31 | 2.35 | 2.40 | 2.44 | 2.49 | 2.54 | 2.58 | 2.63 | 2.68 | 2.74 | 2.79 | 2.84 | [illegible] | 2.94 | 3.04 | |
| 371.1 | 700° | 2.19 | 2.23 | 2.27 | 2.32 | 2.36 | 2.41 | 2.46 | 2.50 | 2.55 | 2.60 | 2.65 | 2.70 | 2.75 | 2.80 | 2.86 | 2.91 | 2.97 | [illegible] | [illegible] | 3.18 | |
| 398.9 | 750° | 2.28 | 2.33 | 2.37 | 2.42 | 2.47 | 2.51 | 2.56 | 2.61 | 2.66 | 2.71 | 2.76 | 2.81 | 2.87 | 2.92 | 2.98 | 3.04 | 3.10 | 3.16 | 3.19 | 3.31 | |
| 426.7 | 800° | 2.38 | 2.43 | 2.48 | 2.52 | 2.57 | 2.62 | 2.66 | 2.72 | 2.76 | 2.81 | 2.8 | 2.90 | 2.98 | 3.02 | 3.10 | 3.14 | 3.21 | 3.26 | 3.33 | 3.45 | |
| 454.4 | 850° | 2.47 | 2.52 | 2.57 | 2.62 | 2.67 | 2.72 | 2.76 | 2.82 | 2.87 | 2.92 | 2.9 | 3.02 | 3.09 | 3.14 | 3.21 | 3.26 | 3.33 | 3.38 | 3.46 | 3.58 | |
| 482.2 | 900° | 2.57 | 2.62 | 2.67 | 2.72 | 2.76 | 2.83 | 2.88 | 2.93 | 2.98 | 3.03 | 3.08 | 3.14 | 3.21 | 3.26 | 3.34 | 3.39 | 3.47 | 3.52 | 3.60 | 3.73 | |
| 510.0 | 950° | 2.66 | 2.72 | 2.77 | 2.82 | 2.87 | 2.92 | 2.98 | 3.03 | 3.08 | 3.14 | 3.19 | 3.24 | 3.32 | 3.38 | 3.46 | 3.51 | 3.58 | 3.64 | 3.72 | 3.86 | |
| 537.8 | 1000° | 2.76 | 2.82 | 2.87 | 2.92 | 2.98 | 3.04 | 3.09 | 3.14 | 3.20 | 3.26 | 3.31 | 3.37 | 3.45 | 3.50 | 3.59 | 3.64 | 3.72 | 3.78 | 3.86 | 4.00 | |

Con el factor anterior correspondiente a la temperatura y altitud de operación, corríjase la presión estática entrando a la tabla de capacidades con el volumen deseado en la columna de presión corregida, eligiéndose de esta manera la velocidad de giro. La potencia efectiva será la que se lee junto a la velocidad de giro, dividida entre el factor de corrección.

Las características expresadas en este catálogo son consideradas al nivel del mar, a temperatura de 21.11°C. (70°F) para aire puro y seco. Para usarse esta característica con gas distinto del aire hágase la corrección por densidad.

### DIMENSIONES GENERALES




| MODELO | ROTOR Ø | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A-356 | 229 | 175 | 175 | 153 | 155 | 207 | 89 | 28 | 38 | 155 | 127 | 89 | 257 | 412 | 82 | 178 | 38 | 114 | [illegible] |
| A-357 | 370 | 200 | 200 | 170 | 180 | 220 | 89 | 38 | 38 | 162 | 150 | 100 | 270 | 450 | 82 | 219 | 38 | 170 | 37 |
| A-358 | 318 | 229 | 230 | 190 | 209 | 235 | 100 | 50 | 38 | 188 | 178 | 127 | 285 | 494 | 88 | 219 | 38 | 190 | 425 |
| A-359 | 343 | 245 | 246 | 201 | 224 | 243 | 146 | 57 | 38 | 241 | 203 | 181 | 293 | 517 | 111 | 450 | 38 | 213 | 495 |

## TYPE A AND T STEAM HEATING COIL SELECTION EXAMPLE
## USE OF TABLES 3 THROUGH 5

**Requirements:**

Heat 9600 SCFM from 45° to 125° with 5 psig saturated steam pressure. Type A (or Type T) Coil Specified.

**Find:**

(1) Coil size, (2) Lbs. of steam condensed, (3) Air friction, (4) Over-all dimensions.

**Solution:**

(1) Assume 600 ft/min face velocity.

Required face area $= \frac{9600}{600} = 16$ sq. ft.

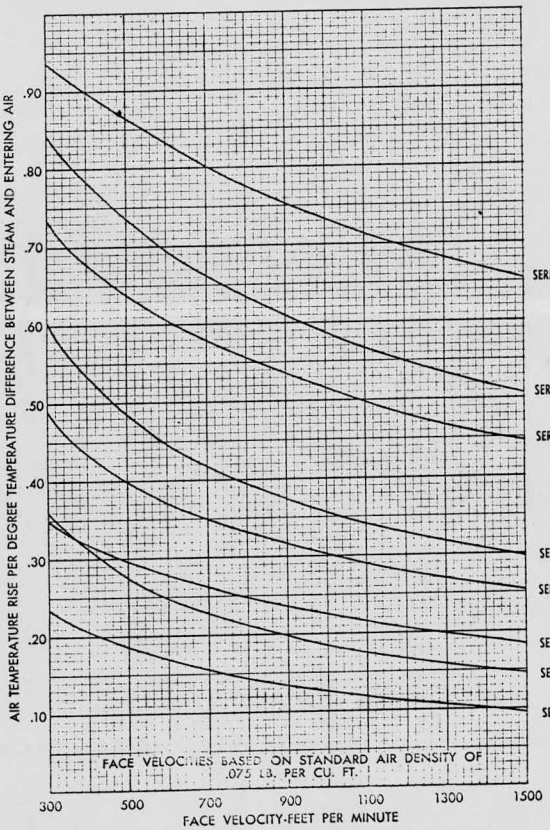
From Table 8, Page 22, a 24" x 96" coil will have a face area of 16 sq. ft. Referring to Table 5, at [illegible] face velocity and 45° entering air, Series [illegible] would give a final air temperature of 120°.

(2) From Table 5, steam consumption is [illegible] lbs. per hr. per sq. ft. of face area. Total steam consumption equals 55.5 x 16 = 890 lbs/hr.

(3) From Chart 10, Page 24, air friction is [illegible] inches of water.

(4) From Table 18 and Figure 37, Page 26, for the Type A Coil selected, the over-all dimensions are 25½" high by 100⅜" long by 4" deep.

CHART 4—TRANE TYPE A AND T COIL TEMPERATURE RISE CHART




**TYPE A AND T COIL [illegible]**
**EXAMPLE FOR USE OF [illegible]**

**Requirements:**

Select the proper fin series and [illegible] tubes to heat air from [illegible]° to [illegible] saturated steam at 90 psig. Face [illegible] to be 750 ft/min.

**Solution:**

(1) Temperature rise required: [illegible]° — 40° = 186°

(2) Temperature difference between steam and entering air: 331° — 40° = 291°

(3) Air temperature rise per degree temperature difference between steam and entering air: $\frac{186}{291} = .64$

(4) The intersection of the 750 ft/min and .64 factor lines on Chart 4 is slightly below the capacity curve for two one-row Series 18 coils. Select two 1-row Series 18 Type A Coils installed for series airflow.

(5) Actual final temperature: $(\frac{TR}{ITD} \times ITD) + T$ ent. air $= T$ final air

$(.65 \times 291°) + 40° = 229°$

TABLE 7— PROPERTIES OF STEAM

| GAGE PRESS (LBS.) | TEMP. °F | LAT. HEAT |
|---|---|---|
| 2 | 219 | 965 |
| 5 | 227 | 960 |
| 10 | 239 | 952 |
| 15 | 250 | 945 |
| 20 | 259 | 938 |
| 25 | 267 | 933 |
| 30 | 274 | 928 |
| 40 | 287 | 919 |
| 50 | 298 | 911 |
| 60 | 307 | [illegible] |
| 70 | 316 | [illegible] |
| 80 | 324 | 898 |
| 90 | 331 | 893 |
| 100 | 338 | 888 |
| 125 | 353 | [illegible] |
| 150 | [illegible] | [illegible] |
| 175 | 377 | [illegible] |
| 200 | [illegible] | [illegible] |

CHART 9—AIR FRICTION (INCHES OF WATER) FOR TYPE NS AND N COILS

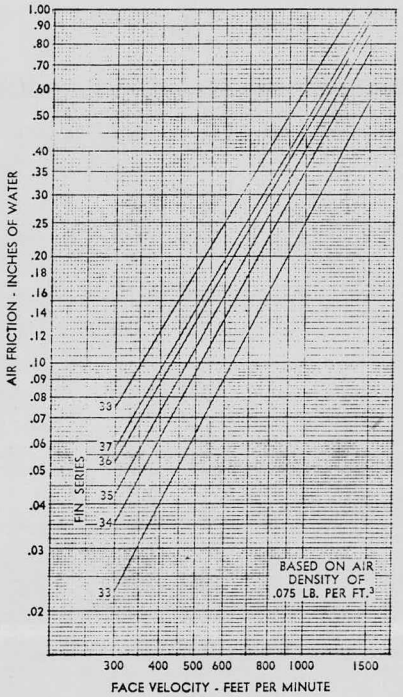
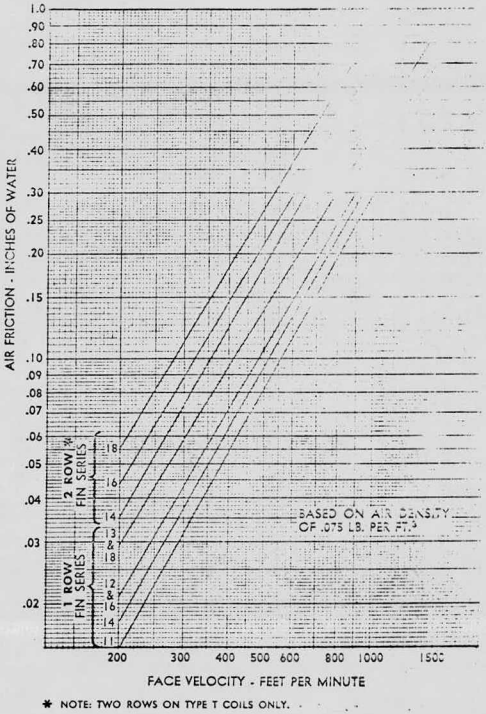



CHART 10—AIR FRICTION (INCHES OF WATER) FOR TYPE A, AW AND T COILS




* NOTE: TWO ROWS ON TYPE T COILS ONLY.

## SPECIFY DIRECTION OF AIR FLOW AND COIL SUPPLY CONNECTION WHEN ORDERING

On all coil orders the direction of air flow through the coil, and left or right supply connection must be specified, as follows:

DIRECTION OF AIR FLOW—Specify as *horizontal, vertical up,* or *vertical down.*

COIL SUPPLY CONNECTION—Specify *left* or *right,* determined by facing the air discharge side of the coil. If the coil is to be installed with the tubes vertical, the order must indicate *vertical tubes.*

## CHART 11—AIR VOLUME CONVERSION CHART (RIGHT)

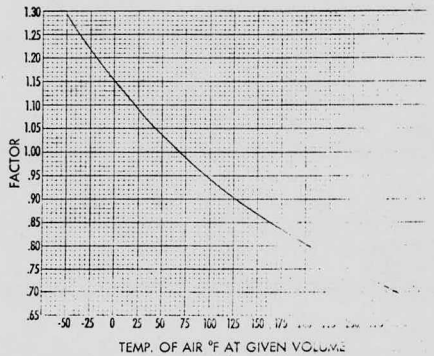
IN MOST PROBLEMS INVOLVING THE SELECTION OF BLAST COILS AIR VOLUME IS GIVEN IN CFM, MEASURED AT STANDARD CONDITIONS (70°F., 29.92 HG).

WHEN SPECIFIED AIR VOLUME IS BASED ON ANY TEMPERATURE OTHER THAN 70°, THIS CHART SHOULD BE USED FOR CORRECTION BEFORE APPLYING CAPACITY AND FRICTION TABLES, WHICH ARE BASED ON STANDARD AIR.

CFM (AT GIVEN TEMP.) × FACTOR = CFM (AT 70°)

THE FRICTION TAKEN FROM THE TABLE USING CFM AT 70° MUST THEN BE CORRECTED.

$$\frac{\text{FRICTION (@ 70°)}}{\text{FACTOR.}} = \text{FRICTION (AT GIVEN TEMP.)}$$



## DIMENSIONAL DATA (CONTINUED)

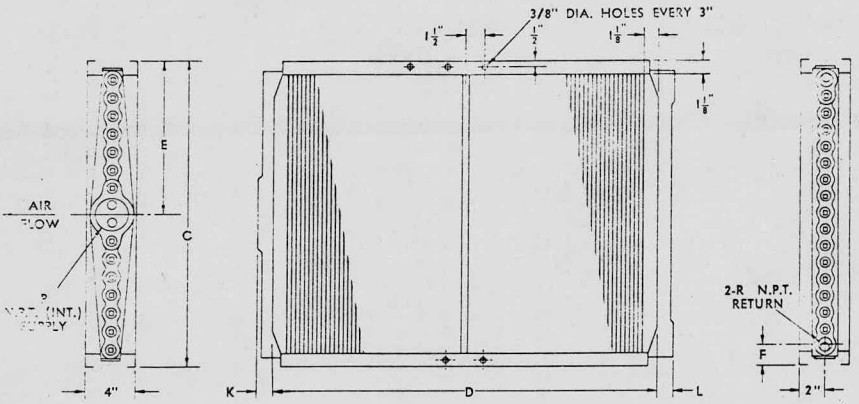



FIGURE 37—Type A Coil Dimensions (See Table 18).

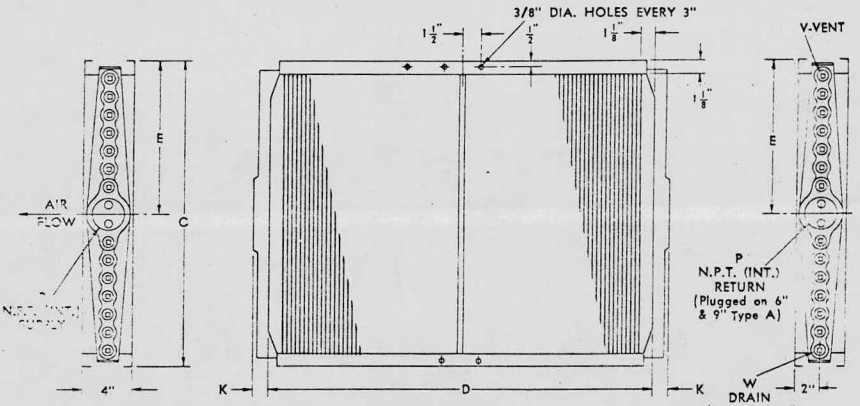



FIGURE 38—Type AW Coil Dimensions (See Table 19).

TABLE 18—TYPE A COIL DIMENSIONS

| DIMENSION (IN.) | (REFER TO FIGURE 37) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | FINNED LENGTH + 1⅜ IN. | | | | | | |
| FINNED WIDTH | 6* | 9* | 12 | 18 | 24 | 30 | 33 |
| C | 7½ | 10½ | 13½ | 19½ | 25½ | 31½ | 34½ |
| E | 3 | 4½ | 6 | 9¾ | 12¾ | 15¾ | 17¼ |
| F | 1⅜ | 1⅜ | 1⅜ | 1⅜ | 1⅜ | 2 | 2 |
| P | 1 | 1 | 1¼ | 2½ | 2½ | 2½ | 2½ |
| V | ¾ | 1 1/16 | 1 1/16 | 1 1/16 | 1 1/16 | 1 1/16 | 1 1/16 |
| W | ¾ | 1 1/16 | 1 1/16 | 1⅜ | 1⅜ | 1⅜ | 1⅜ |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | ¾ | 1 | 1 | 1 | 1 |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |

*REFER TO FIGURE 38 FOR DIMENSIONING OF TYPE A COILS OF 6" AND 9" FINNED WIDTHS. DIMENSION "W" IS RETURN CONNECTION FOR 6" AND 9" TYPE A COILS ONLY, AS SHOWN IN FIGURE 38, WITH "P" ON RETURN HEADER PLUGGED.

TABLE 19—TYPE AW COIL DIMENSIONS

| DIMENSION (IN.) | (REFER TO FIGURE 38) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D | FINNED LENGTH + 1⅜ IN. | | | | | | |
| FINNED WIDTH | 6 | 9 | 12 | 18 | 24 | 30 | 33 |
| C | 7½ | 10½ | 13½ | 19½ | 25½ | 31½ | 34½ |
| E | 3 | 4½ | 6 | 9¾ | 12¾ | 15¾ | 17¼ |
| F | 1⅜ | 1⅜ | 1⅜ | 1⅜ | 1⅜ | 2 | 2 |
| P | 1 | 1 | 1¼ | 2½ | 2½ | 2½ | 2½ |
| V | ¾ | ¾ | ½ | ½ | ½ | ½ | ½ |
| W | ¾ | ¾ | ½ | ½ | ½ | ½ | ½ |

NOTES: DRAWINGS SHOW COILS FOR HORIZONTAL AIR FLOW AND RIGHT HAND SUPPLY CONNECTION—INVERT DRAWINGS FOR HORIZONTAL AIR FLOW AND LEFT HAND SUPPLY CONNECTION.

ALL DIMENSIONS ARE APPROXIMATE FOR ROUGHING-IN PURPOSES. DETAILED CERTIFIED DRAWINGS ARE AVAILABLE ON REQUEST.

## TABLE 10—FRICTION OF RECTANGULAR DUCT SYSTEM ELEMENTS (Contd)

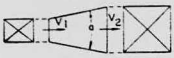
### Transformer

$V_2 = V_1$

S.P. Loss = $nhv_1$

$n^{\pm}$ = .15

### Expansion

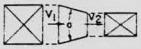



"n"

| | Angle "a" | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $v_2/v_1$ | 5° | 10° | 15° | 20° | 30° | 40° |
| .20 | .83 | .74 | .68 | .62 | .52 | .48 |
| .40 | .89 | .83 | .78 | .74 | .68 | .64 |
| .60 | .93 | .87 | .84 | .82 | .79 | .77 |

S.P. Regain = $n(hv_1 - hv_2)$

### Contraction




| a | 30° | 45° | 60° |
|---|---|---|---|
| n | 1.02†† | 1.04 | 1.07 |

S.P. Loss = $n(hv_2 - hv_1)$ ††Slope 1" in 4"

### Abrupt Entrance

S.P. Loss = $nhv_1$

$n^{\pm}$ = .35

### Bellmouth Entrance

$n^{\pm}$ = .03

### Abrupt Exit

S.P. Loss or Regain Considered Zero

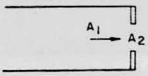
### Bellmouth Exit

### Re-Entrant Entrance

S.P. Loss = $nhv_1$

$n^{\pm}$ = .85

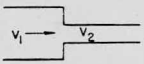
### Sharp Edge Round Orifice




| $A_2/A_1$ | 0 | .25 | .50 | .75 | 1.00 |
|---|---|---|---|---|---|
| n | 2.5 | 2.3 | 1.9 | 1.1 | 0 |

S.P. Loss = $nhv_2$

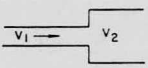
### Abrupt Contraction




| $V_1/V_2$ | 0 | .25 | .50 | .75 |
|---|---|---|---|---|
| n | 1.34 | 1.24 | .96 | .52 |

S.P. Loss = $nhv_2$

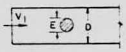
### Abrupt Expansion




| $V_2/V_1$ | .20 | .40 | .60 | .80 |
|---|---|---|---|---|
| n | .32 | .48 | .48 | .32 |

S.P. Regain = $nhv_1$

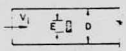
### Pipe Running Thru Duct




| E/D | .10 | .25 | .50 |
|---|---|---|---|
| n | .20 | .55 | 2.00 |

S.P. Loss = $nhv_1$

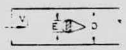
### Bar Running Thru Duct




| E/D | .10 | .25 | .50 |
|---|---|---|---|
| n | .7 | 1.4 | 4.00 |

S.P. Loss = $nhv_1$

### Easement Over Obstruction

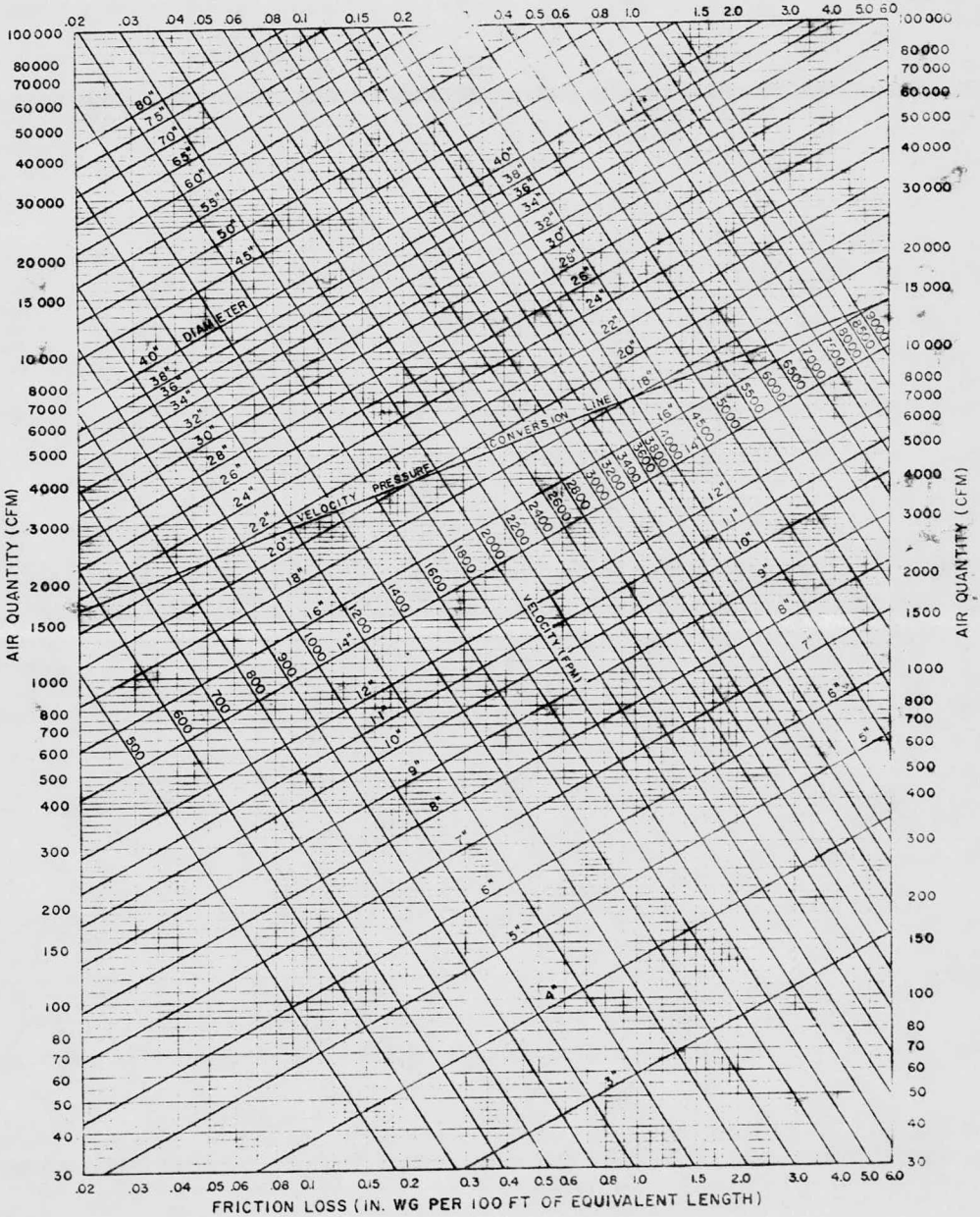



| E/D | .10 | .25 | .50 |
|---|---|---|---|
| n | .07 | .23 | .90 |

S.P. Loss = $nhv_1$

Notes on page 42.

## CHART 7—FRICTION LOSS FOR ROUND DUCT



## BIBLIOGRAFIA.


| | |
|---|---|
| Max S. Peters Ph.D. | Plant Design and Economics for Chemical Engineers. p-212. Mc. Graw Hill Book Company Inc. New York - 1958. |
| Perry John H. Ph.D. | Chemical Engineers Handbook - Mc. Graw Hill Book Company Inc. Sec. 13 New York - 1950. |
| Vian Angel y Ocón Joaquín | Elementos de Ingeniería Química 3a. Ed. Cap. 17 p-479-514. Aguilar. Madrid 1961. |
| Walker HW-Lewis K.W. Mc. Adams y Gilliland R.E. | Principles of Chemical Engineering. 3a. ed. Pag.-613-684. Mc. Graw Hill Book Company Inc. New York 1937. |
| Carrier, Air conditioning Company. | Handbook of air conditioning - System Design. Cap. 2 Mc. Graw Hill Book Company. New York - 1964. |

Colm Carmichael

Kents' Mechanical Engineers' Handbook.
12a. Edición
Cap. 26 Pags. 34 y 35
Jhon Willey & Sons Inc.
New York, N.Y. 1953.