

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

CALCULOS PARA EL DISEÑO DEL EQUIPO DE
ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN LA SALA DE
ENFRIAMIENTO DE MARQUETAS DE UNA FABRICA
DE PARAFINAS.



QUIMICA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A

UNAI LUISA SASETA

MEXICO, D. F.

1968



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE	<u>CARLOS ROBERTO MEDRANO</u>
VOCAL	<u>SILBERTO IRELANDI M.</u>
SECRETARIO	<u>JORGE ROJAS FILANI.</u>
1er. SUPLENTE	_____
2do. SUPLENTE	_____

LUGAR DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

INDUSTRIAS GUARDICIA, S. A.

SUSCRIBIENDO

UNAI GILBERTO LEISA SASETA .

ASESOR DEL TEMA

DR. CARLOS ROBERTO MEDRANO.

I N D I C E

- 1.-PROLOGO
 - 2.-GENERALIDADES
 - 3.-EXPERIMENTACION
 - 4.-CALCULOS PARA EL DISEÑO
 - 5.-DISEÑO DEL EQUIPO
 - 6.-DUCTOS Y CIRCULACION DE AIRE
 - 7.-COSTO DE LA INSTALACION
 - 8.-EVALUACION DEL PROYECTO
 - 9.-APENDICE
 - 10.-BIBLIOGRAFIA
-

P R E L O G O

El problema cuya resolución se intenta llevar a cabo con la presente Tesis se refiere a la investigación de un método racional para el enfriamiento y solidificación de marquetas de parafina en una fábrica que procesa exclusivamente este tipo de derivados del petróleo.

La ventaja que se busca a través de la resolución del problema es el aumento considerable en la capacidad de producción del departamento de enmarcado de la Fábrica.

Se considerará resuelto el problema si se logra reducir a la mitad el tiempo necesario para el proceso, es decir, si se aumenta al doble la capacidad.

Dado que se trata de un problema de enfriamiento, se buscará el modo de enfriar las sales de tal modo que la transmisión de calor de la superficie de la parafina al aire circundante sea más rápida y más efectiva y así pueda lograrse el enfriamiento en doce horas en vez de veinticuatro.

G E N E R A L I D A D E S

Como es sabido, el petróleo es una mezcla de hidrocarburos líquidos y sólidos. Los crudos de distintas partes del mundo se distinguen unos de otros por las distintas proporciones de hidrocarburos que contienen: Parafínicos, Aromáticos, Nafténicos y Asfálticos. Las Parafinas ocurren naturalmente en aquellos crudos que contienen un porcentaje alto de aceites parafinosos. Las diferencias en las características físicas de los distintos tipos de parafinas se atribuyen generalmente a los distintos orígenes de los crudos.

Cuando un crudo de base parafinosa se sujeta a una destilación destructiva a presión atmosférica, se obtienen las siguientes fracciones (en orden de menor a mayor punto de ebullición):

- 1.- Gases ligeros
- 2.- Gasolinas
- 3.- Nafta Ligera
- 4.- Nafta Gruesa
- 5.- Kerosene
- 6.- Aceites Ligeros
- 7.- Aceites Parafinosos.

De éstas últimas se separan las parafinas Normales.

Una destilación posterior produce una fracción de aceite lubricante neu-

tro y un residuo que no puede ser destilado a la presión atmosférica, ya que se descompone. Este residuo es la materia prima de donde se obtienen, por refinación, las parafinas microcristalinas.

Las parafinas NORMALES, son las llamadas "Cristalinas" por estar formadas de cristales relativamente grandes en tamaño.

Las parafinas MICROCRISTALINAS, llamadas anteriormente "Amorfas" están formadas por cristales muy pequeños en relación con las anteriores.

La mezcla Parafina-Aceite que destila por abajo de los 300°C contiene parafina que pueda ser filtrada del aceite en filtros prensa. Si al fraccionar el petróleo crudo, la fracción conocida como "Destilado Parafinoso" (p. e. 170-310°C) se destila a muy baja presión, se puede separar la parafina sólida del aceite líquido por enfriamiento violento y filtración en filtros prensa. Este proceso es necesario para eliminar del aceite lubricante la mayor cantidad posible de parafinas, y así hacerlo a prueba de solidificación. Debido a esto, la fracción parafinosa se acostumbra bombearla a grandes tanques que se mantienen a la menor temperatura ambiente posible, lo que favorece el asentamiento de la parafina sólida. Después se bombea, a través de unidades de enfriamiento, a prensas hidráulicas que "exprimen" la parafina del aceite.

Después de que el destilado parafinoso se separa del crudo, un corte de más alto punto de ebullición, conocido como "Fracción de Alta Viscosidad" se destila. Esta fracción también contiene parafina, pero por su naturaleza microcristalina no se presta a separación y filtración en filtros

prensa. Esta fracción se enfría, se asienta y se pasa por separadoras centrífugas; posteriormente se separa la parafina del residuo acuoso por recristalizaciones sucesivas usando nafta como solvente y a bajas temperaturas.

Petróleos Mexicanos obtiene en sus procesos varias calidades de parafinas.

En la refinería de Salamanca obtiene los siguientes tipos:

TIPO	PUNTO DE FUSION	PUNTO DE CONCRETACION	P.M. promedio
"A"	30 - 40 °C 30 - 40 °C	-----	300 - 370
"C-1-95"	48 - 58	45 - 55	350 - 420
"C-1-80"	48 - 58	55 - 65	350 - 420
"Y"	52 - 64	10 - 15	370 - 440
"H"	63 - 80	3 - 16	500 - 600

Los anteriores son los tipos más comunes; también produce otros ligeramente distintos durante periodos cortos; pero más bien son variaciones de los productos anotados en la tabla.

De los cinco tipos que se especifican, los cuatro primeros caen dentro de la clasificación de Cristalinos y el quinto, la parafina Grado "H", es microcristalina.

Todos estos productos se reciben en las fábricas de la Asociación de Parafineros, A.C., así como algunos tipos de parafinas importadas. En la fábrica a que se refiere este estudio, los distintos tipos se mezclan y refinan para obtener productos de distintas especificaciones, según el mercado que surten.

Las especificaciones que piden un 96% de los clientes para los productos que se les venden son COLOR y DUREZA (punto de penetración). Estos clientes son los que fabrican velas y veladoras que es la industria que, por muy amplio margen, consume el más importante volumen de parafinas de todos los tipos.

El restante 4% lo absorben las industrias Cerillera, del Papel, Vasos, Laboratorios Farmacéuticos, artículos Eléctricos, fabricantes de plastilinas, etc. Para éstos consumidores se dan especificaciones particulares que ellos piden en cada caso.

- - - - -

En forma sumaria, el proceso general de trabajo en la planta es el siguiente:

Según el programa de producción se trae a la planta los distintos productos crudos y se hacen las mezclas y refinaciones en el Laboratorio a fin de asegurarse de las distintas proporciones de las materias primas que deben usarse para obtener un determinado producto. Una vez que el Laboratorio ha confirmado las características deseadas, se manda la orden de producción al encargado. Este localiza los tanques en que se encuentran cada uno de los componentes y pasa la hoja de trabajo al departamento de refinación. En dicha hoja constan los números de los tanques de los que hay que sacar el material, así como las cantidades.

Los encargados de este departamento, por medio de bombas, trasladan los componentes a los tanques de refinación. Aquí se mezclan, se calientan y se les añade tierra activada decolorante para blanquear la carga. Una vez pasado el tiempo de contacto, se pasa la carga a través de filtros prensa

y se manda el producto, ya sea nuevamente a los tanques de refinación si es que hace falta volver a blanquear, o a los tanques de almacenamiento de producto terminado si es que ya está listo.

Para su distribución, los productos se entregan en dos formas:

LIQUIDA.- Para los clientes del Distrito Federal que tienen suficiente capacidad de almacenamiento en tanques, se les entrega el producto caliente en pipas de 6 Toneladas.

SOLIDA.- Se vende en marquetas de dos tipos:

a) **DE MÁQUINAS.-** Es una marqueta rectangular y simétrica que -- siempre tiene el mismo peso de cinco Kilos. Se obtiene en unas máquinas en cierto modo similares a filtros prensa: tienen una serie de marcos y placas en un bastidor horizontal. Los marcos están abiertos por arriba. Por la parte interior de las placas circula agua de enfriamiento. El aparato se cierra a presión por uno de los extremos; la parafina líquida a 70-80°C se vacía por encima y llena los espacios formados entre cada -- dos placas. Se deja enfriar y luego se abre el aparato. Al ir separando cada placa quedan a la vista dos marquetas.

La producción diaria en las tres máquinas de este tipo que se tienen es de cinco Toneladas, llegando hasta seis toneladas dependiendo del tipo de producto.

b) **DE CHAROLAS.-** Estas marquetas tienen forma de pirámide rectangular muy truncada. El peso promedio de estas marquetas es de veinte kilos.

Las charolas están colocadas en estanterías de 1.20 metros de alto por 8 metros de largo con capacidad para cien charolas.

El número total de charolas es de mil.

Las charolas se llenan y se vacían una vez cada veinticuatro horas, por lo tanto la capacidad diaria es de 20 toneladas.

El problema que se presenta en esta fábrica es que a una capacidad de refinación de sesenta toneladas diarias, el departamento de enmarquetado solo puede producir veinte toneladas. Esto acarrea que los tanques se llenen de producto que no puede salir, y eventualmente haya que suspender los trabajos de refinación por falta de espacio para almacenar el producto terminado.

Quando esto sucede, la solución que se ha encontrado es la de mandar el exceso a enmarquetar a una compañía ajena que tiene instalaciones similares. A tal fin, el producto sale líquido en pipas.

De lo anterior salta a la vista que una buena solución sería aumentar la capacidad de enmarquetado de la planta. Para ello se ven dos caminos: Agrandar el espacio disponible para dar cabida a más charolas, y (o) enfriar más rápidamente las marquetas para poder llenar las charolas más pronto.

La primera solución es difícil en este caso particular por falta de espacio. La segunda es viable. Si se logra llevar a cabo el enfriamiento en la mitad del tiempo actual, la capacidad se elevará al doble, con lo que el problema de la fábrica quedará resuelto, ya que:

CHAROLAS -----40 ton.

Maquinas ----- 5 ton.

Pipas (3) ----- 18 ton.

63 TONELADAS

contra sesenta toneladas de producción.

Tal como está montada la planta, el doblar la producción no crea ningún problema serio, ya que después de sacar las marquetas de las charolas lo único que se hace es envolverlas en papel y bajarlas por una banda transportadora a la bodega de embarque. El equipo de cinco obreros que lleva a cabo estas operaciones (Vaciado, envoltura y estiba) trabaja en la actualidad un solo turno; es decir, el problema se eliminaría con poner dos turnos a realizar el trabajo.

Por otro lado, el departamento de refinación trabaja actualmente al máximo de capacidad y por varios motivos la dirección de la empresa no ve ninguna posibilidad en el futuro cercano de aumentarla. Esto viene a asegurar que por mucho tiempo el equipo enfriador que se diseñe será suficiente para la capacidad de la planta.

- - - - -

Para llevar a cabo el enfriamiento de las marquetas se penso en dos soluciones, REFRIGERACION y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.

La primera se desechó pronto por varias razones; la principal de ellas es el efecto nocivo que produce en la superficie de la marquetas un enfriamiento violento. En pruebas llevadas a cabo en el laboratorio se observó la formación de grandes "arrugas" en la superficie expuesta; estas arrugas forman verdaderas cordilleras a todo lo largo y ancho de la marqueta y hacen la presentación del producto indeseable para los clientes poderosos de la firma. Aparte de esto se penso que para ins-

Instalar un equipo de refrigeración había que hacer transformaciones radicales en el salón de enfriamiento, para obtener una eficiencia aceptable del equipo. Todo esto sin mencionar el alto costo del equipo en sí.

Por otra parte, la solución de instalar un equipo de acondicionamiento de aire representa la contra partida de la refrigeración, es decir, que el enfriamiento acompañado no produce mal efecto a la parafina, los cambios y arreglos del salón son sencillos y el costo, comparado con el de un equipo de refrigeración es notablemente más barato.

Debido a lo anterior, se proyectó la tesis para resolver el problema por medio de un equipo de acondicionamiento de aire.

Los equipos de acondicionamiento de aire se dividen en tres tipos:

a) HUMIDIFICADORES.- En ellos se pone en contacto aire no saturado, con agua; debido al contacto directo, el aire se satura, y, dependiendo de si está más o menos caliente que el agua, se enfría o calienta.

Cuando el caso es enfriamiento de aire (como el nuestro), el agua recirculada en el equipo alcanza la temperatura de bulbo húmedo del aire, por lo cual se puede enfriar el aire hasta una temperatura aproximadamente un grado más alta que la temperatura de bulbo húmedo.

b) DEHUMIDIFICADORES.- Su objeto es disminuir la humedad del aire, al mismo tiempo que enfriarlo.

Su operación se basa en que al poner en contacto aire húmedo con agua u otra superficie que esté a una temperatura más baja que el punto de

rocío del aire, la humedad en la interfase es menor que la de la masa de aire, por lo que el vapor de ~~aire~~ agua se difunde a través de la película de gas para condensarse en la interfase. Debido a que la interfase está más fría que el aire, el calor fluye del segundo a la primera, obteniéndose así los dos efectos de eliminación de agua y calor.

c) ENFRIADORES DE AGUA.- Este tipo de equipo se usa generalmente para enfriar agua cuya temperatura está por encima de la temperatura de bulbo húmedo del aire.

El fenómeno en que se basan los enfriadores es la absorción de calor latente por parte del agua que se evapora al aire no saturado. Si además el aire está a menor temperatura que el agua, también hay transmisión de calor sensible.

Para la resolución del problema que se plantea se escogió el tipo de HUMIDIFICACION ADIABATICA debido básicamente a la sencillez del proceso y de la instalación.

Al examinar en qué consistía un HUMIDIFICADOR se vio que sus partes se reducen, a grandes rasgos, a: Una Cámara en la cual circula el aire por medio de un ventilador; en el interior de la cámara hay una serie de espumas que pulverizan finamente el agua para que tenga mayor superficie de contacto con el aire. En el fondo de la cámara hay un depósito de agua en el cual se recogen los accorramientos. Esta agua es recirculada a las espumas por medio de una bomba.

Los mecanismos de transmisión de masa y calor se llevan a cabo cuando el agua se pone en contacto con el aire.

La transmisión de masa ocurre cuando el aire gana agua para (teóricamente) saturarse y tener cien por ciento de humedad relativa.

La transmisión de calor sigue un camino inverso al pasar de la masa de aire a la de agua a través de la interfase. **MI**

El hecho de que la humidificación sea adiabática se debe a que:

- 1.- El calor que el aire cede al agua tiende a calentarla.
- 2.- La evaporación del agua al aire tiende a enfriarla.

En los equipos en que se recircula el agua no evaporada, esta alcanza la temperatura de bulbo húmedo, en la cual los dos efectos se balancean y - por lo tanto la temperatura del agua permanece sin cambio.

EXPERIMENTACION.

El trabajo de laboratorio se concretó a la determinación del valor de "K", Coeficiente de Conductividad Térmica, para las parafinas producidas en la planta.

Tal como se ve en otra parte de la presente tesis, se hallaron varios valores en las Tablas Críticas Internacionales, pero dada la importancia del coeficiente para el éxito del trabajo y de la instalación en general, se prefirió llevar a cabo las determinaciones en las propias parafinas producidas en la fábrica y bajo las particulares condiciones de trabajo de la planta.

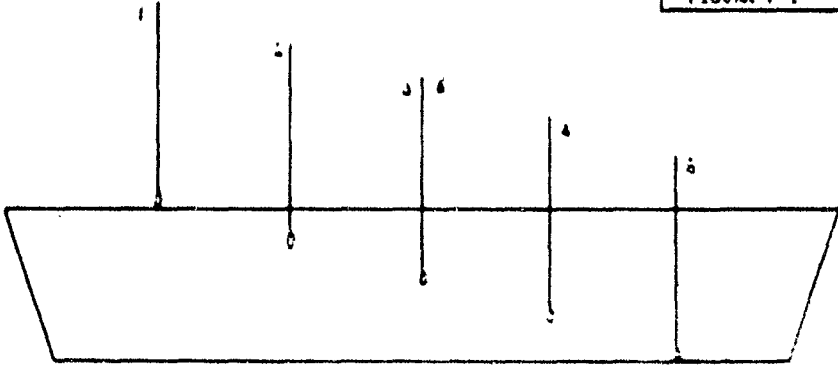
Para este fin se diseñó una charola especial con un bastidor para soportar seis termómetros. Los termómetros penetran en distintos lugares y a diferentes profundidades de la maqueta, tal como se ve en el diagrama adjunto.

De la definición del coeficiente de conductividad térmica, vemos que sus unidades son:

$$k = \frac{\text{CANTIDAD DE CALOR}}{\text{UNIDAD DE TIEMPO} \times \text{UNIDAD DE AREA}} \times \text{GRADIENTE DE TEMPERATURA}$$

En donde

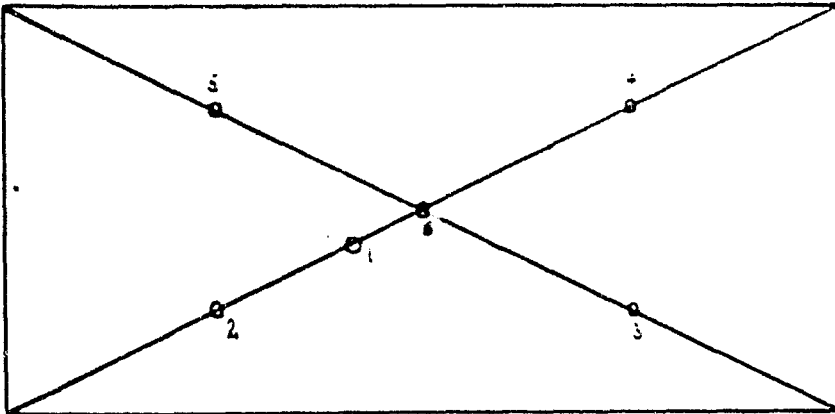
FIGURA # 1



CORTE LONGITUDINAL

DIAGRAMA EXPLICATIVO DE LAS POSICIONES EN QUE SE COLOCARON LOS TERMOMETROS EN EL INTERIOR DE LA MARQUETA PARA LAS PRUEBAS DE DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CALOR.

VISTA SUPERIOR



GRADIENTE DE TEMPERATURA = UNIDAD DE TEMPERATURA/ UNIDAD DE SECCION
LONGITUDINAL.

La cantidad de calor se calculó por medio de la fórmula

$$Q = m C_p (t_f - t_i)$$

Q = Calor cedido
 m = Masa considerada
 Cp = Calor Específico
 t_f = Temperatura Final
 t_i = Temperatura Inicial.

En la que se conocen todos los datos.

La unidad de tiempo se estableció dando intervalos adecuados.

El Area se calculó midiendo las dimensiones de la maqueta.

El Gradiente de temperatura es precisamente el que se averiguó por medio de los termómetros colocados a distintas profundidades en la maqueta. El valor del gradiente se obtiene dividiendo la diferencia promedio de la temperatura entre la distancia que separa las lecturas, es decir, el espacio (en el plano vertical) que separa los bulbos de los termómetros.

Se llevaron a cabo tres experimentos con tres productos que representan, dos de ellos los más extremadamente opuestos en sus características, y un tercero que se considera como intermedio tanto en su composición como en sus propiedades generales.

Los valores obtenidos en cada una de las pruebas se presentarán del siguiente modo:

- 1.- Tabulación de lecturas.
- 2.- Cálculo de Calores en distintos intervalos de tiempo.
- 3.-Cálculo de los coeficientes en dichos intervalos.
- 4.- Gráficas.

PRUEBA N° 1

Producto ----- PARAFINA TIPO IG - 150

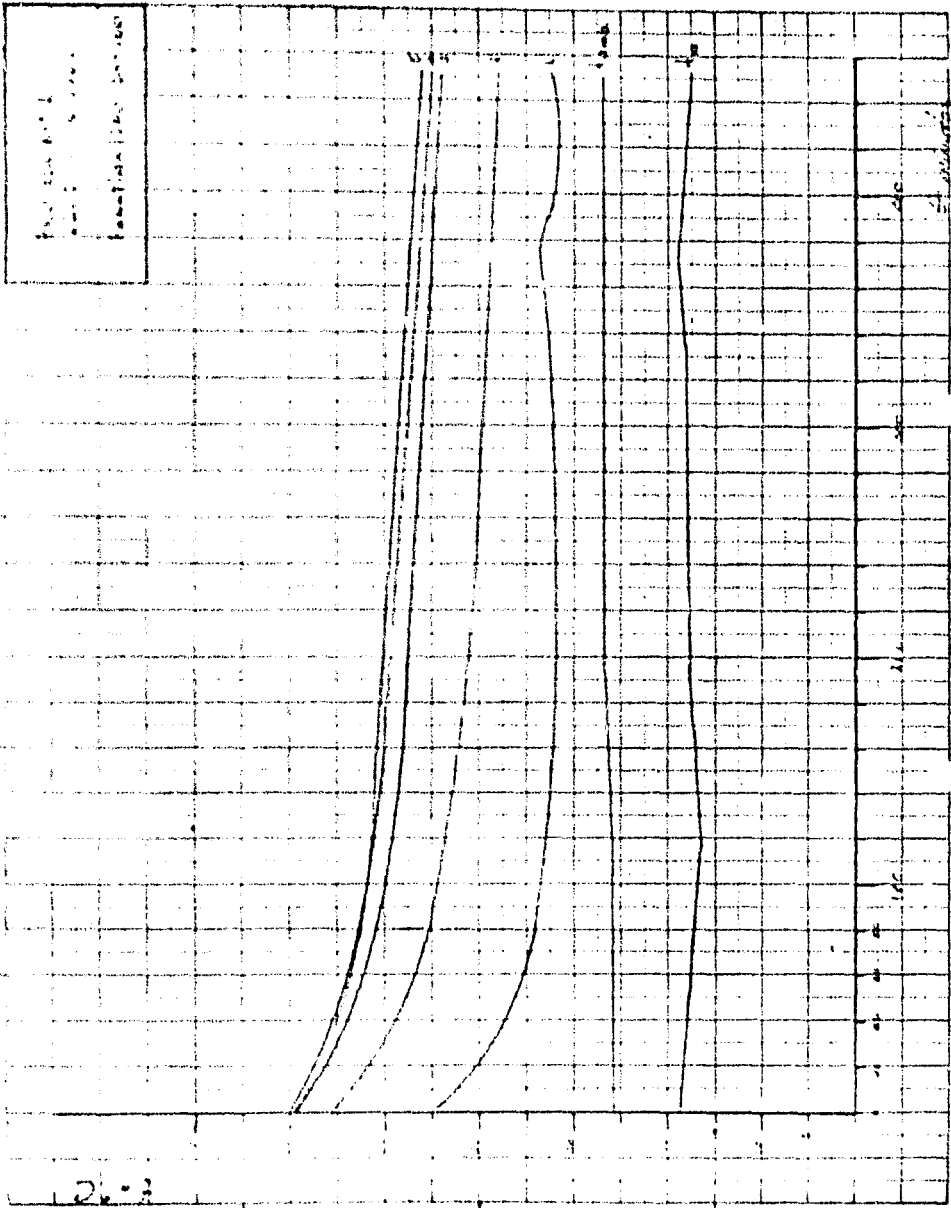
Punto de Fusión ----- 55° C.

Punto de Penetración ---- 21

TABLA N° 1

NÚMERO LECTURA	TIEMPO MINUTOS	N°1	T E M P E R A T U R A S (°C)					N°6	AMBIENTE
		N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	AMBIENTE	
1	0	45.0	50.0	59.4	62.0	60.0		18.6	
2	5	45.0	55.5	59.2	61.5	59.6		18.6	
3	10	43.0	54.5	58.2	59.0	59.1		18.6	
4	15	41.5	53.0	57.1	59.0	58.3		18.5	
5	20	39.3	52.0	56.4	58.2	57.9		18.4	
6	25	38.6	51.3	55.8	56.8	57.3		18.4	
7	30	36.5	50.4	55.2	56.5	57.0		18.3	
8	35	36.1	49.8	54.8	56.5	56.8		18.3	
9	40	36.0	49.1	54.1	56.1	56.2		18.2	
10	45	37.8	48.7	53.4	55.6	55.9		18.0	
11	50	37.8	48.0	53.2	55.2	55.6			
12	55	37.0	47.6	53.0	55.0	55.1	46.0	18.0	
13	65	36.2	46.8	52.2	54.3	54.8	45.0	18.0	
14	75	35.5	46.1	51.6	53.8	54.5	44.0	17.5	
15	85	34.0	45.5	51.2	53.3	54.0	43.5	17.5	
16	95	34.8	45.0	50.9	52.8	53.6	42.0	17.0	
17	105	34.0	44.5	50.2	52.4	53.1	42.0	17.0	
18	115	31.9	44.0	49.7	52.0	52.9	42.0	17.0	
19	135	33.4	43.2	49.2	51.8	52.2	41.0	16.5	
20	155	32.1	42.8	48.6	50.8	51.7	41.0	17.0	
21	175	32.0	42.2	48.2	50.3	51.3	40.0	17.2	
22	195	32.0	41.8	47.8	49.9	50.9	40.0	17.5	
23	215	31.8	41.4	47.4	49.5	50.5	40.0	17.8	
24	235	31.5	41.0	47.2	49.1	50.1	39.5	17.8	
25	255	31.5	40.5	46.9	48.9	49.8	39.0	18.0	
26	275	31.5	40.1	46.4	48.4	49.5	39.0	18.0	
27	295	32.5	40.0	46.1	48.0	49.2	39.0	18.2	
28	315	31.6	39.7	45.8	48.0	48.6	38.5	18.3	
29	355	31.8	39.4	45.5	47.6	48.6	38.2	18.3	
30	355	31.0	39.1	45.3	47.2	48.6	38.0	18.8	
31	375	33.8	39.0	45.0	46.6	47.7	38.0	18.8	
32	395	33.0	38.8	44.9	46.4	47.5	37.8	18.5	
33	415	32.0	38.6	44.6	46.0	47.1	37.1	18.4	
34	435	32.0	38.2	44.4	45.0	46.8	37.0	18.0	
35	455	31.8	38.0	44.0	45.0	46.1	37.0	17.3	
36	1,345	26.0	28.5	29.9	29.5	32.2	29.0	17.5	

Plot the following
data on graph paper
and draw a smooth curve
through the points



2.3

PROFUNDIDADES A LAS QUE QUEDARON LOS BULBOS DE
LOS TERMOMETROS:

$$L_1 = 0 \text{ cm.}$$

$$L_2 = 2.0 \text{ cm.}$$

$$L_3 = 5.2 \text{ cm.}$$

$$L_4 = 8.8 \text{ cm.}$$

$$L_5 = 10.7 \text{ cm.}$$

$$L_6 = 5.5 \text{ cm.}$$

PARA EL CALCULO DE LOS CALORES: $Q = mC_p (t_1 - t_f)$

$m = 21.5$ kilos (Peso obtenido al pesar la muestra ya fría)

C_p = Su valor es prácticamente constante para las parafinas que se estudian, y se calculará de acuerdo con la fórmula que aparece en la página 151 del volumen II de las Tablas Críticas Internacionales:

$$C_p = A/\sqrt{d_{15}^{15}} + B(t-15)$$

donde

A y B = Constantes particulares de cada material
d = densidad
t = Temperatura a la que se calcula

$$A = 0.425$$

$$B = 0.0009$$

) Valores Tabulados Para Aceites Parafinosos.

$$t_{\text{prom.}} \rightarrow 50^\circ \text{ C.}$$

$$d = 0.91 \text{ gr/cc}$$

$$C_p = 0.425/\sqrt{0.91^{15}} + 0.0009(50-15)$$

$$\underline{\underline{C_p = 0.4775 \text{ Cal/ gr. } ^\circ\text{C}}}$$

$$m C_p = 21.5 \times 477.5 = 10,200 \text{ Cal/}^\circ\text{C}$$

CALCULO DE LOS CALORES CEDIDOS

TAB A N° 2

NUMERO ORDEN	LECTURAS COMPRENDIDAS	INTERVALO MINUTOS	DIFER.			M x Cp	Q
			t ₁ prom.	t ₂ prom.	PROMEDIO		
1	7-13	60	58.5	52.0	6.5	10,200	69,400
2	14-19	60	51.5	49.0	2.5	"	25,500
3	19-22	60	49.0	47.6	1.4	"	14,300
4	22-25	60	47.6	45.5	1.1	"	11,200
5	25-28	60	46.5	45.5	1.0	"	10,200
6	28-31	60	45.5	44.6	0.9	"	9,180
7	31-34	60	44.6	43.7	0.9	"	9,180
8	35-36	60	43.7	30.0	13.7	"	135,800

CALCULO DE LOS VALORES DE LA CONSTANTE

Q = De la Tabla N° 2

T = Tiempo = 60 min. = 3,600 segundos (Excepto en la determinación N° 8
en la que son 390 min = 53,400 segundos)

L = 10.7 centímetros = distancia vertical del bulbo del termómetro N° 1 al del
termómetro N° 5

A = Area = 7,315 cm²

$$(k) = (Q) / (T) (A) \frac{(t)}{(L)}$$

Si llamamos X a todo el denominador:

$$k = Q/X$$

$$X = T \times A \times t/L$$

$$T \times A = 3,600 \times 7,315 = 26.3 \times 10^6$$

$$53,400 \times 7,315 = 390.0 \times 10^6$$

TABLA N° 3

NUMERO REFERENCIA	INTERVALO SEGUNDOS	t_1 prom.	t_2 prom.	Δt prom
1	3,600	39,2	57,0	17,8
2	3,600	34,1	53,4	19,3
3	3,600	32,5	51,6	23,6
4	3,600	31,8	50,4	18,6
5	3,600	31,8	49,3	17,5
6	3,600	32,1	48,4	16,3
7	3,600	32,7	47,3	14,6
8	53,400	28,9	39,2	10,3

NUMERO REFERENCIA	$\Delta t/L$	x	$k = C/x$
1	1.66	43.6×10^6	1.59×10^{-3}
2	1.80	47.4×10^6	5.38×10^{-4}
3	2.21	58.1×10^6	2.46×10^{-4}
4	1.74	45.8×10^6	4.63×10^{-4}
5	1.64	43.1×10^6	2.36×10^{-4}
6	1.52	40.0×10^6	2.50×10^{-4}
7	1.36	35.6×10^6	2.56×10^{-4}
8	0.96	34.0×10^6	3.83×10^{-4}

VALOR MEDIO GLOBAL:

$$39.22/8 \times 10^{-4} = 4.9 \times 10^{-4}$$

PRUEBA N° 2

Producto ----- PARAFINA TIPO IG - 140
 Punto de Fusión ----- 50 ° C.
 Punto de Penetración ----- 25

TABLA N° 4

NÚMERO LECTURA	TIEMPO MINUTOS	TEMPERATURAS						AMB.
		N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	
1	0	69.0	60.0	61.0		82.0	81.0	26.0
2	5	65.0	59.5	79.0		81.0	80.0	26.0
3	10	62.0	77.5	78.6		78.6	79.0	26.0
4	15	54.0	75.0	77.5		76.4	77.0	25.5
5	20	49.0	73.5	76.0		74.3	75.0	25.5
6	25	46.5	71.5	72.7		72.1	72.5	25.5
7	30	45.0	70.5	71.6		71.0	71.0	25.5
8	35	42.0	69.0	70.0	22x2	69.9	70.0	25.5
9	40	42.0	68.0	68.8		68.2	68.0	25.5
10	45	40.0	66.0	67.0	65.0	67.1	66.0	25.5
11	50	38.0	65.0	65.5	67.0	66.0	65.0	25.5
12	55	38.0	63.5	63.0	65.0	64.9	63.0	25.5
13	60	36.0	62.5	61.7	63.0	63.3	61.0	25.5
14	70	36.5	60.0	57.3	61.0	61.7	57.0	25.5
15	80	38.0	58.0	55.1	60.0	60.0	54.0	25.5
16	90	37.0	56.0	52.8	58.0	58.9	52.0	25.0
17	100	37.0	55.0	51.8	57.5	57.3	51.0	25.5
18	110	35.0	55.5	51.2	57.0	56.8	50.0	25.5
19	120	34.0	54.0	50.1	55.0	56.2	49.0	25.5
20	140	34.0	52.0	49.0	54.5	55.1	48.0	26.0
21	160	35.0	51.0	47.9	54.0	54.0	47.0	26.0
22	180	32.0	51.0	47.3	53.4	53.4	46.0	26.0
23	200	31.0	50.0	46.8	52.5	43.0	45.5	26.0
24	220	33.0	49.5	46.4	52.0	52.4	45.0	26.0
25	240	33.0	49.0	45.8	51.0	51.9	44.6	26.0
26	260	33.0	48.5	45.0	50.5	41.3	44.2	26.0
27	280	33.0	48.0	44.7	50.0	50.7	44.0	26.0
28	300	35.0	47.0	44.7	49.0	50.1	43.5	26.5
29	320	34.0	47.0	44.7	48.6	50.1	43.5	26.5
30	340	34.0	46.0	44.1	48.0	49.0	43.0	26.5
31	360	34.0	45.5	43.6	47.0	49.0	42.0	26.5
32	380	34.0	45.0	43.0	47.0	48.4	42.0	26.0
33	400	32.8	45.0	42.4	46.8	48.4	42.0	26.5
34	420	32.5	44.5	42.4	46.0	47.9	42.0	26.0
35	440	32.0	44.0	41.9	45.0	47.3	41.0	26.0
36	1,350		29.0	26.1	26.0	33.4	29.0	27.0

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40.



360
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0

P. 2007

P. 2007

PROFUNDIDADES A LAS QUE QUEDARON LOS BULBOS DE LOS
TERMOMETROS

$$L_1 = 0.0 \text{ cm.}$$

$$L_2 = 2.9 \text{ cm.}$$

$$L_3 = 5.0 \text{ cm.}$$

$$L_4 = 8.3 \text{ cm.}$$

$$L_5 = 12.0 \text{ cm.}$$

$$L_6 = 4.6 \text{ cm.}$$

PESO DE LA MARQUETA

$$m = 22.0 \text{ Kilos}$$

$$m \times C_p = 22.0 \times 477.5 = 10,500 \text{ Cal/ } ^\circ\text{C.}$$

CALCULO DE LOS CALORES CEDIDOS

TABLA N° 5

| NUMERO
ORDEN | LECTURAS
COMPARTIDAS | INTERVALO
MINUTOS | t_1 prom. | t_2 prom. | Δt prom | Q |
|-----------------|-------------------------|----------------------|-------------|-------------|-----------------|---------|
| 1 | 1-13 | 00-60 | 81.0 | 62.7 | 18.3 | 199,000 |
| 2 | 13-19 | 60-120 | 62.7 | 53.4 | 9.3 | 101,000 |
| 3 | 19-22 | 120-180 | 53.4 | 50.3 | 3.1 | 33,600 |
| 4 | 22-25 | 180-240 | 50.3 | 46.6 | 1.7 | 18,500 |
| 5 | 25-28 | 240-300 | 46.6 | 47.0 | 1.6 | 17,400 |
| 6 | 28-31 | 300-360 | 47.0 | 45.8 | 1.2 | 13,100 |
| 7 | 31-34 | 360-420 | 45.8 | 44.7 | 1.2 | 13,100 |
| 8 | 34-36 | 420-1350 | 44.7 | 29.1 | 15.6 | 170,000 |

CALCULO DE LOS VALORES DEL COEFICIENTE "K"

Q = De la Tabla N° 5

T = Tiempo = 60 minutos = 3,600 segundos (Excepto en la determinación N° 8 en que son 930 minutos = 55,800 segs.)

A = Area = 7410 cm²

$$T \times A = 3,600 \times 7,410 = 26.6 \times 10^6$$

$$55,800 \times 7,410 = 414.0 \times 10^6$$

$$L_1^5 = 11.5 \text{ cm.}$$

TABLA N° 6

| NÚMERO REFERENCIA | INTERVALO SEGUNDOS | t ₁ prom. | t ₂ prom. | Δt prom. |
|-------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------|
| 1 | 3,600 | 48.3 | 71.8 | 23.5 |
| 2 | 3,600 | 36.3 | 59.2 | 22.9 |
| 3 | 3,600 | 33.8 | 54.7 | 20.9 |
| 4 | 3,600 | 33.0 | 52.7 | 19.7 |
| 5 | 3,600 | 34.0 | 51.0 | 18.0 |
| 6 | 3,600 | 34.0 | 49.7 | 15.7 |
| 7 | 3,600 | 33.3 | 45.9 | 12.6 |
| 8 | 55,800 | 29.0 | 40.7 | 11.7 |

| NÚMERO
REFERENCIA | $\Delta x/l$ | x | $h = Q/x$ |
|----------------------|--------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | 2.04 | 54.3×10^6 | 36.7×10^{-4} |
| 2 | 1.99 | 53.0×10^6 | 19.1×10^{-4} |
| 3 | 1.82 | 48.4×10^6 | 6.99×10^{-4} |
| 4 | 1.71 | 45.5×10^6 | 4.66×10^{-4} |
| 5 | 1.48 | 39.4×10^6 | 4.42×10^{-4} |
| 6 | 1.37 | 36.4×10^6 | 3.60×10^{-4} |
| 7 | 1.10 | 29.3×10^6 | 4.67×10^{-4} |
| 8 | 1.02 | 422.0×10^6 | 4.04×10^{-4} |

VALOR MEDIO GLOBAL: (Excluyendo las lecturas 1 y 2)

$$28.18/6 \times 10^{-4} = 4.7 \times 10^{-4}$$

P. H. H. E. S. 1000

Producto ----- PARAFINA TIPO MICROCRISTALINA "W"

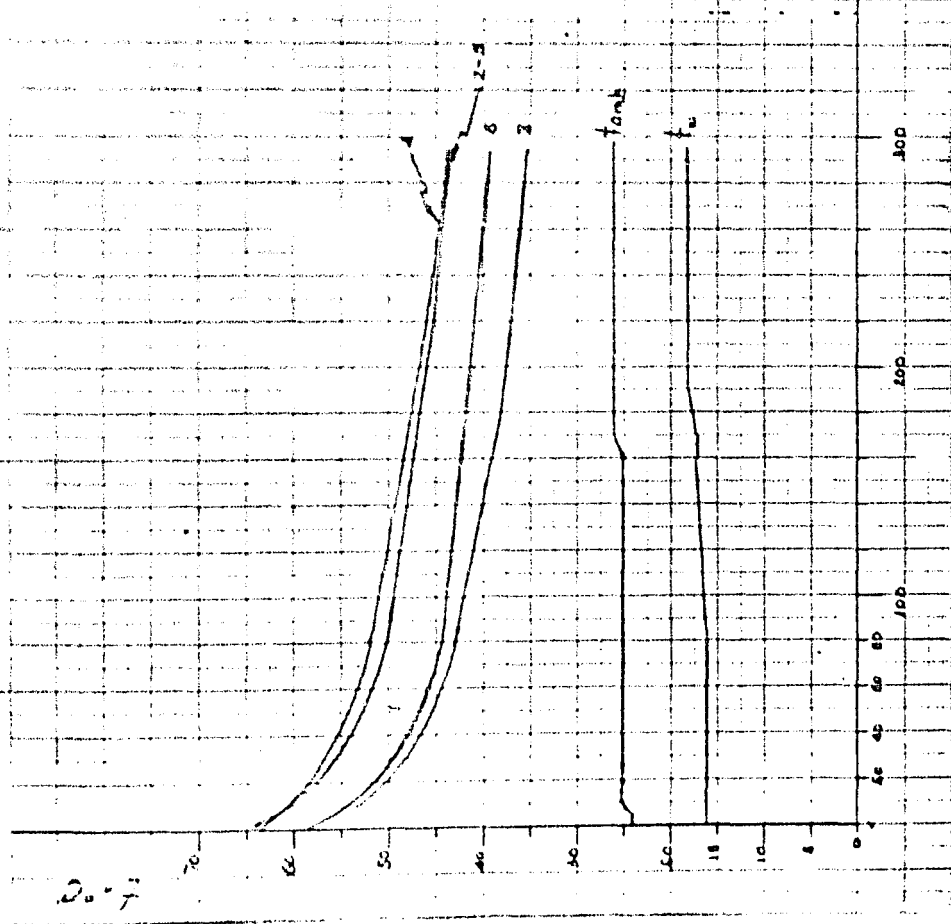
Punto de Fusión ----- 10 °C

Punto de Penetración ----- 7

TAULA Nº 1

| NÚMERO
LECTURA | TIEMPO
MINUTOS | T E M P E R A T U R A S (°C) | | | | | °C | MMB |
|-------------------|-------------------|------------------------------|------|------|------|------|----|-----|
| | | Nº 1 | Nº 2 | Nº 3 | Nº 4 | Nº 5 | | |
| 1 | 0 | | 43 | 54 | 63 | 65 | 70 | 24 |
| 2 | 5 | 38 | 42 | 54 | 62 | 61 | 56 | 24 |
| 3 | 10 | 38 | 40 | 52 | 60 | 60 | 53 | 23 |
| 4 | 15 | 38 | 39 | 51 | 59 | 59 | 51 | 21 |
| 5 | 20 | 38 | 37 | 49 | 56 | 57 | 50 | 20 |
| 6 | 25 | 38 | 36 | 48 | 57 | 56 | 49 | 20 |
| 7 | 30 | 38 | 35 | 47 | 56 | 56 | 48 | 20 |
| 8 | 35 | 38 | 35 | 47 | 55 | 55 | 46 | 20 |
| 9 | 40 | 38 | 34 | 46 | 55 | 55 | 47 | 20 |
| 10 | 45 | 38 | 33 | 45 | 55 | 54 | 47 | 20 |
| 11 | 50 | 38 | 33 | 45 | 54 | 54 | 46 | 20 |
| 12 | 55 | 38 | 32 | 45 | 53 | 52 | 45 | 20 |
| 13 | 60 | 38 | 32 | 44 | 52 | 52 | 45 | 20 |
| 14 | 70 | 38 | 31 | 43 | 52 | 52 | 45 | 20 |
| 15 | 80 | 38 | 30 | 42 | 52 | 52 | 44 | 20 |
| ----- | | | | | | | | |
| 16 | 100 | | 47 | 58 | 66 | 68 | 62 | 25 |
| 17 | 120 | 28 | 46 | 57 | 67 | 68 | 62 | 25 |
| 18 | 140 | 37 | 46 | 57 | 67 | 67 | 62 | 25 |
| 19 | 160 | 36 | 46 | 57 | 67 | 66 | 61 | 26 |
| 20 | 205 | 35 | 45 | 57 | 66 | 67 | 61 | 26 |
| 21 | 220 | 34 | 45 | 57 | 66 | 67 | 61 | 26 |
| 22 | 235 | 33 | 45 | 57 | 65 | 66 | 60 | 26 |
| 23 | 250 | 30 | 45 | 56 | 65 | 66 | 60 | 26 |
| 24 | 265 | 28 | 44 | 56 | 64 | 65 | 60 | 26 |
| 25 | 300 | 26 | 44 | 55 | 64 | 64 | 60 | 26 |
| 26 | 395 | 26 | 43 | 55 | 64 | 64 | 59 | 26 |
| 27 | 1200 | 26 | 38 | 50 | 67 | 62 | 58 | 26 |

1. 1st test run
 2. 2nd test run
 3. 3rd test run
 4. 4th test run
 5. 5th test run
 6. 6th test run
 7. 7th test run
 8. 8th test run
 9. 9th test run
 10. 10th test run



D. milibos

تیر ۱۳۰۰

PROFUNDIDADES A LAS QUE QUEDARON LOS ESTILOS
DE LOS TESTAMENTOS

$L_1 = 0.0$ cm.

$L_2 = 2.7$ cm.

$L_3 = 5.1$ cm.

$L_4 = 7.6$ cm.

$L_5 = 10.0$ cm.

$L_6 = 4.8$ cm.

PESO DE LA MARQUETA

$\alpha = 18$ kilos

$$H = L_5 \cdot \rho = 10.0 \cdot 477.5 = 4,775 \text{ GRAMOS}$$

CALCULO DE LOS CALORES CÉLIDOS

TABLA N.º 2

| NÚMERO
ORDEN | LECTURAS
COMPRENSIBLES | INTERVALO
MINUTOS | t_1 prom. | t_2 prom. | Δt | |
|-----------------|---------------------------|----------------------|-------------|-------------|------------|--------|
| 1 | 1-3 | 0 - 10 | 59.0 | 57.0 | 2.0 | 15,000 |
| 2 | 3-6 | 10 - 25 | 57.0 | 53.2 | 3.8 | 34,000 |
| 3 | 6-9 | 25 - 40 | 53.2 | 51.4 | 1.8 | 10,300 |
| 4 | 9-12 | 40 - 55 | 51.4 | 48.0 | 3.4 | 11,700 |
| 5 | 12-15 | 55 - 60 | 49.0 | 48.1 | 0.9 | 13,000 |
| 6 | 15-16 | 60 - 100 | 48.1 | 43.1 | 5.0 | 21,000 |
| 7 | 16-21 | 100 - 210 | 43.1 | 42.1 | 1.0 | 10,000 |
| 8 | 21-27 | 210 - 1000 | 42.1 | 39.0 | 3.1 | 12,000 |

CALCULO DE LOS VALORES DEL COEFICIENTE "K"

Q = De la tabla N° 8

T = Tiempo = 10 min = 600 segundos
 15 " = 900 "
 25 " = 1,500 "
 110 " = 6,600 "
 45 " = 2,700 "
 1,025 " = 61,500 "

A = Area = 7,125 cm²

$L_1^5 = 10.0$ cm

TABLA N° 9

| NÚMERO
REFERENCIA | INTERVALO
SEGUNDOS | t_1 prom. | t_5 prom. | Δt prom. |
|----------------------|-----------------------|-------------|-------------|------------------|
| 1 | 600 | 38 | 65 | 23 |
| 2 | 900 | 38 | 56 | 20 |
| 3 | 900 | 38 | 55 | 17 |
| 4 | 900 | 38 | 54 | 16 |
| 5 | 1,500 | 38 | 53 | 15 |
| 6 | 6,600 | 38 | 49 | 11 |
| 7 | 2,700 | 34 | 47 | 13 |
| 8 | 61,500 | 28 | 38 | 10 |

| NUMERO
REFERENCIA | $\Delta t/L$ | x | k = Q/X |
|----------------------|--------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | 2.3 | 9.62×10^6 | 23.9×10^{-4} |
| 2 | 2.0 | 12.8×10^6 | 26.9×10^{-4} |
| 3 | 1.7 | 10.9×10^6 | 14.9×10^{-4} |
| 4 | 1.6 | 10.2×10^6 | 16.0×10^{-4} |
| 5 | 1.5 | 16.0×10^6 | 8.5×10^{-4} |
| 6 | 1.1 | 51.6×10^6 | 7.5×10^{-4} |
| 7 | 1.3 | 25.0×10^6 | 4.3×10^{-4} |
| 8 | 1.0 | 438.0×10^6 | 23.0×10^{-4} |

VALOR MEDIO GLOBAL: (Excluyendo las lecturas 1 y 2)

$$54.3/6 \times 10^{-4} = 9.05 \times 10^{-4}$$

El resultado obtenido para el valor medio global de "k" en la prueba número tres, es sensiblemente mayor (casi el doble) que el obtenido en las pruebas números uno y dos.

Dejando a un lado los hechos de diferencia de producto y error de experimentación que deben tener influencia en el resultado, se ha llegado a la conclusión de que hay otro factor importante que afectó el resultado de una manera sensible:

En las tres pruebas se vació la parafina a la charola a una temperatura que oscilaba entre 50-55° C.

En la prueba número uno, se dejó reposar la parafina y se esperó a que el sistema alcanzara su equilibrio con las condiciones ambientales y entonces se empezaron a tomar lecturas.

En la prueba número dos, se tuvieron listos los termómetros y se empezaron a tomar las lecturas casi inmediatamente después del vaciado.

En la número tres, para homogeneizar la temperatura de la masa líquida, se estuvo agitando durante algún tiempo.

Se observó que en la tercera experiencia la capa superficial sólida tardó bastante más tiempo en formarse que en las dos experiencias anteriores.

De aquí se entendió que la variación en los resultados era debida a que al tardar más en formarse la capa sólida, el calor fluía con más facilidad

a la superficie, y se elimina más pronto, lo cual se traduce en un mayor valor del coeficiente de transmisión.

En otras palabras, la parafina sólida, tiene peor coeficiente de transmisión por conducción que la parafina líquida por convección.

Esto se confirma por experiencias desagradables y accidentales que se han observado en la sala de chisetas cuando al voltear una charola para sacar una marqueta ya solidificada, en apariencia, se revienta y se aprecia que en su interior todavía un buen porcentaje de la masa total está líquida.

La conclusión que de aquí se sacó es que el flujo de calor a través de la capa de parafina, una vez que se ha empezado a formar la capa sólida, está sancionado por dos distintos fenómenos:

- a) Convección a través de la fase líquida
- b) Conducción a través de la fase sólida.

Otra conclusión interesante es que a medida que la costra sólida se va haciendo más gruesa, al ser más pobre conductora del calor, el enfriamiento se va haciendo más lento. Además, como efecto secundario, al estar a menor temperatura la superficie de la marqueta, el gradiente de temperatura con el aire ambiente es menor, lo cual redundo en peor coeficiente de transmisión parafina-aire.

Sin embargo, y en vista de que el proceso industrial la parafina se-
en

quité solidificado en el modo en el que se llevó a cabo en las pruebas números uno y dos, para posteriores cálculos se tomará el valor del coeficiente como:

$$k = 5 \times 10^{-4} \text{ Cal/seg. cm}^2 \cdot \frac{^{\circ}\text{C.}}{\text{cm}}$$

Se dijo al principio del capítulo que el coeficiente hallado es importante para la instalación en general.

En efecto, al tratar de resolverse lo que básicamente es una eliminación de cantidades de energía calorífica que se ha suministrado a una masa de líquido, el recorrido físico que hará el calor hasta su disipación es:

- a) Del interior de la masa a la superficie.
- b) De la superficie de la parafina a la masa del aire.
- c) Transporte en la masa de aire hasta perderse en la atmósfera.

Siendo el tercer punto el proceso más simple, en el cual interviene mayoritariamente la potencia de los ventiladores que se encargan de expulsar la corriente de aire, quedan en pie los dos primeros puntos. A menos que antes sean exactamente iguales en su velocidad, el más lento de ellos será quien gobierne el proceso, pudiendo incluso llegarse a la conclusión de que no fuera factible efectuar el enfriamiento en el tiempo deseado de doce horas.

Las razones anteriores llevaron al convencimiento de que podía ser peligroso tomar como base los valores de los coeficientes consultados en varios libros, ya que en primer lugar ninguno de los valores había sido obtenido partiendo de las parafinas mexicanas, y en segundo, en la práctica no se trabaja con parafinas simples, sino con mezclas de ellas.

Por todo ello se creyó necesario calcular en el propio sitio, con sus condiciones particulares y sobre las propias parafinas el valor del coeficiente de conductividad térmica.

Por último, se desea hacer notar que el valor del coeficiente obtenido cae dentro del rango de valores de coeficientes de conductividad térmica hallados en las Tablas Críticas Internacionales. Una tabla en la que se agrupan estos valores se hallará en el apéndice de la presente tesis.

C A L C U L O S P A R A E L
D I S E Ñ O

En este capítulo se determinarán los valores de las variables que posteriormente servirán para diseñar las características del sistema por medio del cual se llevará a cabo el experimento.

En primer lugar se calcularán las cantidades totales de calor a eliminar; es decir el calor proveniente de paredes y techos, y el cedido por la parafina.

Se asignarán tentativamente dos intervalos de tiempo para la eliminación de calor: DOS HORAS y DOCE HORAS.

A continuación se calculará el Coeficiente de Transmisión PARAFINA-AIRE, y con base en el resultado se hará el cálculo regresivo para comprobar si es en realidad posible el enfriamiento en los tiempos previstos.

CALOR CEDIDO POR LAS PAREDES Y PISO

El análisis de todas las fuentes de calor en la sala de enfriamiento de la fábrica:

- 1.- Ventanas
- 2.- Puertas
- 3.- Techos
- 4.- Paredes
- 5.- Pisos
- 6.- Parafina
- 7.- Motores, luces, etc.

Pone en claro que la fuente principal es, desde luego, la parafina. Las ventanas, puertas y techos indudablemente sí ceden calor, pero en proporción despreciable con la parafina.

Sin embargo, se pensó que la pared norte ~~del~~ y el piso, podrían ceder cantidades un poco más apreciables de calor; la pared por que es la única que ve al exterior (aunque sea al norte, el lado más frío de cualquier construcción). El piso, porque exactamente debajo queda la sala de calderas, así como parte de la sala de blanqueo y retención, que es el lugar más caluroso de toda la fábrica. Por ello, también se hará un cálculo para estimar la cantidad de calor que ceden.

Coefficientes de Transmisión

(F. M. T. Ed. Castellana, pag. 701)

| <u>MATERIAL</u> | <u>TEMPERATURA °C</u> | <u>"k" Cal/hr.m².°C.cm</u> |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Ladrillo Construcción | 20 | 590 |
| Yeso | 25 | 370 |
| Cemento | ---- | 250 |

ECUACIONES:

$$q = \Delta t / R$$

$$R = \sum x_i / k_i \cdot A$$

donde

Q = Calor transmitido (Cal/hr)

Δt = Diferencia de Temperatura (°C)

R = Resistencia

x = Espesor de pared (m)

k = Coeficiente Transmisión

A = Area de transmisión (m²)

$$R_{\text{pared}} = R_{\text{cemento}} + R_{\text{ladrillo}} + R_{\text{yeso}}$$

$$R_p = x_c / k_c \cdot A + x_l / k_l \cdot A + x_y / k_y \cdot A = 1/A (x_c / k_c + x_l / k_l + x_y / k_y)$$

$$A_p = 4 \times 13 = 52 \text{ m}^2$$

$$R_p = 1/52 (0.04/250 + 0.15/590 + 0.03/370)$$

$$R_p = 1/52 (0.000513)$$

$$\underline{R_{\text{pared}} = 0.985 \times 10^{-5} \text{ hr.}^\circ\text{C/Cal}}$$

$$R_{\text{pliso}} = R_{\text{cemento}} = x_c / k_c \cdot A$$

$$A_p = 9 \times 13 = 117 \text{ m}^2 \quad \text{-----} \quad x_c = 20 \text{ cm.} = 0.2 \text{ m.}$$

$$R_p = 0.2/117 \times 250 = 0.2/29200 = 0.685 \times 10^{-5}$$

$$R_{\text{pliso}} = 0.685 \times 10^{-5}$$

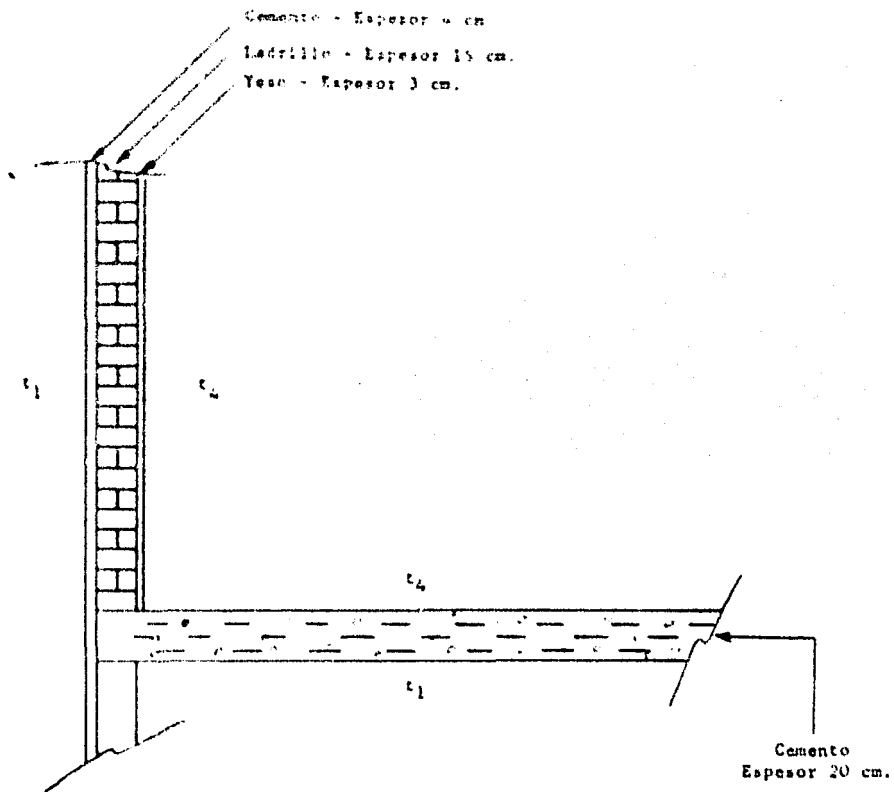
DETALLE DE LA PARED NOROCCIDENTAL Y DEL PISO

SALA DE ENFRIAMIENTO DE MARIQUETAS

Cemento - Espesor 4 cm

Ladrillo - Espesor 15 cm.

Yeso - Espesor 3 cm.



$$Q = \Delta t / R$$

Pared: Temperatura exterior = 23°C

Temperatura interior = 18°C

$$\Delta t = 5^\circ\text{C}$$

$$Q_p = 5 / 0.985 \times 10^{-5} = 5.1 \times 10^5$$

$$Q_{\text{pared}} = 510,000 \text{ Cal/hr.}$$

Piso: Temperatura exterior = 20°C

Temperatura interior = 18°C

$$\Delta t = 10^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{piso}} = 10 / 0.685 \times 10^{-5} = 14.6 \times 10^5$$

$$Q_{\text{piso}} = 1,460,000 \text{ Cal/hr.}$$

CALOR CEDIDO POR LA PARAFINA

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta t$$

donde

Q = Calor cedido (Cal)

m = Masa de parafina (kg)

C_p = Calor Especifico (Cal/kg.°C)

Δt = Dif. temperatura (°C)

$$m = 20,000 \text{ kilos}$$

$$C_p = 477.5$$

$$\Delta t = t_f - t_i = 76 - 26 = 50^\circ\text{C}$$

$$Q = 20,000 \times 477.5 \times 50 = 477.5 \times 10^6$$

$$Q_{\text{parafina}} = 477.5 \times 10^6 \text{ Cal}$$

a) Caso de que se quiera eliminar el calor en DIECISIETE horas:

$$Q_{17} = \frac{377.5 \times 10^6 \text{ Cal}}{17 \text{ horas}} = 22.2 \times 10^6 \text{ Cal/hr.}$$

b) Caso de que se quiera enfriar en doce horas:

$$Q_{12} = \frac{377.5 \times 10^6 \text{ Cal}}{12 \text{ horas}} = 31.5 \times 10^6 \text{ Cal/hr.}$$

RESUMEN DE CANTIDADES DE CALOR CEDIDAS.-

| | | |
|--|---------------------------|----------|
| 1.- CALOR CEDIDO POR LA PARED | 0.51 x 10 ⁶ | Cal/hora |
| 2.- CALOR CEDIDO POR EL PISO | 1.46 x 10 ⁶ | " |
| 3.- CALOR CEDIDO POR LA PARAFINA | 1977.50 x 10 ⁶ | Calorías |

5 5 5 5 5 5 5 5 5 5

DATOS PARA FUTUROS CALCULOS

C A S O "A" - - - - - 17 horas:

| | | |
|------------------|-------------------------------|----------------|
| PARED ----- | 0.51 x 10 ⁶ | Cal/hr. |
| PISO ----- | 1.46 x 10 ⁶ | " |
| PARAFINA ----- | 1977.50 x 10 ⁶ | " |
| <u>T O T A L</u> | <u>31.77 x 10⁶</u> | <u>Cal/hr.</u> |

C A S O "B" - - - - - 12 horas:

| | | |
|------------------|-------------------------------|----------------|
| PARED ----- | 0.51 x 10 ⁶ | Cal/hr. |
| PISO ----- | 1.46 x 10 ⁶ | " |
| PARAFINA ----- | 1977.50 x 10 ⁶ | " |
| <u>T O T A L</u> | <u>31.77 x 10⁶</u> | <u>Cal/hr.</u> |

En el caso de la presente Testa, son dos los mecanismos de transmisión de calor que influyen de manera determinante:

- 1.- Transmisión de calor a través de la propia parafina.
- 2.- Transmisión de calor de la superficie de la parafina al aire.

En el capítulo anterior se llegó a obtener el valor del coeficiente que da la medida de la velocidad con que el calor pasa a través de la propia parafina; a continuación se harán los cálculos correspondientes al segundo coeficiente, el de transmisión parafina-aire.

El mecanismo de la transmisión de calor de un sólido a una corriente de gas que circula por su superficie se supone fuertemente influenciado por una delgada película del gas, que se forma en la superficie del sólido.

Esta película se mueve a bastante menor velocidad que la corriente, y su espesor va disminuyendo a medida que la velocidad de la masa principal aumenta.

A través de la película el calor solo se transmite por conducción; al llegar a la superficie las moléculas son arrastradas por la corriente principal, es decir, se convierte en un fenómeno de convección.

En general, los gases son pésimos conductores del calor. Siempre que se ha experimentado buscando reducir la resistencia que la interfase sólido-gas opone al flujo del calor, se ha visto que los mejores métodos son aquellos cuya consecuencia es disminuir el espesor de la película superficial.

Debido a ello, una alta velocidad del gas al pasar sobre la su-

estático del edificio hace reducir sustancialmente la resistencia al paso del calor, por el efecto de disminuir el grosor de la película aislante.

El criterio normal para efectuar los cálculos que siguen, según se acostumbra en este tipo de problemas, sería el asumir las condiciones de temperatura y humedad relativa que se desean mantener en el salón. Con estos datos, y sabiendo las condiciones en las que el equipo humidificador puede entregar el aire, el cálculo de la cantidad de aire que se necesita manejar es directo, así como la velocidad.

Sin embargo, en el caso presente se considera que la temperatura y humedad de la sala no son los datos básicos sobre los cuales va a descansar el cálculo posterior. Las razones:

a) El salón tiene cuatro metros de altura, sin embargo, las estanterías sobre las cuales se colocan las charolas solo llegan a 1.70 metros, que es la altura máxima práctica de la que un obrero puede retirar con comodidad las charolas de veinte kilos. Esto significa que el aire contenido en el 60% del volumen del salón no interviene directamente en el proceso de intercambio del calor.

b) Las charolas en las estanterías quedan colocadas exactamente una encima de otra, separadas no más de 19 centímetros en el plano vertical. Es precisamente en esa zona donde el calor se acumula, ya que por conducción y convección el calor y el aire suben de la charola inferior a la que le sigue inmediatamente arriba; así se suma con el que genera la charola que sigue, etc. Este efecto es muy notable en las tres charolas superiores, las cuales por estar ya en una posición más apta para recibir aire más fresco de la parte superior del salón, no resisten tanto el aire viciado de las partes más bajas.

Por lo anteriormente expuesto, se encontró preferible, en vez de fijar unas condiciones generales en el cálculo, estudiar la forma en que varía la velocidad de transmisión de calor de la superficie de la parafina a la masa del aire a distintas velocidades de este, en la condición preestablecida de que se diseñará físicamente el equipo a modo de que el aire húmedo y frío, tal como sale del equipo acondicionador, se hará pasar a través de las capatas horizontales que quedan entre las charolas.

De este modo se obtendrán distintos coeficientes de transmisión así como volúmenes de aire a mover; a continuación se sumarán los valores obtenidos al coeficiente de transmisión de la parafina calculado en el capítulo anterior, para determinar el tiempo necesario para el enfriamiento.

El resultado final será una serie de tiempos totales necesarios para el enfriamiento, correspondientes a velocidades de flujo de aire sobre las charolas.

El análisis de los valores obtenidos llevará a la selección del valor más apropiado por todos sentidos para resolver el problema de la fábrica.

VELOCIDADES DE AIRE SOBRE LAS QUE SE PASARÁN LOS CÁLCULOS:

| | |
|--------|-----------------------------|
| Caso 1 | 700×10^0 cm/s/mora |
| Caso 2 | 700×10^2 " |
| Caso 3 | 700×10^3 " |
| Caso 4 | 700×10^4 " |
| Caso 5 | 700×10^5 " |

DATOS BASE: Humedad ambiente = 0.012
 Temperatura ambiente = 23 °C
 Temp. de bulbo húmedo ambiente = 17°C
 -- -- -- -- -- -- --

El cálculo completo solo se desplegará para el primer caso, y después se formará una tabla con los valores correspondientes a todos los casos.

FASOS DEL CALCULO:

1.- Determinación del gasto en masa:

$$G = V \times \rho \times A \quad \text{donde:}$$

G = gasto en masa, grs. por hora

ρ = densidad del aire, grs/cm³

A = Area de sección perpendicular al flujo, cm²

2.- Determinación del coeficiente de transmisión:

$$(h_{av}/C_p \sqrt{V \rho}) (C_p \mu/k)^{2/3} = f/2$$

$$f/2 = 0.66 (N \sqrt{\rho/\mu})^{-0.5} \quad \text{cuando } N \sqrt{\rho/\mu} \text{ menor de 16,200}$$

$$f/2 = 0.036 (N \sqrt{\rho/\mu})^{-0.2} \quad \text{" " mayor de 16,200}$$

h_{av} = Coeficiente de transmisión de calor, Cal/hr. °C.cm²

C_p = Calce específico del aire, Cal/gr. °C

μ = Viscosidad del aire, grs.cm.hr

N = Longitud de la superficie de transmisión de calor.

k = Coeficiente de transmisión de calor del aire, Cal.hr.m².°C
 =

3.- Determinación del tiempo mínimo necesario:

$$= Q / h \cdot A \cdot \Delta t \quad \text{donde:}$$

Q = Cantidad total de calor a eliminar, Cal

Δt = Diferencia de temperatura, °C

4.- Determinación del tiempo total:

$$G = Q / U \cdot A \cdot \Delta_{ml}$$

$$U = 1 / \left(\frac{1}{k} + \frac{1}{h} \right)$$

donde:

U = Coeficiente total de transmisión de calor, Cal / hr . cm² . °C

L = Espesor de la capa de parafina, cm.

Δ_{ml} = Diferencia media logarítmica de temperaturas, °C

CALCULOS PARA EL CASO 1

1.- Gasto en masa:

$$G = V \cdot \rho \cdot A = V \cdot 9.3 \times 10^{-4} \cdot 133 \times 10^3 =$$

$$G = 7 \times 10^3 \cdot 9.3 \times 10^{-4} \cdot 133 \times 10^3 = 867 \times 10^3$$

$$G = 867 \times 10^3 \text{ gr / hr}$$

2.- (a) Determinación de f / 2

$$V \cdot N \cdot \rho / \mu = V \times 540 \times 9.3 \times 10^{-4} / 0.618 = V \times 0.813$$

$$= 7 \times 10^3 \times 0.813 = 5,691 \text{ (menor de 16,200)}$$

$$f/2 = 0.66 (N \cdot V \cdot \rho / \mu)^{-0.5}$$

$$= 0.66 \times 5,691^{-0.5} = 0.66 / 75.44 = 0.00876$$

$$f/2 = 0.00876$$

2.- (b) Determinación de $C_p \mu / k$

μ = viscosidad del aire.

Walker, pag. 687:

viscosidad a 20°C = 293 °K ; 0.018 cp = 0.018 gr/m . seg = 61.8 gr/m . hr

Calor Especifico = C_p = 0.25 Cal/gr . °C

Interpolación de los valores para "k" del aire que aparecen en la

página 696 del Water:

| | |
|-------|-----------------------------------|
| 0°C | 21 Cal / hr . m ² . °C |
| 100°C | 27 " " " |

$$k \text{ a } 20^\circ\text{C} = 21.0 + 1.2 = 22.2 \text{ Cal / hr . m}^2 \cdot \frac{^\circ\text{C}}{\text{m}}$$

$$C_p \cdot \mu \cdot k = 0.25 \times 61.6 / 22.2 = 0.696 = C_p \mu / k$$

2.- (c) Determinación de "h_{av}"

$$(h_{av} / 0.25 \times V \times 9.3 \times 10^{-6}) (0.696)^{0.67} = f/2$$

$$h_{av} = \frac{(f/2 \times V)}{3,370} = \frac{8.76 \times 10^{-3} \times 7 \times 10^3}{3,370} = 0.0182$$

$$\underline{h_{av} = 0.0182 \text{ Cal / hr . } ^\circ\text{C . cm}^2}$$

3.- Determinación del tiempo mínimo

Area de transmisión = A = N° de charolas x área unitaria

$$A = 1,000 \times 7,300 = 7.3 \times 10^6 \text{ cm}^2$$

$$\text{Temperatura Media Logarítmica} = \Delta l = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{\ln \Delta_1 / \Delta_2}$$

$$\Delta_1 = T - t_1$$

$$\Delta_2 = T - t_2$$

T = Temperatura del aire frío = 18°C

t₁ = " inicial parafina = 76°C

t₂ = " final " = 26°C

$$\Delta_{ml} = (18 - 76) - (18 - 26) / \ln \left(\frac{18 - 76}{18 - 26} \right) = \{$$

$$\Delta_{ml} = -507 / 1.98 = 25.2^\circ\text{C}$$

$$\theta_{\min} = 477.5 \times 10^6 / h_{av} \times 7.3 \times 10^6 \times 25.2 = 2.6 / h_{av}$$

$$\underline{\theta_{\min} = 143 \text{ horas}}$$

4.- Determinación del tiempo total:

$$Q = 477.5 \times 10^6 \text{ Cal.}$$

$$A = 7.3 \times 10^6 \text{ cm}^2$$

$$\Delta t_1 = 25.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$l = 5 \text{ cm.}$$

$$k = 1.8 \text{ Cal / hr. cm}^2 \cdot \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}}$$

$$U = 1 / \frac{5}{1.8} + \frac{1}{0.0182} = 1 / 57.8 = 0.0173$$

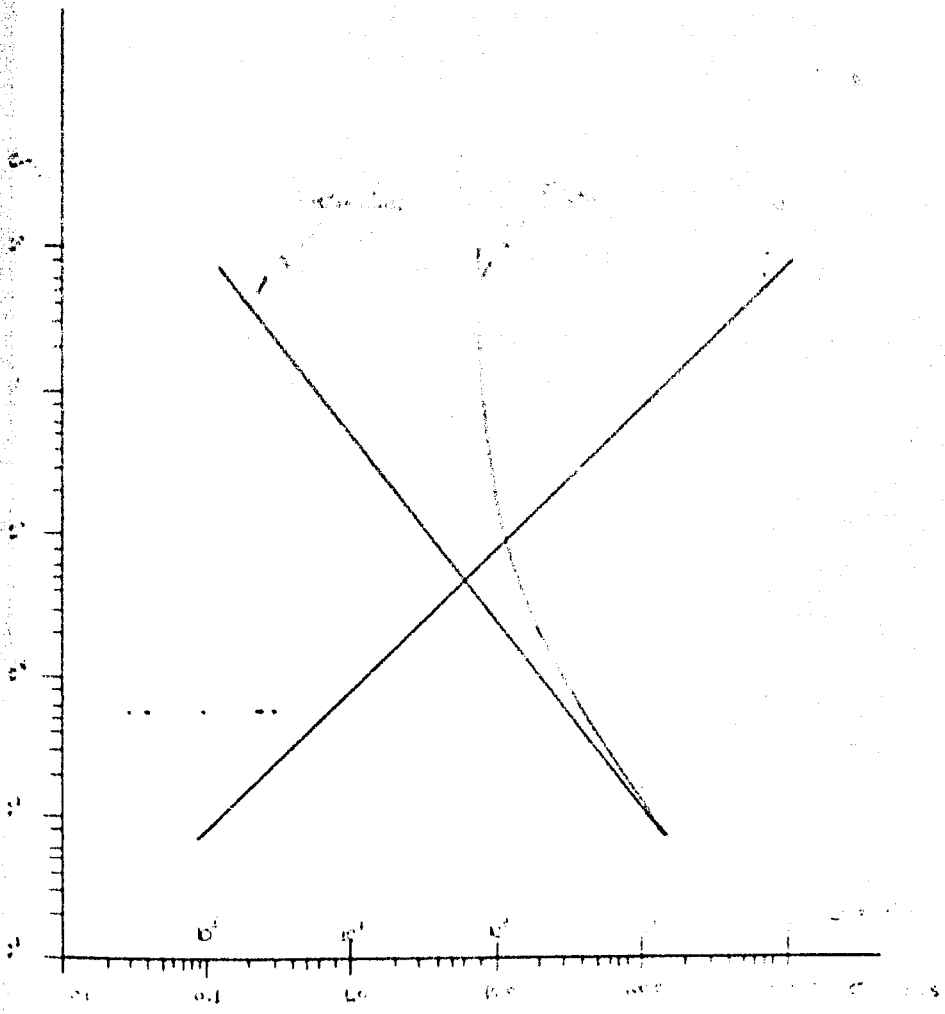
$$\theta_{\text{total}} = 477.5 \times 10^6 / U \times 7.3 \times 10^6 \times 25.2 = 2.6 / U$$

$$\theta_{\text{total}} = 150 \text{ horas}$$

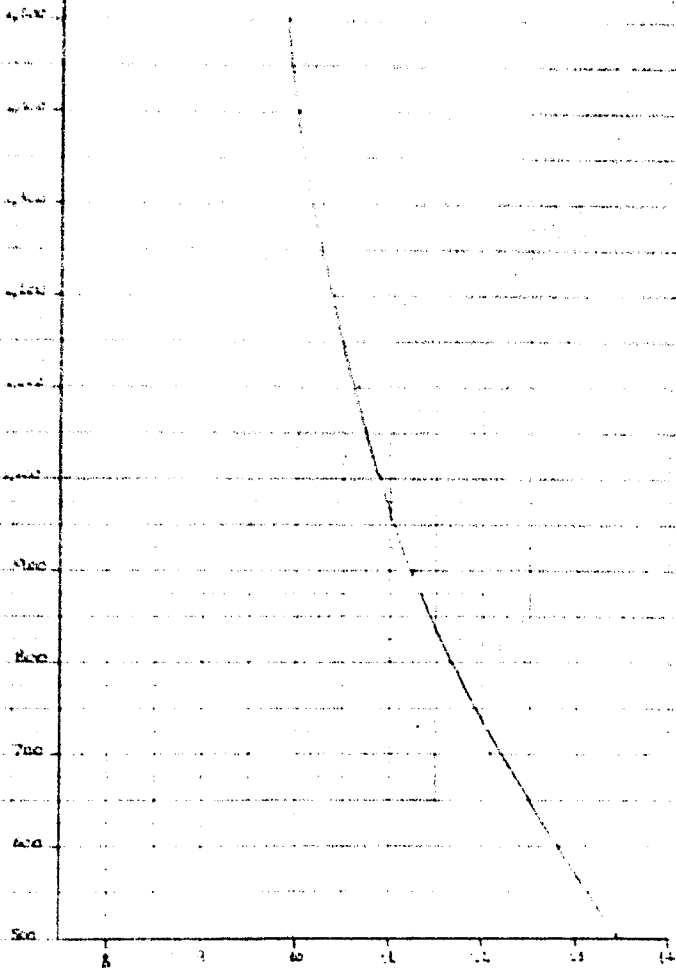
TABLA DE CONCENTRACION DE DATOS PARA LOS DISTINTOS CASOS

| CASO
N° | V
cm/hr | G
gr/hr | l/2
--- | h
Cal/yr. °C.cm ² | θ _{min}
horas | θ _{total}
horas |
|------------|-----------------|-------------------|------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 7×10^3 | 867×10^3 | 0.00876 | 0.0182 | 143 | 150 |
| 2 | 7×10^6 | 867×10^4 | 0.00403 | 0.0838 | 31 | 34.7 |
| 3 | 7×10^5 | 867×10^5 | 0.00254 | 0.5275 | 4.93 | 12.15 |
| 4 | 7×10^6 | 867×10^6 | 0.00160 | 3.3200 | 0.784 | 8.60 |
| 5 | 7×10^7 | 867×10^7 | 0.00101 | 21.000 | 0.124 | 7.34 |

Los datos anteriores han sido graficados en la curva que se incluye a continuación. Se construyó sobre papel log-log, y aparecen como abscisas las velocidades de aire, y como ordenadas el gasto en masa y el tiempo en horas.



Velocity



Total Distance

Del análisis de la curva anterior es aparente que los rangos prácticos de velocidad utilizable se encuentran entre las velocidades de flujo de aire por la superficie de la parafina de 500,000 centímetros por hora como mínimo, lo cual nos resulta en un tiempo de enfriamiento cercano a las doce horas mínimas de que disponemos, y 1 millon de centímetros por hora como máximo, que es la máxima velocidad en que un incremento prudente provoca una variación sensible en el tiempo de enfriamiento.

A continuación se presentará un despliegue de los cálculos correspondientes al rango central entre los valores anteriores, a fin de llegar con más exactitud a determinar el valor óptimo.

| CASO
N° | V
cm/hr
$\times 10^{-3}$ | G
gr/hr
$\times 10^{-5}$ | $\frac{G}{V}$
--- | $\frac{1}{V_{av}}$ | $\frac{1}{min}$
horas | $\frac{1}{total}$
horas |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|
| 6 | 500 | 518 | 0.00272 | 0.404 | 6.44 | 13.7 |
| 7 | 600 | 744 | 0.00263 | 0.468 | 5.56 | 12.3 |
| 8 | 700 | 397 | 0.00254 | 0.528 | 4.93 | 12.1 |
| 9 | 800 | 990 | 0.00243 | 0.390 | 4.40 | 11.67 |
| 10 | 900 | 1013 | 0.00242 | 0.446 | 4.02 | 11.25 |
| 11 | 1000 | 1238 | 0.00237 | 0.704 | 3.70 | 10.9 |
| 12 | 1100 | 1360 | 0.00232 | 0.757 | 3.44 | 10.55 |
| 13 | 1200 | 1490 | 0.00229 | 0.817 | 3.16 | 10.40 |
| 14 | 1300 | 1510 | 0.00225 | 0.870 | 2.99 | 10.25 |
| 15 | 1400 | 1730 | 0.00222 | 0.924 | 2.82 | 10.00 |
| 16 | 1500 | 1870 | 0.00219 | 0.978 | 2.66 | 9.80 |

A continuación, en papel milimétrico, se presenta una gráfica que relaciona las velocidades de flujo de aire con los tiempos totales necesarios.

De los valores obtenidos se ve que el enfriamiento se puede llevar a cabo en doce horas con una velocidad de flujo de aire de 700,000cms por hora (117 metros por minuto), y un gasto de 867×10^5 gramos por hora (1,445 kilos por minuto).

Además, es notable que si se deseara enfriar en un tiempo sustancialmente más corto, la demanda del sistema en cuanto a velocidad y gasto de aire aumentaría desproporcionadamente, por ejemplo, si se deseara disminuir el tiempo a diez horas, es decir, 16.7%, la velocidad debería aumentarse a 1.6×10^6 cms/hr y el gasto a 1730×10^5 gr/hr, que son el doble (200%) de las cantidades necesarias en doce horas.

Por otra parte, al diseñar la capacidad del equipo humidificador adiabático, se considerará la temperatura de aire ambiente de verano extrema, 25°C, a fin de que incluso en las condiciones más desfavorables el equipo siempre sea capaz de llevar a cabo el enfriamiento en el tiempo de doce horas.

Por lo tanto, los cálculos posteriores se harán sobre los datos de velocidad y gasto correspondientes a doce horas.

NOTA: Los valores de velocidad y gasto que se consignan son ligeramente más altos que los que se utilizan en los siguientes cálculos. Ello se debe a que hubo un ligero error en el cálculo original que se subsanó al hacer la revisión; sin embargo, se considera que las variaciones son lo suficientemente pequeñas para no tenerlas en cuenta. La variación en la velocidad del aire es de 2.9%, la del gasto es de 2.6%, y el efecto que tiene en el tiempo total de enfriamiento es de 1.6%.

DATOS PARA LOS CALCULOS POSTERIORES:

VELOCIDAD DE AIRE = 680×10^3 cms . hr

GASTO EN MASA = 865×10^5 grs . hr

D I S E Ñ O
DE L
E Q U I P O

En este capítulo, y con base en los datos obtenidos hasta ahora, se van a determinar las características físicas de la Cámara de Humidificación que acondicionará el aire para la sala de Charolas.

Los valores que se encontrarán son: Longitud, Área, Volumen, Número de Atomizadores, Consumo de Agua, Agua necesaria de Recirculación, Potencia que necesita la bomba de agua, Velocidad de aire y Gasto de Aire.

Muchos de los cálculos que en éste capítulo se hagan serán en unidades inglesas, debido únicamente a que en los libros de consulta aparecen algunas relaciones y ecuaciones empíricas que no permiten el traslado de los valores a unidades métricas para su cálculo.

DETERMINACION DEL VOLUMEN DE LA CÁMARA

Ecuación:
$$V = (G \cdot a_m / h_{ga}) (\ln t_0 - t_v / t_1 - t_v)$$

Donde: G = Cantidad de Aire, Kg/hr ó lb/hr

a_m = Calor Húmedo promedio, Cal/gr . °C

h_{ga} = Coeficiente de transmisión de Calor en el interior de la cámara.

t_0 = Temperatura de entrada del aire

t_1 = Temperatura de salida del aire

t_v = Temperatura de Bulbo Húmedo.

Los datos acerca de Coeficiente de Transmisión de Calor " h_{ga} " son realmente escasos; sin embargo, en la página 607 de la obra "Principles of Chemical Engineering" se especifican una serie de datos para una cámara considerada de tamaño standard, y sobre esos datos se van a continuar los cálculos:

"Pruebas llevadas a cabo en una cámara de humidificación de cuatro pies de largo y cincuentayseis pies cuadrados de sección transversal, con flujo paralelo de aire y agua, llevaron a obtener la siguiente ecuación:

$$h_{ga} = 0.0078 (x)^{1.5}$$

en donde el valor " x " representa las libras por hora de agua atomizadas por pie cuadrado de sección recta de la cámara.

"El número de atomizadores por pié cuadrado de sección recta varió entre 0.8 y 1.6; el gasto de agua por atomizador de 180 a 510 libras por hora; la presión del agua en las espesas de 3 a 15 libras por pulgada cuadrada; la velocidad del aire de 1,200 a 4,000 libras por hora por pié cuadrado de sección recta, y el valor de h_{ga} " entre 20 y 160."

"Pruebas en una cámara de humidificación de diez pies de alto con cuatro atomizadores por pié cuadrado y con agua atomizada por los dos extremos, resultaron en un valor de h_{ga} " de 170 cuando el gasto de aire fue de 3,000 libras por hora por pié cuadrado."

- - - - -

Se va a tomar el valor " l_0 " (Longitud de cámara por banco) como CUATRO pies.

El valor de " n_0 " (Número de pulverizadores por pié cuadrado) como 1.4; este valor no se acerca a ninguno de los dos extremos, pero sí se toma un poco alto por seguridad.

El valor de " w " (Gasto de agua por atomizador) como 400 libras por hora, en previsión de que más adelante haya que aumentarlo.

$$x = n_0 \cdot w = 1.4 \times 400 = 560 \text{ lb / hr ft}^2$$

$$h_{ga} = 0.0078 (x)^{1.5} = (0.0078) (560)^{1.5} = 0.0078 \times 13,500 = 105$$

h_{ga} = Coeficiente de transmisión de calor sensible a través de la película de gas. Sus unidades son:

$$(h_{ga}) = \text{Btu} / \text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \text{ de diferencia de temperatura a través de la película de gas.}$$

CALCULO DEL VALOR DE " s_m " = Calor Húmedo Promedio.

$$s_o = 0.24 + 0.45 H_o$$

$$s_o = 0.24 + 0.45 \times 0.012 = 0.24 + 0.0054$$

$$s_o = 0.2454$$

$$s_1 = 0.24 + 0.45 H_1$$

$$s_1 = 0.24 + 0.45 \times 0.015 = 0.24 + 0.00675$$

$$s_1 = 0.2468$$

$$s_m = 0.2454 + 0.2468 / 2 = 0.2461$$

$$s_m = 0.2461 \text{ Cal} / \text{gr} \cdot ^\circ\text{C}$$

VOLUMEN DE LA CAMARA

$$G = 84.5 \times 10^6 \text{ gr/hr}$$

$$s_m = 0.2461 \text{ Cal/gr} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$h_{ga} = 105 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} =$$

$$= 1.75 \times 10^6 \text{ Cal/hr} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 25 ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 19 ^\circ\text{C}$$

$$t_w = 18 ^\circ\text{C}$$

$$V = (84.5 \times 10^6 \times 0.2461 / 1.75 \times 10^6) 2.3 \log 25 - 18 / 19 - 18$$

$$V = 11.9 \times 2.3 \times 0.845 = 23.1$$

$$(V) = \text{Gr} \times \text{Cal} \times \text{Hr} \times \text{m}^3 \times ^\circ\text{C} / \text{Hr} \times \text{Gr} \times ^\circ\text{C} \times \text{Cal} = \text{m}^3$$

VOLUMEN = 23.1 metros cúbicos

ESTIMACION DE LAS DIMENSIONES DE LA CAMARA

Vamos a asumir que $L = l_0$

Donde L = Longitud total

l_0 = Longitud por banco.

$$S = V / l_0$$

Donde S = Area de sección transversal.

$$S = 23.1 \text{ m}^3 / 1.2 \text{ m} = 19.2 \text{ m}^2$$

Ahora vamos a calcular la masa velocidad para ver si estamos dentro de los límites del experimento:

$$g = G / S = 84.5 \times 10^6 / 19.2 = 4.4 \times 10^6$$

$$(g) = \text{gr} / \text{hr} \times \text{m}^2$$

$$4.4 \times 10^6 \text{ gr} / \text{hr} \times \text{m}^2 = 927 \text{ lb} / \text{hr} \times \text{ft}^2$$

Esta masa velocidad es pequeña y queda por debajo del rango de 1200 - 2400; por lo tanto, el siguiente intento se hará suponiendo que

$$L = 2 l_0 \quad \text{-----} \quad S = V / 2 l_0$$

Entonces:

$$S = 23.1 / 2 \times 1.2 = 9.6 \text{ m}^2$$

$$g = 84.3 \times 10^6 / 9.6 = 8.8 \times 10^6 \text{ gr / hr x m}^2$$

$$8.8 \times 10^6 \text{ gr / hr x m}^2 = 1,854 \text{ lb / hr x ft}^2$$

Esta es una buena masa velocidad y cae dentro del rango establecido; si todavía suponemos que $L = 3 l_0$, resulta un valor de 2,781 lb / hr x ft² que ya se escapa por encima del límite superior experimental de 2,400. Por lo tanto, se establece:

$$L = 2.4 \text{ metros}$$

$$l_0 = 1.2 \text{ metros}$$

$$S = 9.6 \text{ metros}^2$$

$$g = 8.8 \times 10^6 \text{ gr / hr x m}^2$$

CALCULO DEL NUMERO DE ATOMIZADORES

$$N = (n_0 / l_0) V$$

$$N = (15 / 1.2) 23.1 = 289 \text{ atomizadores}$$

| |
|--------------------------------|
| $N = 289 \text{ atomizadores}$ |
|--------------------------------|

CALCULO DE LA CANTIDAD TOTAL DE AGUA RECIRCULADA

$$V_f = h \times W = 282 \times 182 = 51,504$$

$$(W_f) = \text{Atm} \times K_g \times \text{ht} / \text{atm} = K_g \cdot \text{hr.}$$

$$W_f = 51,504 \text{ Kg. hr.}$$

CALCULO DE LA POTENCIA ELECTRICIDA POR LA BOMBA DE RECIRCULACION DE AGUA

$$HP = P \times W \times 1447 / 33,000 \times$$

donde

HP = Potencia teórica

P = Caída de presión total en el sistema, lb/in²

W = Cantidad de agua recirculada, lb/min.

= Densidad del agua, lb/ft³

33,000 = Conversión de ft-lb min a HP

CAIDA DE PRESION

Incluye la presión neta que se necesita mantener en los pulverizadores, mas las pérdidas por fricción en las tuberías.

Para calcular la caída de presión debida a la fricción en el sistema de tuberías, se va a asumir que el circuito se integra del siguiente modo: La bomba succiona el agua de la charola o depósito donde se recoge el exceso de agua de la cámara humidificadora. La succión es ahogada con una diferencia de nivel de dos metros. La descarga es directa hacia arriba, y a la altura de la parte inferior de la cámara cambia a horizontal, corriendo a lo largo de la cámara.

Del brazo horizontal parten los dos ramales verticales que a su vez se dividen en tres horizontales cada uno, a distintas alturas de la cámara; estos últimos tubos son los que llevan montadas las espreas. No se considera necesario usar válvulas en el sistema.

Sobre la base de que la cámara humidificadora tiene las si-

siguientes dimensiones exteriores aproximadas: Largo=2.50 metros

Ancho =3.40 "

Alto =3.60 "

se estiman las siguientes cantidades:

Tubo recto = 25 metros

Codos 90° = 5

Tees = 4 , y además 290 atomizadores.

DIAMETRO DEL TUBO

A continuación se calculará la caída de presión correspondiente a varios diámetros de tubo; se explicará el cálculo de uno y los demás se mostrarán solo concentrados en una tabla.

Para llevar a cabo el cálculo se determinará el valor del número de Reynolds, a continuación el fanning y posteriormente la caída de presión.

(Los valores de las longitudes equivalentes a diámetros de las conexiones se tomaron del catálogo de la Cía. Walworth, fabricante de dichas conexiones)

$$Re = D \cdot G \cdot \rho / \mu$$

$$G = W/S$$

$$f = 0.0014 + 0.0001 (\mu / 100)^{0.22}$$

$$W = 52,500 \text{ kg/hr} = 32.1 \text{ lb/seg}$$

| Diam. Nominal pulg. | Diam Interior pies | Area Sec. recta pies ² | G $\frac{\text{lb}}{\text{hr. in}^2}$ | Reynolds $\times 10^{-6}$ | fanning |
|---------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------|
| 1 | 0.0874 | 0.006 | 5350 | 38.6 | 0.0022 |
| 1½ | 0.134 | 0.018 | 2300 | 25.5 | 0.00250 |
| 2 | 0.172 | 0.022 | 1400 | 19.9 | 0.00257 |
| 2½ | 0.206 | 0.033 | 974 | 16.6 | 0.00241 |
| 3 | 0.256 | 0.052 | 618 | 13.1 | 0.00250 |

LONGITUDES EQUIVALENTES

| Diametro Nominal (pulg) | Codos (Diametros) | Tees (Diametros) |
|-------------------------|-------------------|------------------|
| 1 | 1.6 | 4.4 |
| 1½ | 2.7 | 6.7 |
| 2 | 3.6 | 9.0 |
| 2½ | 4.4 | 11.0 |
| 3 | 5.3 | 13.5 |

| Diametro Nominal pulg. | Diametros Totales | | Fulgadas Totales | | Longitud total pies |
|------------------------|-------------------|-----------|------------------|-------|---------------------|
| | Codos (3) | Tees (4) | Codos | Tees | |
| 1 | 22x8 9.0 | 22x8 17.6 | 20x2 9.0 | 17.6 | 2.22 |
| 1½ | 13.5 | 26.8 | 20.2 | 40.1 | 5.00 |
| 2 | 18.0 | 36.0 | 36.0 | 72.0 | 9.00 |
| 2½ | 22.0 | 44.0 | 55.0 | 110.0 | 13.8 |
| 3 | 26.5 | 54.0 | 79.5 | 162.0 | 20.1 |

TOTALES DE TUBO + CONEXIONES

| DIAMETRO NOMINAL (pulg) | LONGITUD TOTAL (pies) |
|-------------------------|-----------------------|
| 1 | 37.22 |
| 1½ | 40.0 |
| 2 | 44.0 |
| 2½ | 48.0 |
| 3 | 55.1 |

MEDIDA DE PRESION TOTAL EN EL SISTEMA:

$$F_{TC} = F_{\text{tubos y conexiones}} + F_{\text{ESPREAS}}$$

$$F_{TC} = 4 f N V^2 / 2 E_c D$$

donde: N = Longitud total, ft.

V = velocidad de flujo, ft/seg

E_c = Aceleración grav., ft/seg²

D = Diámetro interior, ft.

Caso del tubo de 1 pulgada nominal: $V = C/\rho = 5350/62.3 = 86 \text{ ft./seg.}$

$$F_{TC} = 4 \times 7.21 \times 10^{-3} \times 37.22 \times 86^2 / 2 \times 32.2 \times 87.4 \times 10^{-3}$$

$$F_{TC} = 434 \text{ ft.-lb./lb.} = 188 \text{ lb/in}^2$$

TABLA DE VALORES OBTENIDOS:

| Diámetro Nominal pulg. | Velocidad de flujo ft/seg | Fricción del sist. ft.-lb/lb | Caída de Presión lb/in ² |
|------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 86 | 434 | 188 |
| 1½ | 37 | 59 | 25.5 |
| 2 | 22.5 | 19.1 | 8.26 |
| 2½ | 15.6 | 8.51 | 3.70 |
| 3 | 9.94 | 3.18 | 1.37 |

CALCULO DE LA PERDIDA DE PRESION EN LAS ESPREAS:

Para éste cálculo se usará la fórmula que rige las pérdidas de energía mecánica por fricción en el caso de expansión súbita de la sección de un ducto:

$$F_e = (V_1 - V_2)^2 / 2 E_c = V_1^2 / 2 E_c (1 - S_1/S_2)^2$$

donde: V = velocidad de flujo

K = Area de sección transversal

Los subíndices 1 y 2 señalan condiciones antes y después del ensanchamiento, respectivamente. Para el caso presente en que se descarga a un área abierta, F_2 se considera como infinita y la fórmula se convierte en:

$$F_0 = V^2 / 2K_c$$

| Díametro de boquilla
pulg. | Area de descarga
ft ² | Velocidad de descarga
ft/seg. | F_0
ft-lb/lb | F
lb/in ² |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------------|
| 1/8 | 8.63×10^{-5} | 20.7 | 6.7 | 2.89 |
| 1/4 | 4.33×10^{-4} | 4.1 | 0.261 | 0.112 |
| 3/8 | 7.65×10^{-4} | 2.33 | 0.0845 | 0.037 |
| 1/2 | 13.60×10^{-4} | 1.31 | 0.0267 | 0.00116 |

| DIAMETRO DE BOQUILLA
pulg. | CAIDA DE PRESION TOTAL
lb/in ² |
|-------------------------------|--|
| 1/8 | 838.0 |
| 1/4 | 32.4 |
| 3/8 | 10.7 |
| 1/2 | 0.336 |

SELECCION DE DIAMETRO DE TUBO Y DE BOQUILLA S:

Considerando una presión de descarga de 10 lb/in², con base en boquillas de tres octavos de pulgada, que es el tamaño que produce una caída de presión apropiada, se va a determinar el caballaje necesario, en los casos de tubo de 2, 2½ y 3 pulgadas:

que trabaja a 3.6 HP y otro que opera a 4.7 HP, es del orden de \$ 2,820.00 por año.

Por todo lo anterior, se considera lo mejor usar línea de DOS Y MEDIA PULGADAS, motor de CINCO CABALLOS y espreas de TRES OCTAVOS DE PULGADA.

CONCENTRACION DE DATOS

Longitud Unitaria de la cámara = $l_0 = 1.2$ metros

Atomizadores unitarios = $n_0 = 15$ atomizadores por metro²

Agua evaporada = $W = 182$ kilos por hora

$$z = 2,620 \text{ kg / hr. m}^2$$

Coefficiente de transmisión de calor = $h_{ga} = 105 \text{ Btu / hr. ft}^2 \text{. } ^\circ\text{F}$

$$= 1.75 \times 10^6 \text{ Cal / hr. m}^2 \text{. } ^\circ\text{C}$$

Calor húmedo medio = $s_n = 0.2461 \text{ Cal / gr. } ^\circ\text{C}$

Volumen de la cámara = $V = 23 \text{ M}^3$

Longitud de las cámaras = $L = 2.4$ metros

Área de sección transversal = $S = 9.6$ metros²

Masa velocidad del aire = $g = 8.8 \times 10^6 \text{ gr / hr. m}^2$

Número total de atomizadores = $n = 269$

Cantidad de agua recirculada = $W_p = 52,500 \text{ kg / hr}$

Potencia de la bomba de recirculación de agua = 5 HP

Diámetro de la tubería a usar = $2\frac{1}{2}$ pulgadas.

Diámetro de descarga de las boquillas = $3/8$ pulgada

DISTRIBUCION Y CIRCULACION DE

AIRE

Se considera de suma importancia la colocación de los ductos, así como el lugar en que quedan colocadas las salidas, ya que definen el modo en que el aire circulará por el salón.

Es básico que las corrientes de aire circulen entre las charolas con suficiente velocidad para poder tener un buen coeficiente de transmisión de calor.

Se desechó de inmediato el sistema normal de ductos en el techo ya que hubiera sido ineficiente la distribución de corrientes, y se llegó a la conclusión de que lo mejor sería llevar los ductos directamente a las estanterías para que así el aire que salga de las rejillas sea forzado a pasar entre las charolas. Otra gran ventaja es que el aire perfectamente frío entra en contacto inmediato con las charolas, y por lo tanto, con la parafina contenida en ellas.

Por lo tanto, la distribución de ductos será del siguiente modo: (Ver diagrama adjunto)

De la cámara humidificadora instalada en la parte superior de la pared Sur, parte por el techo el ramal principal en línea recta hasta la pared Norte. En los intervalos señalados, salen hacia abajo los cuatro ramales secundarios que a un metro y medio del piso

se vuelven horizontales, corriendo a todo lo largo de las estanterías en dirección Este-Oeste. Los ramales secundarios llevan las rejillas distribuidoras. Los dos ramales de los extremos solo tienen rejillas hacia el interior de la sala, mientras que los dos centrales las tienen hacia ambos lados.

.....

CÁLCULO DE DUCTOS.

Para este cálculo se usará el método de Igual Fricción por Unidad de Longitud. Los ductos serán de sección rectangular.

El método de cálculo citado consiste en obtener las áreas de sección recta de los ductos secundarios como fracciones proporcionales del área de sección recta del primer tramo de ducto, en función del porcentaje del total del flujo de aire que conducen. El área del primer tramo se calcula suponiendo una determinada velocidad del aire a la salida de la cámara.

Pasos del cálculo:

a) Selección de la Velocidad del Aire a la Salida de la Cámara.

(En la tabla 13-3, página 100 de la obra "Modern Air Conditioning, Heating and Ventilating", aparecen listadas las velocidades más convenientes para los distintos tipos de instalaciones, y de ahí se tomó el valor de 670 metros por minuto que se usará en los cálculos.)

b) Cálculo del Área de Sección Recta, y con ella dar valores a los lados del ducto.

(Se recomienda que, al fin de obtener una mayor eficiencia, la relación de ancho a alto en las dimensiones del ducto sea lo más cercana posible a uno.)

c) Calcular la Cantidad de Aire que va a Mover la Primera Rama, y ver qué porcentaje es del total del flujo.

d) Relacionar este Porcentaje de Flujo a Porcentaje de Área. (La relación se encontró en la tabla # 13 - 4 de la página 260 de la obra antes citada.)

e) Calcular la nueva Área aplicando el porcentaje obtenido al valor del área original.

- - - - -

FLUJO TOTAL DE AIRE:

$$C = 84.5 \times 10^6 \text{ gr / hr.}$$

$$\rho = 9.3 \times 10^{-4} \text{ gr / c.c.}$$

$$84.5 \times 10^6 / 9.3 \times 10^{-4} = 9.1 \times 10^{10} \text{ c.c. / hr} = 1520 \text{ m}^3 / \text{min.}$$

$$A = C / V$$

Donde A = Área de Sección Recta, m²

C = Gast Volumétrico, m³/min.

V = Velocidad, 670 m/min

$$A = 1520 / 670 = 2.27 \text{ m}^2 \text{ ----- } 1.5 \times 1.5 \text{ mts.}$$

DIMENSIONES DEL DOCTO A LA SALIDA DE LA CAMARA

1.5 x 1.5 METROS

Para los cálculos que siguen se asumirá que cada ramal tiene CUATRO salidas, y que todas mueven la misma cantidad de Aire. Los ramales (A)(E) y (D)(H) son iguales, del mismo modo que los ramales (B)(F) y (C)(G).

NUMERO TOTAL DE SALIDAS = 24

FLUJO DE AIRE EN CADA SALIDA = $1520 / 24 = 63.4 \text{ m}^3 / \text{min.}$

1.- DIMENSIONES DE LAS RAMAS (A)(E) y (D)(H) :

1.º Tramo (a) = Tramo (b)

Aire movido por a rama = $4 \times 63.4 = 253.6 \text{ m}^3 / \text{min.}$

Porcentaje del Total = $(253.6 / 1520) \times 100 = 16 \%$

16 % de Flujo equivale a 23 % de Area

Area = $2.27 \times 0.23 = 0.52 \text{ m}^2$

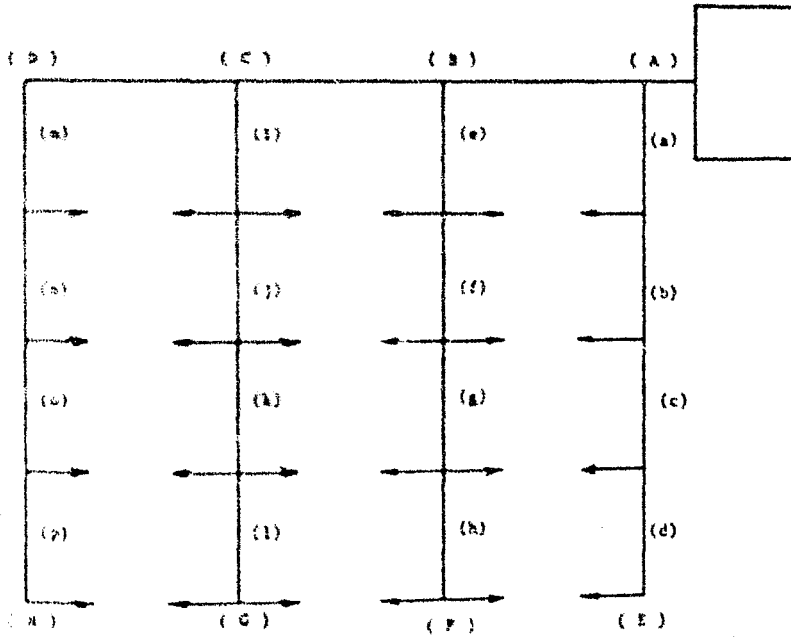
DIMENSIONES = 0.75 x 0.70 metros.

2.- Tramo (c) = Tramo (n)

Aire movido por la Rama = $3 \times 63.4 = 190.2 \text{ m}^3 / \text{min.}$

FIGURA # 3

ESQUEMA PARA EL CALCULO DE LAS DIMENSIONES
DE LOS PONTES



Porcentaje del Total = $(190.7 / 1520) \times 100 = 12.3 \%$

12.3 % de Flujo equivale a 18.5 % de Area

Area = $2.27 \times 0.165 = 0.42 \text{ m}^2$

DIMENSIONES = 0.70 x 0.60 metros

3.- Tramo (c) = Tramo (o)

Aire movido por la rama = $2 \times 63.4 = 126.8 \text{ m}^3 / \text{min.}$

Porcentaje del Total = $(126.8 / 1520) \times 100 = 8 \%$

8 % de Flujo equivale a 13 % de Area

Area = $2.37 \times 0.13 = 0.295 \text{ m}^2$

DIMENSIONES = 0.60 x 0.50 metros

4.- Tramo (d) = Tramo (p)

Aire movido por la rama = $1 \times 63.4 = 63.4 \text{ m}^3 / \text{min.}$

Porcentaje del Total = $100 \times (63.4 / 1520) = 4.1 \%$

4.1 % de Flujo equivale a 7 % de Area

Area = $2.27 \times 0.07 = 0.159 \text{ m}^2$

DIMENSIONES = 0.50 x 0.32 metros

II.- DIMENSIONES DE LAS RAMAS (B)(F) Y (C)(G)

1.- Tramo (e) = Tramo (1)

Aire movido = $8 \times 63.4 = 507.2 \text{ m}^3 / \text{min.}$

Porcentaje del Total = $100 \times (507.2 / 1520) = 33 \%$

DIMENSIONES = 0.70 x 0.60 metros

33 % de Flujo equivale a 41 % de Area

$$\text{Area} = 1.28 \times 0.41 = 0.93 \text{ m}^2$$

$$\text{DIMENSIONES} = 0.91 \times 0.30 \text{ metros}$$

$$1. - \text{Tramo (f)} = \text{Tramo (j)}$$

$$\text{Aire Movido} = 6 \times 63.4 = 380.4 \text{ m}^3 / \text{min.}$$

$$\text{Porcentaje del Total} = 100 \times (380.4 / 1520) = 25 \%$$

25 % de Flujo equivale a 33 % de Area

$$\text{Area} = 1.27 \times 0.33 = 0.75 \text{ m}^2$$

$$\text{DIMENSIONES} = 0.30 \times 0.25 \text{ metros}$$

$$3. - \text{Tramo (g)} = \text{Tramo (k)}$$

$$\text{Aire Movido} = 4 \times 63.4 = 253.6 \text{ m}^3 / \text{min.}$$

$$\text{Porcentaje del Total} = 100 \times (253.6 / 1520) = 16 \%$$

16 % de Flujo equivale a 23 % de Area

$$\text{Area} = 1.27 \times 0.23 = 0.52 \text{ m}^2$$

$$\text{DIMENSIONES} = 0.23 \times 0.21 \text{ metros}$$

$$4. - \text{Tramo (h)} = \text{Tramo (l)}$$

$$\text{Aire Movido} = 2 \times 63.4 = 126.8 \text{ m}^3 / \text{min.}$$

$$\text{Porcentaje del Total} = 100 \times (126.8 / 1520) = 8 \%$$

8 % de Flujo Equivale a 13 % de Area

$$\text{Area} = 1.27 \times 0.13 = 0.295 \text{ m}^2$$

$$\text{DIMENSIONES} = 0.11 \times 0.29 \text{ metros}$$

CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LOS DUCTOS

Este cálculo se hará usando la tabla gráfica que con el nombre de figura # 24, aparece en la página 23 del capítulo 9 de la obra Handbook of Hydraulic Engineering.

Los distintos tramos se nombrarán para su cálculo con los números que aparecen en el diagrama correspondiente.

I.- TRAMO (1 - 4)

Dimensiones = 60 x 60 pulgadas

Diámetro equivalente = 48 pulg.

Gasto = 34.5×10^6 gal/hr = $53,500$ ft³/min

Caída de presión correspondiente = 0.07 pulg agua por cada 100 pies.

Longitud del tramo = 4mts = 13.1 pies

II.- TRAMO (1 - 5) = (4 - 8)

Dimensiones = 24 x 36 pulg.

Diámetro equivalente = 24 pulg.

Gasto = 233.6 m³/min = 8950 ft³/min

Caída de presión = 0.012 pulg. agua / 100 pies

Longitud del tramo = 3.3 metros = 10.8 pies

III.- TRAMO (5 - 9) = (8 - 12)

Dimensiones = 24 x 27 pulg.

Diámetro equivalente = 26 pulg.

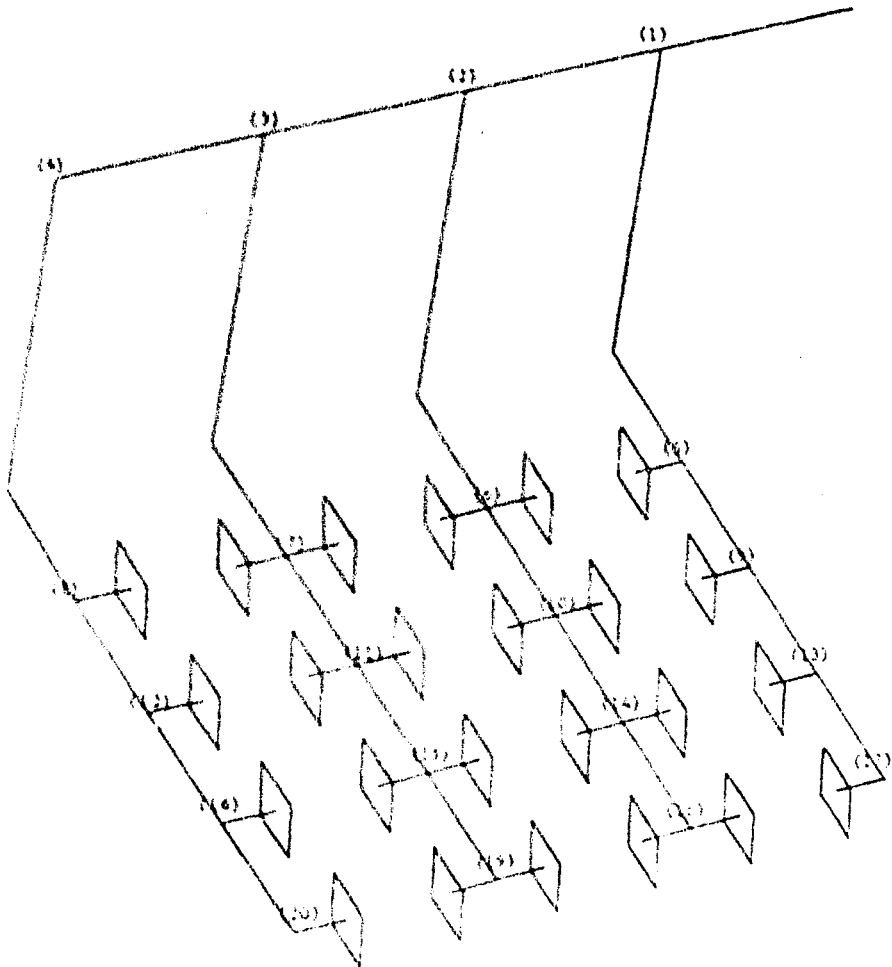
Gasto = 190.2 m³/min = 6710 ft³/min

Caída de presión = 0.12 pulg. agua / 100 pies

Longitud del tramo = 3.3 mts. = 11.6 pies.

FIGURA # 4

ESQUEMA PARA EL CÁLCULO DE LAS CARGAS DE EMERGENCIA
EN LOS DISTROS



III. TRAMO (2 - 12) = (11 - 14)

Dimensiones = 14 x 21 pulg.

Diametro equivalente = 18 pulg.

Caudal = $110.7 \text{ m}^3/\text{min} = 4460 \text{ ft}^3/\text{min}$

Caída de Presión = 0.107 pulg agua / 100 pies

Longitud del tramo = 2.5 mts = 11.6 pies

IV. TRAMO (13 - 17) = (17 - 20)

Dimensiones = 11 x 11 pulg.

Diametro equivalente = 16 pulg.

Caudal = $113.3 \text{ m}^3/\text{min} = 4230 \text{ ft}^3/\text{min}$

Caída de Presión = 0.12 pulg agua / 100 pies de tubo

Longitud del tramo = 2.5 mts = 11.6 pies

V. TRAMO (18 - 22) = (23 - 27)

Dimensiones = 16 x 21 pulg.

Diametro equivalente = 24 pulg.

Caudal = $102.7 \text{ m}^3/\text{min} = 3700 \text{ ft}^3/\text{min}$

Caída de Presión = 0.075 pulg agua / 100 pies

Longitud del tramo = 2.5 mts = 11.6 pies

VII. TRAMO (28 - 30) = (31 - 31)

Dimensiones = 16 x 33 pulg.

Diametro equivalente = 39 pulg.

Caudal = $100.0 \text{ m}^3/\text{min} = 3600 \text{ ft}^3/\text{min}$

Caída de Presión = 0.075 pulg agua / 100 pies

Longitud del tramo = 2.5 mts = 11.6 pies

VIII.- TRAMO (10 - 14) = (11 - 15)

Dimensiones = 16 x 19 pulg

Diámetro equivalente = 16 pulg

Caudal = $193.6 \text{ m}^3/\text{min} = 6940 \text{ ft}^3/\text{min}$

Caída de Presión = 0.01 pulg agua / 100 pies

Longitud del tramo = 3.5 mts = 11.6 pies

IX.- TRAMO (14 - 18) = (15 - 19)

Dimensiones = 16 x 19 pulg

Diámetro equivalente = 16 pulg

Caudal = $116.8 \text{ m}^3/\text{min} = 4130 \text{ ft}^3/\text{min}$

Caída de Presión = 0.01 pulg agua / 100 pies

Longitud del tramo = 3.5 mts = 11.6 pies

.....

CALCULO DE LA PERDIDA DE PRESION EN LAS CONEXIONES

C O D O S

(Según tabla N° 13, pag. 24 de la obra antes citada)

Se va a asumir, por simplicidad de construcción y cálculo, que los codos tienen en su parte central un radio de giro igual al diámetro del ducto.

A) Dos codos de 16 x 19 pulgadas, equivalentes a codos circulares de 16 pulgadas de diámetro

Longitud equivalente = 9 diámetros

Longitud total = $2 \times 9 \times 44/12 = 66$ pies

Caída de Presión = 0.075 pulg agua / 100 pies

7) Dos codos de 36 x 36 pulgadas, equivalentes a codos circulares de 36 pulgadas de diámetro.

Longitud equivalente = 9 diámetros

Longitud total = 2 x 9 x 34/12 = 51 pies

Caida de presión = 0.032 pulg agua / 100 pies

$\bar{h} \approx \bar{h} \bar{h}$

(Según tabla # 13, pag. 15, capítulo 9 de la misma obra)

Fórmulas para el cálculo:

$$h = h_v + h_s$$

donde:

h_v = Altura de velocidad

h_s = Altura estática

h_v = Lo encontramos en las tablas 13 y 14 como una función de $C_{principal}$ entre C_{ramal}

$$h_s = (V / 4005)^2$$

donde V = velocidad, ft/min.

A) Dos tees de 60 x 60 a 36 x 42 pulgadas

Relación de volúmenes desplazados = $C_p / C_r = 49,000 / 12,504 = 3.92 \approx 4$

en la tabla: h_v para relación de 4, a 45° = 0.14

factor de corrección a 90° = 3.4

$$h_v = 0.14 \times 3.4 = 0.48$$

$V = 2,200$ ft/min; $h_s = (2,200 / 4,005)^2 = 0.3025$

$$h = 0.48 \times 0.3025 = 0.145 \text{ pulg agua}$$

B) Dos tees de 60 x 60 a 36 x 36 pulgadas.

$$C_p / C_r = 49,000 / 12,504 = 3.92 \approx 4$$

h_v para relación de 4, a 45° = 0.12

factor de corrección a 90° = 3.4

$$h_v = 0.12 \times 3.4 = 0.408$$

$$F = 0.41 \times 0.3025 = 0.1235 \text{ pulg agua.}$$

.....

ESTIMACION DE PERDIDAS DE PRESION

SECCION RECTAS

| | |
|---|------------------------|
| Tramo (1 - 4) = $0.01 \times 19.5/100$ | = 0.0206 pulgadas Agua |
| Tramos (1 - 3) y (4 - 6) = $2 \times 0.052 \times 24.6/100$ | = 0.0286 pulgadas Agua |
| Tramos (3 - 7) y (8 - 10) = $2 \times 0.12 \times 11.6/100$ | = 0.0278 " |
| Tramos (9-13) y (11 - 16) = $2 \times 0.07 \times 21.6/100$ | = 0.0162 " |
| Tramos (13 - 17) y (16 - 20) = $2 \times 0.12 \times 11.6/100$ | = 0.0278 " |
| Tramos (2 - 6) y (3 - 7) = $2 \times 0.075 \times 11.6/100$ | = 0.0174 " |
| Tramo (6 - 10) y (7 - 11) = $2 \times 0.075 \times 11.6/100$ | = 0.0174 " |
| Tramos (10 - 14) y (11 - 15) = $2 \times 0.070 \times 11.6/100$ | = 0.0162 " |
| Tramos (14 - 18) y (15 - 19) = $2 \times 0.070 \times 11.6/100$ | = 0.0162 " |

T O T A L

0.1852 pulgadas Agua

COLOS:

| | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| A) $0.075 \times 66/100 = 0.0495$ | |
| B) $0.052 \times 51/100 = 0.0266$ | <u>0.0761 pulgadas Agua</u> |

TEES:

| | |
|------------------------------|-----------------------------|
| A) $2 \times 0.145 = 0.290$ | |
| B) $2 \times 0.1235 = 0.247$ | <u>0.5370 pulgadas Agua</u> |

PERDIDA TOTAL DE PRESION POR FRICCION EN EL SISTEMA = 0.7983 pulgadas Agua

PRESION ESTÁTICA NECESARIA (h_s):

$$V = 4005 \quad h_s$$

$$h_s = V^2 / 4,005^2$$

$$h_s = 1,200^2 / 4,005^2 = 0.30 \text{ pulgadas Agua}$$

PRESION TOTAL QUE DEBE ENTREGAR EL VENTILADOR AL AIRE:

$$\begin{array}{r} 0.763 \\ + \quad 0.3025 \\ \hline \end{array}$$

$$\Delta P \text{ TOTAL} = 1.065 = 1.1 \text{ pulgadas Agua}$$

$$1.1 \text{ pulgadas Agua} = 0.04 \text{ lb/in}^2$$

POTENCIA NECESARIA EN EL VENTILADOR

$$\text{Pot.} = V \times \Delta P$$

$$V = 33,500 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$\Delta P = 0.04 \text{ lb/in}^2 = 5.7 \text{ lb/ft}^2$$

$$\text{Pot} = 33,500 \times 5.7 = 305,000 \text{ ft-lb./min}$$

$$\text{Caballaje teórico} = 305,000 / 33,000 = 9.25 \text{ HP}$$

Suponiendo que se use un ventilador centrífugo del tipo Aspas atrasadas, con eficiencia de 60%:

$$\text{Caballaje real} = 9.25 / 0.60 = 15.4 \text{ HP}$$

SE UTILIZARA UN MOTOR DE 20 HP



QUÍMICO

CÓDIGO DE LA INSTALACION

| | |
|--|----------------------|
| 1.- Cámara de humidificación, incluyendo soporte para ventilador, baterías y cables | \$ 20,000.00 |
| 2.- Ventilador tipo Aspa Atrazada, tipo FLR-60 rotor de 60" de diámetro, 960 RPM, para 20 HP | \$ 49,300.00 |
| 3.- Bomba de recirculación de agua, incluyendo base, cable y montaje | \$ 4,000.00 |
| 4.- Motor 200 180-2B-6, de 20 HP, 960 RPM, 6 polos, 120 / 230 V | \$ 11,300.00 |
| 5.- Motor 200 112 MB-4, de 5 HP, 1440 RPM, 4 polos, 120 / 230 V | \$ 2,500.00 |
| 6.- DUCTOS: | |
| a) 120 m ² de lámina calibre 12, equivalentes a 2740 kilos, a razón de \$ 8.00 el kilo | \$ 22,500.00 |
| b) 24 rejillas difusoras de aire a razón de \$ 50.00 cada una | \$ 1,200.00 |
| c) Lote de soportes y accesorios | \$ 2,000.00 |
| 7.- Trabajos necesarios de albanilería y herrería necesarios para efectuar la instalación | \$ 3,000.00 |
| 8.- Instalación eléctrica, incluyendo tendido de líneas y colocación de switches, arrancadores y botones | \$ 3,000.00 |
| TOTAL | \$ 118,800.00 |
| 9.- Imprevistos (5%) | \$ 6,200.00 |
| INVERSION TOTAL | \$ 125,000.00 |

EVALUACION DEL PROYECTO

En este capítulo se va a analizar la operación actual, comparándola con la propuesta de la operación que incluye la nueva instalación. Se tratará de ver cuáles son las ventajas que el equipo propuesto pueda acarrear a la empresa.

Los análisis solo incluirán las partidas de costos relacionadas de alguna manera al departamento que va a sufrir el cambio. Esto se hace debido a que la operación de todos los demás departamentos de la fábrica no van a sufrir variaciones debidas a la nueva instalación.

Los datos relativos a depreciación de equipos y gastos indirectos deben considerarse como indicativos y aproximados.

- - - - -

En primer lugar se va a analizar el costo parcial de producción para el departamento de enmarquetado y envase en las condiciones actuales, es decir, con una producción de máquinas de CINCO toneladas por día, de carretas de VAINIL, salidas líquidas en pipas de DIECIOCHO y además, considerando la maquila exterior de 20 toneladas diarias.

BASE DE CALCULO = 1 TONELADA

OPERACION = 25 DIAS POR MES.

1 - MANO DE OBRA

Solo obreros trabajando en un turno:

Salario diario = 10.52

Septimo día = 4.36

Seguro Social = 1.32

Total \$ 16.20

6 x 16.20 = \$ 217.20 por día

2.- EFICIENCIA

Elementos de costo:

- a) Bomba de trasiego de parafina de los tanques de almacenamiento a los tanques "decolada" Motor = 5 HP
Trabajo = 3 horas por día
- b) Banda transportadora para el traslado de las marquetas del piso superior al inferior Motor = 3 HP
Trabajo = 4 horas por día
- c) Montacargas eléctrico para el movimiento de las marquetas en laodega. Se usará mediante un equipo generador de corriente Motor = 3 HP
Trabajo = 6 horas por día

Totales: $1 \times 3 + 3 \times 4 + 3 \times 6 = 45$ HP-horas por día.

45 x 0,36 = 16,20 \$/día; a razón de 0,46 \$/KWH =

\$ 16,10 por día

3.- MANTENIMIENTO

Según las estadísticas pasadas, el mantenimiento en los dos últimos años ha sido del orden de \$ 500,00 por mes, y corresponde principalmente al arreglo regular mensual de cien charolas, a razón de \$ 4,00 por charola.

$500,00/25 =$ \$ 20,00 por día

4.- DEPRECIACIONES

| Partida | Valor aproximado |
|----------------------|--|
| Baterías y tanques | 40,000 |
| Charolas | 40,000 |
| Máquinas | 20,000 |
| Edificio | 15,000 (100 m ² a razón de \$ 100 el m ²) |
| Banda transportadora | 15,000 |
| Montacargas | 10,000 |
| Bomba de trasiego | 3,000 |
| TOTAL | \$ 243,000 |

representando una amortización global a razón de 10% anual:

200,000 x 0.10 = 20,000 - \$ 70.40 por día

3.- GASTOS INDIRECTOS

De manera global se estima que 40% del trabajo total de la planta se efectúa en este departamento; si se supone que el total mensual de los gastos indirectos asciende a \$ 100,000:

100,000 x 0.40 = \$ 40,000.00 por día

ANÁLISIS:

| | |
|-----------------------|------------------|
| 1.- Mano de obra | 117.20 |
| 2.- Electricidad | 14.10 |
| 3.- Mantenimiento | 20.00 |
| 4.- Depreciación | 70.40 |
| 5.- Gastos indirectos | <u>1,000.00</u> |
| | 1,923.70 por día |

6.- A los gastos anteriores se les suman el costo de la maquila de 20 toneladas diarias que se mandan en líquido (en pipas) a instalaciones ajenas:

| | |
|------------------|-----------------------|
| Costo de maquila | \$ 80.00 por tonelada |
| Costo del flete | <u>\$ 20.00 " "</u> |
| Total: | \$100.00 " " |

100.00 x 20 = \$ 2,000.00 por día

Gastos totales por día = 1,923.70 + 2,000.00 = 3,923.70

3,923.70 / 63 = \$ 62.28 POR TONELADA

COSTO DE INSTALACIONES DE LAS NUEVAS INSTALACIONES

| | | | |
|-------------|-----------|-----------|---------|
| Carrocerías | | | |
| Fijas | 17 | toneladas | por día |
| Máquinas | 3 | " | " |
| Carrocerías | <u>40</u> | " | " |
| TOTAL | 60 | " | " |

1.- MANO DE OBRERA

Las necesidades de personal obrero van a aumentar al doble para poder manejar el aumento de trabajo de llenado y vaciado de charrolas y enrolladura y salida de marquetas.

12 obreros a 36.20 = \$ 434.40 por día

2.- ELECTRICIDAD

Al doble de lo considerado en el análisis anterior, hay que sumarle el consumo de los nuevos motores:

Ventilador: 20 HP - 24 hrs/día = 480 HP-hr/día = 358 kWh/día

Bomba del Agua: 5 HP - 24 hrs/día = 120 HP-hr/día = 90 kWh/día

448 x 0.48 = \$ 215.04
1 x 16.10 = " 16.10

247.24

\$ 247.24 por día

3.- CONSUMO DE AGUA

182 kg/hr x 24 hr = 4368 kg/día
más 20% de pérdidas = 872
5240 kg/día = 5.24 M³/día

5.4 M³/día x 0.0 \$/M³ = \$ 2.24 por día

4.- MANTENIMIENTO

Se asume que el equipo va a soportar condiciones rudas de trabajo, por lo tanto se le va a asignar una tasa alta del 10% anual so-

Sea el costo del equipo:

$$115,600 \times 0.10 / 12 \times 25 = \$ 38.60$$

más los gastos calculados antes 20.00

\$ 58.60 por día
.....

5.- DEPRECIACION

A la partida calculada en el análisis anterior se le sumará lo correspondiente al equipo nuevo, suponiendo también para este una depreciación a plazo de diez años.

$$125,000 \times 0.10 / 12 \times 25 = \$ 41.67$$

más 70.40

\$ 112.07 por día
.....

6.- GASTOS INDIRECTOS

Permanecen sin cambio = \$ 1,600.00 por día
.....

RESUMEN:

| | |
|-----------------------|-----------------|
| 1.- Mano de Obra | 434.40 |
| 2.- Electricidad | 247.24; |
| 3.- Agua | 2.24 |
| 4.- Mantenimiento | 58.60 |
| 5.- Depreciación | 112.07 |
| 6.- Gastos Indirectos | <u>1,600.00</u> |

2,454.55 por día
.....

2,454.55 = 63

\$ 38.96 POR TONELADA
.....

ANOSOS PARA LA EMPRESA

$$(62.26 - 38.96) (60 \times 25) = 34,980$$

= \$ 35,000.00 por mes.

=====

- - - - -

Se considera por lo anterior que sería muy deseable para la empresa llevar a cabo la inversión, debido a que es tan grande la diferencia entre mandar maquilar a gentes ajenas y llevarlo a cabo con instalaciones propias, que la inversión se pagaría en cuatro meses estatus de operación a bien por ciento de capacidad.

A P E N D I C E

DEFINICIONES DE LAS PRUEBAS CARACTERÍSTICAS -

FÍSICAS DE LAS PARAFINAS, MÉTODOS A y T N.

(Se describirá únicamente la definición y el procedimiento para cada prueba)

I - PUNTO DE FUSIÓN.- D - 11 - 17

a) Definición : La temperatura a la cual la parafina fundida suelta por primera vez una razón mínima de cambio de temperatura, al ser dejada enfriar en condiciones controladas.

b) Procedimiento : Se calienta la muestra hasta por lo menos 10° C. por encima de su punto de fusión en un baño María, y se pasa al tubo de ensayo hasta que escape dos pulgadas de altura. Se pone en un soporte al tubo de ensayo, se inserta el termómetro y todo ello se mete en el baño de aire que se encuentra rodeado por un baño de agua a $10-20^{\circ}$ F. Se toman lecturas del termómetro cada quince segundos, y cuando se obtienen cinco lecturas consecutivas que no difieran en más de 0.2° F., se da por terminada la experiencia.

Se promedian las cinco lecturas y, si es necesario, se corrigen por error de escala del termómetro. La temperatura obtenida se reporta como "PUNTO DE FUSIÓN DE PARAFINA (ASTM)"

II - PUNTO DE PENETRACIÓN.- D - 1321 - 61 - 7

a) Definición : Es la profundidad, en décimas de milímetro, a la cual una aguja standard penetra en el interior de una parafina, bajo condiciones definidas.

Se reporta la temperatura de la muestra antes y después de la extracción de la muestra y la temperatura de la muestra antes y después de la extracción de la muestra. Se reporta la temperatura de la muestra antes y después de la extracción de la muestra. Se reporta la temperatura de la muestra antes y después de la extracción de la muestra.

III -

Características de la muestra

- a) Definición de muestra
- b) Procedimiento de la muestra se describe en el método de análisis y la solución se prepara en un volumen de 100 ml. Se filtra la muestra y el líquido filtrado se le agrega la muestra. El contenido de agua se determina por diferencia de peso.

IV -

Procedimiento de la muestra

- a) Definición de muestra se describe en el método de análisis y la solución se prepara en un volumen de 100 ml. Se filtra la muestra y el líquido filtrado se le agrega la muestra. El contenido de agua se determina por diferencia de peso.

V -

Procedimiento de la muestra

- a) Definición de muestra se describe en el método de análisis y la solución se prepara en un volumen de 100 ml. Se filtra la muestra y el líquido filtrado se le agrega la muestra. El contenido de agua se determina por diferencia de peso.

b) Procedimiento: la altura de una columna de muestra se va reduciendo por círculos correspondientes a números de color hasta que el color de la muestra es indubitablemente más claro que el de la muestra. Este número de color es el que se reporta, sin importar si la muestra era más oscura, blanca ó igual en el nivel superior.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE DIFERENTES PARAFINAS

Como final de este capítulo incluimos una serie de ~~datos~~ constantes y propiedades físicas de las parafinas. Estos datos están tomados de dos obras:

Tablas Críticas Internacionales

y

The Chemistry and Technology of Waxes, por Albin H. Marti.

Viscosidades y Densidades

| TIPO | PUNTO DE FUSIÓN
° C | TEMPERATURA
° C | VISCOSIDAD | SP. GR. |
|------------|------------------------|--------------------|------------|---------|
| | | | S. S. U. | |
| Cristalina | 53 - 54 | 15.6 | -- | 0.9036 |
| | | 60.0 | 50.6 | 0.8105 |
| | | 62.0 | 42.5 | 0.7970 |
| | | 99.0 | 39.0 | 0.7875 |
| | | 121.0 | 35.0 | 0.7725 |

PUNTOS DE PENETRACIÓN A 25 ° C. (Aguja de No. 14 - 5 seg. - 100 gra.)

| PARAFINA
(F. Y. °C) | PENETRACIÓN
(mm x 10) |
|------------------------|--------------------------|
| 51 - 52 | 14 - 22 |
| 53 - 54 | 14 - 18 |
| 56 - 57 | 11 - 13 |
| 59 - 60 | 9 - 13 |
| 62 - 63 | 9 - 12 |
| 67 - 68 | 8 - 10 |

COMPOSICIÓN DE LAS PARAFINAS

(Porcentaje en Peso)

| <u>PUNTO DE FUSIÓN</u>
<u>°C.</u> | <u>n-PARAFINAS</u> | <u>ISOPARAFINAS</u> | <u>CILOPARAFINAS</u> | <u>ALKIL</u>
<u>BENCENOS</u> |
|--------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------|
| 52 - 53 | 59.9 - 81.4 | 5.5 - 13.6 | 8.5 - 21.6 | 0.4 - 0.9 |
| 53 - 54 | 66.1 - 92.3 | 12.5 - 6.3 | 3.0 - 7.1 | 0.2 - 0.5 |
| 57 - 58 | 81.1 - 84.8 | 5.9 - 7.1 | 9.4 - 12.8 | 0.2 |
| 61 - 63 | 89.3 - 91.7 | 5.5 - 13.0 | 2.8 - 8.5 | ----- |
| 66 | 84.4 | 13.4 | 2.2 | ----- |

NÚMERO DE ÁTOMOS DE CARBONO EN LAS n-PARAFINAS

| <u>PUNTO DE FUSIÓN (°C)</u> | <u>RANGO</u> | <u>PREDOMINIO</u> |
|-----------------------------|--------------|-------------------|
| 52 - 53 | 16 - 34 | 21 - 27 |
| 53 - 54 | 17 - 35 | 23 - 28 |
| 57 - 58 | 18 - 36 | 25 - 30 |
| 61 - 63 | 19 - 37 | 26 - 31 |
| 66 | 20 - 38 | 28 - 33 |

(Los números de átomos de carbono en las Isoparafinas, cicloparafinas y alquilbencenos son ligeramente superiores a los dados para las n-parafinas)

TEMPERATURAS TÍPICAS DE FUSIÓN DE VARIOS TIPOS COMERCIALES

| <u>DESCRIPCIÓN</u> | <u>PUNTO DE FUSIÓN (°C)</u> |
|-------------------------|-----------------------------|
| Parafina de Cerrillos | 40.5 - 46.0 |
| Residuo Grudo Blanco | 50.0 - 52.0 |
| Grasa refinada | 50.0 - 51.0 |
| Refinada (California) | 59.0 - 60.0 |
| Refinada (Pennsylvania) | 49.0 - 50.0 |

CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS

$$(k) = \frac{\text{Cal}}{\text{cm}^2 \times \text{Sec.} \times \text{°C/cm}}$$

| <u>TEMPERATURA (°C)</u> | <u>TEMPERATURA (°C)</u> | <u>k</u> |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| --- | -19.0 | 5.11 x 10 ⁻⁴ |
| -- | -7.0 | 5.00 x 10 ⁻⁴ |
| -- | 0.0 | 5.00 x 10 ⁻⁴ |
| -- | 20.0 | 4.85 x 10 ⁻⁴ |
| -- | 25.0 | 5.00 x 10 ⁻⁴ |
| 06 | 0 a 14 | 5.71 x 10 ⁻⁴ |
| 54 | 22 a 48 | 4.69 x 10 ⁻⁴ |
| 84 | 21 a 57 | 4.70 x 10 ⁻⁴ |
| 84 | | |

BIBLIOGRAPHIA

- 1.- PRINCIPLES OF CHEMICAL ENGINEERING
Walker, Lewis, McCabe, Gilliland
McGraw Hill Book Co. New York 2a. Edition - 1937
- 2.- AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION
Burgess H. Jennings & Samuel R. Lewis
International Textbook Co. Scranton, Penna. 2a. Edition - 1943
- 3.- HEATING, VENTILATING AND AIR CONDITIONING
Hardinge & Gotta.
John Wiley and Sons, Inc. New York - 1937
- 4.- AIR CONDITIONING MANUAL
The Trane Company.
Jones & Kroeger Co. Winona, Minn. 1947
- 5.- HEATING, VENTILATING AND AIR CONDITIONING GUIDE
American Society of Heating and Ventilating Engineers
New York - 1945
- 6.- UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING
McCabe & Smith
McGraw Hill Book Co., Inc. New York 1a. Edition - 1950
- 7.- HANDBOOK OF MINERAL DRESSING
Arthur F. Clegg
John Wiley and Sons, Inc. New York 1956
- 8.- THE CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF WAXES
Albin H. March
Reinhold Publishing Corporation New York 1960

9.- ASTM STANDARDS ON PETROLEUM PRODUCTS AND LUBRICANTS (Volume 6 I)
American Society for Testing and Materials.

3da. Edición Philadelphia, Penna - 1961

10.- MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO (Traducción al Español de la 3a. Edición
John H. Perry Inglesa)

U.T.E.N.A. México - 1959

11.- INTERNATIONAL CRITICAL TABLES