



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**'ELEMENTOS PARA LA SELECCION DE FILTROS EN  
BASE A PRUEBAS EXPERIMENTALES. APLICACION  
EN LA REFINACION DE AZUCAR''.**

**TESIS MANCOMUNADA**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO**

**PRESENTAN**

**ARMANDO DE JESUS CUELLAR PADILLA  
JESUS RAFAEL G. RUIZ RODRIGUEZ**

**MEXICO, D.F.**

**1983**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## I N D I C E

	Pág.
<u>INTRODUCCION</u>	1
<u>CAPITULO I GENERALIDADES SOBRE FILTRACION.</u>	3
I.1 Separación de mezclas.	3
I.2 Definición de filtración.	7
I.3 Tipos de filtración.	7
I.4 Tipos de filtros.	8
I.5 Teoría de la filtración.	9
I.6 Características y propiedades de la mezcla que van a influir en la filtración.	19
I.7 Pretratamiento de la suspensión.	21
I.8 Medio Filtrante.	28
<u>CAPITULO II ELEMENTOS PARA LA SELECCION DE UN         <u>FILTRO.</u></u>	32
II.1 Información necesaria sobre la filtración por realizar.	32
II.2 Descripción y aplicación de los distintos tipos de filtros.	35
II.3 Descripción y aplicación de los distintos medios filtrantes.	53
II.4 Tablas de selección.	65
<u>CAPITULO III PLANTEAMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS         <u>PARA UN FILTRO Y DESCRIPCION DEL PRO-         CESO DE REFINACION DE AZUCAR.</u></u>	74
III.1 Condiciones de operación.	74
III.2 Descripción del proceso de refinado de azúcar.	76

<u>CAPITULO IV PRUEBAS DE FILTRACION CON FILTRO</u>	Pág.
<u>PILOTO.</u>	83
IV.1 Alcances y limitaciones del "Bomb Filter".	83
IV.2 Fundamento teórico sobre el que se basa el "Bomb Filter".	85
IV.3 Objetivos y pruebas.	89
IV.4 Descripción física del "Bomb Filter"	90
IV.5 Operación del filtro.	94
IV.6 Interpretación de datos.	97
IV.7 Cálculos.	100
IV.8 Pruebas.	101
<u>CAPITULO V ESPECIFICACION FINAL DEL FILTRO PARA</u>	
<u>LICOR DE AZUCAR.</u>	120
V.1 Consideraciones para elaborar la hoja de especificación del filtro.	120
<u>CONCLUSIONES</u>	126
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	128

## INTRODUCCION

En esta tesis hemos querido abordar varios aspectos íntimamente ligados a la operación unitaria denominada filtración, la cual ha sido utilizada por el hombre desde épocas muy remotas. En la actualidad es difícil no encontrar un sistema de filtración en los procesos de las Industrias: Química, Petroquímica, Azucarera, de Vinos y Licores, del Papel, Alimentaria, Farmacéutica, de Fertilizantes, Cervecera, de Pinturas, de Acondicionamiento de Aguas, etc.

Observando los grandes e increíbles avances científicos y técnicos logrados en todos los campos de la investigación tecnológica en las últimas décadas, notamos que - desgraciadamente la operación unitaria de la filtración no ha recibido gran aporte de ellos, y que continúa sosteniendo su incipiente y escasa teoría principalmente sobre la base de ecuaciones empíricas y de datos experimentales.

Es objetivo de este trabajo presentar en un principio generalidades acerca de la filtración (sólido-líquido), definiendo e ilustrando conceptos, ideas y elementos que la constituyen. Asimismo se presenta una recopilación en forma de Tablas de los criterios que se deben de seguir para seleccionar un filtro. Posteriormente se plantea la necesidad de instalar un filtro para ciertos requerimientos,

el cual ha de diseñarse en base a datos experimentales -- que se obtienen mediante un filtro piloto y por último la elaboración de la especificación del filtro.

Deseamos hacer notar que la parte medular de la tesis se basa en el empleo de un filtro piloto de presión, a escala de laboratorio, que simplifica enormemente la tarea de obtener datos experimentales; tanto para seleccionar -- equipos de filtración a presión, como para optimizar la mayoría de las variables que intervienen en un sistema de -- filtración que se encuentre en operación.

Asimismo, le sigue en importancia el aspecto de la selección óptima de un filtro a escala industrial considerando los puntos de vista técnicos y económicos correspondiendo esto a la labor que debe desarrollar un Ingeniero - Químico.

## CAPITULO I

A

### GENERALIDADES SOBRE FILTRACION

En este capítulo hablaremos brevemente de las distintas técnicas de separación de mezclas, con el propósito de ubicar dentro de este campo al proceso de filtración. Asimismo se analizarán los aspectos más importantes que intervienen en esta operación.

#### I.1 SEPARACION DE MEZCLAS.

En el campo de la industria es frecuente encontrarse con la necesidad de separar mezclas. Nos referimos a -- mezclas de sustancias en cualquiera de las tres fases: sólida, líquida o gaseosa.

En la actualidad se cuenta con una gran variedad de procedimientos y equipos que auxilian eficientemente a todo tipo de industrias a resolver esta necesidad.

Los procesos de separación de mezclas pueden agruparse de la siguiente forma:

#### SEPARACIONES LIQUIDO-LIQUIDO

DESTILACION  
EVAPORACION  
CRISTALIZACION  
EXTRACCION  
OSMOSIS  
INTERCAMBIO IONICO  
DIALISIS  
ELECTRODIALISIS  
OSMOSIS INVERSA  
ULTRAFILTRACION  
ABSORCION  
ETC.

SEPARACIONES SOLIDO-SOLIDO

TAMIZADO  
 SEPARACION MAGNETICA  
 LIXIVIACION  
 ETC.

SEPARACIONES GAS-GAS

ABSORCION  
 ADSORCION  
 PERMEABILIDAD DE GASES  
 ETC.

SEPARACIONES GAS-SOLIDO

SEPARACION CICLONICA  
 PRECIPITACION ELECTROSTATICA  
 RECOLECCION CON TELA  
 SEPARACION CON TORRES LAVADORAS  
 ETC.

SEPARACIONES SOLIDO-LIQUIDO

SECADO  
 SEDIMENTACION  
 FLOTACION  
 CENTRIFUGACION  
 FILTRACION  
 ETC.

Nos corresponde hablar con mayor amplitud de las separaciones sólido- líquido, ya que en este grupo se encuentra la filtración.

Para el caso especial de sólidos suspendidos en un líquido se encuentran varios tipos de separaciones mecánicas, cuyo principio de separación se basa en las características físicas de las partículas, tales como: forma, tamaño y densidad. En base a estas características podemos hablar de cuatro tipos de sistemas:

- a) Sistemas de rápido asentamiento, donde las partículas son gruesas y densas, pero su concentración no es importante. Por lo general se trata de partículas mayores de 50 micras, que en caso de arena en agua corresponde a -

una velocidad de asentamiento de aproximadamente 12 -- cm/min. Otros ejemplos típicos son las mezclas acuosas de cristales gruesos como la sal común y sulfato de amonio.

- b) Sistemas de mediano y lento asentamiento, donde las partículas son más pequeñas y su concentración es de 1 a - 50% en peso, lo cual permite que la mezcla sea manejada como un líquido. Este tipo de mezclas son muy comunes e incluyen por ejemplo: precipitados químicos, cristales finos, almidón, etc.
  
- c) Sistemas con mínima tendencia a sedimentarse, donde el líquido contiene una baja concentración de partículas -- muy pequeñas. Estos sistemas cubren un campo muy amplio como: purificación de agua, pulido de cerveza y vinos, - etc.
  
- d) Sistemas semisólidos en sus características físicas, como sería el caso de las pulpas de frutas y algunas pas--tas.

Los procesos de separación más importantes dentro de este grupo son los siguientes:

SEDIMENTACION.-- Cuando las partículas sólidas tienen mayor densidad que el líquido, la fuerza de gravedad las hace ocuu

par las partes inferiores del depósito. Los clarificadores son un ejemplo del equipo utilizado para este proceso. La sedimentación es recomendable para tratar sistemas del tipo a y b.

FLOTACION.- Cuando las partículas sólidas son poco densas en comparación con las del líquido, tienden a subir a la superficie. Generalmente estas son ayudadas por burbujas de aire o gas alimentadas por la parte inferior del tanque. Su aplicación es principalmente para sistemas del tipo c.

CENTRIFUGACION.- Este proceso se basa también en la diferencia de densidades entre las partículas sólidas y el líquido. Se utiliza la fuerza centrífuga para hacer que los sólidos se muevan a través del líquido, hacia afuera si son más pesados y hacia adentro si son más ligeros. Esta técnica es útil cuando la concentración de sólidos es alta como sería el caso de los sistemas a, b y d.

FILTRACION.- Este proceso no requiere una diferencia de densidades entre las partículas sólidas y el líquido. Es el sistema de mayor aplicación ya que puede tratar prácticamente con los cuatro tipos de sistemas sólido - líquido -- mencionados. De este proceso nos ocuparemos más ampliamente en el siguiente punto.

## I.2 DEFINICION DE FILTRACION.

La filtración se puede definir como la operación -- unitaria que consiste en separar por medios mecánicos las partículas suspendidas en el seno de un fluido al hacer pasar la mezcla a través de un medio poroso. El medio filtrante permite el paso del líquido y retiene a los sólidos formando una torta.

Generalmente su aplicación tiene por objeto:

- a) Acondicionar materias primas o productos intermedios de un proceso.
- b) Recuperar líquidos.
- c) Recuperar sólidos.
- d) Recuperar sólidos y líquidos.
- e) Pulido de líquidos como producto final.

Cuando se cuenta con un sistema de filtración optimizado, estas aplicaciones contribuyen a lograr productos de mayor calidad y con mejor presentación al mercado a un costo bajo.

## I.3 TIPOS DE FILTRACION.

Existen esencialmente cuatro sistemas de filtración claramente definidos. Se diferencian entre sí por la fuerza motriz que actúa sobre la suspensión para hacerla pasar a través del medio filtrante o septum. Se clasifican de la --

siguiente forma:

- a) FILTRACION POR GRAVEDAD. - Como su nombre lo indica, la fuerza motriz que impulsa a la suspensión es únicamente la presión que produce la columna hidráulica del licor sobre el medio filtrante.
  
- b) FILTRACION A PRESION. - Aquí se emplea una presión externa que se aplica al licor por filtrar para impulsarlo a través del medio filtrante.
  
- c) FILTRACION A VACIO. - En este caso la fuerza motriz es una presión negativa que se aplica a través del medio filtrante y que induce al líquido a pasar a través de éste.
  
- d) FILTRACION POR CENTRIFUGACION. - En este caso la acción de la fuerza centrífuga es la que hace pasar al licor a través del medio filtrante.

#### 1.4 TIPOS DE FILTROS.

Se llama filtro al conjunto de elementos dispuestos de tal manera que sean capaces de efectuar la separación de los sólidos del seno de un líquido por cualesquiera de

los cuatro sistemas anteriormente mencionados. En base a - esto tendremos: filtros por gravedad, filtros a presión, - filtros a vacío y filtros centrífugas.

De cada tipo de filtro se conocen muchos modelos, - distintos en su diseño, pero basados en el mismo principio. En el capítulo II se analizarán algunos de estos modelos, - así como cuando es aconsejable utilizar cada uno de ellos.

#### I.5 TEORIA DE LA FILTRACION.

Varios investigadores han elaborado estudios sobre la teoría de la filtración, basándose la mayoría de ellos en que esta operación unitaria consiste en un fenómeno de flujo laminar de un líquido a través de un lecho de partículas granulares.

Algunos de estos estudios son relativamente simples y comprensibles, pero por otra parte hay otros que recurren a avanzados cálculos matemáticos e incluyen conceptos teóricos difíciles de comprender. Sin embargo, la gran mayoría de ellos requieren de una solución numérico-gráfica y están basados en pruebas experimentales. Esto representa una gran limitación, ya que de una suspensión a otra existen muchísimas variaciones en sus características.

No es el objeto de esta tesis el profundizar en algunos aspectos y términos que intervienen en la teoría de la filtración, sino describir esta operación unitaria y el

desarrollo de las ecuaciones más importantes que la rigen.

Para entender más fácilmente el caso más simple de filtración (flujo de líquido limpio a través de un lecho - empacado) haremos una analogía con la ley de Ohm de electricidad que nos indica que:

$$I = \frac{E}{R}$$

también

$$I = \frac{E \cdot A}{r \cdot L}$$

Esta ecuación nos indica que para un conductor dado, la intensidad de corriente (I) es proporcional al voltaje (E) y a su área seccional (A), e inversamente proporcional a su longitud (L) y a su resistencia específica (r).

Ahora para filtración:

$$V = \frac{P \cdot A}{r \cdot D}$$

Aquí el volúmen de líquido limpio filtrado (V) es - proporcional a la presión (P) y al área de la cama (A), e inversamente proporcional a la profundidad del lecho (D) y a la resistencia específica del material (r) con que está formado el lecho.

La ecuación anterior nos sirve únicamente para representar de la forma más simple este fenómeno. Sin embargo, hay que considerar la formación de la torta, la cual se compone de una masa voluminosa de partículas en forma irregular, entre las que se forman conductos capilares que permiten el paso del líquido. El flujo del líquido por los capilares es casi siempre laminar (excepto al iniciar la operación) y por consiguiente puede representarse por la ecuación de Poiseuille, la cual puede adaptarse de la siguiente forma:

$$\frac{dv}{Ad\theta} = \frac{P}{\mu (\infty (W/A) + r)} \quad (1)$$

que expresa la velocidad diferencial o instantánea de filtración por unidad de superficie como la razón de una fuerza impulsora (presión), al producto de la viscosidad por la suma de las resistencias de la torta y del medio filtrante.

Del mismo modo podemos aplicar la ecuación de Carman-Kozeny para flujo a través de lechos empacados.

$$\frac{(-\Delta P)_f G_c}{L} = \frac{180 (1 - E)^2}{E^3} \frac{\mu v_s}{D_p^2} \quad (2)$$

donde:

$\Delta P_f$  = Caída de presión a través de la torta ( $g/cm^2$ )

$G_c$  = Constante de la gravitación universal ( $cm/seg^2$ )

$L$  = Espesor de la torta (cm)

$E$  = Porosidad (adimensional)

$\mu$  = Viscosidad gramo/(cm-sec)

$V_s$  = Velocidad del flujo (cm/seg)

$D_p$  = Diámetro crítico de partícula (cm)

Esta ecuación relaciona la caída de presión a través de la torta con la velocidad del flujo, la porosidad de la torta, el espesor de la torta y el diámetro de las partículas sólidas. Es necesario hacer algunas modificaciones a esta ecuación para que las variables de la filtración puedan ser introducidas. Es conveniente cambiar el término de diámetro de partícula por el área específica de superficie por medio de la siguiente relación:

$$D_p = \frac{6}{\frac{A_p}{V_p}} = \frac{6}{S_o} \quad (3)$$

Donde:

$S_o$  = Área específica de superficie ( $cm^2/cm^3$ )

$A_p$  = Área de la partícula ( $cm^2$ )

$V_p$  = Volumen de la partícula ( $cm^3$ )

Sustituyendo en la ecuación (2) tenemos:

$$\frac{(-\Delta P)_f G_c}{L} = \frac{5(1-E)^2 \mu v_s s_o^2}{E^3} \quad (4)$$

Despejando la velocidad del flujo tenemos:

$$v_s = \frac{(-\Delta P)_f G_c E^3}{5 L \mu s_o^2 (1-E)^2} = \frac{1}{A} \frac{dv}{d\theta} \quad (5)$$

Donde:  $\frac{dv}{d\theta}$  es el volumen de filtrado que ha pasado por la cama por unidad de tiempo.

$A$  = Area de filtración ( $\text{cm}^2$ )

Relacionando  $L$  con el volumen filtrado obtenemos este balance de materia.

$$L \cdot A (1-E) \rho_s = W (V + E \cdot L \cdot A) \quad (6)$$

Donde:

$\rho_s$  = densidad de los sólidos en la torta (gramos/ $\text{cm}^3$ )

$W$  = peso de los sólidos en suspensión por volumen de líquido (gramos/ $\text{cm}^3$ )

V = Volumen de filtrado que ha pasado a través de la torta.

Despreciando el término  $E \cdot L \cdot A$  que representa el volumen de filtrado contenido en la torta, despejando  $L$  en la ecuación (6) y sustituyéndola en la ecuación (5), tenemos:

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{d\theta} = \frac{-(\Delta P)_f G_c E^3}{5 \frac{W V \mu (1-E) S_o^2}{A \rho_s}} = \frac{-(\Delta P)_f G_c}{\frac{\alpha \mu W V}{A}} \quad (7)$$

Donde:  $\alpha$  = Resistencia específica de la torta (cm/g)

$$\alpha = \frac{5 (1-E) S_o^2}{\rho_s E^3} \quad (8)$$

Así también:  $\alpha = \alpha_o (-\Delta P_c)^S$

Donde:  $\alpha_o$  = Constante (determinada por el tamaño de las partículas que forman la torta) (cm/g).

S = Factor de compresibilidad (adimensional)

S = 0 para tortas incompresibles

S = 1 para tortas compresibles

La ecuación (7) considera la caída de presión a través de la torta únicamente, no incluye la pérdida de presión causada por el medio filtrante y por otras partes del equipo. Para considerar la caída de presión total  $\Delta P_t$  en la ecuación (7), el término resistencia deberá incluir también las resistencias al flujo de las partes adicionales del filtro.

$$\frac{dv}{A d\theta} = \frac{(-\Delta P)_t G_c}{\mu \left( \frac{\alpha W V}{A} + R_m \right)} \quad (9)$$

Donde:  $R_m$  está medida en  $\text{cm}^{-1}$ . Este término es conveniente expresarlo como volumen de filtrado equivalente ( $V_e$ ).

$$\frac{dv}{A d\theta} = \frac{(-\Delta P)_t G_c}{\mu \frac{\alpha W}{A} (V + V_e)} \quad (10)$$

Integrando la ecuación (10) y considerando el factor  $\alpha$  y la presión constantes, obtenemos:

$$\int_0^V (V + V_e) dV = \int_0^\theta \frac{G_c A^2 (-\Delta P)_t d\theta}{\mu \propto W} \quad (11)$$

$$\frac{V^2}{2} + V V_e = \frac{G_c A^2 (-\Delta P)_t \theta}{\mu \propto W} \quad (12)$$

o bien

$$\theta = \frac{\mu \propto W}{G_c A^2 (-\Delta P)_t} \left( \frac{V^2}{2} + V_e V \right) \quad (13)$$

La solución de la ecuación (13) requiere del cálculo de las constantes  $\propto$  y  $V_e$ , las cuales se conocen comúnmente mediante pruebas de planta piloto. Con el objeto de calcular estas constantes a través de los datos experimentales, la ecuación (10) se arregla de la siguiente forma:

$$\frac{d\theta}{dV} = \frac{\mu \propto W}{G_c A^2 (-\Delta P)_t} (V + V_e) \quad (14)$$

El método de solución gráfica consiste en que por medio de datos obtenidos en las pruebas experimentales se forme un histograma de barras considerando el volumen filtrado en las abscisas y en las ordenadas la relación entre incrementos de tiempo e incrementos de volumen. Posteriormente se traza una línea recta que corte por el centro a las terminales de las barras.

La pendiente de esa recta está representada por:

$$\text{Pendiente} = \frac{\mu \alpha W}{G_c A^2 (-\Delta P)_t} \quad (15)$$

de donde se puede despejar el valor de  $\alpha$ . La intersección está representada por:

$$\frac{\mu \alpha W}{G_c A^2 (-\Delta P)_t} V_e \quad (16)$$

El valor del punto de intersección de la recta con la ordenada al origen es igual al producto de la pendiente por  $V_e$ , de donde se puede despejar el valor de  $V_e$ . (Ver -- figura I.1).

Este método tiene validez únicamente cuando se trata de pruebas a presión constante y los sólidos son incompresibles.

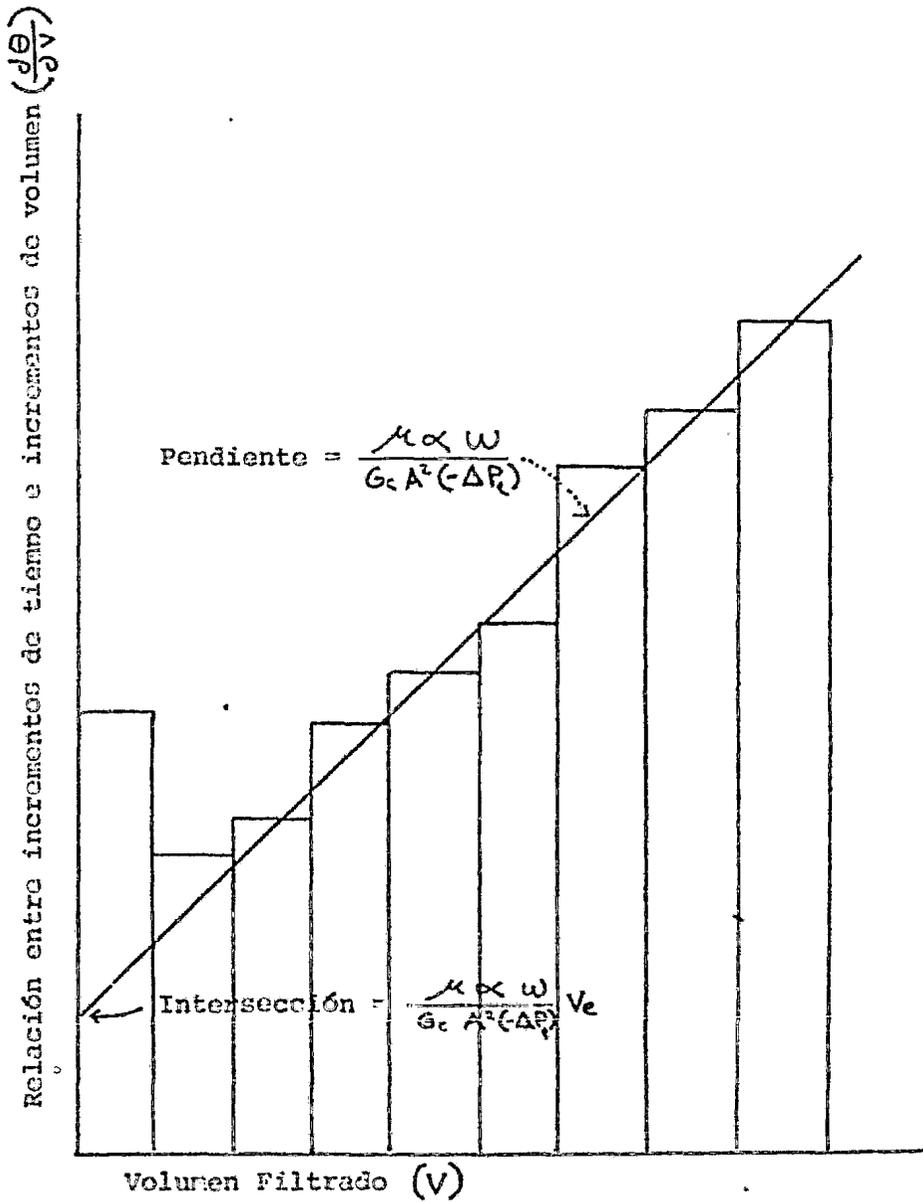


FIGURA I.1

METODO DE SOLUCION GRAFICA PARA CALCULAR CONSTANTES DE FILTRACION.

## I.6 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LA MEZCLA QUE VAN A INFLUIR EN LA FILTRACION.

1.- Concentración de sólidos en la suspensión.- El contenido de sólidos de la suspensión va a tener gran influencia en la velocidad de filtración. La ecuación (1) nos muestra que, despreciando la resistencia del medio filtrante, el gasto del filtrado es inversamente proporcional a la relación de los sólidos al filtrado, pero la velocidad de formación de la torta es directamente proporcional a dicha relación.

2.- Características de las partículas sólidas.- Existen tres características físicas de los sólidos que combinadas influyen notablemente en la velocidad de filtración, las cuales son: forma, tamaño y densidad.

a) Forma.- La estructura de las partículas sólidas, así como su dureza y compresibilidad son factores determinantes que favorecen o dificultan la filtración. Las partículas con formas irregulares no se depositan apretadamente en la torta, sino que van dejando una gran cantidad de espacios vacíos, formando así una torta porosa que facilita el paso del líquido. Asimismo favorecen la filtrabilidad las partículas incompresibles. La mayoría de las parti-

culas sólidas son de forma irregular, rara vez son esféricas o uniformes. Puede haber del tipo de cristales, fibras, geles, coloides, etc.

- b) Tamaño.- Las dimensiones de las partículas sólidas causan un efecto notable en la filtrabilidad. El gasto de filtración es directamente proporcional al tamaño de las partículas.
- c) Densidad.- La densidad de las partículas es realmente significativa sólo cuando la separación depende de la diferencia de densidades entre éstas y el fluido.

### 3.- Características del líquido.-

- a) Viscosidad.- La viscosidad de un líquido se puede definir como la medida de su resistencia a fluir, debido a fuerzas internas de fricción. De acuerdo con la ecuación de Hagen - Poiseuille, para la velocidad del flujo de líquidos a través de capilares, podemos decir que el flujo es inversamente proporcional a la viscosidad.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P A}{R_c \mu L}$$

b) Densidad.- La densidad del líquido al igual que la de las partículas sólidas tiene una influencia mínima en la velocidad de filtración.

4.- Tensión superficial entre las partículas sólidas y el líquido.- Las condiciones de la superficie de contacto entre el líquido y los sólidos pueden influir considerablemente tanto en la velocidad de filtración como en la cantidad de líquido residual que permanece en las partículas sólidas.

#### I.7 PRETRATAMIENTO DE LA SUSPENSION.

La separación de sólidos de un líquido puede ser facilitada por un acondicionamiento previo del licor por filtrar. Existen procesos que sin este pretratamiento serían incosteables económicamente o prácticamente imposibles de realizar.

Las distintas técnicas que se utilizan en el pretratamiento consisten en modificar de alguna manera las características y propiedades de la suspensión mencionadas en el inciso I.6 .

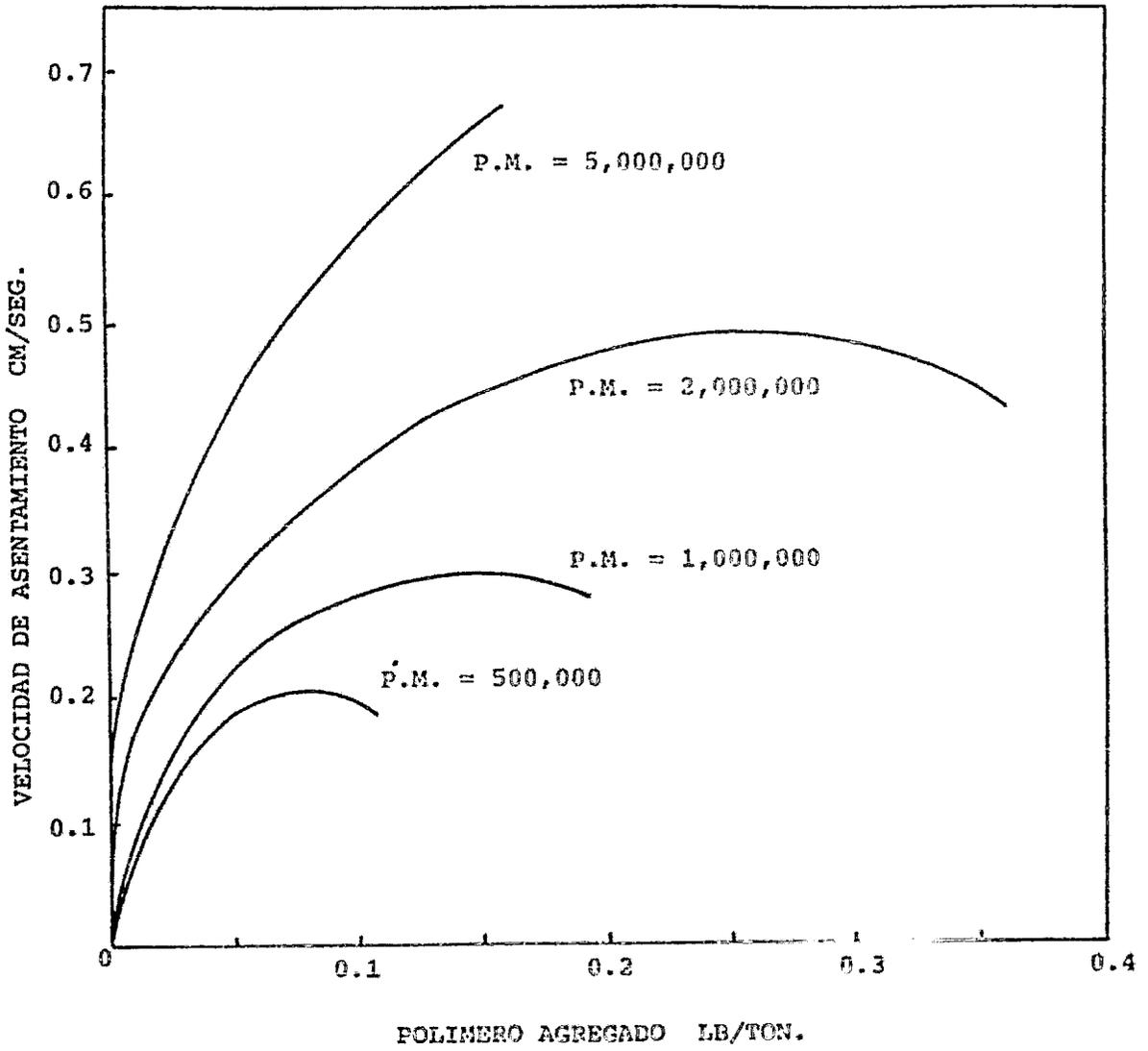
#### 1.- COAGULACION Y FLOCULACION.

La naturaleza de las partículas puede ser alterada mediante la adición de agentes coagulantes o floculantes.

Los términos de coagulación y floculación son en muchas ocasiones tratados como sinónimos, pero de hecho ambos son dos mecanismos físicos distintos que persiguen el mismo fin, el cual es lograr aglomerar las partículas finas suspendidas en un líquido, formando partículas de mayor tamaño.

a) Coagulación.- Es el fenómeno donde partículas muy finas de tamaño coloidal se adhieren entre sí. La adhesión de estas partículas es evitada generalmente por la presencia de altas cargas eléctricas del mismo signo en el sistema. Al adicionar un reactivo o electrolito que neutralice estas cargas, las fuerzas moleculares harán posible que se adhieran unas con otras formando partículas de mayor tamaño. Durante mucho tiempo se han utilizado sales inorgánicas con este propósito, pero en la actualidad se emplean polímeros orgánicos que contienen grupos catiónicos y que son conocidos como polielectrolitos catiónicos. El uso del calor para causar la coagulación de partículas coloidales es muy común en el laboratorio, sin embargo no parece tener el mismo impacto a escala industrial.

b) Floculación.- Es el fenómeno donde las moléculas de un reactivo actúan como puentes entre las partículas suspendidas, formando aglomeraciones en forma de "penachos". En general, la floculación tiende a formar partículas -



P.M. = PESO MOLECULAR

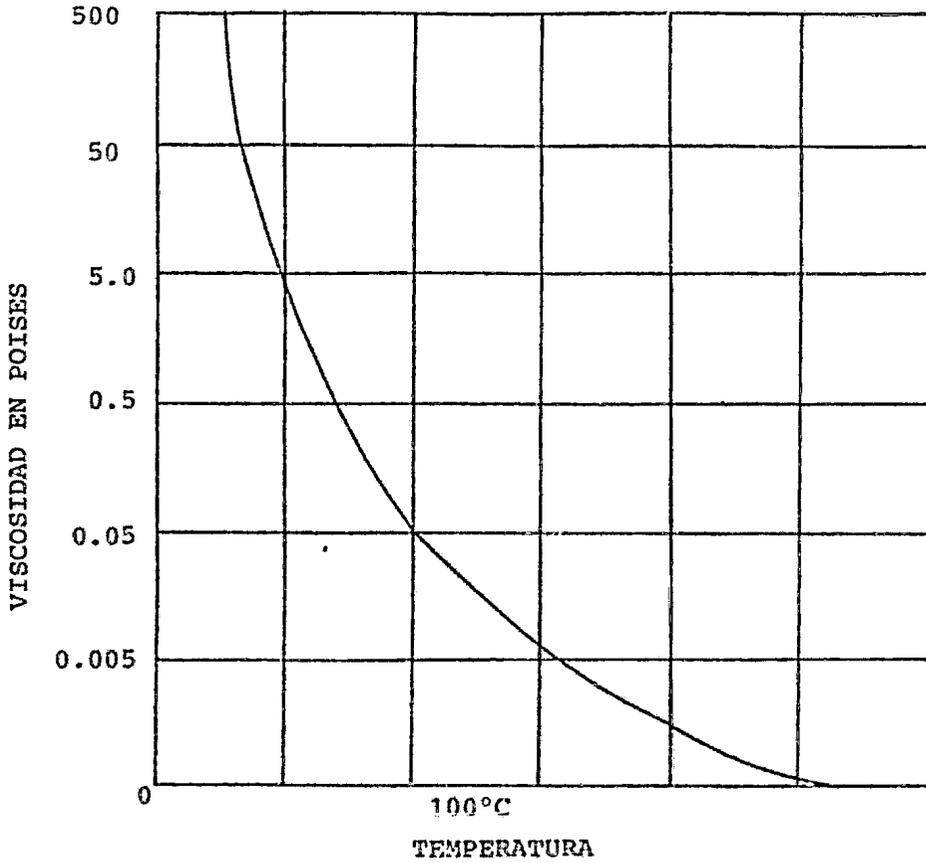
GRAFICA I.2 EFECTO DE LA ADICION DE FLOCULANTES DE DIFERENTES PESOS MOLECULARES

de mayor tamaño que las formadas por la coagulación. Los reactivos usados son generalmente polielectrolitos de gran tamaño molecular, almidón, gelatinas y gomas. En la gráfica I.2 se puede observar el resultado de la adición de flocculantes.

## 2.- REDUCCION DE LA VISCOSIDAD DEL LIQUIDO.

Mediante la reducción de la viscosidad del líquido se puede facilitar la filtración, las dos técnicas de mayor importancia para este fin son:

- a) Aumento de la temperatura del licor.- Aumentando la temperatura del líquido se puede obtener una considerable reducción en la viscosidad; por ejemplo, la viscosidad del agua puede reducirse en un 45% si se calienta ésta de 20°C a 50°C. Como se puede apreciar en la gráfica -- I.3, el efecto de la variación de la temperatura es mayor en líquidos de alta viscosidad, como podrían ser -- compuestos orgánicos de peso molecular elevado. Esta -- gráfica también nos indica que el seguir aumentando la temperatura del líquido se hace cada vez menos útil. - El punto de ebullición del licor representa una limitación para la aplicación de esta técnica.
  
- b) Dilución del licor.- Mediante la adición de un líquido menos viscoso y compatible con la suspensión que se va a filtrar podemos reducir la viscosidad de ésta. Las -



GRAFICA I.3 CURVA GENERALIZADA DE LA VISCOSIDAD PARA LIQUIDOS.

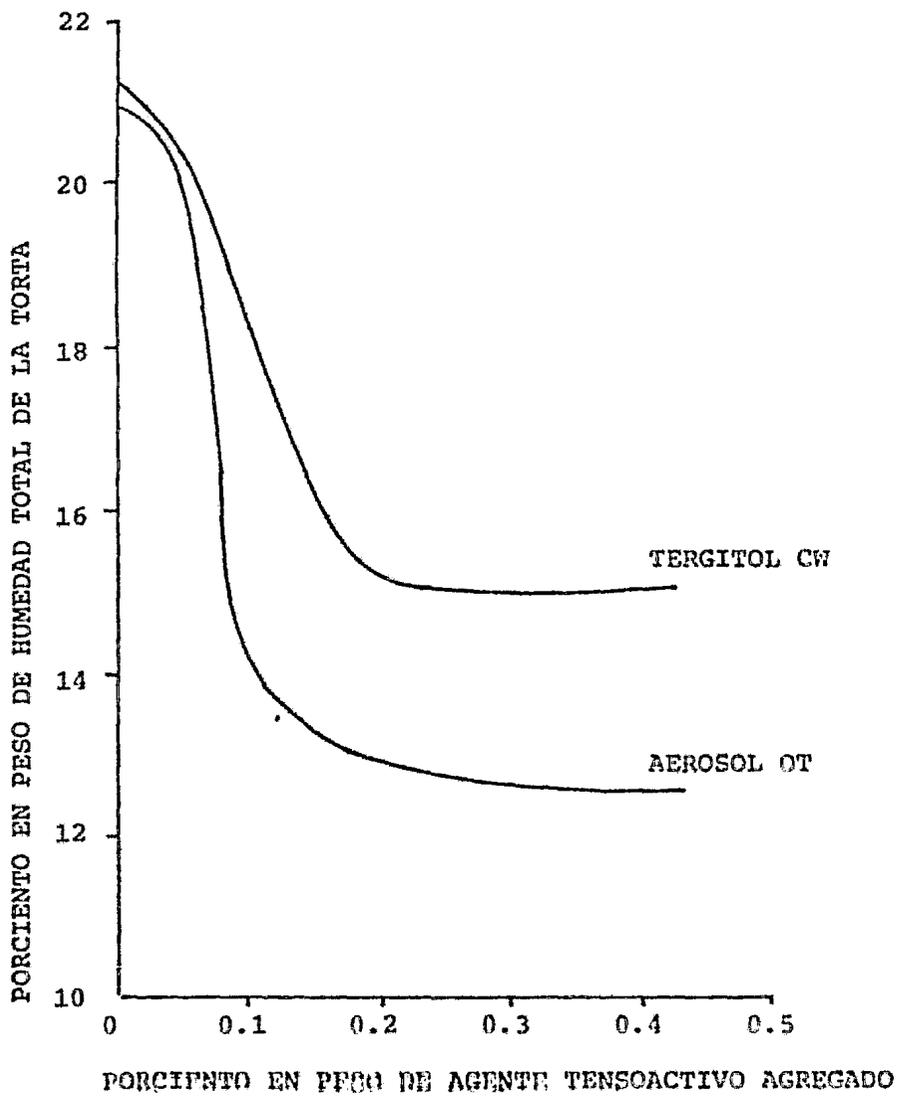
desventajas de este procedimiento son el aumento del -- volumen por filtrar y la posibilidad de tener que procesar el filtrado.

### 3.- REDUCCION DE LA TENSION SUPERFICIAL.

La reducción de la tensión superficial entre las -- partículas sólidas y el líquido puede ser reducida mediante la adición de agentes tensoactivos. En la gráfica I.4 - se muestra como puede influir la adición de estas sustan-- cias en la cantidad de líquido retenido en la torta.

### 4.- CONCENTRACION DE SOLIDOS.

La concentración de sólidos en la suspensión puede aumentarse artificialmente cuando sea necesario, agregando sólidos inertes o compatibles químicamente con el sistema; por ejemplo, algún tipo de filtro-ayuda como agregado posterior, con el objeto de formar una torta más permeable.



GRAFICA I.4 EFECTO DE LA ADICION DE AGENTES TENSOACTIVOS.

### I.8 MEDIO FILTRANTE.

El medio filtrante o septum es "el elemento poroso del filtro por medio del cual se efectúa la retención de los sólidos contenidos en un líquido". Se considera que el medio filtrante es la parte más importante de un filtro, y que de él depende un funcionamiento eficiente del filtro.

Entre los medios filtrantes más importantes tenemos los siguientes:

- a) Materiales tejidos; incluyendo algodón, fibras sintéticas, metales, lana, lino, seda, plásticos, etc.
- b) Hojas metálicas perforadas.
- c) Sólidos sueltos; incluyendo arena, grava, asbesto, carbón activado y filtro-ayudas.
- d) Sólidos porosos; incluyendo plásticos, cerámica, metal sinterizado y la fibra de celulosa.
- e) Filtros; como el papel filtro.

Las aplicaciones y descripción de estos medios filtrantes se verán con mayor amplitud en el capítulo II.

Las características de un medio filtrante dependen de las propiedades intrínsecas del material con que fue fabricado, y de las técnicas empleadas en su elaboración.

Las principales propiedades que deben reunir los medios filtrantes son las siguientes:

- 1) Retención.- "Es la capacidad de un medio filtrante para

retener cierta cantidad del total de sólidos en suspensión, o bien el total de sólidos hasta determinado tamaño".

Dependiendo del tamaño de los sólidos a retenerse, la filtración puede recibir los siguientes nombres: Colado.- Retención de partículas de más de 50 micras de tamaño.

Clarificación.- Retención de partículas de 50 a 10 micras.

Pulido.- Retención de partículas de 10 a 2 micras.

Pulido ultrafino.- Retención de partículas de 2 a 0.75 micras.

Esterilización.- Retención de partículas de menos de 0.75 micras.

- 2) Permeabilidad.- La permeabilidad del medio filtrante es el recíproco de su resistencia al flujo. Depende de la estructura del medio y de su porosidad.

La unidad de medición de permeabilidad es el "Darcy". Un (1) Darcy es la permeabilidad de una sustancia que permite el paso de un volumen de 1 ml. en un segundo, a través de un área de 1 cm<sup>2</sup> y con un espesor de 1 cm, con una viscosidad de 1 centipoise, bajo una presión diferencial de una (1) atmósfera.

$$\frac{P}{L} = \frac{Q N}{A \phi}$$

En donde:

P = Caída de presión (dinas/cm<sup>2</sup>).

L = Espesor del medio filtrante (cm).

Q = Velocidad del flujo (cm<sup>3</sup>/segundo).

A = Area del filtro (cm<sup>2</sup>).

N = Viscosidad (poises) (g/cm seg).

Ø = Permeabilidad (cm<sup>2</sup>).

Un (1) Darcy es igual a 10<sup>-8</sup> cm<sup>2</sup>.

En la tabla I.1 se muestran algunos valores típicos de permeabilidades de algunos medios filtrantes.

TABLA I.1

PERMEABILIDADES DE VARIOS MATERIALES EN DARCIOS.

Ayuda - filtros	0.5-5
Fibra de pulpa de celulosa	1.86
Fibra de celulosa + 5% de asbesto	0.34
Papel filtro	0.017-1.13
<u>Medios metálicos</u>	
Tamaño del poro 3 micras	0.20
Tamaño del poro 8 micras	1.0
Tamaño del poro 28 micras	7.5
Tamaño del poro 75 micras	70.0

3) Porosidad.- Es el % de espacios libres en el área total

del medio filtrante. En la Tabla I.2 se muestran valores de porosidades de algunos medios filtrantes.

TABLA I.2

POROSIDADES TIPICAS DE ALGUNOS MEDIOS FILTRANTES

	Máximo % espacios vacíos
Malla metálica	80
Membranas de plástico	80
Hojas de celulosa con asbesto	80
Ayuda - filtros	80 - 90
Papel filtro	60 - 95
Scott Plastic Foam	97

4) Otras propiedades importantes del medio filtrante serían su facilidad de limpieza y su resistencia a la abrasión, al calor, a la rotura, a la flexión y a la acción de -- productos químicos.

## CAPITULO II

### ELEMENTOS PARA LA SELECCION DE UN FILTRO

En este capítulo hablaremos de los elementos necesarios para seleccionar un filtro para una aplicación específica.

Consideraremos que existen cuatro requisitos importantes para hacer una selección adecuada:

- 1.- Tener claramente definidas las necesidades y condiciones de la operación.
- 2.- Tener un conocimiento amplio sobre el equipo de filtración disponible en el mercado.
- 3.- Emplear tablas de selección de filtros basadas en datos estadísticos.
- 4.- Realizar pruebas de planta piloto.

#### II.1 INFORMACION NECESARIA SOBRE LA FILTRACION POR REALIZAR.

Para tener una idea clara de los objetivos y necesidades de la filtración por realizar, es importante contar con una información amplia sobre el material por filtrar, sobre el proceso de filtración, y sobre el proceso en general.

1.- INFORMACION SOBRE EL PROCESO EN GENERAL.

- Suspensión por filtrar.
- Como se produce la suspensión.
- La producción de la suspensión es continua o intermitente.
- Capacidad: Si es continua, (lit/hr); si es intermitente, (lit/proceso) cada \_\_\_\_ horas.
- Para qué proceso subsecuente se necesita el filtrado.
- Para qué proceso subsecuente se necesitan los sólidos retenidos.
- Se puede mezclar el licor de lavado con el filtrado.
- Qué tipo de filtro ha sido utilizado previamente para este proceso.
- Qué datos anteriores hay disponibles de esta operación.
- Qué materiales de construcción son preferibles o aceptables.
- Existe algún factor que requiera especial atención.
- Describa el lugar donde va a ser instalado el filtro.

2.- INFORMACION SOBRE EL PROCESO DE FILTRACION.

- Cual de los siguientes es el producto importante
  - El filtrado
  - Los sólidos
  - El filtrado y los sólidos
- Especificaciones del filtrado (claridad requerida).
- Especificaciones de la torta (% del contenido de humedad máximo y mínimo).

- Se requiere o no lavado de la torta.
- Si se requiere lavado:
  - a) qué líquido se debe usar
  - b) qué tan importante es la cantidad de líquido a utilizar
  - c) qué impurezas se desean eliminar
  - d) cuál es la concentración de estas impurezas en el licor original
  - e) qué concentración de estas impurezas se puede tolerar en la torta lavada
  - f) se requiere descarga automática o manual
- Se puede o no usar filtro-ayuda.

### 3.- INFORMACION SOBRE EL MATERIAL POR FILTRAR.

- Naturaleza de la fase líquida.
- pH de la fase líquida.
- Sustancias solubles presentes en la fase líquida y concentración de cada una.
- Naturaleza de los sólidos en suspensión.
- Concentración de los sólidos en suspensión.
- Estructura de las partículas sólidas (fibrosas, cristalinas, pastosas, etc.).
- Tamaño de las partículas sólidas.
- Otras propiedades de los materiales que se consideran de importancia.

## II.2 DESCRIPCION Y APLICACION DE LOS DISTINTOS TIPOS DE - FILTROS.

Como se mencionó en el capítulo I, los filtros se pueden clasificar de acuerdo a la fuerza motriz que utilizan, en base a esto analizaremos los principales modelos existentes en el mercado.

### 1.- FILTROS POR GRAVEDAD.-

Los filtros por gravedad son abiertos a la atmósfera, cuentan con un soporte para el medio filtrante y un sistema de drenado interior que desaloja el filtrado. Dentro de esta categoría encontraremos los siguientes modelos:

a) Filtros de arena.- Estos filtros consisten de capas de arena, grava y piedra sostenidas por una rejilla; pueden ser construidos de concreto, con la parte superior abierta. La alimentación se bombea hasta la parte superior de la capa de arena y pasa a través del lecho por gravedad. Después de un periodo de operación, el lecho se limpia por medio de un flujo de agua a contracorriente.

Los filtros de arena se usan solamente cuando se tratan flujos grandes de pastas muy diluidas y cuando el producto sólido no va a ser recuperado. Son muy efectivos para suspensiones con un contenido de sólidos de entre 0.02 a 0.01 % en peso, reteniendo partículas desde 0.1 hasta 50 micras. Se obtienen filtrados de gran claridad. Encontramos aplicaciones típicas de estos fil

tros en las plantas de tratamiento y saneamiento de aguas.

- b) Filtros de tambor rotatorio.- Consisten en una armazón cilíndrica que sirve como soporte de una tela metálica enrollada sobre dicha armazón. El tambor está suspendido en un tanque o caja de inmersión. Los sólidos se depositan sobre la tela metálica por el giro del tambor. La eliminación de sólidos depositados puede ser por cuchilla, por regaderas o por retrolavado.

Los filtros de tambor son efectivos para suspensiones con una concentración de sólidos de 0.08 a 0.8 % en peso, y pueden retener partículas cuyo tamaño varíe entre 50 y 6000 micras.

- c) Filtros de tamiz rotatorio.- Este filtro consiste de un tamiz sinfín que presiona sobre el material desalojando el líquido, los sólidos se descargan por gravedad.

Estos filtros pueden utilizarse para filtrar suspensiones con un contenido de sólidos de entre 0.009 a 0.1 % en peso. Pueden retener partículas de entre 100 y 10,000 micras.

## 2.- FILTROS A PRESION.-

Los filtros a presión utilizan caídas de presión mayores que las empleadas en los filtros por gravedad y los filtros a vacío. Estos filtros pueden tratar flujos con concentraciones de hasta 10% de sólidos y presentan alguna di

ficultad para manejar partículas muy finas. Con la mayoría de los filtros a presión se puede utilizar filtro-ayuda.

Los filtros a presión pueden ser agrupados en dos categorías; los filtros de marcos y placas; y los que consisten de un recipiente a presión conteniendo elementos -- filtrantes (por ejemplo, filtro de hojas).

a) Filtros-prensa.-- El filtro-prensa ha sido el equipo para filtración más ampliamente usado en la industria química. Este filtro nos ofrece una gran flexibilidad en su operación, su costo de adquisición es medio y su costo de operación es alto. Por otra parte la necesidad de desarmarlos manualmente después de cierto periodo, representa una labor que en ciertos casos resulta excesiva y requiere demasiado tiempo.

El diseño más usual del filtro-prensa consiste en alternar placas y marcos de forma cuadrada o rectangular.

En la fig. II.1 se muestra un par formado por placa y marco; la fig. II.2 es un diagrama de un filtro-prensa en operación.

El medio filtrante puede ser lona o tela sintética, papel filtro o malla de alambre. Cuando las telas filtrantes se han alineado con las placas y marcos, y la prensa ha sido cerrada, el medio filtrante actúa como empaquetadura, sellando las placas y los marcos y formando un canal de flujo continuo a través de los agujer-

ros en las placas y los marcos. La pasta de alimenta---  
ción es bombeada entonces a la prensa bajo presión y --  
fluye dentro del ducto de la esquina inferior. (Figs. --  
II.1 y II.2).

Este ducto tiene salidas en cada uno de los marcos,  
para que la pasta llene los marcos en paralelo. El fil-  
trado fluye a través del medio filtrante, mientras que  
los sólidos se acumulan en una capa en el lado del mar-  
co del medio filtrante. El filtrado fluye entre la tela  
del filtro y la cara de la plâca, hacia un ducto de sa-  
lida.

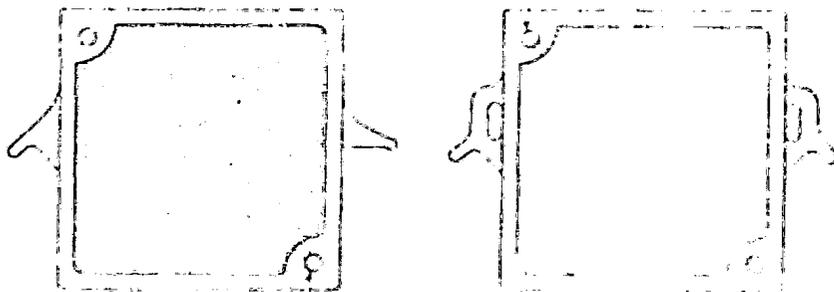
Existe una gran variedad de placas y marcos, las di  
ferencias entre un modelo y otro pueden ser las siguien  
tes:

--- Localización de la alimentación y de la descarga del -  
filtrado: esquinada o lateral.

--- Tipo de descarga del filtrado.-

Descarga abierta.- La salida del filtrado se encuentra  
en cada placa con llaves de control, permitiendo así -  
un control más adecuado en cada cámara. Es recomenda--  
ble cuando la claridad del filtrado es importante.

Descarga cerrada.- El filtrado se descarga por un canal  
cerrado que recolecta el filtrado de todas las placas.  
Es recomendable para filtrados en los que se desee evi  
tar el contacto con el aire o para filtrados volátiles.



Placa

Marco

Fig. II.1 Placa y marco para un filtro prensa.

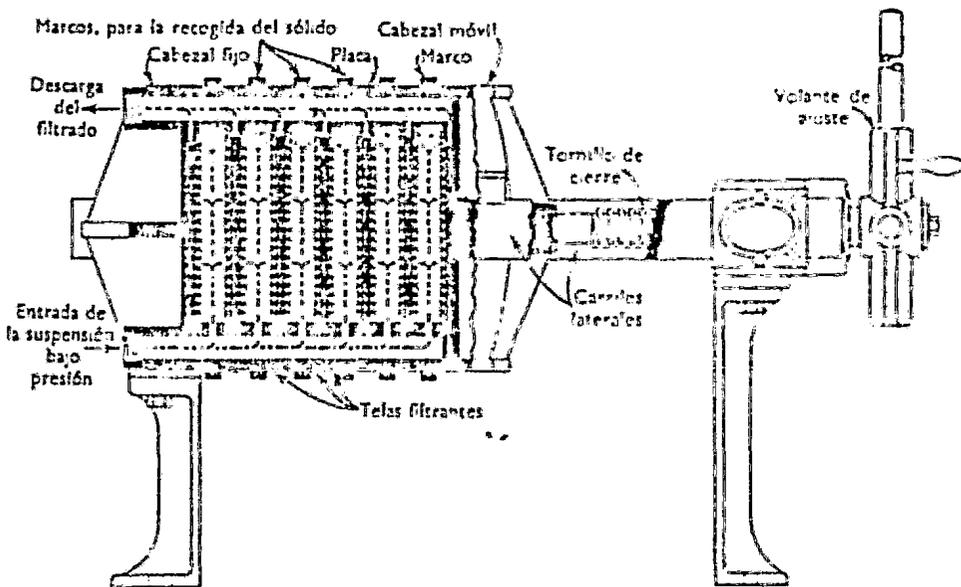


Fig. II.2 Diagrama esquemático de un filtro prensa.

El tamaño de las placas varía desde  $150\text{mm}^2$  hasta  $2\text{m}^2$ , dando áreas de filtración de hasta  $200\text{m}^2$ .

Los filtros de placa y marco son muy versátiles, su área efectiva puede variarse simplemente quitando placas, el espesor de la torta puede variarse cambiando el espesor de los marcos, o agrupando varios marcos juntos.

Al ser el filtro-prensa un filtro de funcionamiento intermitente, es particularmente bueno cuando distintos productos deben ser manejados por una sola unidad. En la actualidad existen modelos automáticos o semiautomáticos que reducen su elevado costo de mano de obra.

El filtro-prensa puede manejar con efectividad suspensiones con concentraciones de sólidos que varíen entre 0.002 y 30 % en peso, así como tamaños de partículas del rango de 1 a 100 micras, se obtienen filtrados de gran claridad

b) Filtros de tanque vertical y hojas verticales (Fig. II.3)

Dentro de los filtros de hojas, este modelo es posiblemente el más económico y el que menos espacio ocupa. Su área de filtración está limitada a  $60\text{m}^2$ .

c) Filtros de tanque horizontal y hojas verticales (Fig. - II.4).- Estos filtros pueden ser construidos en tamaños

mayores ( $150\text{m}^2$  o más). Este modelo permite un fácil acceso a las hojas, lo cual facilita la descarga de la torta. Existe un modelo de este filtro con hojas rotatorias el cual proporciona una formación más uniforme de la torta y una mejor limpieza.

Los filtros de hojas verticales pueden manejar suspensiones con un contenido de sólidos de entre 0.002 -- hasta 5% en peso, así como partículas cuyo tamaño varíe entre 1 y 110 micras.

- d) Filtros de hojas horizontales (Fig. II.5). -- Estos filtros son muy recomendables tanto con tanque vertical como horizontal, cuando el flujo es intermitente. A diferencia de los de hojas verticales, estos no presentan peligro de desprendimiento de la torta. Sin embargo, debido a que la filtración se lleva a cabo solamente en la parte superior de las hojas horizontales, el área de filtración está limitada alrededor de  $45\text{m}^2$ . Los filtros de hojas horizontales son recomendables cuando se necesita un lavado de la torta muy completo. Manejan suspensiones con contenidos de sólidos de entre 0.002 hasta 3 % en peso, así como tamaños de partícula de entre 1 y 100 micras.

Las hojas en todos estos filtros pueden ser redondas, triangulares, cuadradas o rectangulares y van cubiertas con el medio filtrante.

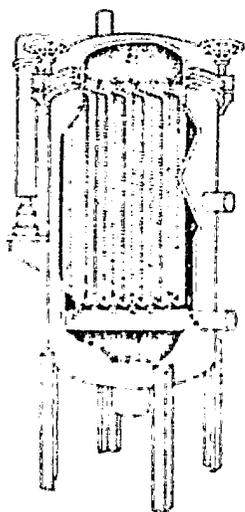


Fig. II.3 Filtro de Tanque Vertical y Hojas Verticales

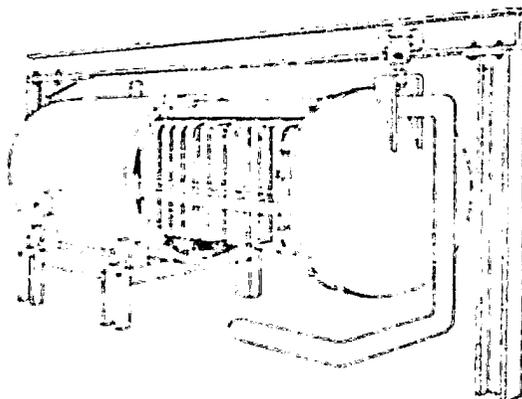


Fig. II.4 Filtro de Tanque Horizontal y Hojas Verticales

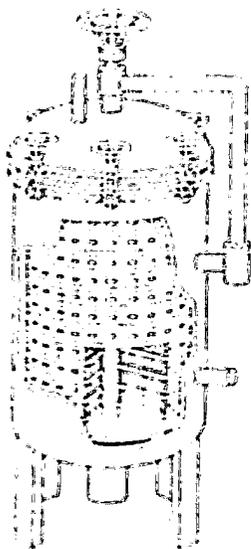


Fig. II.5 Filtro de Hojas Horizontales



Fig. II.6 Filtro con Elementos Tubulares

e) Filtro con elemento tubular (Fig. II.6).- Dentro de la categoría de los filtros de tanque a presión tenemos este modelo ampliamente usado cuando no se requiere lavar la torta. La filtración se inicia en el fondo del tanque, pasando el filtrado hacia la parte de arriba.

Los tubos generalmente miden entre 25 y 75 milímetros de diámetro y hasta dos metros de longitud. Hechos de metal o de metal cubierto de tela, proveen áreas de filtración de hasta  $100 \text{ m}^2$ . El diámetro del tanque puede ser de hasta 1.5 m.

Este filtro es apropiado para filtrar suspensiones cuyo contenido de sólidos sea de 0.002 a 1% en peso, y con partículas de tamaños de 0.5 a 100 micras.

f) Filtros de cartucho (Fig. II.7).- En su forma más simple un filtro de cartucho consta de un tanque cilíndrico -- dentro del cual se coloca un elemento filtrante tubular removible. Generalmente, la suspensión pasa por la cara exterior del elemento y el líquido claro se desaloja por el hueco interior. Una vez que se han depositado suficientes sólidos en el elemento, es necesario limpiarlo o reemplazarlo por uno nuevo, lo cual hace que su costo de operación sea elevado.

En la actualidad los filtros de cartucho se encuentran en infinidad de arreglos. El filtro puede contener hasta más de 300 elementos filtrantes, proporcionando áreas de filtración de hasta  $7 \text{ m}^2$ .

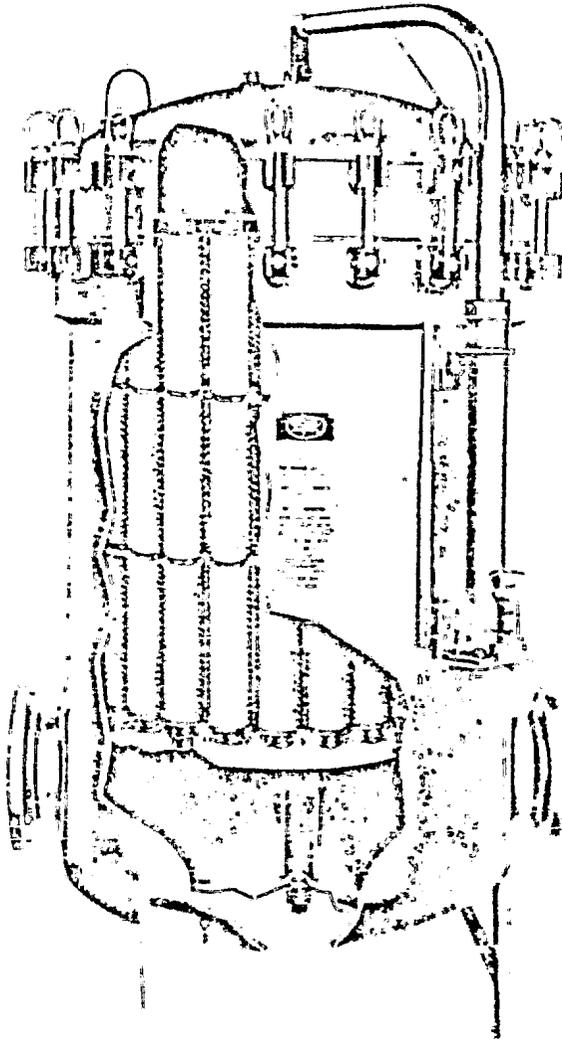


Fig. 11.7 Filtro de Cartucho con Elementos  
Múltiples

### 3.- FILTROS A VACIO.-

En los filtros a vacío, como se mencionó en el capítulo I, la fuerza motriz que hace pasar al líquido a través del medio filtrante es una presión negativa (succión).

En casos donde la proporción de partículas sólidas en la suspensión es pequeña, un filtro a vacío puede formar tortas con contenidos de humedad comparables a las descargadas por filtros a presión.

Los filtros a vacío se encuentran disponibles en una gran variedad de modelos, los cuales pueden clasificarse de acuerdo a su funcionamiento: intermitente o continuo.

#### A) Intermitentes:

- a) Filtro de cama a vacío.- Este filtro consiste de un tanque cilíndrico o rectangular, dividido en dos compartimentos por una sección perforada que actúa como soporte del medio filtrante. La alimentación se efectúa vaciando la carga dentro de la cámara superior.- La succión se aplica al compartimento inferior donde se colecta el filtrado. Los sólidos se renuevan manualmente y pueden ser lavados por inundación de la torta con licor de lavado, aplicando después el vacío.

Los materiales de construcción más comunes son cerámica, madera y metal.

- b) Filtro de hojas, a vacío.- Consiste de una o más hojas verticales conectadas a un sistema de vacío, en-

sambladas en paralelo y sostenidas por medio de dos soleras. Las líneas de recolección del filtrado están conectadas a una tubería común.

En este filtro, también conocido como filtro Moore, la unidad de hojas se sumerge sucesivamente en un tanque que contiene a la suspensión. La filtración empieza cuando se aplica la succión. Si se desea lavado de los sólidos, las hojas se sumergen en otro tanque especial para lavado. La descarga de la torta se hace generalmente con soplado de aire.

Las concentraciones de sólidos que puede manejar este filtro van desde 0.07 hasta 2% en peso. Asimismo es apropiado su uso para tamaños de partícula de entre 1 y 500 micras.

#### B) Continuos:

a) Filtro de banda.- Consiste de una pantalla horizontal montada en tensión, en forma de banda sinfín. La succión se logra por medio de cajas de vacío, localizadas en el centro de la banda. Estos filtros se encuentran disponibles para grandes capacidades, con áreas de hasta 200 m<sup>2</sup> o más. Las bandas pueden ser corridas a grandes velocidades cuando se manejan materiales de filtración rápida como suspensiones de minerales. Las principales desventajas de estos filtros son: el alto costo de reemplazo de las bandas, que se desastan debi

do a la fricción entre éstas y la cámara de vacío; los relativamente bajos niveles de vacío; y las limitaciones de las propiedades de la banda para con ciertos solventes.

- b) Filtro de tambor rotatorio (Fig. II.8)..- Es el filtro más ampliamente usado por las industrias que requieren filtrar grandes volúmenes en forma continua.

Los filtros de tambor rotatorio pueden ser de compartimento simple o compartimento múltiple.

El diseño de este filtro consiste de un cilindro cuya superficie está perforada, ya sea como placa o como tamiz, y cubierta por el medio filtrante. El tambor se sumerge parcialmente en el tanque que contiene al licor por filtrar. La sumergencia usual es aproximadamente un tercio de la circunferencia del cilindro. La filtración ocurre precisamente en la sección sumergida, siendo ahí donde se forma la torta; el filtrado que pasa a través del tambor es descargado en un tanque recolector. La torta formada pasa por las secciones de lavado y secado, para ser finalmente descargada mediante un mecanismo que puede ser de banda, de cuchilla, de cuerdas o de rodillo.

Debido a la forma en que el tambor es alimentado, este filtro no es apropiado para manejar suspensiones

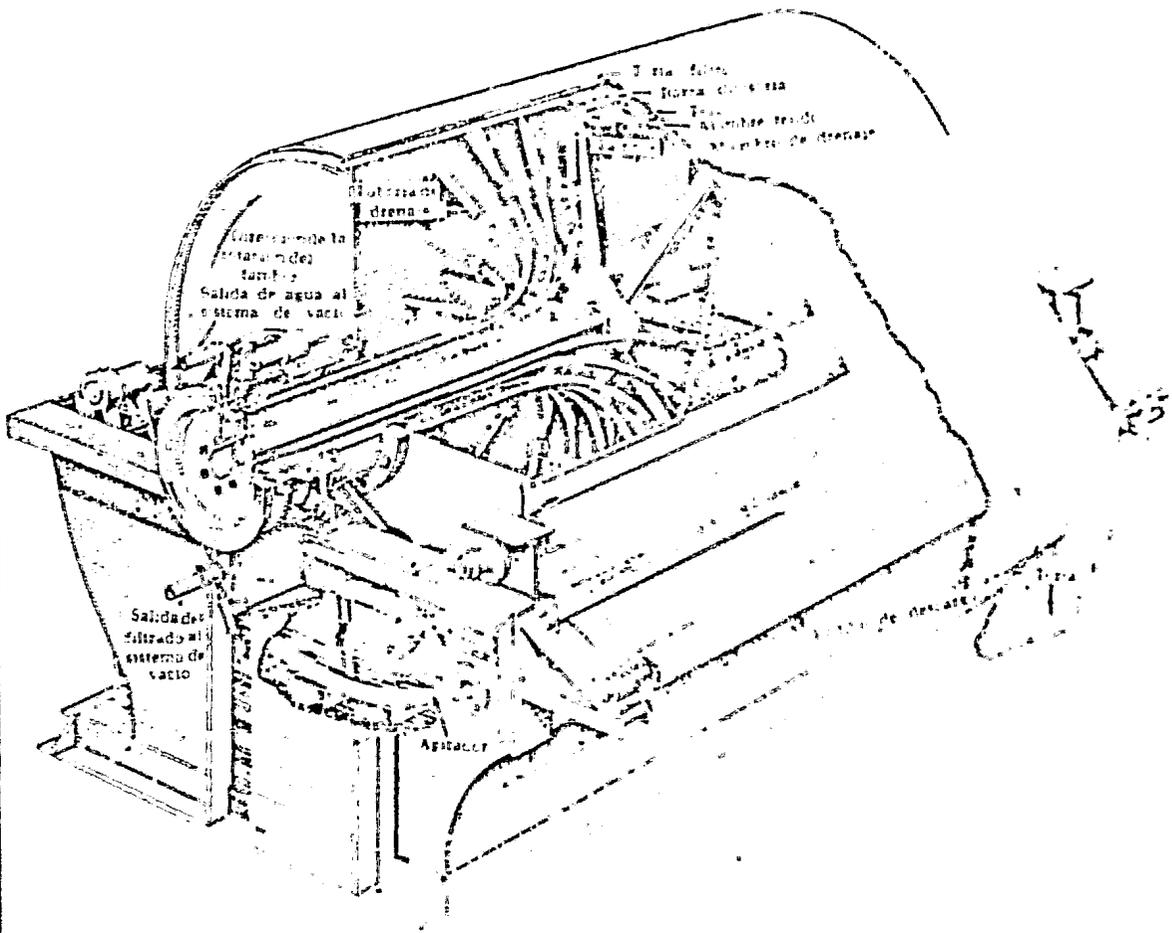


Fig. II.8 Dibujo esquemático de un Filtro de Vacío, de Tam-  
bor rotatorio y Descarga de Cadena.

nes de rápido asentamiento o contengan partículas muy finas. Pueden manejar un rango de tamaño de 1 a 600 micras y concentraciones de sólidos del orden del 5 al 70% en peso.

Cuando el filtro es de compartimento simple, el vacío es aplicado a todo el tambor, el cual tiene arreglos especiales para drenado del filtrado y del licor lavado, así como para soplado con aire para facilitar la descarga de sólidos. Su uso queda limitado para presiones bajas de vacío.

Cuando se trata de un filtro de compartimento múltiple, el vacío es aplicado en el interior de un tambor dividido en varios compartimientos, cada uno de los cuales está conectado individualmente a la válvula múltiple. Mediante la rotación del tambor, todos los compartimientos pasan por el mismo ciclo de operación: filtrado, lavado y descarga de la torta.

- c) Filtros de disco horizontal.- Este filtro consiste de un solo disco formado por varias secciones uniformes, cada una conectada a un eje central giratorio y con medio filtrante individual. El vacío se aplica por medio de una válvula múltiple conectada al eje central.

Una de las ventajas de este filtro es que puede manejar grandes cantidades de suspensión sin nec

sidad de agitación. Sin embargo, no es recomendable para lodos compresibles. Se utiliza frecuentemente en procesos metalúrgicos, donde hay que separar materiales altamente concentrados y de filtración rápida.

- d) Filtros de disco vertical.- Consiste de uno o varios discos verticales montados en un eje central giratorio. El vacío se aplica como en el filtro anterior, por medio de una válvula múltiple conectada al eje central.

Los discos se sumergen en el tanque de la suspensión, realizándose la filtración al aplicarse el vacío. El nivel de sumergencia de los discos es crítico, ya que determina el área real de filtración, así como la dificultad de descarga de la torta.

Este filtro se utiliza ampliamente cuando no se requiere lavado de la torta. Puede manejar contenidos de sólidos de entre 4 y 40% en peso, así como tamaños de partícula de entre 1 y 700 micras.

#### Otras consideraciones sobre los filtros a vacío.

En general, los filtros a vacío que utilizan superficies de filtración horizontales y son alimentados por la parte superior presentan las siguientes ventajas:

- 1.- Se lleva a cabo la filtración por gravedad antes de que se aplique el vacío. En muchos casos esto evita un

excesivo taponamiento del medio filtrante.

- 2.- Se pueden filtrar materiales pesados sin problemas originados por asentamiento.
- 3.- Los filtros con alimentación por la parte superior son ideales para lavado de torta, así como para secado de la misma.
- 4.- Se tiene un alto grado de control sobre la formación de la torta, especialmente con los filtros de banda, donde se pueden hacer cambios en el proceso mediante pequeñas variaciones en la velocidad de la banda o la calidad del vacío.

Existen, sin embargo, dos desventajas importantes:

- 1.- Requieren una gran superficie para su instalación.
- 2.- Su costo es elevado.

#### 4.- FILTROS CENTRIFUGOS.

Como otros filtros, la filtración centrífuga no requiere una diferencia de densidades entre el líquido y las partículas sólidas. Sin embargo, en muchísimas suspensiones dicha diferencia existe. En los filtros centrífugos intermitentes este fenómeno trae como consecuencia estratificación de la torta, de tal forma que la distribución de tamaños de partícula en la torta no es uniforme. Las partículas más densas se colectan más cerca del medio filtrante y actúan como precapa de las partículas más finas.

Los filtros centrífugos pueden ser agrupados en dos diferentes clases: de alimentación discontinua (filtros de cama fija) y de alimentación continua (filtros de cama móvil).

Las centrifugas de cama fija consisten generalmente de una canasta cilíndrica a la cual se alimenta la suspensión. Este modelo puede filtrar partículas más finas que las máquinas de cama móvil, las que generalmente son en forma cónica, y pueden rotar tanto en forma vertical como en forma horizontal.

a) Filtro centrífugo de canasta.- Consiste en una canasta perforada, cerrada por abajo y con un eje vertical. Este tipo de filtro se utiliza mucho en la filtración de productos de drenado lento y que su alimentación es tagada. Asimismo, para materiales que requieren un lavado muy completo.

Existen muchas versiones del filtro centrífugo de canasta.

La suspensión puede ser alimentada mediante una tubería o mediante un cono de alimentación rotatorio.

La torta puede descargarse manualmente o mediante un implemento que desplaza la torta después de que la canasta ha bajado su velocidad, haciéndola caer por la abertura del fondo de la canasta.

Existen versiones completamente automáticas de este filtro. La velocidad de la centrifuga puede irse varia

do en el transcurso de la filtración. Estas velocidades varían entre 800 y 1500 rpm. Los diámetros de la canasta son de 10 a 1400mm.

La falta de uniformidad en la formación de la torta, debido a los efectos de la gravedad, puede causar dificultades durante el lavado. Los tamaños de partícula -- que generalmente pueden recuperar estos filtros varían entre 2 y 30,000 micras, y el contenido de sólidos para el cual son efectivos es de 10 a 50% en peso.

- b) Filtro centrífugo de canasta cónica. - En estos filtros la suspensión se alimenta por la parte estrecha de la canasta cónica. En algunos casos se puede requerir un ajuste del ángulo del cono, ya que ángulos muy grandes acortan el tiempo de resistencia de las partículas en la canasta, dando por resultado un drenado pobre.

La descarga de los sólidos puede ser ayudada mediante vibración de la canasta. Las velocidades de la canasta pueden variar entre 900 y 3000 rpm y los diámetros -- entre 300 y 1000 mm. Estos filtros son efectivos cuando el contenido de sólidos varía entre 10 y 40% en peso y el tamaño de partículas se encuentra entre un rango de 60 a 30,000 micras.

### II.3 DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS DISTINTOS MEDIOS FILTRANTES.

Es cuestionable si la selección del medio filtrante

debe ser antes o después de la selección del filtro. En la práctica, la selección del filtro y del medio filtrante deben ser simultáneas, siendo necesario para el Ingeniero -- Químico estar igualmente informado tanto de los medios filtrantes existentes como del equipo de filtración.

La selección es complicada debido a la gran variedad de medios existentes. Entre los medios filtrantes más usados tenemos los siguientes:

1.- MATERIALES TEJIDOS.- Es el grupo más grande de medios filtrantes, tanto por su diversidad de aplicaciones como por la enorme variedad de materiales y tejidos que presenta.

--- Lonas tejidas.- Se fabrican en una gran variedad de materiales y tejidos. Una de las variables que se deben de considerar es el tipo de fibra a utilizar, la cual puede ser natural como el algodón o sintética como el nylon. Al seleccionar la fibra se deben considerar las propiedades físicas de ésta, tales como:

resistencia: al calor, al desgaste, al ataque químico, etc.

forma de la fibra: monofilamento, multifilamento o hilatura.

grosor del hilo y su torsión.

número de hilos: trama longitudinal, trama transversal.

tipo de tejido.

acabado: en crudo, pre-encendido, afelpado, acabado con

resinas.

En general, las lonas tejidas retienen partículas - de hasta 10 micras.

Entre las principales fibras utilizadas encontramos: algodón: el algodón es una de las fibras de mayor uso en la fabricación de medios filtrantes, debido a su bajo costo. Ofrece excelente retención de las partículas y tiene buena resistencia a la abrasión. Entre sus --- principales desventajas encontramos que es fácilmente atacado por los ácidos y las soluciones caústicas hinchan la fibra.

nylon: después del algodón, el nylon es la fibra que - con mayor frecuencia se utiliza como medio filtrante. Su resistencia a la abrasión es excelente, posee una - superficie rugosa ideal para la adherencia de la torta, cuenta con una alta resistencia a la tensión, perdiendo un 15% de su resistencia cuando está rojada.

Una gran desventaja es que este material es degradado por agentes oxidantes y ácidos minerales concentrados en caliente.

poliéster: estas fibras tienen buena resistencia a la abrasión y al ataque químico, presentan excelente estabilidad dimensional, lo que permite su uso en filtros continuos de banda o en filtros rotatorios a vacío. -- Tiene buena resistencia a los ácidos orgánicos y minerales, con excepción de los ácidos nítrico, sulfúrico y carbónico concentrado.

polipropileno: actualmente el polipropileno empieza a desplazar al nylon en la filtración industrial, ya --- que cuenta con la más baja densidad de todos los me- - dios filtrantes hasta ahora conocidos; dando como re- - sultado una mayor área por kilogramo de fibra usada, - lo cual influye en el costo de adquisición y flete.

Su resistencia a la abrasión y a la flexión son bugnas. Es prácticamente inerte a los ácidos y álcalis. - Esta fibra cuenta con una superficie fina excelente pa- - ra descarga eficiente de la torta, evitando la oclu- - sión del medio filtrante.

polietileno: esta fibra ha tenido gran aceptación en - la fabricación de medios filtrantes, debido a su bajo costo y a su resistencia al ataque químico. Su resis- - tencia a la abrasión es regular, pero su superficie li- - sa proporciona gran facilidad para la descarga de la - torta. Esta fibra es muy recomendable para la filtra- - ción de ácidos minerales, álcalis, soluciones acuosas salinas y ácidos orgánicos.

acrílico: estas fibras presentan una buena resistencia a la mayoría de los ácidos minerales y orgánicos, se - ha usado satisfactoriamente en la filtración de solvenutes, pinturas, barnices y aceites minerales.

--- Mallas Metálicas. - Las mallas metálicas se presentan - en una gran variedad de tejidos y retales. La tela de

alambre debe ser lo suficientemente fina como para obtener una malla de tamaño mínimo, pero al mismo tiempo debe ser rígida y resistente al desgaste. Son capaces de retener partículas de hasta 5 micras.

## 2.- HOJAS METÁLICAS PERFORADAS.

El uso de hojas metálicas perforadas es limitado, - ya que las perforaciones no pueden ser menores de 75 micras, reteniendo partículas de aproximadamente 100 micras. Se usan también como soportes de medios filtrantes más finos.

## 3.- MATERIALES SÓLIDOS SUELTOS.

Existe una gran variedad de sólidos sueltos que se utilizan en la filtración de líquidos. Con todos ellos se logran retenciones de partículas de menos de una micra. -- Se pueden clasificar en dos tipos principales:

- a) Fibrosos.-- Como la celulosa, el asbesto y la fibra de vidrio.
- b) En polvo.-- Como los filtro-ayudas, ya sean de perlita - expandida o de tierra de diatomeas.

Estos materiales pueden ser utilizados en tres formas distintas:

- a) Como precapa sobre otro medio filtrante cuando se desea evitar la oclusión de éste, o también para atrapar partículas demasiado finas que se pasarían por el medio --

filtrante.

- b) Como camas profundas cuando el objeto es una filtración profunda, como el filtro de arena.
- c) Como aditivo dispersado en la suspensión que se va a -- filtrar, con el objeto de aumentar la porosidad de la - torta y así facilitar el flujo.

--- Filtro-ayudas (Auxiliares filtrantes)

Los filtro-ayudas son comunmente utilizados, cuando en alguna operación de filtración es necesario retener -- partículas de hasta menos de una micra y se desea recu perar únicamente el líquido.

Un auxiliar filtrante es una materia finamente dividi da, que no interviene químicamente con la suspensión - que se está filtrando y que no es comprimida fácilmen te por la presión que ejerce el flujo del líquido.

Se han desarrollado auxiliares filtrantes que poseen - una gran variedad de propiedades. Cada uno de ellos se rá más eficiente para la aplicación para la cual fué - desarrollado.

Los tipos comerciales más empleados son: la perlita ex pandida, la tierra de diatomáceas, las fibras de asbes tos y celulosa, y las combinaciones de varias de ellas. Las principales aplicaciones que tienen los filtro-ayu das son:

- a) Formación de precapa.- Consiste en formar una capa delgada de filtro-ayuda sobre el elemento filtrante,

de tal forma que esta capa se convierte en medio filtrante y el elemento del filtro queda únicamente como base a sostén de la precapa.

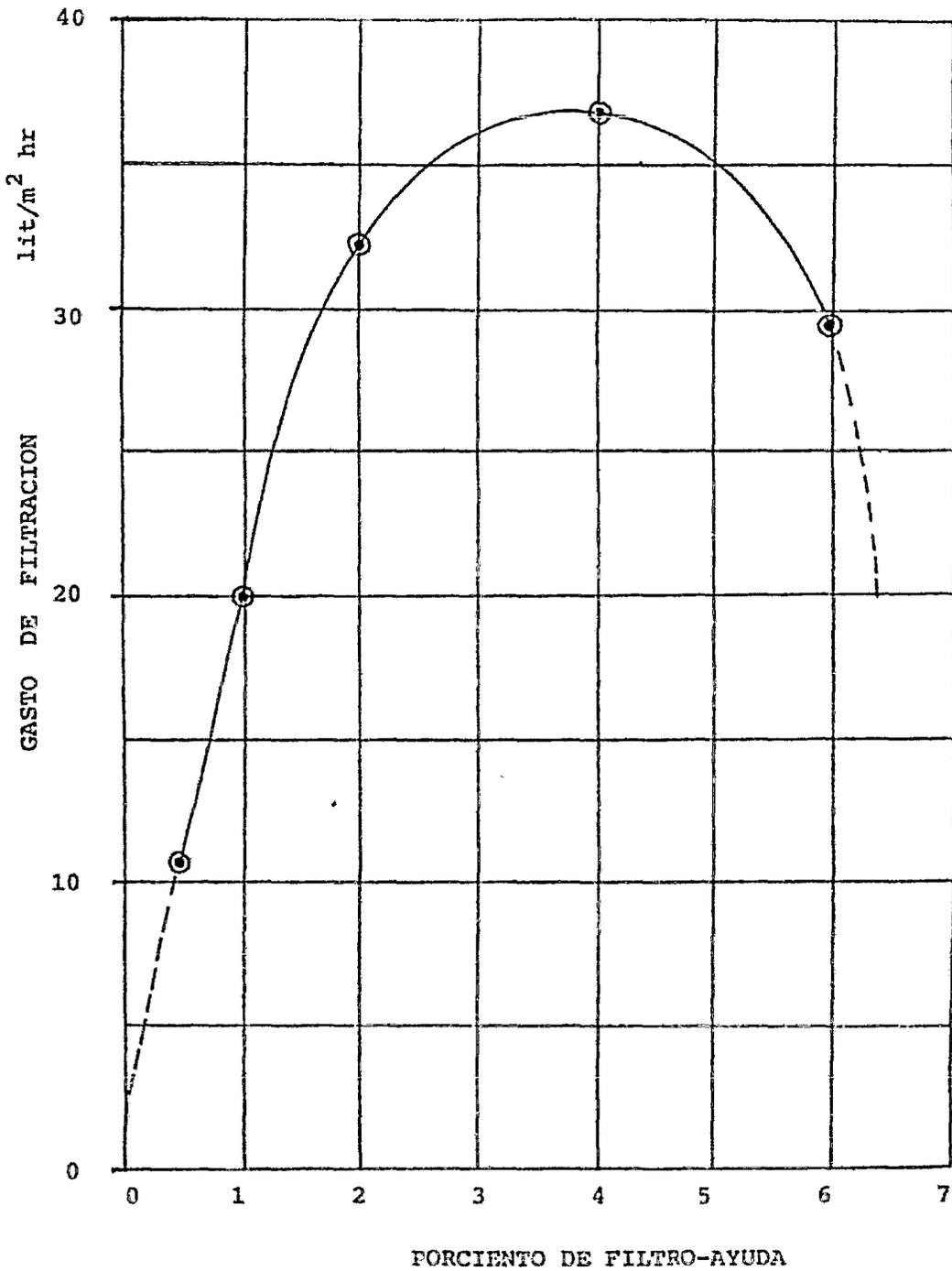
Esta aplicación tiene varios objetivos, tales como lograr una mayor claridad en el licor filtrado, una mayor vida eficiente de los elementos del filtro -- (como mallas metálicas, lonas, etc.) y una mayor facilidad para la limpieza.

Para la preparación de la precapa se debe usar lí--quido limpio, de ser posible ya filtrado.

- b) Como agregado posterior..- Al adicionar una pequeña cantidad dosificada de filtro-ayuda al licor por --filtrar, se reduce la resistencia ofrecida por la -torta, es decir, se hace más permeable la torta. En este caso es necesario hacer un estudio para seleccionar la cantidad a dosificarse, ya que siempre existe una dosificación óptima. La cantidad de filtro-ayuda necesaria dependerá de la cantidad de sólidos en suspensión y de la naturaleza de los mis--mos. Si se agrega en exceso resultará contraprodu--cente, tal como se puede observar en la gráfica --- (II.1).

Las propiedades que deben tener los auxiliares fil--trantes son:

- a) Deben formar una torta muy porosa..- La estructura de las partículas debe ser tal que impida el em-



GRAFICA II.1 EFECTO DE LA VARIACION DE LA CANTIDAD DE  
 FILTRO-AYUDA (AGREGADO POSTERIOR)

paquetamiento de estos, formando tortas con una cantidad de poros o espacios vacíos de 85% a 90%. Esto no solo permite un alto flujo inicial, sino que deja espacio para retener los sólidos en suspensión y al mismo tiempo mantiene un alto porcentaje de canales abiertos para el flujo.

b) Deben tener una superficie específica baja.- Entre menor sea la superficie específica, el flujo será mayor.

c) Deben tener una buena distribución de tamaño de partícula.- Debido a que las partículas finas con alta área específica de superficie reducen el flujo, y las partículas gruesas dan poca claridad, es conveniente que el rango de tamaños de partícula sea pequeño. En el mercado se encuentran diferentes grados de filtro-ayuda con diferentes tamaños promedio de partícula. Existe una relación que nos indica -- que el tamaño de la partícula es directamente proporcional a la velocidad de flujo e inversamente -- proporcional a la claridad lograda; es decir, a mayor claridad menor flujo y viceversa. En la gráfica (II.2) se muestran distintos grados de filtro-ayudas de la compañía Dicalite y su permeabilidad con respecto a agua destilada a 30°C.

d) Químicamente deben ser inertes.- El filtro-ayuda no debe presentar reacción alguna con el líquido --



por filtrarse. La filtración con filtro-ayudas es una acción mecánica no química. En algunas ocasiones se presenta cierta disolución de filtro-ayuda en presencia de ácidos y álcalis concentrados a alta temperatura.

#### ORIGEN Y COMPOSICION QUIMICA DE ALGUNOS FILTRO-AYUDAS.

##### TIERRA DIATOMACEA.

La tierra diatomácea está constituida por millones de esqueletos de diátomos, los cuales son restos microscópicos de plantas marinas. Existen alrededor de 15,000 tipos de diátomos clasificados, con formas caprichosas y muy variadas. A estos diátomos se les agrega cal viva como fundente y se les calcina con el objeto de obtener partículas de mayor tamaño.

##### PERLITA EXPANDIDA.

La perlita es un mineral de origen volcánico, se le describe como vidrio volcánico. Este mineral es procesado haciéndolo pasar por un horno a 900°C, el agua que llevaba como agua de cristalización se flashea y esto produce que se expanda al mineral reduciendo veinte veces su densidad.

La perlita expandida tiene forma esférica y su densidad es menor hasta en un 20% que las demás filtro-ayudas.

Su composición química es:

	PERLITA EXPANDIDA	DIATOMITA CALCINADA
SiO <sub>2</sub>	74.7	91.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.2	4.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.67	1.3
CaO	0.83	0.5
MgO	0.03	0.6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Trazas	0.2
TiO <sub>2</sub>	0.10	0.2
Na <sub>2</sub> O	4.40	0.6
K <sub>2</sub> O	5.08	0.6
H <sub>2</sub> O	-----	0.5
pH	7 - 8	12 - 13
Densidad lb/ft <sup>3</sup> .	10 - 16	18 - 22

4.- SOLIDOS POROSOS.- Como las lozas de piedra (cantera), - la cerámica, grafito, metal sinterizado, la fibra de - celulosa y varios tipos de silicatos. Pueden retener - partículas hasta de una micra. Son de importancia por su resistencia al ataque químico, y su bajo costo. Sus inconvenientes son su relativa fragilidad y el restringido número de formas disponibles.

5.- FIELTROS.- Los fieltros son hojas formadas de fibras - cortas no tejidas, logran la retención de partículas - de hasta 10 micras.

El papel filtro está compuesto de incontables fibras, dando por resultado una red de diminutos espacios vacíos o poros. Se pueden fabricar de celulosa o de fibra de vidrio.

Los de celulosa tienen mayor aplicación en la industria ya que son más baratos y tienen mejores propiedades mecánicas. El papel a base de fibra de vidrio se usa para la filtración de líquidos en el laboratorio.

Los papeles filtro de celulosa retienen partículas de hasta 5 micras y los de fibra de vidrio de hasta 2 micras.

Existen placas para filtración similares a los papeles, pero su espesor es de entre 2 y 6 mm. Generalmente están hechas de asbesto con fibra de celulosa. También existen combinaciones de asbesto-diatomita o asbesto-carbón.

Estas placas pueden retener partículas de hasta 0.5 micras y son ampliamente usadas en la filtración de vinos, perfumes, antibióticos, antisépticos, vacunas, etc.

#### II.4 TABLAS DE SELECCION.

Las tablas que a continuación proporcionamos fueron elaboradas mediante la recopilación de datos que se encuentran dispersos e incompletos en la literatura, asimismo consultamos a varios fabricantes de filtros con el objeto de completar y actualizar esta información.

TABLA II.1

TIPO DE FILTRO	OPERACION CONTINUA O. INTERMITENTE	RECUPERA LIQUIDOS, SOLIDOS O AMBOS	CONTENIDO DE SOLIDOS ACEPTABLE % EN PISO
<u>FILTROS A PRESION</u>			
CARTUCHOS	INTERMITENTE	LIQUIDOS	0.002 a 0.05
HOJAS HORIZ. TANQUE VERT.	INTERMITENTE	AMBOS	0.002 a 1
HOJAS VERT. TANQUE VERT.	INTERMITENTE	AMBOS	0.008 a 3
HOJAS VERT. TANQUE HORIZ.	INTERMITENTE	AMBOS	0.002 a 5
HOJAS HORIZ. GIRATORIAS TANQUE HORIZ.	INTERMITENTE	AMBOS	0.002 a 3
FILTRO PRENSA	INTERMITENTE	AMBOS	0.002 a 30
ELEMENTO TUBULAR	CONTINUO	LIQUIDOS	0.002 a 1
<u>FILTROS A VACIO</u>			
DE TAMBOR ROTATORIO	CONTINUO	AMBOS	5 a 70
DE BANDA	CONTINUO	AMBOS	8 a 50
DE PRECAPA	INTERMITENTE	LIQUIDOS	0.01 a 15

TABLA II.2

TIPO DE FILTRO	NUMERO DE ELEMENTOS	AREA FILTRANTE ( m <sup>2</sup> )
<u>FILTROS A PRESION</u>		
CARTUCHOS	1 - 360	0.046 - 7.0
HOJAS HORIZ. TANQUE VERT.	3 - 42	1 - 35
HOJAS VERT. TANQUE VERT.	5 - 24	3.5 - 60
HOJAS VERT. TANQUE HORIZ.	7 - 54	9 - 186
HOJAS HORIZ. GIRATORIAS TANQUE HORIZ.	7 - 15	4.6 - 35
FILTRO PRENSA	5 - 60	0.2 - 200
ELEMENTO TUBULAR	5 - 24	3.5 - 100
<u>FILTROS A VACIO</u>		
DE TAMBORES ROTATORIO	- - - -	0.9 - 70
DE BANDA	- - - -	0.9 - 200
DE PRECAPA	- - - -	0.9 - 70

TABLA II.3

TIPO DE FILTRO	CAIDA DE PRESION MAXIMA	GRADO DE FILTRACION
<u>FILTROS A PRESION</u>		
CARTUCHOS	7.0 Kg/cm <sup>2</sup>	MUY BRILLANTE
HOJAS HORIZ. TANQUE VERT.	3.3 Kg/cm <sup>2</sup>	MUY BRILLANTE
HOJAS VERT. TANQUE VERT.	4.0 Kg/cm <sup>2</sup>	BRILLANTE
HOJAS VERT. TANQUE HORIZ.	4.0 Kg/cm <sup>2</sup>	BRILLANTE
HOJAS HORIZ. GIRATORIAS TANQUE HORIZ.	4.0 Kg/cm <sup>2</sup>	MUY BRILLANTE
FILTRO PRENSA	5.0 Kg/cm <sup>2</sup>	BRILLANTE
ELEMENTO TUBULAR	4.0 Kg/cm <sup>2</sup>	BRILLANTE
<u>FILTROS A VACIO</u>		
DE TAMBOR ROTATORIO	730 mm Hg.	CLARO
DE BANDA	730 mm Hg.	CLARO
DE PRECAPA	730 mm Hg.	BRILLANTE

TABLA II.4

TIPO DE FILTRO	VOLUMEN DE LICOR FILTRADO ( l/min )	VOLUMEN MINIMO DE LICOR A FILTRAR POR CICLO ( l )	MAXIMO ESPESOR DE TORTA ( cm )
<u>FILTROS A PRESION</u>			
CARTUCHOS	8 - 7200	20 - 3000	- - -
HOJAS HORIZ. TANQUE VERT.	2 - 500	200 - 6000	2.5
HOJAS VERT. TANQUE VERT.	76 - 1320	3000 - 60000	5.0
HOJAS VERT. TANQUE HORIZ.	100 - 4000	15000 - 250000	8.0
HOJAS HORIZ. GIRATORIAS TANQUE HORIZ.	100 - 600	15000 - 50000	5.0
FILTRO PRENSA	4 - 4000	50 - 40000	6.0
ELEMENTO TUBULAR	76 - 1320	3000 - 60000	5.0
<u>FILTROS A VACIO</u>			
DE TAMBOR ROTATORIO	0.5 - 4.0	100	4.0
DE BANDA	5 - 350	100	10.0
DE PRECAPA	0.5 - 4.0	100	10.0

TABLA II.5

TIPO DE FILTRO	CANTIDAD DE FILTRO-AYUDA PRECAPA (Kg/m <sup>2</sup> )	MEDIO FILTRANTE
<u>FILTROS A PRESION</u>		
CARTUCHOS	NO	LANA, NYLON, ALGODON, POLIPROPILENO, CERAMICA, CARBON.
HOJAS HORIZ. TANQUE VERT.	0.5	PAPEL, CELULOSA, LONAS, MALLAS MET. Y FILTRO-AYUDA.
HOJAS VERT. TANQUE VERT.	0.5	LONAS, MALLAS MET. Y FILTRO-AYUDA.
HOJAS VERT. TANQUE HORIZ.	0.5	LONAS, MALLAS MET. Y FILTRO-AYUDA.
HOJAS HORIZ. GIRATORIAS TANQUE HORIZ.	0.5	LONAS, MALLAS MET. Y FILTRO-AYUDA.
FILTRO PRENSA	0.7	PAPEL, CELULOSA, LONAS Y MALLAS MET.
ELEMENTO TUBULAR	0.5	LONAS, MALLAS MET. Y FILTRO-AYUDA.
<u>FILTROS A VACIO.</u>		
DE TAMBOR ROTATORIO	1.0	TELA METALICA.
DE BANDA	1.0	TELA METALICA.
DE PRECAPA	32.0	TELA METALICA.

TABLA II.6

TIPO DE FILTRO	AUTOMATIZACION	COSTO DE AD- QUISICION	COSTO DE OPERACION
<u>FILTROS A PRESION</u>			
CARTUCHOS	SI	BAJO	ALTO
HOJAS HORIZ. TANQUE VERT.	NO	MEDIO	BAJO
HOJAS VERT. TANQUE VERT.	SI	ALTO	BAJO
HOJAS VERT. TANQUE HORIZ.	SI	ALTO	BAJO
HOJAS HORIZ. GIRATORIAS TANQUE HORIZ.	SI	ALTO	BAJO
FILTRO PRENSA	DIFICIL	MEDIO	ALTO
ELEMENTO TUBULAR	SI	ALTO	BAJO
<u>FILTROS A VACIO</u>			
DE TAMBOR ROTATORIO	SI	ALTO	BAJO
DE BANDA	SI	ALTO	BAJO
DE PRECAPA	SI	ALTO	BAJO

TABLA II.7

TIPO DE FILTRO	USOS	MATERIALES DE CONSTRUCCION	PUEDEN LLEVAR MIRILLA EN CADA ELEMENTO FILTRANTE
<u>FILTROS A PRESION</u>			
CARTUCHOS	LUBRICANTES, AGUA, SOLVENTES, BARNICES.	ACERO AL CARBON, A. INOX. 316, A. INOX. 304, TITANIO, HASTELOY.	NO
HOJAS HORIZ. TANQUE VERT.	PINTURAS, -- AGUA, CERVEZA, VINOS Y PETROQUIMICOS.	A. AL CARBON, A. INOX. 316, A. - INOX. 304.	NO
HOJAS VERT. TANQUE VERT.	BARNICES, CERVEZA, AROMATICOS, SILICATOS Y AZUCAR.	A. AL CARBON, A. INOX. 316, A. - INOX. 304.	SI
HOJAS VERT. TANQUE HORIZ.	ACEITE, GRASAS, AZUFRE, HORMONAS, CERVEZA, - TEQUILA.	A. AL CARBON, A. INOX. 316, A. - INOX. 304.	SI
HOJAS HORIZ. GIRATORIAS TANQUE HORIZ.	AZUCAR, ACIDO - SULFURICO, VINOS, FARMACEUTICOS, JARABES, - EXPLOSIVOS.	A. AL CARBON, A. INOX. 316, A. - INOX. 304.	NO
FILTRO PRENSA	ACEITE, GRASAS, JARABES, JABONES, METALURGICOS, FARMACEUTICOS.	A. AL CARBON, A. INOX. 316, A. - INOX. 304, ALUMINIO Y MADERA.	SI
ELEMENTO TUBULAR	BARNICES, CERVEZA, AROMATICOS, SILICATOS Y AZUCAR.	A. AL CARBON, A. INOX. 316, A. - INOX. 304.	SI
<u>FILTROS A VACIO</u>			
DE TAMBOR ROTATORIO	ALIMENTOS, FARMACEUTICO, METALURGICO.	A. AL CARBON, A. INOX. 316, A. - INOX. 304, TITANIO.	NO
DE BANDA	ALIMENTOS, FARMACEUTICO, METALURGICO.	A. AL CARBON, A. INOX. 316, A. - INOX. 304, TITANIO	NO
DE PRECAPA	ALIMENTOS, FARMACEUTICO, METALURGICO	A. AL CARBON, A. INOX. 316, A. - INOX. 304, TITANIO.	NO

TABLA II.8

TIPO DE MEDIO FILTRANTE	TAMAÑO DE PAR- TICULA RETENI- DA (micras)	COSTO ADQUISICION	COSTO OPERACION
<u>MATERIALES TEJIDOS</u>			
MALLAS METALICAS	5	ALTO	BAJO
TELAS DE FIBRAS NATURALES Y SINTE- TICAS	10	BAJO	MEDIO
<u>HOJAS METALICAS PERFORADAS</u>	100	ALTO	BAJO
<u>MATERIALES SOLIDOS SUELTOS</u>			
FIBROSOS (ASBESTOS, CELULOSA, ETC.)	INFERIOR A UNA MICRA	MEDIO	MEDIO
EN POLVO (FILTRO- AYUDAS)	INFERIOR A UNA MICRA	MEDIO	MEDIO
<u>SOLIDOS POROSOS</u>			
CERAMICA Y CANTERA	1	MEDIO	BAJO
METAL SINTERIZADO	3	ALTO	BAJO
PLASTICOS POROSOS	3	BAJO	ALTO
<u>HOJAS NO TEJIDAS</u>			
FIELTROS	10	BAJO	ALTO
PAPEL FILTRO DE CELULOSA	5	BAJO	ALTO
PAPEL FILTRO DE FIBRA DE VIDRIO	2	BAJO	ALTO

### CAPITULO III

#### PLANTEAMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS PARA UN FILTRO Y DESCRIPCION DEL PROCESO DE REFINACION DE AZUCAR.

Como ya se había indicado en las primeras páginas de esta tesis, los siguientes capítulos serán abocados a realizar pruebas de filtro piloto y en base a ellas elaborar la especificación de un filtro a escala industrial, el cual deberá ser seleccionado para operar en la Refinería de un Ingenio Azucarero en el Estado de Veracruz.

#### III.1 CONDICIONES DE OPERACION.

A continuación mencionaremos los requerimientos, condiciones de operación e información básica para seleccionar un filtro que cumpla con ellas bajo una selección óptima.

<u>Capacidad</u>	50,000 Lts./6 1/2 Hrs.
<u>Suspensión a filtrarse</u>	Licor de azúcar proveniente de clarificadores.

Se necesita:

- Recuperar únicamente el líquido.
- Obtener licor filtrado de alta brillantez (78% de transmitancia mínimo).
- Descargar torta húmeda lavada con agua.
- La operación será intermitente.

Este filtro deberá de:

- Tener una mirilla a la salida de cada elemento - filtrante para observar la claridad de filtrado de cada elemento.
- Descargar la torta y realizar la limpieza de los elementos filtrantes en forma automática.
- Contar con accesorios necesarios para abrir y cerrar el filtro en forma rápida y automática.

Se puede utilizar filtro-ayuda como medio filtrante.

Características de la suspensión por filtrar:

- Concentración de sólidos en suspensión.
 

0.91 g/lt.	comprendidos por bagacillo, arena, cal y precipitado gelatinoso de fosfatos (28 ppm).
1.00 g/lt.	Carbón vegetal activado.
1.91 g/lt.	Total
- Densidad                    60° Brix a 25°C.
- Viscosidad                100 centipoises a 85°C.
- PH                            6.8
- Temperatura de filtración    85°-90°C.
- Tamaño de sólidos del carbón activado:
 

1.8% ret. malla 200MESH
93.2% ret. malla 325MESH
5.0% pasa malla 325MESH

Nota: A este licor proveniente de clarificadores se le añ

cionará carbón vegetal activado (para adsorción y decoloración) en un tanque aforado, y posteriormente se procederá a filtrarse. No se usará sistemas de torres empacadas con carbón granular para efectuar la decoloración.

### III.2 DESCRIPCION DEL PROCESO DE REFINADO DE AZUCAR.

Con el objeto de lograr una mejor comprensión respecto al proceso en donde se instalará este filtro, hemos tomado como ejemplo el proceso que actualmente se sigue en el "Ingenio Plan de Ayala" localizado en el Municipio de Valles, San Luis Potosí. Este proceso tiene como variante que se cuenta con un sistema de decoloración por medio de torres empacadas con carbón granular activado.

La refinación de azúcar la podemos dividir en varias etapas:

- Fundición continua.
- Fosfatación (Cal-Acido Fosfórico).
- Clarificación.
- Filtración.
- Decoloración.
- Cristalización.
- Centrifugación.
- Secado.
- Envase.

A continuación mencionaremos brevemente en que consiste ca

da una de estas etapas.

Fundición.- El azúcar lavado en las centrifugas de mascado es conducido por medio de una banda sinfín al fundidor, que consiste en un tanque tipo cilíndrico vertical, siendo la operación continua. El agua para fundir se agrega automáticamente en proporción a la cantidad de azúcar manejada por el conductor, y por medio de vapor se mantiene a una temperatura predeterminada.

El azúcar fundido se bombea a un colador donde se separa el bagacillo presente y otras impurezas no solubles recibiendo la solución en un tanque de "fundido colado", del cual al enviarse al tanque de almacenamiento de azúcar fundido se ajusta su densidad y temperatura automáticamente.

Fosfatización y Clarificación.- El "fundido colado" se bombea a través de un indicador de flujo que acciona una bomba dosificadora de ácido fosfórico diluido, este ácido es adicionado a la línea de flujo de fundido, mediante un regulador de línea a cuya salida se registra y controla el pH de la mezcla.

El fundido acidificado se recibe en un tanque de reacción, provisto con agitador, en donde se adiciona la lechada de cal. La lechada de cal se dosifica mediante una bomba regulada por un controlador-registrador de pH.

mático).

Del tanque de reacción, con tiempo de 3 minutos de retención y por medio de una bomba se transfiere a un tanque de almacenamiento con agitación, en donde se completa la precipitación de fosfato de calcio. Antes de la descarga a este tanque, se desvía un pequeño flujo de la línea de transferencia de manera de alimentar al controlador de pH, retornando la muestra en forma continua al tanque de reacción.

Del tanque de almacenamiento se bombea el fundido a través de dos cambiadores de calor para subir su temperatura a 85°C y pasar posteriormente por dos recipientes a presión, para luego alimentar a los aereadores en donde se inyecta aire a 10 Kg/cm<sup>2</sup> a razón de 2.0 lps. por 378 L.P.M. de flujo de licor.

En este paso del proceso, el flujo de fundido tratado se ha dividido en dos efluentes, alimentando cada uno por separado al equipo calefactor, aereador y batería de dos clarificadores Sucrostat, con su tanque de presión constante cada clarificador. Del aereador el fundido tratado pasa a alimentar los tanques respectivos de presión constante con retorno común de sobreflujo al tanque de almacenamiento.

Los tanques de presión constante alimentan cada uno al clarificador correspondiente, en donde se expande el aire y forma la espuma en la superficie, arrastrando las

impurezas. Estas se recogen en un tanque de donde se retornan a la casa de crudo por medio de una bomba. El fundido clarificado se colecta en un tanque de almacenamiento y de ahí se bombea para alimentar la sección de filtración.

Filtración.- El "fundido clarificado" proveniente del tanque de almacenamiento, es bombeado a través de una serie de filtros horizontales de placas verticales que retienen los flóculos de fosfato tricálcico que pudieran haber sido arrastrados por el efluente de fluido claro. Estos filtros requieren de un equipo adicional para pre-capa de filtro-ayuda. Al formar la precapa en las hojas del filtro, el filtrado resultante se recircula al mismo tanque de preparación, introduciéndose nuevamente al filtro hasta depositar todo el filtro-ayuda usado en el filtro ( $0.73 \text{ Kg./M}^2$ ). Depositada la pre-capa se inicia la filtración del fundido claro, dosificándole filtro-ayuda como agregado posterior hasta completar el ciclo. Los primeros efluentes del filtro serán filtrado turbio, el cual se colecta en un tanque para ser retornado al tanque de almacenamiento.

Terminado el ciclo de filtración, la torta formada se desendulza con agua caliente, colectándose el filtrado de alta densidad en el tanque de pre-capa ó en el mismo tanque de agua dulce para ser recirculado. Terminada la recuperación de sacarosa en torta, el agua dulce obtenida se envía al departamento de fundición para ser recuperada la

sacarosa. Terminado el lavado se opera el sistema interior del filtro para desprender la torta de las placas y se envía esta torta al drenaje.

Como alternativa y cuando el proceso de filtración es crítico, para reducir el tiempo de desendulzado los lodos de la torta se descargan sin desendulzar a un tanque de lodos y de ahí se bombea la suspensión a un filtro vertical, devolviendo el filtrado claro al tanque de almacenamiento de agua dulce.

El "fundido claro filtrado" se recibe de los filtros en un tanque de almacenamiento, del cual se envía al siguiente paso del proceso que es la decoloración.

Decoloración.- El fundido filtrado se bombea a la estación de decoloración a través de rotámetros a ocho columnas de percolación, de las cuales trabajan seis en paralelo, estando las dos restantes en ciclos de desendulzado y llenado. Estas columnas contienen carbón granular con densidad aparente de  $0.44 \text{ Kg./dm}^3$ . Se esperan los ciclos de decoloración de cada columna de tamaño de  $3.28 \times 6.56\text{m.}$ , de trece días y un volumen de licor de 2,766,835 Lts. por ciclo. El consumo de carbón debido a pérdidas será del orden del 5%, que será equivalente a un consumo de 350 gramos de carbón por tonelada de azúcar producida.

El licor obtenido de las columnas se envía a un tanque, de donde se bombeará a unos filtros trampa para clarificar.

nar cualquier partícula de carbón que pudiera ser arrastrada con el licor.

Cristalización y Centrifugación.- El licor fino del tanque receptor de los filtros trampa es recibido en el Piso de Tachos en un tanque almacén de licor del cual se alimenta a los tachos, en donde se lleva a cabo una concentración de licor y la formación de cristales a partir de una solución sobre-saturada de sacarosa. Cuando se cuenta con la cantidad suficiente de cristales de azúcar y con el tamaño apropiado, los tachos son descargados hacia unas centrifugas intermitentes que secan el azúcar, dejando aún cierta humedad. A esto se le llama primera templea y respecto a -- las aguas madres que purgó la centrifuga, se juntan dos de estas purgas y se envían a un tacho y se repite la operación anterior, lográndose una segunda cristalización llamada segunda templea. Este procedimiento se repite hasta llegar a la cuarta templea.

El licor que no fué capaz de cristalizarse en la -- cuarta cristalización se devuelve a la casa de crudas como meladura para reprocesarse.

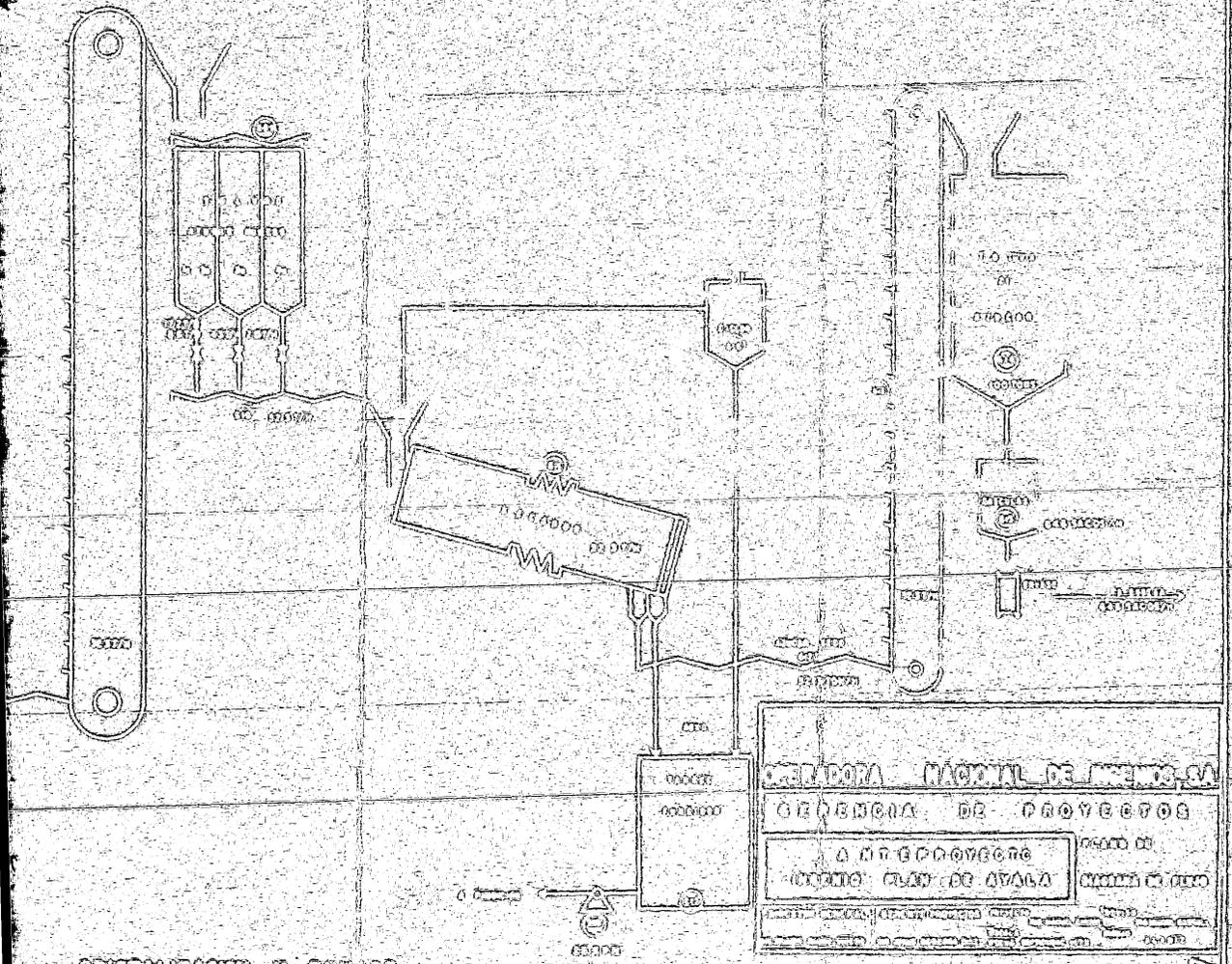
Secado y Envase.- El azúcar obtenido en las centrifugas se envía a través de una banda transportadora a unas telvas de mezcla de azúcar húmeda y posteriormente se alimenta a Secadores Horizontales Rotatorios, los cuales llevan finalmente el azúcar mezclado y seco a una Telva que continúa a

las Básculas de Envase. El secador y granulador, que trabaja a contracorriente con aire caliente, estará equipado -- con separador ciclónico de polvos y clasificador de partículas. Los polvos separados en el ciclón (azúcar-glass) y los aglomerados de azúcar se envían al Departamento de Fundición para ser reprocesados.

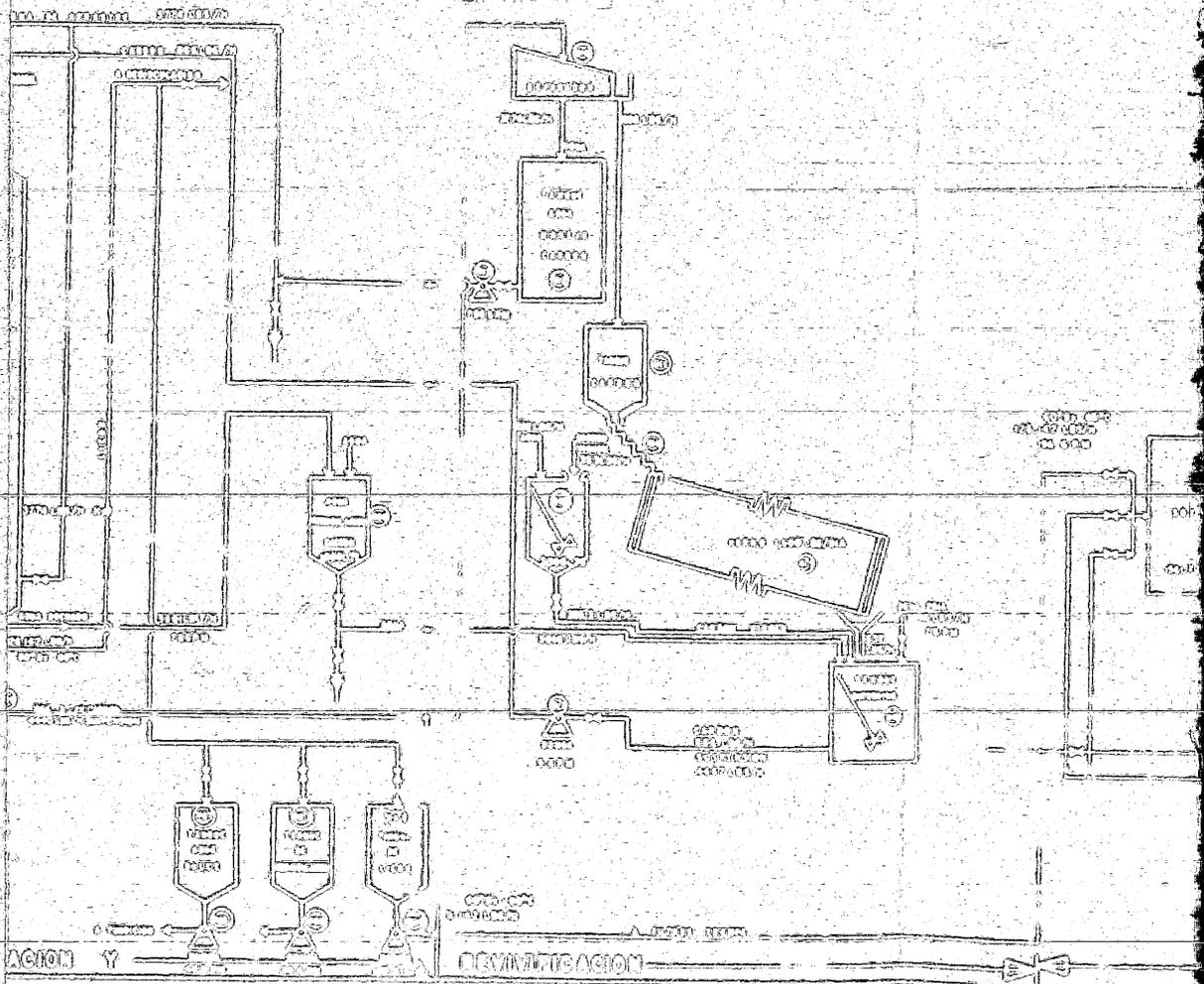
El azúcar seco al salir de las Básculas Automáticas se recibe en sacos apropiados y se envían a la Bodega de Azúcar.

En la siguiente hoja se encuentra un diagrama de -- flujo, el cual nos ilustra este proceso de Refinación de -- Azúcar. Siendo esta instalación real y existente en el "Ingenio Plan de Ayala" y cuya capacidad es de 34.4 toneladas de crudo por hora y una producción diaria de 775 toneladas de azúcar refinada.

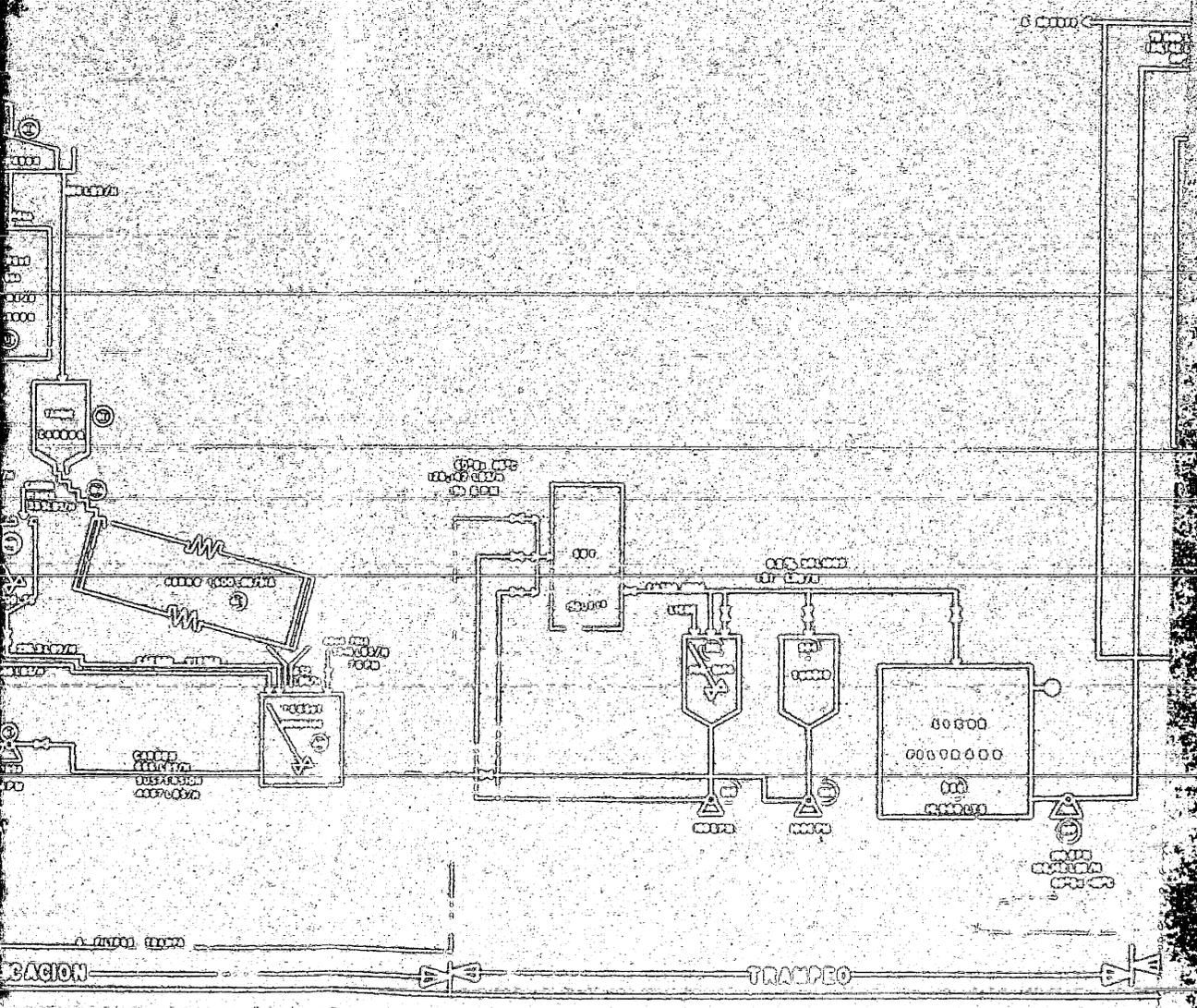




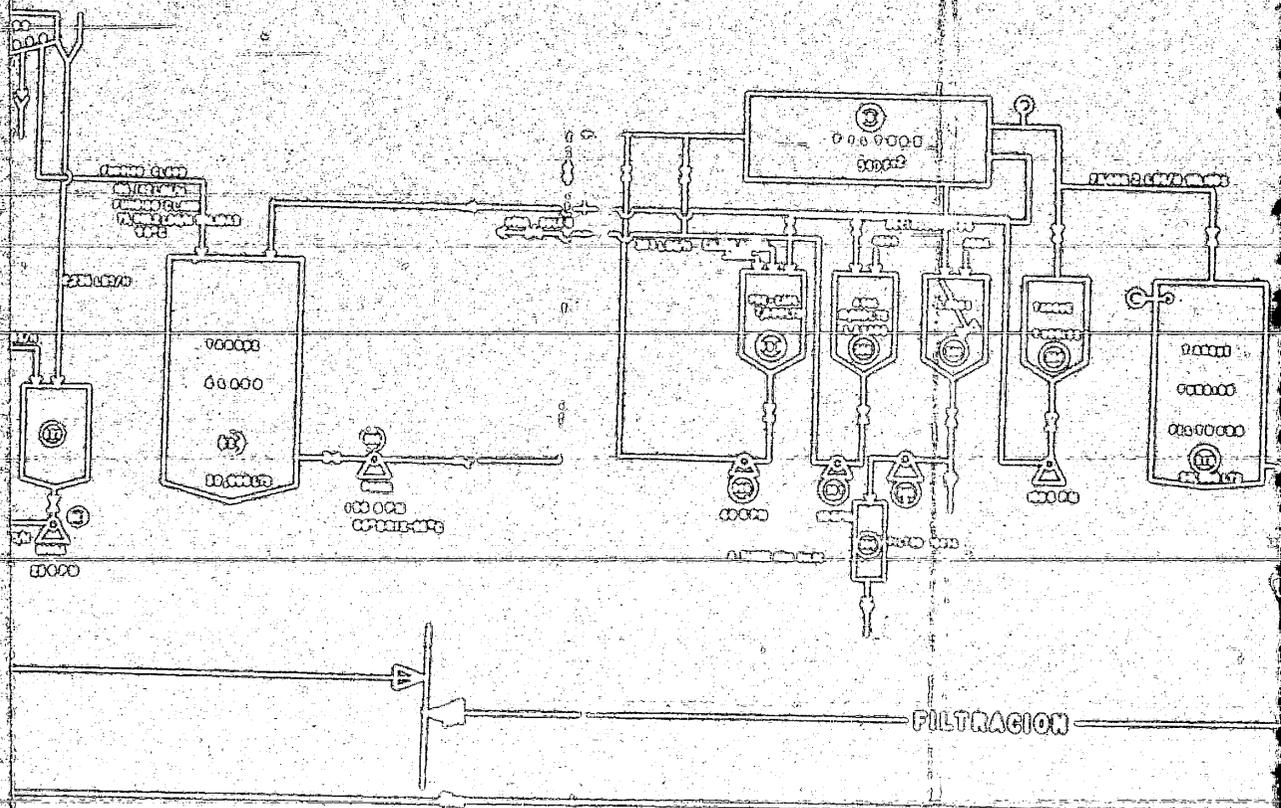
# PLAN DE AYALA



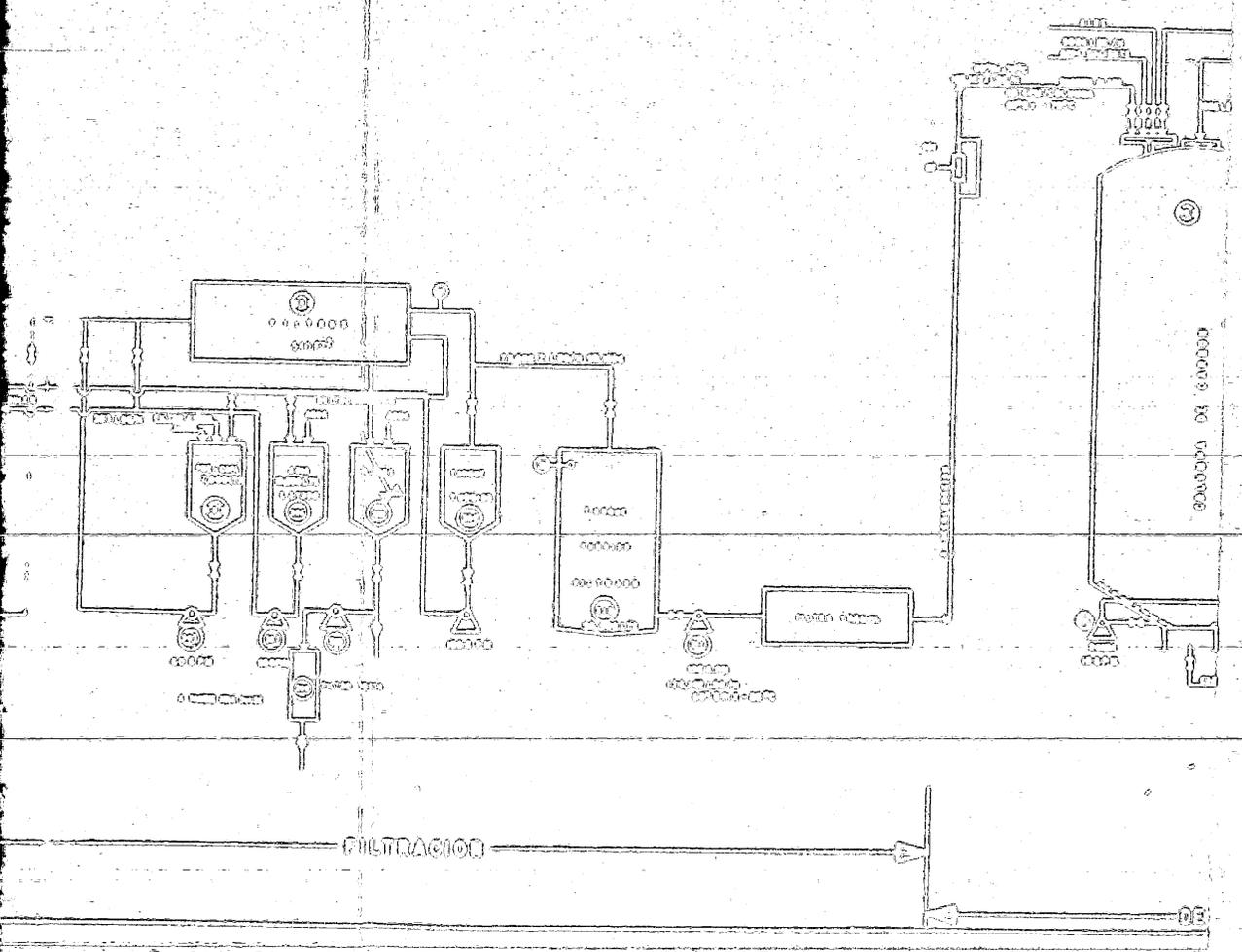
# DE AYALA

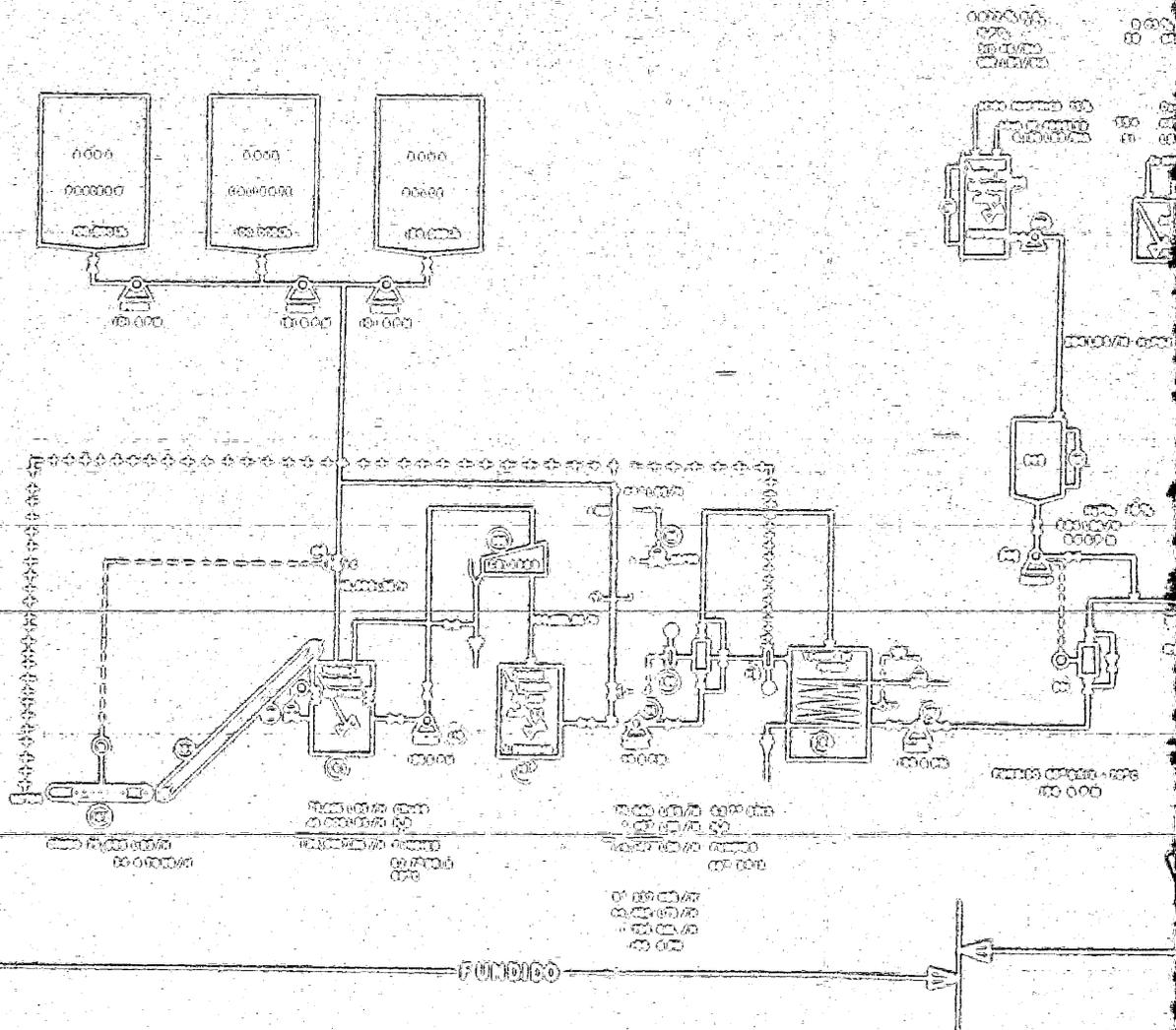


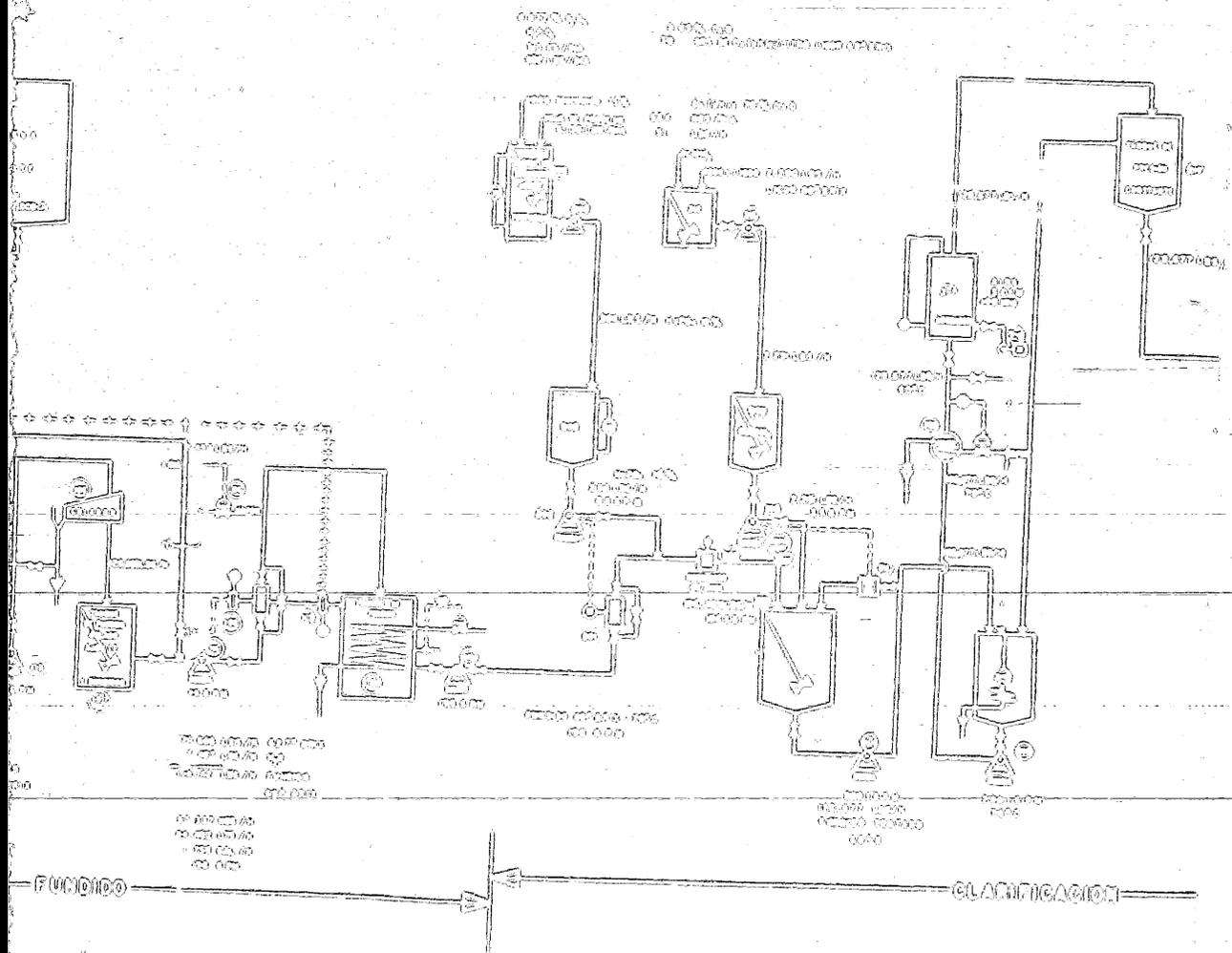
# DIAGRAMA DE FLUJO



# AMA DE FLUJO REFINERIA







## CAPITULO IV

### PRUEBAS DE FILTRACION CON FILTRO PILOTO.

Para poder seleccionar y especificar un filtro a es-  
cala industrial que cumpla con los requerimientos indica-  
dos en el Capítulo anterior, emplearemos un filtro piloto  
para hacer corridas experimentales y obtener de esta mane-  
ra la información básica necesaria para hacer la selección.  
Otra forma de hacer dicha selección podría ser consultando  
datos estadísticos sobre esa misma aplicación.

En este caso en particular, dada la experiencia pre-  
via que se tiene, sabemos que esta aplicación entrará en -  
el campo de la filtración a presión (en el Capítulo V se -  
explicará esto con detalle), por lo que en este caso podre-  
mos utilizar para hacer las pruebas experimentales un fil-  
tro piloto a escala de laboratorio llamado "Bomb Filter".

Este filtro piloto ha sido desarrollado y perfeccio-  
nado por el departamento técnico de la Compañía Ficalite,-  
que es fabricante de filtro-ayudas.

#### IV.1 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL "BOMB FILTER".

Este es un filtro a presión que opera solamente a la-  
je presión constante y que proporciona, no obstante su sin-

plicidad de operación, datos bastante aproximados a los que se pueden lograr en pruebas de planta, con un rango de exactitud de  $\pm 10\%$ .

Se puede considerar a este filtro como una herramienta muy útil para seleccionar filtros a escala industrial, para optimizar operaciones de filtración o bien para resolver problemas en estaciones de filtración, todo de una forma simple, práctica, rápida y muy confiable.

#### 1.- VENTAJAS DEL USO DEL FILTRO PILOTO.

En este filtro se pueden representar casi todas las condiciones de operación de cualquier filtro industrial -- del tipo "de Presión", tales como:

- La Temperatura de Filtración.
- La Presión de Operación (como este filtro es de presión constante se toma la media aritmética entre la presión inicial que es 0 y la presión máxima de trabajo de un filtro industrial).
- El Medio Filtrante.
- Si se emplea filtro-ayuda, se representará la dosificación y el grado.
- Se tiene un Área de Filtración conocida.
- Se tiene una adecuada agitación.
- Por medio de pruebas rápidas (21 minutos cada una) y disponiendo de una pequeña cantidad de licor por filtrarse (2-3 lts. por prueba), se hace variar solamente una condición por prueba, determinando así las condiciones óptimas de cada variable tales como: Presión, Temperatura, Concentración de sólidos, etc.
- De acuerdo a las claridades logradas se pueden -

seleccionar medios filtrantes. Si se emplea filtro-ayuda se podrán seleccionar el tipo y grado más adecuado.

- En caso de que se use filtro-ayuda como agregado posterior, se podrá encontrar la dosificación óptima de acuerdo a la velocidad de filtración.
- Se podrá calcular el área de filtración requerida para cierto flujo, así como el espesor esperado de torta de acuerdo a la duración del ciclo de filtración.
- Los valores obtenidos de volumen filtrado se pueden extrapolar a mayores tiempos que los 21 minutos que dura la prueba. Esto se hace extrapolando la gráfica que se logra al poner el tiempo en las abscisas y el volumen en las ordenadas.

## 2.- LIMITACIONES DEL FILTRO PILOTO.

- Únicamente se puede utilizar para sistemas de filtración a presión.
- No se logran resultados confiables con suspensiones con concentraciones de sólidos menores a 0.05 g/l, ni mayores de 20.0 g/l.
- No se pueden representar con facilidad las operaciones de formación de precura ni de lavado de torta.
- La confiabilidad de la extrapolación depende de la longitud de ésta, se recomienda para ciclos menores a 12-15 Hrs.
- Son de mayor exactitud los resultados si se emplea filtro-ayuda.

## IV.2 FUNDAMENTO TEORICO SOBRE EL QUE SE BASA EL "BOMB FILTER".

La forma de interpretar los resultados del filtro piloto consiste en graficar en papel logarítmico el tiempo

en las abscisas y el volumen acumulado en las ordenadas. - Esto tiene su origen en la ecuación general de filtración (EC No. 1 del Capítulo I), y a continuación mostramos su desarrollo matemático con las consideraciones necesarias.

Ecuación general de filtración:

$$\frac{dV}{Ad\theta} = \frac{P}{\mu \left( \frac{\alpha W}{A} + r \right)}$$

$$W = wV$$

en donde:

V = Volumen filtrado.

$\theta$  = Tiempo.

A = Area de filtración

P = Presión (caída de)

W = Sólidos secos (peso).

$\alpha$  = Resistencia específica promedio de la torta.

r = Resistencia debida al medio filtrante.

$\mu$  = Viscosidad.

w = Peso de sólidos secos por unidad de volumen.

Dado a que estamos considerando una filtración a presión constante, tenemos que los siguientes términos son -- constantes:

$$A, P, W, \alpha, r \text{ y } \mu.$$

Por integrar tenemos:

$$\frac{\mu \alpha W}{A} \int_0^v V dv + \mu r \int_0^v dV = A P \int_0^\theta d\theta$$

Integrando:

$$\frac{\mu \alpha W}{A} \frac{V^2}{2} + \mu r V = A P \theta$$

Despejando  $\theta$ :

$$\theta = \frac{\mu \alpha W}{A^2 P 2} V^2 + \frac{\mu r}{A P} V$$

Agrupando las constantes tenemos:

$$C_1 = \frac{\mu \alpha W}{2 A^2 P}$$

$$C_2 = \frac{\mu r}{A P}$$

Substituyendo las nuevas constantes tenemos:

$$C_1 V^2 + C_2 V = \theta$$

Dado que la función anterior es una función algebraica incompleta, podemos decir que el tiempo está en función del

volumen con exponente  $n$  .

$$\theta = K V^n$$

$$1 < n < 2$$

dado que el valor de los exponentes de  $V$  en la ecuación anterior son 1 y 2.

Sacando logaritmos a la función anterior tenemos:

$$\text{Log } \theta = \text{log } K + n \text{ log } V$$

Lo cual nos muestra la ecuación de una línea recta de la forma

$$Y = m X + b$$

Despejando  $\text{Log } V$

$$\text{Log } V = \frac{1}{n} \text{Log } \theta - \frac{1}{n} \text{Log } K$$

De esta manera encontramos que el valor de la pendiente de esta línea recta será  $\frac{1}{n}$  y que este valor estará dentro del rango de 0.5 a 1.0. Es decir, que dependiendo de la filtrabilidad del licor por filtrar, la máxima pendiente será 1.0 ( $n = 1$ ). Dado que el método matemático para calcular el comportamiento de esta función es complicado, es más conveniente hacer una resolución gráfica, la cual consiste en graficar valores de tiempo y volumen y extrapolar la línea recta que se trace.

#### IV.3 OBJETIVOS DE LAS PRUEBAS.

Los objetivos que se buscan al realizar estas pruebas de filtro piloto, son el determinar las características básicas para la especificación de un filtro a escala industrial y son los siguientes:

- 1.- Determinar el área de filtración requerida para cumplir con las condiciones de operación solicitadas.
- 2.- Determinar el espesor de la torta formada al final del ciclo.

Para determinar el área de filtración requerida es necesario conocer primero el punto de operación óptima del filtro.

Para determinar el espesor de la torta al final del ciclo, se hace una extrapolación en base al espesor obtenido en la prueba de 21 minutos.

El punto de operación óptimo del filtro es determinado por un estudio económico que involucra la mejor velocidad de filtración lograda, así como el costo de operación referido a un cierto tiempo.

Debido a que tenemos conocimientos de las características de los sólidos por filtrar (tamaño de partícula pasa malla 325 MESH), encontramos que el medio filtrante debe ser necesariamente filtro-ayuda.

Con objeto de determinar las condiciones óptimas de operación debemos darle mucha importancia al comportamiento de la velocidad de filtración lograda de acuerdo a los diferentes grados de filtro-ayuda disponibles y sig

más comparar el comportamiento de estas velocidades a diferentes dosificaciones de filtro-ayuda.

En base a lo anterior podremos dividir las pruebas en dos partes.

I. Parte.- Determinar el tipo de filtro-ayuda más adecuado para esta aplicación.

II. Parte.- Habiendo definido el grado de filtro-ayuda más adecuado, será necesario determinar el comportamiento de la velocidad de filtración a diferentes dosificaciones de filtro-ayuda.

Para evaluar estos resultados será necesario hacer un estudio económico de este sistema de filtración considerando los gastos de operación por año.

En estos gastos se considera costo de filtro y costo de consumo de filtro-ayuda, hay otros gastos tanto fijos como variables que no intervienen en este estudio debido a que son totalmente independientes y no influyen en la selección del filtro.

#### IV.4 DESCRIPCION FISICA DEL BOMB FILTER.

Se trata de un recipiente cilíndrico vertical, construido de acero inoxidable resistente a la corrosión y que se puede limpiar fácilmente.

El fondo es cónico para evitar sedimentaciones de sólidos y para favorecer la agitación producida por aire comprimido o nitrógeno que se inyecta por entre la parte

inferior de la base cónica y la válvula de drenaje.

En el interior del cilindro está el área de filtración, misma que forma parte integral de la tapa y del tubo de salida del líquido filtrado. La tapa puede cerrarse herméticamente mediante un torniquete de palanca.

En la parte superior izquierda del cilindro existe una perforación que permite que el aire inyectado en el fondo del cilindro fluya al exterior a través de la válvula de venteo. Inmediatamente a dicha válvula se encuentra conectado un manómetro que nos servirá para controlar una presión constante en la prueba. Este manómetro está protegido por un cartucho trampa para retener líquido.

En la parte superior derecha está instalada una válvula reguladora de presión que regula la entrada del aire o nitrógeno en el fondo del recipiente. En esta forma, el aire alimentado sirve para un doble propósito; el de producir burbujeo en el líquido contenido en el cilindro y lograr en esta forma la perfecta dispersión de los sólidos, y por otra parte, mantener en forma constante la presión deseada en el proceso.

El área de filtración consiste en un plato o soporte ranurado con una perforación central que descansa en el tubo de salida de líquido filtrado. Sobre este plato se coloca, con un empaque adecuado, el medio filtrante, que puede ser papel, tela metálica, plástica o lana y sobre esta se atornilla una tuerca de diseño especial con

una perforación de área conocida. Esta perforación puede ser mayor o menor, pero siempre conocida.

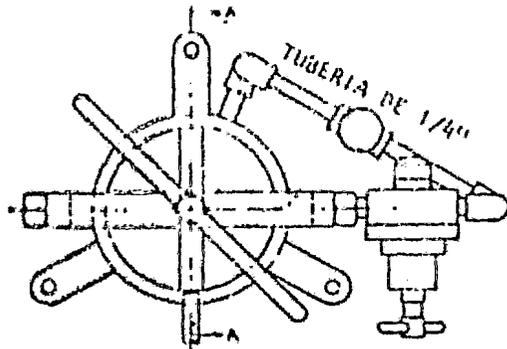
La profundidad de la perforación de esta tuerca nunca es menor a 2.54 cm (1") permitiendo de esta forma la formación de la torta y protegiendo a esta del efecto de las burbujas de aire o nitrógeno empleados para la agitación del líquido.

En la base del cilindro está instalado un mechero con flama regulable en forma de anillo a manera de poder mantener una determinada temperatura deseada, cuando esta es mayor que la temperatura ambiente.

Un termómetro instalado en el punto adecuado nos permite, mediante el control de la llama del mechero, el mantener una temperatura constante durante la prueba.

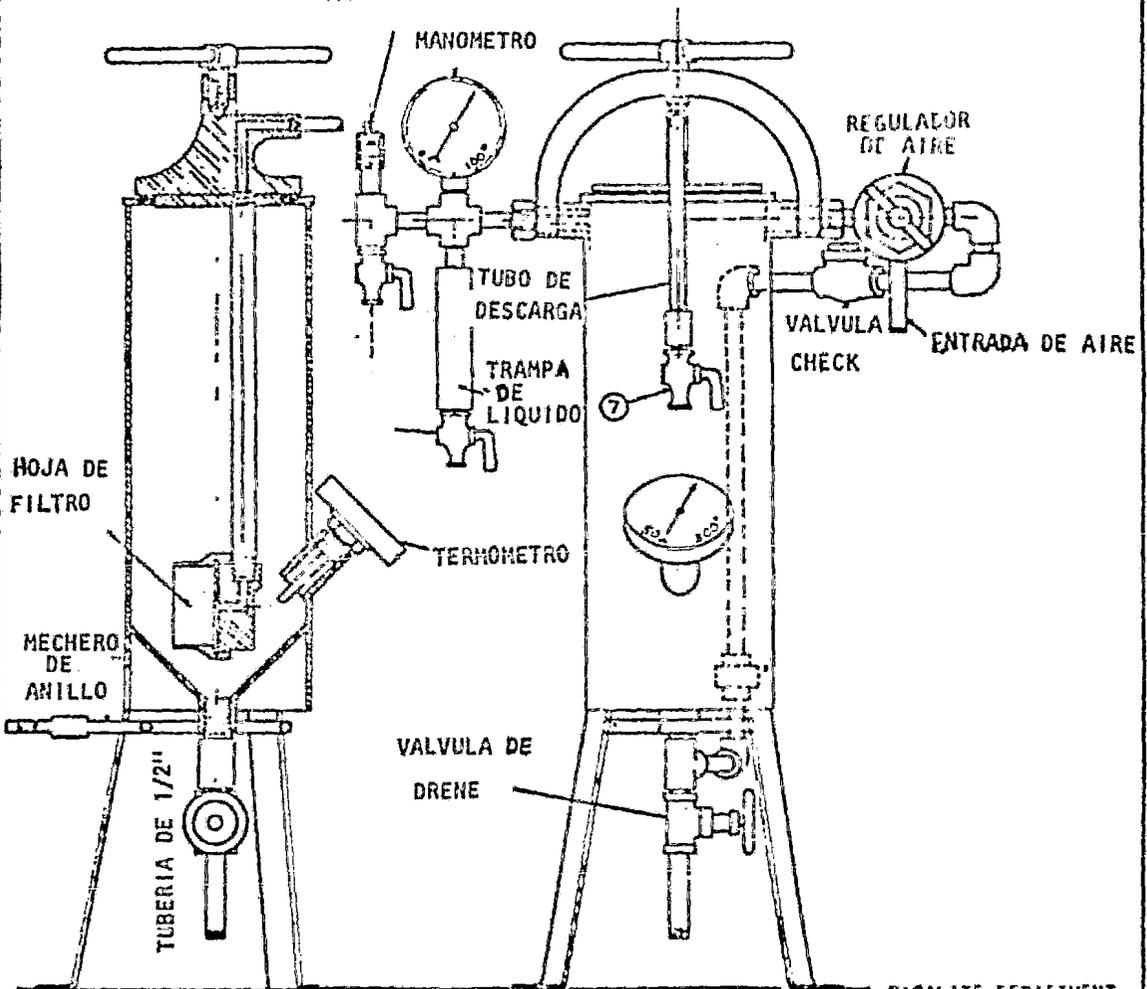
Por último existe una pequeña válvula instalada en la línea de descarga la que nos permite iniciar o detener el flujo del líquido filtrado en forma instantánea.

El filtro piloto se muestra en el dibujo IV.1.



ORIFICIO PARA  
AGITACION

VISTA EN PLANTA



SECCION A-A

FILTRO A FRESTON " BOMB FILTER "

DICALITE DEPARTMENT  
GREAT LAKES CARBON COOP.  
PLATE 592-A

FIGURA IV.1

#### IV.5 OPERACION DEL FILTRO.

Considerando la gran trascendencia de los datos que se obtendrán de estas pruebas al extrapolarse, vemos que cualquier pequeño error adquirirá magnitud, por lo que es necesario seguir con todo cuidado el procedimiento de preparación y corrida de la prueba que a continuación se indica:

- El primer paso que se da al realizar una prueba es checar si el filtro está completo y en buen estado.
- Posteriormente se procede a limpiar y armar el filtro de acuerdo al dibujo, IV.1, es conveniente usar un sellador para evitar fugas en todas las conexiones.
- Se deberá de proveer de gas para el mechero y de aire comprimido o nitrógeno para lograr la presión de operación deseada.
- A continuación se procede a cerrar el filtro y todas las válvulas y se conecta el aire comprimido o nitrógeno con el objeto de checar el hermetismo del filtro, y checar la válvula reguladora de presión.
- También se prueba el sistema del mechero de flama regulable.

Habiendo comprobado que el estado mecánico del filtro es correcto se procede a conseguir una muestra totalmente representativa del líquido por filtrar. Es necesario tener una cantidad suficiente para realizar todas las pruebas con el líquido de la misma muestra para evitar inclinat

otra variable más a las pruebas. Se emplean 2-3 Lts. por prueba.

Se toma una muestra de 2-3 litros (medido con exactitud) de licor por filtrar y se introduce por la parte superior del filtro, teniendo éste cerrada la válvula de drenaje.

En el caso de que el líquido por filtrar lleve alguna cantidad de sólidos adicionales, tales como filtro-ayuda o carbón, etc. para representar esta situación fielmente se deberá de pesar con mucha exactitud este material y agregarse al interior del filtro.

Después se introduce la parte superior del filtro - incluyendo el área de filtración conocida con el medio filtrante limpio si es malla, o nuevo si es lona o papel filtro.

Se aprieta el torniquete superior y se conecta el aire comprimido o nitrógeno regulándose la presión deseada.

Se abre ligeramente el venteo de la parte superior izquierda, el cual permitirá una pequeña fuga de aire y se creará así una agitación a la suspensión dentro del filtro por medio del burbujeo del aire.

Si es necesario se enciende el mechero y se espera a llegar a la temperatura deseada.

En cuanto se tiene la temperatura deseada, simultáneamente se abre la válvula de filtrado, se pone a trabajar el cronómetro y se recolecta el filtrado en una probeta.

ta graduada.

Se toman lecturas del volumen recolectado durante el 1er, 2do y 3er minutos y posteriormente cada 3 hasta llegar a los 21 minutos.

Para que la prueba sea confiable se debe de recolectar de 20 a 350 ml. de filtrado durante los primeros 3 minutos. Esto se logra haciendo variar el área de filtración empleada que puede variar desde  $4.64 \text{ cm}^2$  ( $0.005 \text{ Pies}^2$ ), --  $9.29 \text{ cm}^2$  ( $0.01 \text{ Pies}^2$ ) y  $23.2 \text{ cm}^2$  ( $0.025 \text{ Pies}^2$ ), o bien si ni empleando la menor o mayor área se logra entrar en ese rango, se puede hacer variar la presión de la prueba.

Cuando se logra definir el área de filtración y la presión adecuada, se procede a tomar las lecturas durante los 21 minutos que dura la prueba y desde luego manteniendo constantes la presión y la temperatura. Las lecturas se apuntan en tres columnas, correspondiendo la primera a los minutos de prueba, la segunda a los incrementos de flujo entre cada prueba y en la última los volúmenes de filtrado acumulado.

Al terminar los 21 minutos se debe cerrar la válvula del filtrado y poco a poco ir abriendo la válvula de drenaje para que se vaya vaciando el tanque estando éste bajo presión, hasta que comience a salir aire por el drenaje. Entonces se cierra la válvula de drenaje y se abre la válvula de filtrado con el objeto de que el aire o nitrógeno que la torta formada y al abrir el filtro se pueda determinar el espesor alcanzado y su relación con el volumen fil-

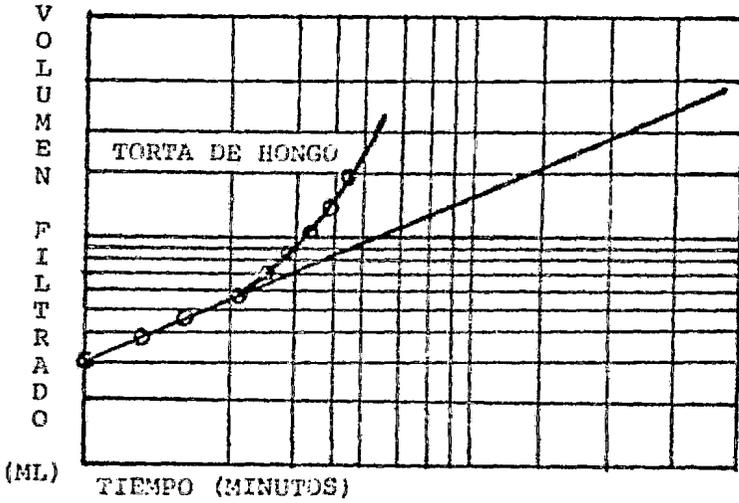
trado.

#### IV.6 INTERPRETACION DE DATOS.

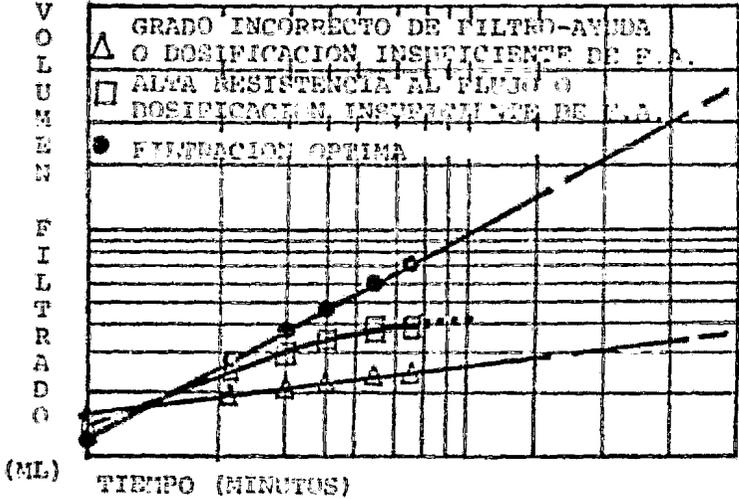
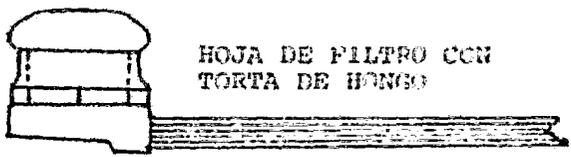
Para evaluar los datos experimentales obtenidos en las pruebas, es necesario graficarlos en hojas de escala logarítmica. En las abscisas se grafica el tiempo y en las ordenadas los volúmenes acumulados de filtrado. Al unir los puntos obtenidos se deberá formar una línea recta a partir del minuto nueve en adelante, que es cuando se estabiliza la filtración. La pendiente de esta recta nos indicará la filtrabilidad del licor. A mayor pendiente mayor filtrabilidad, hasta llegar a la pendiente de 1.0 que es la óptima (máxima permisible).

La ventaja que nos ofrece el obtener una línea recta, consiste en la posibilidad de extrapolar confiablemente; lo cual nos permite predecir flujos considerando ciclos de máximo 12-15 Hrs. (desde luego depende de la aplicación).

En el caso de que no se forme una recta al unir los puntos, puede estar ocurriendo lo siguiente: que los puntos consecutivos tiendan a declinar, lo cual se debe a una dosificación insuficiente de filtro-ayuda o a una alta resistencia específica de la torta (gráfica IV.3); o bien que los puntos tiendan a elevarse cada vez más (gráfica IV.2), lo cual se debe a que se formó una torta de "Hongos" (cuando existe una gran cantidad de sólidos en



GRAFICA IV.2  
 REPRESENTACION GRAFICA DE PRUEBAS DE FILTRO PILOTO



GRAFICA IV.3  
 REPRESENTACION GRAFICA DE PRUEBAS DE FILTRO PILOTO

suspensión, se forma una torta tan grande que se sale de las dimensiones de la tuerca en el área conocida, aumentando así el área y consecuentemente el flujo), cuando esto ocurre la prueba ya no tiene valor.

Cuando la pendiente de la recta es pequeña puede deberse al empleo de un grado de filtro-ayuda que no es el más adecuado (gráfica IV.3); o bien a una gran resistencia específica de la torta formada, lo cual se puede remediar aumentando la dosificación de filtro-ayuda como agregado posterior y así se va levantando la pendiente hasta llegar al óptimo (dependiendo de la aplicación, recordar la gráfica II.1 del Capítulo II), o bien hasta la dosificación máxima económicamente permisible.

Para checar la claridad lograda en el líquido filtrado, es necesario considerar que no se forma precipita al comenzar la prueba y entonces debemos esperar a que se forme ésta durante los primeros 9-12 minutos de la prueba, -- después de los cuales se podrán tomar muestras con la confianza de que serán realmente representativas de las claridades obtenidas.

Si el objetivo que se persigue al emplear el "Lomb Filter" es establecer el punto óptimo de alguna variable, -- esto se logra repitiendo varias veces las pruebas y haciendo variar solamente una condición por prueba, así se pueden comparar los resultados de una prueba a otra y definitivamente la variación en el resultado va a ser debida, --

única y exclusivamente, al elemento variado.

#### IV.7 CALCULOS.

Al extrapolar la línea recta que se obtuvo con las pruebas, podemos cortar ésta a cualquier ciclo de tiempo - y obtendremos el volumen filtrado logrado, o viceversa, -- desde luego que hay que relacionarlo al área empleada y a la presión de la prueba.

Si se desea conocer el volumen filtrado a otra presión diferente a la de la prueba, se deberá usar la siguiente ecuación:

$$V_2 = V_1 \frac{P_2}{P_1}$$

en donde:  $V_1$  = Volumen filtrado a la presión de la prueba (Ml.).

$P_1$  = Presión empleada en la prueba (Kg/cm<sup>2</sup>).

$P_2$  = La nueva presión a la que se desea conocer el nuevo flujo (Kg/cm<sup>2</sup>).

$V_2$  = Volumen logrado a la nueva presión (Ml.)

Para obtener rápidamente la velocidad de filtración se emplea la siguiente relación:

$$V(\text{Lt/M}^2\text{-Hr}) = \frac{\text{Volumen filtrado (Ml)} \times \text{Factor de Conversión}}{\text{Longitud del ciclo (hrs)}}$$

El factor de conversión depende del área de filtración. Para las distintas áreas que podemos utilizar, tendremos los siguientes factores:

<u>AREA</u>	<u>FACTOR DE CONVERSION</u>
4.64 cm <sup>2</sup> (0.005 Pies <sup>2</sup> )	2.150
9.29 cm <sup>2</sup> (0.010 Pies <sup>2</sup> )	1.075
23.2 cm <sup>2</sup> (0.025 Pies <sup>2</sup> )	0.431

Para calcular el espesor de la torta al término de un determinado ciclo de tiempo es necesario cortar en la gráfica extrapolada y obtener el volumen filtrado esperado e ir a la siguiente ecuación:

$$\text{Espesor esperado (MM)} = \frac{\text{Espesor logrado en 21 Min (MM)} \times \text{Volumen filtrado esperado (Ml)}}{\text{Volumen filtrado en 21 Min. (Ml)}}$$

#### IV.8 PRUEBAS.

##### I PARTE.- Selección del Grado de Filtro-ayuda más adecuado.

El primer objetivo que se persigue al iniciar las pruebas consiste en seleccionar el grado de filtro-ayuda más adecuado, considerando algunas condiciones de operación fijas y constantes; teniendo especificado que dicho filtro-ayuda será el medio filtrante y tendrá como soporte malla de acero inoxidable 316 t.

maño 80 MESH.

En estas pruebas se empleó filtro-ayuda de Perlita el cual ofrece el atractivo de tener menor densidad - que otros filtro-ayudas, por lo cual se requerirá menor cantidad en peso.

Las condiciones prefijadas para todas las pruebas - son:

Temperatura de filtración	--	85°C
Presión de la Prueba	--	2.11Kg/cm <sup>2</sup> (30PSIG)
(Lo que corresponde a una presión de operación máxima de 4.22 Kg/cm <sup>2</sup> (60 PSIG) en un filtro industrial)		
Carbón Activado Pulverizado	--	1.0 g/l
Soporte del Medio Filtrante	--	Malla de 316SS Tamaño 80 MESH.

De forma arbitraria y con objeto de tener una sola condición variable se fijaron:

Area de Filtración	--	9.29cm <sup>2</sup> (0.01 Pies <sup>2</sup> )
Filtro-ayuda (Agregado Posterior)	--	1.0 g/l

Quedando únicamente por variar los tipos de Filtro-ayuda, para lo cual se emplearán los tipos D-447, --- D-477, D-4107 y D-4127.

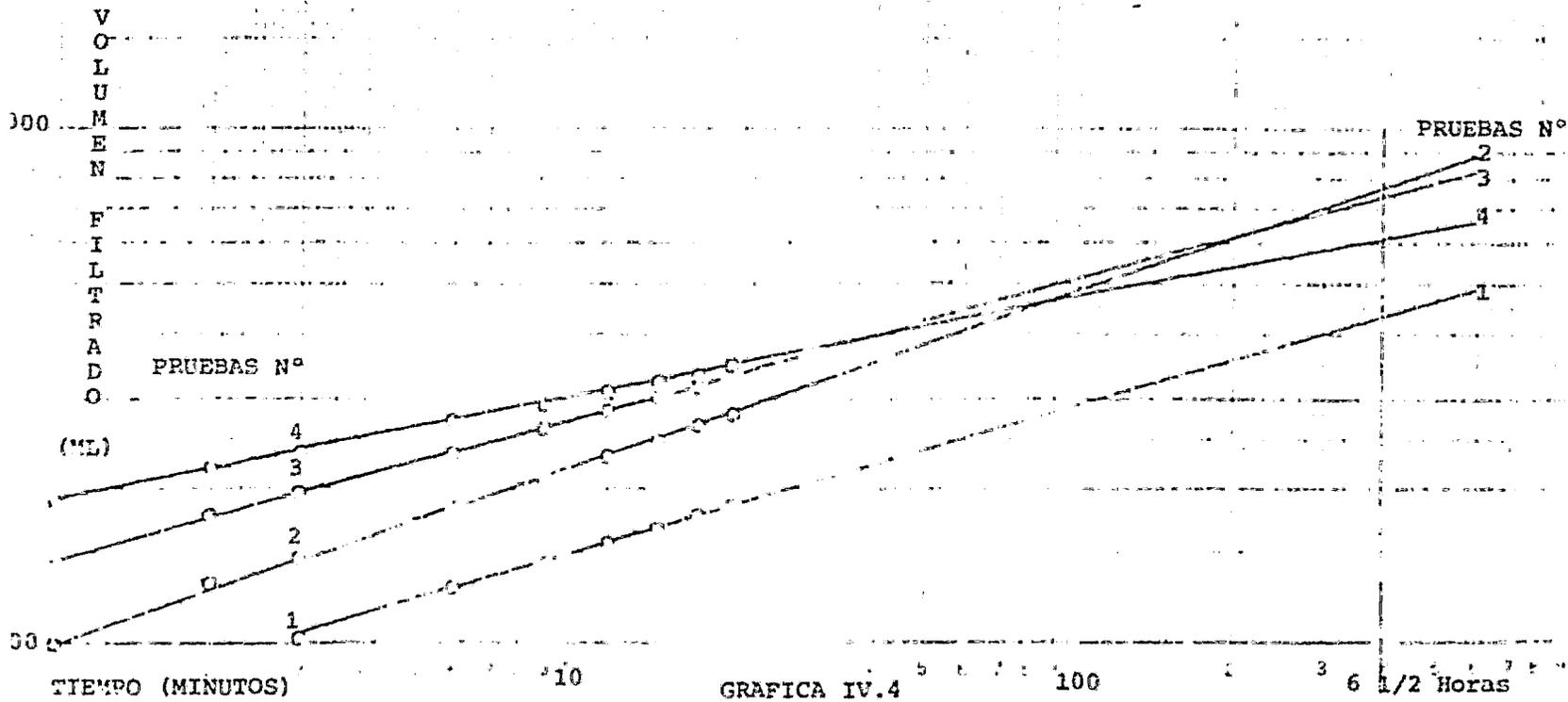
Los resultados de las pruebas se muestran en la siguiente tabla, y su gráfica corresponde a la IV.4.

TABLA DE RESULTADOS DE LA PRIMERA SERIE DE PRUEBAS (PRUEBAS 1 A 4)

<u>PRUEBA No.</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
Soporte del Medio	MALLA 316SS	MALLA 316 SS	MALLA 316SS	MALLA 316SS
Filtrante (No. 80MESH)				
Area (cm <sup>2</sup> )	9.29	9.29	9.29	9.29
Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.11	2.11	2.11	2.11
Temperatura (°C)	85°	85°	85°	85°
Carbón Activado (g/l)	1.0	1.0	1.0	1.0
Grado Filtro-ayuda .	D-447	D-477	D-4107	D-4127
Filtro-ayuda (g/l)	1.0	1.0	1.0	1.0
 <u>FLUJO (ML)</u>				
1 Minuto	85	100	140	190
2 "	92	130	176	219
3 "	103	146	195	235
6 "	128	181	236	270
9 "	142	209	261	291
12 "	156	231	282	310
15 "	167	250	301	321
18 "	176	266	317	332
21 "	182	280	330	341
Claridad (% Transmitan cia)	80%	80%	77%	71%
Espesor de la torta a - los 21 Min. (MM)	3.0	4.0	5.00	5.5

PRIMERA SERIE DE PRUEBAS DE FILTRO PILOTO

PARA SELECCION DE GRADO DE FILTRO-AYUDA



GRAFICA IV.4

<u>PRUEBA No.</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
Flujo extrapolado a 6-1/2 Hrs. en Ml/9.29 cm <sup>2</sup> .	435	760	735	606
Flujo extrapolado a 6-1/2 Hrs. en Lt/m <sup>2</sup>	468	818	791	652
Flujo en Lt/m <sup>2</sup> -Hr.	72.0	125.85	121.8	100.2

ESTUDIO ECONOMICO CON RESPECTO AL COSTO DEL FILTRO-AYUDA.

Elaborando el estudio económico con respecto al costo del filtro-ayuda usado con relación al volumen filtrado en un ciclo de 6 1/2 Hrs. y en base a un área de 9.29m<sup>2</sup> (100 Pies<sup>2</sup>) tenemos los siguientes datos:

<u>PRUEBA No.</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
Grado de filtro-ayuda	D-447	D-477	D-4107	D-4127
Precio filtro-ayuda \$/Kg	8.0	10.00	12.00	15.00
<u>Kgs. de filtro-ayuda empleados como:</u>				
Precapa (Kg)	4.54	4.54	4.54	4.54
Agregado Posterior	4.35	7.60	7.35	6.59
Total de filtro-ayuda (Kg)	8.89	12.14	11.89	11.13
Costo de filtro-ayuda empleado (\$)	71.12	121.40	142.68	166.95
Volumen filtrado en un ciclo de 6 1/2 Hrs (Lt) por 9.29m <sup>2</sup>	4348	7599	7348	6057
Costo del filtro-ayuda en \$/1000 Lts filtrado	16.36	15.98	19.41	27.56

Analizando la gráfica y las tablas de resultados - de las pruebas anteriores, notamos que:

- 1.- La Prueba No. 2 nos muestra mejor pendiente (filtrabilidad) que las demás.
- 2.- La Prueba No. 2 al extrapolarse a 6-1/2 Hrs. es la -- que nos indica mayor volumen filtrado.
- 3.- Las Pruebas Nos. 1 y 2 son las que nos dan mayor claridad.
- 4.- La Prueba No. 1 nos da un volumen de filtración muy - bajo.
- 5.- La Prueba No. 2 es la que nos ofrece más bajos costos de filtración.

#### Conclusión:

El grado más adecuado para esta aplicación es el - D-477 (Prueba No. 2).

#### II PARTE.- Dosificación Óptima y Estudio Económico.

Habiendo ya seleccionado el grado de filtro-ayuda más adecuado, el siguiente paso consiste en encontrar el punto óptimo de dosificación.

Con tal objeto se lleva a cabo otra serie de encue pruebas, incluyendo la No. 2 de la serie anterior, en las cuales se hace variar la dosificación, desde sin usar fil tro-ayuda, hasta emplear 1.5 g/l. Todas las demás condi- ciones de las pruebas anteriores continúan invariables.

Así obtenemos estos resultados: Gráfica No. IV.5.

TABLA DE RESULTADOS DE LA SEGUNDA SERIE DE PRUEBAS (PRUEBA N°2 Y PRUEBAS 5 A 14)

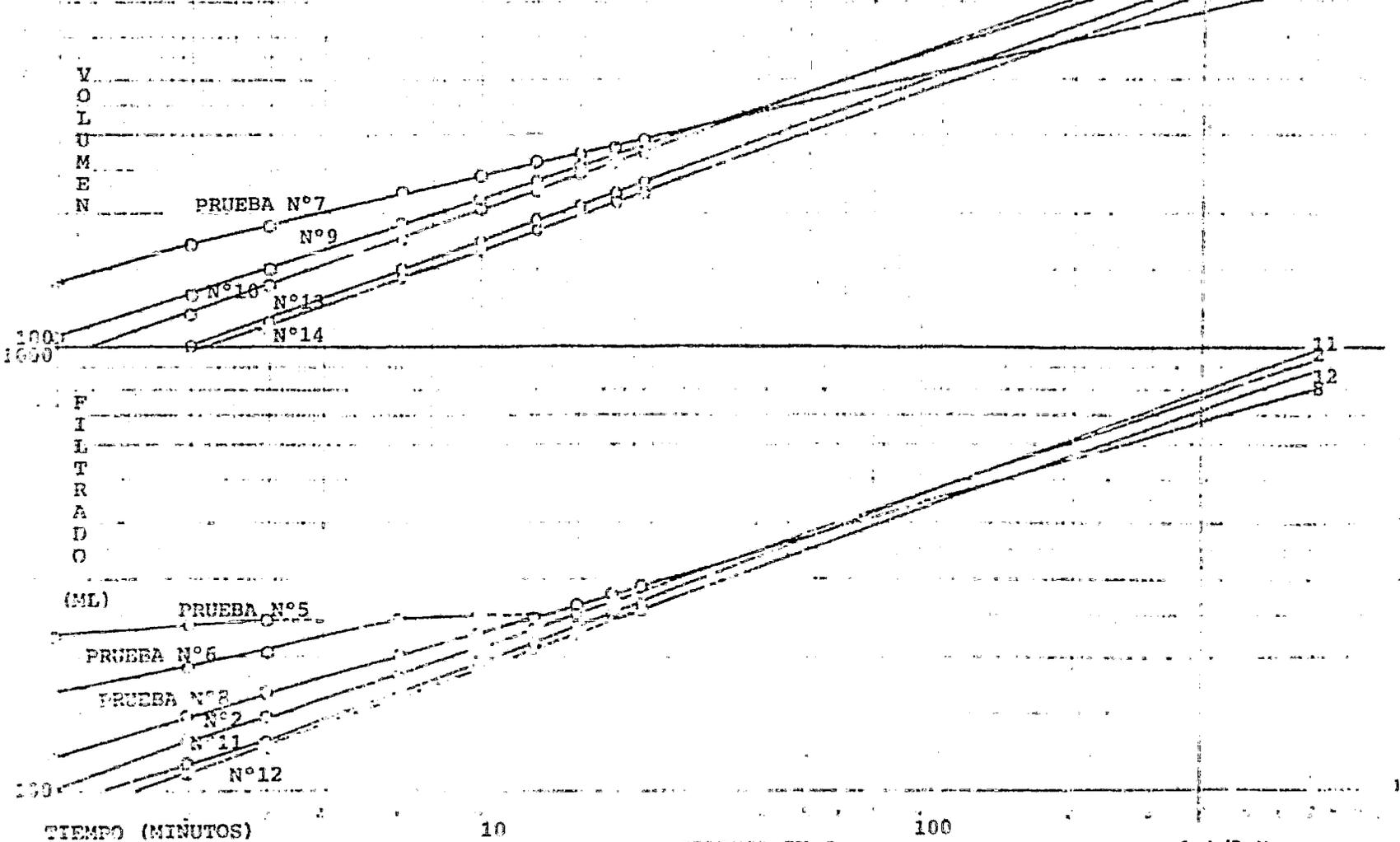
PRUEBA No.	2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Soporte del medio filtrante (80MESH-316SS)	MALLA										
Area (cm <sup>2</sup> )=(0.01 Pies <sup>2</sup> )	9.29	9.29	9.29	9.29	9.29	9.29	9.29	9.29	9.29	9.29	9.29
Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )=(30 Psig)	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11
Temperatura (°C)	85°	85°	85°	85°	85°	85°	85°	85°	85°	85°	85°
Carbón Activado (g/l)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Grado Filtro-ayuda	D-477										
Dosificación filtro-ayuda (g/l)	1.0	S/fa	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Flujo (Ml)											
1 Minuto	100	220	167	140	119	105	92	84	86	78	65
2 "	130	237	190	170	148	131	119	115	110	100	100
3 "	146	242	204	188	166	150	138	129	128	117	115
6 "	181	-	245	221	201	188	176	168	163	150	146
9 "	209	-	250	242	220	213	204	196	189	172	169
12 "	231	-	-	260	247	233	224	215	210	191	187
15 "	250	-	-	271	262	251	244	235	228	209	204
18 "	266	-	-	281	279	268	260	250	241	221	215
21 "	288	-	-	291	290	280	274	264	258	233	225

PRUEBA No.	2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Claridad (% Trans- mitancia)	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Espesor de la tor- ta 21 Min. (MM)	3.4	-	-	2.5	2.8	3.1	3.6	3.8	4.0	4.0	4.1
Espesor de la tor- ta extrapolado a 6 1/2 Hrs. (MM).	9.23	-	-	4.89	6.54	8.06	10.23	11.28	11.1	11.4	11.3
Flujo extrapolado a 6 1/2 Hrs-9.29 cm2 (Ml)	760	-	-	570	678	739	779	784	719	660	625
Flujo extrapolado a 6 1/2 Hrs (Lt/ m2)	818	-	-	613.3	729.7	785.7	838.45	843.8	773.9	716.8	672.7
Flujo extrapolado a 6 1/2 Hrs. (lt/ hr-m2)	125.85	-	-	94.4	112.3	120.9	129.0	129.8	119.1	110.3	103.5

PRUEBAS

# SEGUNDA SERIE DE PRUEBAS DE FILTRO PILOTO

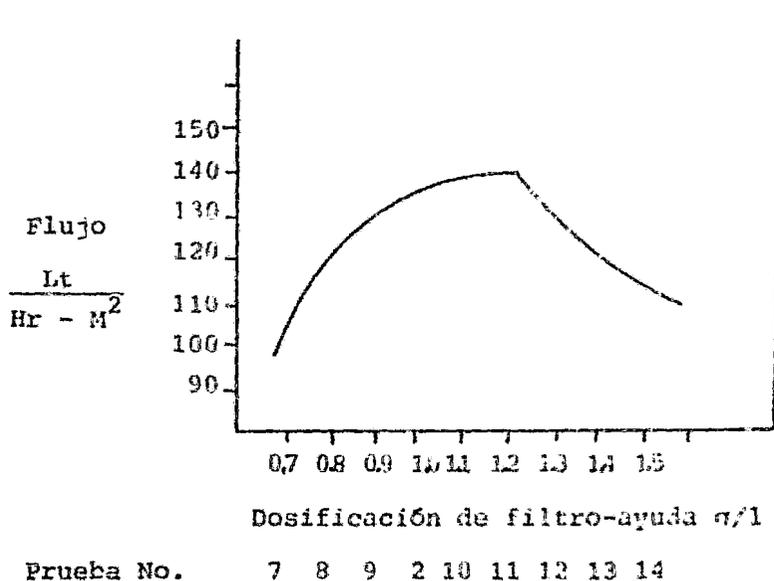
## PARA DETERMINACION DE DOSIFICACION OPTIMA DE FILTRO-AYUDA



GRAFICA IV.5

6 1/2 Horas

De acuerdo con las velocidades de filtración logradas, podemos elaborar la gráfica No. IV.6 que nos muestra el comportamiento de la velocidad de filtración, con respecto a la dosificación de filtro-ayuda como agregado posterior.



GRAFICA No. IV.6

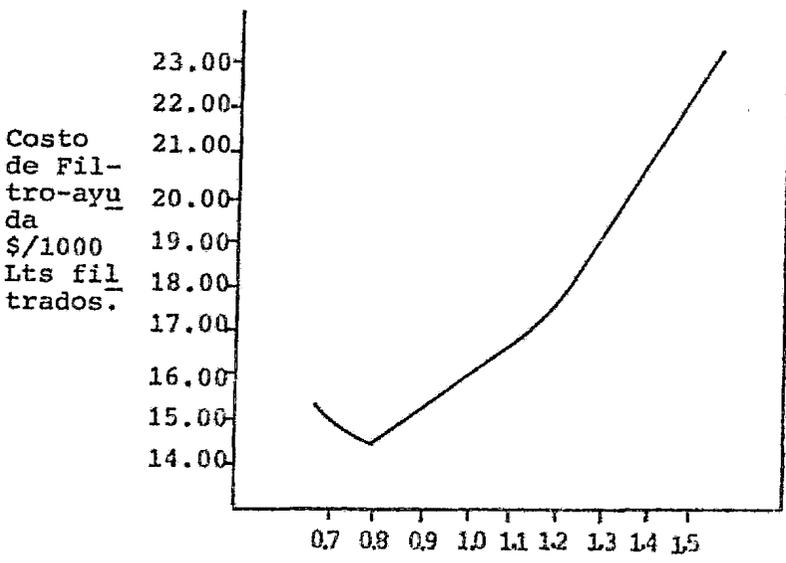
#### ESTUDIO ECONOMICO EN BASE AL CONSUMO DE FILTRO-AYUDA.

En base a los resultados de las pruebas anteriores, podemos elaborar un estudio económico respecto al costo -- del filtro-ayuda empleado con relación al volumen filtrado, en un ciclo de 6 1/2 Hrs. y en base a una área de filtración de 9.29 m<sup>2</sup> (Pies<sup>2</sup>).

ESTUDIO ECONOMICO EN BASE AL CONSUMO DE FILTRO-AYUDA PARA LA SEGUNDA SERIE DE PRUEBAS

PRUEBA No.	2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Dosificación de filtro-ayuda (g/l)	1.0	s/f	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Precio del filtro-ayuda (\$/Kg)	10.00	-	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<u>Consumo de filtro-ayuda como:</u>											
Precapa (Kg/9.29 m2)	4.54	-	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54
Agregado Posterior (Kg)	7.60	-	-	3.99	5.42	6.87	8.37	9.41	9.35	9.32	9.37
Total filtro-ayuda (Kg)	12.14	-	-	8.53	9.96	11.41	13.11	13.95	13.89	13.86	13.91
Costo del filtro-ayuda consumido (\$)	121.40	-	-	85.30	99.60	114.10	131.10	139.50	138.90	138.60	139.10
Volumen filtrado (Lts/6 1/2 Hrs -9.29m2)	7,599	-	-	6,698	6,779	7,294	7,789	7,839	7,189	6,659	6,249
Costo del filtro-ayuda por cada 1000 Lts filtrados (\$/1000 Lts)	15.98	-	-	14.97	14.69	15.22	16.83	17.79	19.32	20.81	22.26

A continuación mostramos una gráfica que nos indica la relación entre el costo de filtración y el filtro-ayuda consumido.



Dosificación de Filtro-ayuda g/l  
 Prueba No. 7 8 9 2 10 11 12 13 14

GRAFICA No. IV.7

CALCULO DEL AREA DE FILTRACION REQUERIDA.

De acuerdo con las pruebas anteriores podemos determinar el área de filtración requerida para cada dosificación de filtro-ayuda.

Para propósito de diseño es necesario hacer ciertas consideraciones respecto al valor del volumen que debemos filtrar y que se nos indicó que son 50,000 Lts en 6 1/2 Hrs.

1.- Respecto al valor de capacidad anterior, hemos de considerar, que este valor es válido y representativo, ya que

no obstante, que tanto al principio como al final de la zafra hay una reducción en la filtrabilidad del licor, es -- normal también que en esas ocasiones se trabaje a niveles de capacidad bastante más bajos de lo normal.

2.- Debido a que, como se indicó al principio del capítulo, este filtro piloto tiene una exactitud de  $\pm 10\%$ , debemos - aumentar el volumen en  $10\%$ .

3.- Para propósito de diseño, debemos considerar la capaci- dad real a un  $90\%$  de la capacidad de diseño, por lo que de- bemos de aumentar otro  $10\%$ .

De este modo, tenemos que para propósito de cálculo tendremos un valor de capacidad de:

$$50,000 \text{ Lts}/6 \frac{1}{2} \text{ Hrs.} \times 1.2 = 60,000 \text{ Lts}/6 \frac{1}{2} \text{ Hrs.}$$

Para conocer el área requerida, es necesario divi-- dir  $60,000 \text{ Lts}/6 \frac{1}{2} \text{ Hrs}$  entre el valor de flujo de cada - prueba expresado en  $(\text{Lt}/\text{m}^2\text{-}6 \frac{1}{2}\text{Hrs})$  y el resultado será el área en  $(\text{m}^2)$ .

PRUEBA No.	DOSIFICACION DE F-A(g/l)	FLUJO LOGRADO EN Lt/M <sup>2</sup> -6 1/2 HRS	AREA DE FILTRA CION REQUERIDA ( M <sup>2</sup> )
2	1.0	818.0	73.35
5	s/fa	-	-
6	0.6	-	-
7	0.7	613.3	97.83
8	0.8	729.7	82.22
9	0.9	785.7	76.36
10	1.1	838.45	71.56
11	1.2	843.8	71.10
12	1.3	773.9	77.53
13	1.4	716.8	83.70
14	1.5	672.7	89.19

Para poder evaluar económicamente los valores anteriores, se muestra a continuación una tabla, la cual nos indica el costo de un filtro de presión (placas verticales -tanque horizontal) de acuerdo al área de filtración.

COSTO DE FILTROS DE PRESION (TANQUE HORIZONTAL-PLACAS VERTICALES) DE ACUERDO A EL AREA DE FILTRACION.

<u>Area de filtración</u>		<u>Costo ( \$ )</u>
55.85-60.50m <sup>2</sup> (601-650 Pies <sup>2</sup> )	--	4,400,000
60.50-65.14m <sup>2</sup> (651-700 Pies <sup>2</sup> )	--	4,700,000
65.14-69.79m <sup>2</sup> (701-750 Pies <sup>2</sup> )	--	5,000,000
69.79-74.44m <sup>2</sup> (751-800 Pies <sup>2</sup> )	--	5,300,000
74.44-79.08m <sup>2</sup> (801-850 Pies <sup>2</sup> )	--	5,600,000
79.08-83.73m <sup>2</sup> (851-900 Pies <sup>2</sup> )	--	5,900,000
83.73-88.28m <sup>2</sup> (901-950 Pies <sup>2</sup> )	--	6,200,000
88.28-92.93m <sup>2</sup> (951-1000 Pies <sup>2</sup> )	--	6,500,000
93.93-102.2m <sup>2</sup> (1000-1100 Pies <sup>2</sup> )	--	7,100,000

Con objeto de conocer el costo de operación por un año de estos filtros, podemos considerar como:

- Costo Fijo.- El valor del filtro, de acuerdo a una depreciación en 10 años.
- Costo Variable.- Aquí consideramos únicamente el costo de filtro-ayuda tanto como precapa como agregado posterior, ya que los demás costos variables no influyen en este cálculo.

Respecto al flujo a manejar por día consideramos que el filtro opera a razón de 3 ciclos diarios durante 180 -- días al año que es lo que dura la zafra.

Cada ciclo maneja 50,000 Lts.

De este modo este filtro manejará un volumen de licor por año de:

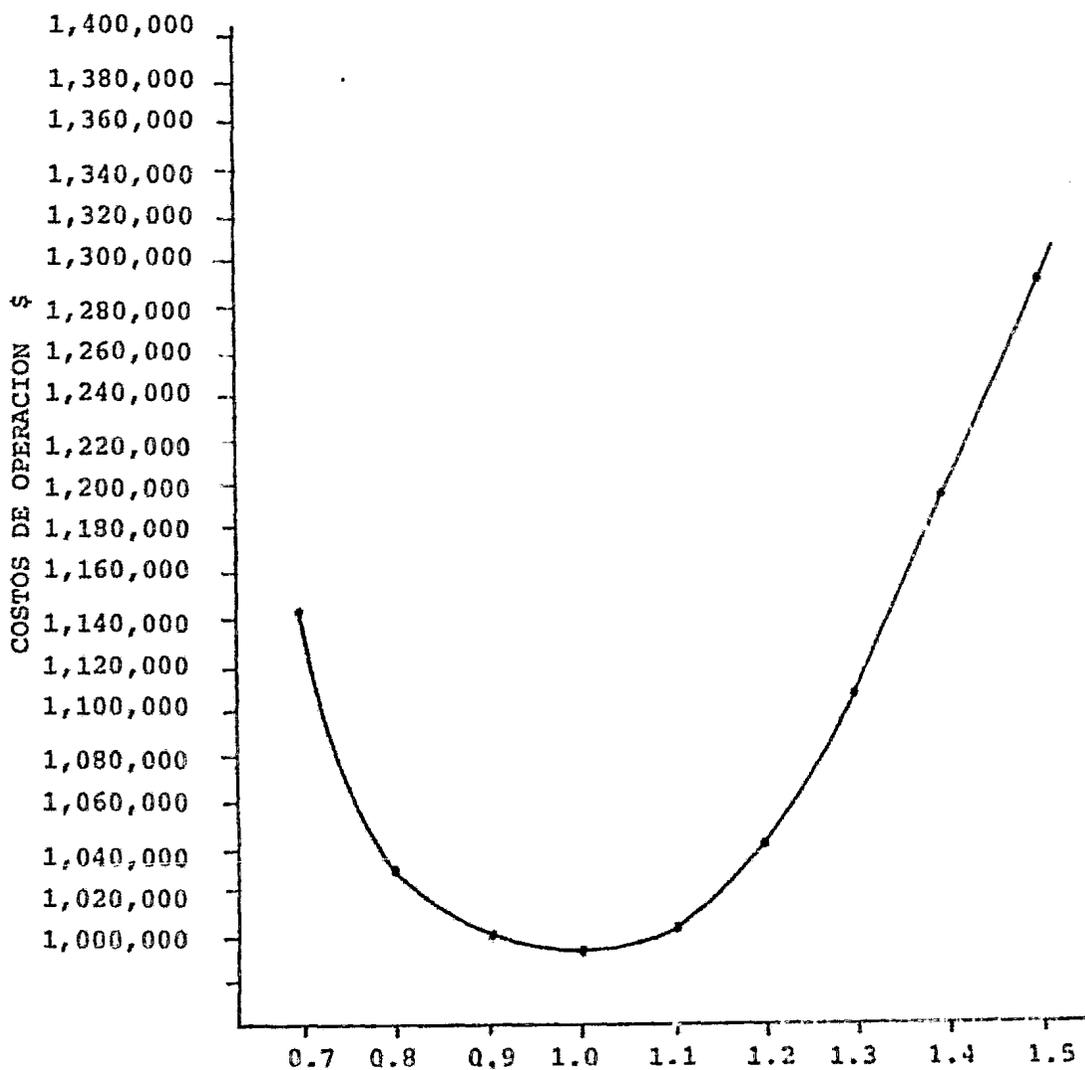
$$50,000 \text{ Lt/ciclo} \times 3 \text{ ciclos/Día} \times 180 \text{ días/año} \\ = 27,000,000 \text{ Lts/Año}$$

Para calcular el costo variable de operación, es necesario considerar el costo de filtro-ayuda para precapa, de acuerdo al área de filtración requerida por cada dosificación, en base de  $4.54 \text{ Kg/9.29m}^2$  y adicionarle el costo de filtro-ayuda empleado como agregado posterior de acuerdo a cada dosificación. Esto es considerando un costo de filtro-ayuda de \$10.-/Kg. y un volumen por filtrar de ---- 27,000,000 Lt/Año.

TABLA DE COSTOS DE OPERACION ANUALES:

PRUEBA No.	DOSIFICACION FILTRO-AYUDA (g/l)	COSTO FIJO ( \$ )	COSTO VARIA- BLE ( \$ )	COSTO DE OPERACION ( \$ )
5	s/f	-	-	-
6	0.6	-	-	-
7	0.7	710,000	258,173.--+189,000	1,157,173
8	0.8	590,000	216,978.--+216,000	1,022,978
9	0.9	560,000	201,514.--+243,000	1,004,514
2	1.0	530,000	193,568.--+270,000	993,568
10	1.1	530,000	188,846.--+297,000	1,015,846
11	1.2	530,000	187,633.--+324,000	1,041,633
12	1.3	560,000	204,601.--+351,000	1,115,601
13	1.4	590,000	220,884.--+378,000	1,188,884
14	1.5	650,000	235,372.--+405,000	1,290,372

Los costos de operación referidos a un año, se muestran en la gráfica No. IV.8.



	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Prueba No.	7	8	9	2	10	11	12	13	14

Dosificación de Filtro-ayuda g/l  
 GRAFICA No. IV.8

De acuerdo con las tablas y gráfica de resultados anteriores, es conveniente hacer las siguientes consideraciones:

- 1.- De acuerdo a la gráfica No. IV.5 las pruebas que mostraron mejor pendiente (filtrabilidad) fueron en este orden, pruebas Nos. 11, 10, 2, 9, 12, 8, 13, 14 y las pruebas Nos. 5 y 6 no alcanzaron a mostrar línea recta.
- 2.- El flujo logrado al extrapolar las gráficas a un tiempo de 6 1/2 Hrs., nos indica el mismo orden que se menciona en el punto anterior. En la gráfica No. IV.6 se puede observar que la dosificación óptima en cuanto a velocidad de flujo es la prueba No. 11 (1.2 g/l).
- 3.- La claridad lograda en todas las pruebas es igual, por lo que este factor no nos ayudará a decidir.
- 4.- La gráfica No. IV.7 nos muestra que en cuanto a costo de filtración de acuerdo al filtro-agulla consumido, -- las pruebas más atractivas son en este orden: Prueba No. 8, 7, 9, 2, 10, 11, 12, 13, 14. Notándose que desde luego la óptima es la No. 8 que corresponde a una dosificación de 0.8 g/l.
- 5.- Tomando en cuenta la gráfica No. IV.8 que nos indica

el costo de operación por año de acuerdo al costo de los diferentes tamaños de filtros requeridos y del costo de filtro-ayuda empleado tanto como precapa como en agregado posterior, nos demuestra que los costos más bajos de operación se logran en el siguiente orden: -- Prueba No. 2, 9, 10, 8, 11, 12, 7, 13 y 14. Notándose claramente que el punto óptimo lo logra la Prueba No. 2 (1.0 g/l), sin embargo se encuentran muy cerca la No. 8 (0.8 g/l), la No. 9 (0.9 g/l), la No. 10 (1.1 g/l) y la No. 11 (1.2 g/l).

#### CONCLUSION:

En base a las observaciones anteriores podemos concluir que el punto óptimo de dosificación es 1.0 g/l (Prueba No. 2), sin embargo notamos que la diferencia con respecto a las pruebas Nos. 8, 9, 10 y 11 es muy pequeña. Por lo que podemos decir que el rango óptimo de dosificación es de 0.8 g/l a 1.2 g/l.

Tomando en cuenta que en la práctica es muy difícil lograr una dosificación exacta, ya que en los Ingenios los operadores trabajan la dosificación en base a cierta cantidad de sacos de filtro-ayuda (20 Kg c/u) y no a pesadas exactas es conveniente recomendar que trabajen en el rango antes mencionado (0.8-1.2 g/l) y no en una dosificación exacta.

1.- Podemos concluir que se seleccione el área de filtración que requiera una dosificación de 0.8 g/l de filtro-ayuda (prueba No.8) que es de  $82.22\text{m}^2$  (885 Pies<sup>2</sup>), ya que es la más crítica de las dosificaciones del rango seleccionado.

Además con esta selección el filtro tendrá mayor flexibilidad, ya que aumentando el consumo de filtro-ayuda se podrá lograr un incremento de capacidad de hasta 16%, para contrarrestar una ocasional reducción de la filtrabilidad del licor o bien aumento de capacidad futuro.

2.- Respecto al espesor de torta esperado deberá de ser el indicado en la prueba No. 2, ya que de entre las pruebas No. 8, 9, 2, 10 y 11, la prueba No. 11 es la más crítica (11.18 MM).

Para propósitos de diseño se deberá hacer la misma consideración que para el flujo de aumentar este valor en un 20% (10% debido a la exactitud del filtro y 10% para hacer el diseño al 90% de capacidad).

El espesor de torta esperado de diseño será  $11.28 - \text{MM} \times 1.2 = 13.54 \text{ MM}$  (0.53 Pulgadas).

#### RESUMEN DE CONCLUSIONES:

- 1.- El Area del Filtro será  $82.22 \text{ M}^2$  (885 Pies<sup>2</sup>).
- 2.- El espesor de torta esperado al fin del ciclo será ---  
13.54 MM (0.53 Pulgadas).

## CAPITULO V

### ESPECIFICACION FINAL DEL FILTRO PARA LICOR DE AZUCAR

En este capítulo nos corresponde elaborar la especificación del filtro para licor de azúcar que cumpla con -- las condiciones de operación indicadas en el capítulo III; basándonos para esto tanto en los resultados de las pruebas experimentales del capítulo V, así como en las tablas de selección de filtros del capítulo II. De esta forma estaremos en condiciones de presentar la hoja de especificaciones a los fabricantes de filtros, para que ellos puedan hacer una cotización de un filtro con su diseño propio y -- que cumpla con nuestras necesidades.

#### V.1 CONSIDERACIONES PARA ELABORAR LA HOJA DE ESPECIFICACION DEL FILTRO.

##### 1.- SELECCION DEL TIPO DE FILTRO.

Se seleccionó un filtro del tipo "DE PRESION" por -- las siguientes razones:

- Debido al porcentaje de sólidos en la suspensión se -- descarta la filtración centrífuga y la filtración por gravedad.
- La filtración a vacío no es recomendable ya que no nos proporciona un área de filtración suficiente.

--- La filtración a presión cumule con todas las condiciones de operación requeridas.

## 2.- SELECCION DEL MODELO DE FILTRO.

Seleccionamos un filtro de tanque horizontal y hojas verticales por las siguientes razones:

- Con respecto al área de filtración requerida ( $82.22m^2$ ), encontramos que solamente cumplen con ella: el filtro prensa y el de tanque horizontal con hojas verticales (Tabla II.2).
- El filtro prensa tiene la desventaja de que su costo de operación es mayor que el del filtro de hojas, y su automatización es complicada y poco eficiente. La limpieza de este filtro requiere que esté fuera de servicio demasiado tiempo.
- El filtro de tanque horizontal cumple con todas nuestras necesidades tales como: área de filtración suficiente; espacio suficiente para alojar la torta espesa ( $13.54mm$ ); es adecuada para proporcionar la brillantez requerida del filtrado; puede ser la operación intermitente; puede usarse filtro-ayuda; puede automatizarse para abrirlo, cerrarlo y limpiarlo, y puede llevar mirilla en cada elemento filtrante. De este tipo de filtro se encuentra un modelo con hojas giratorias que también se puede utilizar para esta aplicación. Dicho filtro nos proporciona una formación de torta más

uniforme y una mejor limpieza, aunque su costo es mayor, y requiere un mantenimiento más especializado. El de hojas fijas representa un costo de operación más bajo y su limpieza y formación de torta es satisfactoria.

### 3.- SELECCION DEL MEDIO FILTRANTE.

Se utilizará filtro-ayuda como medio filtrante, por las siguientes razones:

--- En base al tamaño de los sólidos por retener, encontramos que los medios filtrantes más adecuados pertenecen al grupo de "Sólidos Suelos a Granel"; de estos materiales los filtro-ayudas tienen mayor permeabilidad, son más económicos y han sido ampliamente usados para este propósito. Mediante las pruebas experimentales se seleccionó el grado de filtro-ayuda (D-477 ó equivalente), empleándose una precapa de 40 - 60 Kg/m<sup>2</sup> y como agregado posterior se usará una dosificación de 0.8 -- 1.2 gramos por litro de suspensión por filtrar.

### 4.- SOPORTE DEL MEDIO FILTRANTE.

Se seleccionó malla de acero inoxidable tipo 316 tamaño 80 MESH por las siguientes razones:

--- Este tipo de malla tiene el tamaño apropiado para retener filtro-ayuda y formar una buena precapa.

--- Aunque su costo inicial es alto, su durabilidad es muy larga.

--- Es muy sencilla y eficiente su limpieza.

## 5.- MATERIALES DE CONSTRUCCION.

- Tanque.- Acero al carbón.
- Soporte medio filtrante.- Malla acero inoxidable 316.
- Tuercas y tornillos.- Acero al carbón.
- Tubería y válvulas.- Acero al carbón.
- Empaques.- Elastómero Buna "N".

Se seleccionaron estos materiales ya que a la temperatura de operación (85°-90°C), el licor por filtrar no les presenta problemas de ataque químico o deformación física, siendo además los más económicos.

## 6.- INSTRUMENTACION.

Unicamente es necesario instalar: indicador de temperatura, indicador de presión, válvula de alivio y una mirilla a la descarga de cada elemento filtrante.

Estos instrumentos deberán ser seleccionados para un rango de operación de acuerdo a las condiciones de operación.

También se requiere instrumentación para la operación automática del filtro, la cual será sugerida por el fabricante de acuerdo a su propio diseño.

## 7.- DISEÑO MECANICO.

Respecto al diseño mecánico del filtro cada fabricante será quien proporcione sus estandares de diseño, sin embargo deberán cumplir con ciertos datos básicos como los siguientes:

- La presión de diseño no deberá ser inferior a 8.44 ---  
Kg/cm<sup>2</sup> considerando una temperatura de 205°C.
- Deberá incluir conexiones bridadas (150 PSI cara pla--  
na) para los servicios de: alimentación del licor, sa-  
lida del filtrado, venteo, drene, además de las tomas  
necesarias para la instrumentación.

HOJA TÍPICA DE ESPECIFICACION DE FILTROS

USUARIO \_\_\_\_\_ APLICACION FILTRO PARA LICOR DE AZÚCAR CLASIFICADO  
 EQUIPO N° FILTRO N° - E - 05 CANTIDAD REQUERIDA 1 (UNO)  
 FABRICANTE \* MARCA Y TAMAÑO \* Y \*

CONDICIONES DE OPERACION

LICOR DE AZÚCAR

SUSPENSION A MANEJAR PROVENIENTE DE CLASIFICADORES TEMPERATURA DE OPERACION 85 - 90 °C.  
 CAPACIDAD 500 m<sup>3</sup> / 48 HRS. MAX. MIN.  
 PRESION DE OPERACION 4.22 KG/CM<sup>2</sup> MAN. DENSIDAD 1.030 @ 20°C VISCOSIDAD 100 C.P.  
 NATURALEZA DE LOS SÓLIDOS: FIBROSOS \_\_\_\_\_ CORSEIVOS \_\_\_\_\_ ORGÁNICOS \_\_\_\_\_ INORGÁNICOS \_\_\_\_\_  
 ABRASIVOS \_\_\_\_\_ INERTES  ORIGINALES CON POCO RELATINGSOS \_\_\_\_\_  
 EN PESO 2.0 VOLUMEN EN FILTRO 2.0 DENSIDAD (MUELA) \_\_\_\_\_ TAMAÑO DE MALLA 125 MESH.  
93.2% RETENIDO MALLA 125 MESH.  
5.0% PARA MALLA 245 MESH.

DESCRIPCION DE LOS SÓLIDOS PRESENTES:

BAGACILLO PRECIPITADO GELATINOSO DE COCAÑA (21 PPM), ARENA Y CAL 0.11 gr/lit  
CARGA VEGETAL ACTIVA 1.03 gr/lit  
 OPLICACION INTERMITENTE  CONTINUA \_\_\_\_\_ TOTAL 1.14 gr/lit

SE REQUIERE UN FILTRANTE: DEBILITANTE  TERMOESTABILIZANTE \_\_\_\_\_  
 SE REQUIERE RECUPERAR: LÍQUIDO  SÓLIDOS \_\_\_\_\_ AMBOS \_\_\_\_\_  
 METODO DE LIMPIEZA: MANUAL \_\_\_\_\_ SEMI-AUTOMÁTICO \_\_\_\_\_ AUTOMÁTICO   
 SE REQUIERE LAVADO DE TORTA: SI  NO \_\_\_\_\_ (CON AGUA)  
 MÁXIMA CAIDA DE PRESION PERMITIDA: \* FT/CM<sup>2</sup> \_\_\_\_\_  
 SE REQUIERE USAR VEILTED-AVENA: SI  NO \_\_\_\_\_ CALIFICACION 0.1-0.2 gr/lit PÓSPERO DE TORTA ESTIMADA 13.29 mm

CONSTRUCCION

TIPO DE FILTRO: TANQUE HORIZONTAL  VERTICAL \_\_\_\_\_ OTROS \_\_\_\_\_  
 PLACAS HORIZONTALES \_\_\_\_\_ VERTICALES   
 PRESION DE DISEÑO 8.44 PS/CM<sup>2</sup> MAN. TEMPERATURA DE DISEÑO 202 °C PRES. Y EL TEMPER. 8.44 PS/CM<sup>2</sup> MAN.  
 SE REQUIERE EMPLEO DE ALGUN CÓDIGO: SI \_\_\_\_\_ NO  COMISION PERMITIDA NO  
 PRESION DE PRUEBA HIDROSTATICA 12.66 PS/CM<sup>2</sup>  
 RADIOGRAFIADO: TOTAL NO PARCIAL NO POR PUNTO NO AREA DE FILTRACION 82.22 M<sup>2</sup>  
 EFICIENCIA DE JUNTAS 10 TIPO DE CASQUETAL \* DIÁMETRO DE ENCLAVAMIENTO \*  
 RELEVADO DE ISOPRESIONES: SI SE REQUIERE \_\_\_\_\_ NO SE REQUIERE  EN CASO DE \_\_\_\_\_  
 CONEXIONES: TAMAÑO TIPO  
 ENTRADA \* \*  
 DESCARGA \* \*  
 VENTOS \* \*  
 GRENACE \* \*  
 VALVULA ALIVIO \* \*  
 MANOMETRO \* \*  
 OTRAS \* \*  
 TIPO DE EPISA CARA PLANA 150 PSI  
 MEDIO FILTRANTE: TIPO MALLA DE 4 INCH SIG. APERTURA 10 MESH  
 REQUIERE AISLAMIENTO: SI \_\_\_\_\_ NO  PINTURA DEFENSIVA EXTERIOR BARR

INSTRUMENTACION

MATERIALES DE CONSTRUCCION

MANOMETRO SI FABRICANTE/MODELO \* / \*  
 MEDIDOR DE FLUJO NO FABRICANTE/MODELO \_\_\_\_\_  
 TURBIDIMETRO NO FABRICANTE/MODELO \_\_\_\_\_  
 OTROS TERMOMETRO (0-150°C)  
VALVULA ALIVIO (CALIBRADA A 0.32 KG/CM<sup>2</sup>)  
MALLA PARA RESERVA EN LA ALIMENTACION

TANQUE ACERO AL CARBON  
 CASQUETAL ACERO AL CARBON  
 MEDIO FILTRANTE MALLA ACERO INOX SIG (1000)  
 PINTURAS GRANA MARCA  
 GRENACE Y TORNILLOS ACERO AL CARBON  
 TORNILLOS ACERO AL CARBON  
 VALVULAS ACERO AL CARBON

PESO DE EMPAQUE \* DIMENSIONES DE EMPAQUE \*  
 PESO VACIO \* PESO LLENO DE AGUA \*  
 PESO EN OPERACION \*

## CONCLUSIONES

1.- Se ha demostrado como se puede utilizar este filtro -- piloto como herramienta sumamente útil para obtener datos experimentales y de este modo determinar las características básicas para poder diseñar un filtro del tipo a presión a escala industrial.

2.- Recomendamos ampliamente el empleo de este filtro piloto para optimizar cualquier sistema de filtración a -- presión, ya que con este método se pueden hacer pruebas haciendo variar una por una las variables que intervienen en la filtración y de este modo optimizarlas. Tales variables pueden ser: temperatura, presión, concentraciones, dosificación de filtro-ayuda, empleo de agentes tensoactivos, coagulantes, selección de medios filtrantes, variaciones de pH, etc.

Es importante recalcar que para realizar estas pruebas se requiere únicamente un pequeño volumen de suspensión por filtrar (2-3 Lts.), y que se emplean únicamente -- 21 minutos en cada prueba, y desde luego en ningún momento se entorpece la producción en una Planta, ni se pone en -- riesgo un gran volumen del producto al hacer las pruebas.

3.- Se ha recopilado una información en forma de tablas de

bre los criterios que se pueden seguir para seleccionar filtros, de tal forma que pueden servir de referencia a algún Ingeniero que quiera seleccionar un filtro. Este aspecto es de mencionarse ya que esta información se encuentra muy dispersa en la literatura técnica, -- siendo necesario recurrir a los fabricantes de cada tipo de filtros para conocer las características de éstos, lo cual no es muy práctico.

- 4.- Es conveniente hacer notar que para que un Ingeniero Químico pueda elaborar una especificación completa de un filtro para una aplicación en particular, deberá -- considerar los siguientes aspectos:
- Conocimiento del proceso donde se instalará el equipo.
  - Realización de pruebas experimentales.
  - Conocimiento amplio de los equipos disponibles en el mercado.
  - Elaboración de un estudio económico para lograr la optimización económica de la selección.
  - Determinar las bases para el diseño mecánico del filtro, así como la instrumentación necesaria para la operación satisfactoria de este filtro.

En esta tesis se llevó a cabo la elaboración de la especificación de un filtro para licor de azúcar y para ello se consideraron todos los aspectos antes mencionados.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- American Institute of Chemical Engineers  
Equipment Testing Procedure  
Batch Pressure Filters
  
- 2.- Apuntes y Resúmenes Azúcar  
Ing. Héctor M. López Herrera  
Fac. de Química, U.N.A.M. 1975.
  
- 3.- Walter L. Badger & Julius T. Banchero  
Introduction to Chemical Engineering  
McGraw-Hill Book Co.
  
- 4.- Brown G. G.  
Operaciones Básicas de la Ingeniería Química  
Editorial Marín S.A. 1965
  
- 5.- Chemical Engineering  
Separation Techniques - 2  
McGraw-Hill Publications 1980
  
- 6.- Chemical Engineering Deskbook  
Solids Separations  
McGraw-Hill Publications

- 7.- C.N.I.A.  
Antenroyecto Ingenio Plan de Ayala
  
- 8.- Dorr - Oliver  
Filtration Leaf Test Procedures
  
- 9.- Filtration and Separation  
Vol. 17 Nos. 3 y 5  
Uplands Press Ltd.
  
- 10.- Foust A. S.  
Principles of Unit Operations  
John Wiley & Sons, Inc.
  
- 11.- Grefco Inc.  
Filtration Fundamentals
  
- 12.- King, Judson C.  
Separation Processes  
McGraw - Hill Book Company 1971
  
- 13.- McCabe and Smith  
Unit Operations of Chemical Engineering  
Second Edition  
McGraw - Hill Book Co. 1967

14.- Perry J. H.

Chemical Engineers' Handbook

Fourth Edition

McGraw - Hill Book Co. 1963

15.- Purchas, Derek B.

Industrial Filtration of Liquids

Second Edition

The Chemical Rubber Co. 1971

16.- The Eaton - Dikerman Company

Handbook of Filtration

First Edition

The Eaton - Dikerman Company