

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**

**CONTRIBUCION A LA SELECCION DE EQUIPO  
PARA FILTRACION LIQUIDO-SOLIDO**

217

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

**LUCILA CECILIA MENDEZ CHAVEZ**



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.

**A MIS PADRES  
CON PROFUNDO RESPETO**

**A MIS HERMANOS  
CON CARIÑO**

**A MABELITA**

**AL ING. J. L. RAMIREZ P.**

**ASI COMO A LAS PERSONAS QUE ME AYUDARON  
A LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO .**

CONTRIBUCION A LA SELECCION DE EQUIPO -

PARA FILTRACION LIQUIDO SOLIDO

## I N D I C E

CAPITULO 1	INTRODUCCION
CAPITULO 2	TEORIA
CAPITULO 3	EQUIPO
CAPITULO 4	CRITERIO DE SELECCION
	CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFIA

## INTRODUCCION

El objetivo que persigue este trabajo, es el de formar un criterio para la adecuada selección de equipo para filtración líquido - sólido, proponiendo tablas que -- permitan recabar en forma completa y real, los datos de un problema específico en relación con dicha separación.

Debido a que la selección de equipo para filtración no está totalmente basada en ecuaciones teóricas, éstas -- funcionan como una guía para la evaluación de datos -- experimentales provenientes ya sea de pruebas en laboratorio, planta piloto o plantas industriales. Estos datos combinados con el conocimiento del equipo posible y disponible, pueden facilitar dicha selección.

El equipo descrito en este trabajo, no incluye centrífugas, ya que las consideraciones teóricas no son las mismas.

La práctica nos enfrenta a un sinúmero de problemas de separaciones y el ingeniero debe seleccionar el método que mejor resuelva el problema.

Estos métodos están basados en las diferencias que presentan las fracciones a separar y que pueden ser: de fase, de tamaño y de composición química.

Los procedimientos de separaciones pueden caer en dos grupos:

1) Los métodos que dependen de los cambios de fase tales como: Vaporización, Solución, Precipitación ó Condensación.

2) Las llamadas separaciones mecánicas aplicables a mezclas heterogéneas, basadas en diferencias físicas - de las partículas tales como: forma, densidad, etc.

Filtración.- Se define como la separación de las partículas sólidas suspendidas en un fluido en su paso a través de un medio poroso, fibroso o granular.

Lo primero a considerar es el objetivo; lo segundo, la separación del material con filtrabilidad óptima y lo tercero es la selección del equipo que mejor lleve el objetivo.

Los objetivos de la filtración pueden clasificarse como:

- a) Clarificación de líquidos
- b) Recuperación de sólidos
- c) Recuperación tanto de sólidos como de líquidos
- d) Preparación para otras operaciones.

El logro de las condiciones óptimas de filtración para la solución de un problema real, sólo podrá alcanzarse basándose en los necesarios trabajos empíricos y un amplio dominio de los recursos teóricos.

El gran desarrollo industrial que ha alcanzado la filtración últimamente, la ha hecho ser una parte vital - de prácticamente todos los procesos industriales, de ahí la necesidad que sienten: Ingenieros Químicos, Investigadores, Operadores de planta, Matemáticos y Fabricantes de equipo. por una interpretación más eficiente y científica de ésta area de procesos.

Así se tiene que sobre una base teórica se hacen a menudo algunas generalizaciones muy útiles, pero de ninguna manera en forma de números precisos que forzosamente involucrarían considerables errores. La meta del tratamiento matemático de un problema, es encontrar el total de variables y descubrir interrelaciones funcionales. Teniendo tal información se estará capacitado para predecir mejoras en las operaciones existentes o diseños apropiados en el proceso básico. En el caso específico de filtración se deberán determinar los factores que gobiernan la resistencia en la filtración así como sus efectos.

Por otra parte, no solo existen errores implícitos en las interrelaciones teóricas usadas; probablemente las fuentes de mayor error, se encuentran en las amplias fluctuaciones que existen en las constantes características de las mezclas y de la sensibilidad de éstas a variaciones aparentemente insignificantes.

Es esencial acumular datos representativos durante un período significativo de operación, si se desea que el desarrollo matemático llegue a ser de utilidad práctica.

Otra fuente importante de error es la tendencia a subestimar las caídas de presión a través de ductos y accesorios asociados y las entradas y salidas, las cuales frecuentemente pueden ser un factor limitante de la capacidad de producción.

Hay que enfatizar el peligro potencial de deducciones teóricas mal usadas, por personas que manejan y resuelven en la práctica los problemas de la filtración al no interpretar convenientemente la teoría a nuestro alcance.

## CAPITULO 2

## T E O R I A

2.1	ECUACIONES BASICAS	7
2.2	MECANISMOS DE FILTRACION	15
2.3	ECUACIONES DE DISEÑO	23
2.4	EFECTO DE LAS VARIABLES	61

La filtración puede ser considerada como un caso -- particular de flujo de fluidos a través de lechos -- granulares porosos estáticos y se lleva a cabo básicamente por una diferencia de presión total entre -- la suspensión a filtrar, el medio filtrante y el -- filtrado obtenido. Existe además una resistencia -- ocasionada por el depósito de partículas sólidas -- sobre el medio filtrante (torta) y que va incrementándose conforme la filtración avanza, por lo que -- la presión aumenta, hasta agotar el volúmen filtran te disponible.]

Históricamente, la teoría de la filtración de verdadera -- importancia se inicia con los trabajos de Poiseuille ----- (1842) quien desarrolló las ecuaciones preliminares para - dicha teoría partiendo de la relación básica:

$$q \propto \frac{\Delta P}{R} \quad (1)$$

(1) El flujo es directamente proporcional a la fuerza mo-- triz (diferencia de presión) e inversamente proporcional a la resistencia.

El reconocimiento del patrón de flujo que caracteriza a un sistema dado, es un concepto importante en mecánica de --- fluidos ya que los patrones de flujo turbulento y laminar son gobernados por leyes diferentes. En términos genera-- les se tiene un conocimiento más completo de flujo laminar y afortunadamente en el caso de filtración el flujo es fun-- damentalmente confinado a la región laminar.

Para determinar las características de flujo a través del lecho o torta, se emplea el número de Reynolds definido -- como:

$$Re = \frac{4 r_H U \rho}{\mu} \quad (2)$$

Donde:

$r_H$  = Radio hidráulica

$U$  = Velocidad lineal del fluido en los canales  
de la torta (m/seg.)

$\rho$  = Densidad del filtrado ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$\mu$  = Viscosidad del filtrado ( $\text{Kg}/\text{seg. m}$ )

Ahora bien el radio hidráulico es función de una magnitud que ha de tenerse en cuenta para las características del flujo  $\epsilon$  es la porosidad o fracción hueca, técnicamente conocida como permeabilidad.

$$r_H = \frac{1}{6} \left( \frac{\epsilon}{1 - \epsilon} \right) D$$

$$\epsilon = 1 - \frac{S}{S_v}$$

Donde:

$D$  = Diámetro partículas (m)

$\epsilon$  = Fracción hueca adimensional

$S_v$  = Superficie específica de las partículas  
( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )

$S$  = Superficie específica del lecho o torta  
( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )

El flujo laminar gobernado por la ley de Poiseuille que en su forma original referente al flujo de un líquido a través de un canal largo y recto de sección transversal circular constante tiene la siguiente expresión:

$$U = \frac{D^2 \Delta P \text{ gc}}{32 \mu L} \quad (2)$$

Donde:

U = Velocidad lineal de fluido en(m./seg.)

D = Diámetro del canal en (m.)

$\Delta P$  = Caída de presión del flujo en(Kg/m<sup>2</sup>.)

L = Longitud del canal en (m.)

gc = Aceleración de la gravedad(9.8 m/seg<sup>2</sup>.)

$\mu$  = Viscosidad dl filtrado en(Kg/seg-m.)

Desde un punto de vista práctico el flujo volumetrico, que es más importante que la velocidad lineal, U, de ahí que -- la expresión anterior se exprese como:

$$q = UA = 0.785 \text{ UD}^2 = \frac{0.785 D^4 \Delta P \text{ gc}}{\mu L} \quad (3)$$

q = Flujo volumétrico en(m<sup>3</sup>/seg.)

A = Sección transversal del canal en(m<sup>2</sup>.)

La importancia de la ecuación de Poiseuille se debe a que -

predice el efecto que la disminución en el tamaño del capilar tendría sobre la resistencia a la filtración. Una mejor aproximación a la relación de estas variables, es manejada en la ecuación de d'Arcy:

$$U = Kgc \Delta P/L \quad (4)$$

Que describe el flujo de aguas subterráneas

U = Velocidad superficial del flujo(m/seg.)

K = Coeficiente que depende de la permeabilidad del lecho.

L = Espesor del lecho (m)

Rápidamente se observó que el factor de viscosidad presente en la ecuación de Poiseuille (3) se encontraba también aquí y así se obtuvo la ecuación modificada de d'Arcy.

$$q = \text{Flujo volumétrico} = \frac{dV}{dt} = \frac{K'A \Delta Pgc}{\mu L} \quad (5)$$

t = Tiempo de filtración (seg)

A = Area de la torta o lecho (m<sup>2</sup>)

K' = Coeficiente de permeabilidad, que tiene la siguiente forma:

$$K' = \frac{\mu L}{A \Delta P} \left( \frac{du}{dV} \right) \quad (6)$$

Ecuación que responde bien al trabajo experimental de una torta de espesor fijo, viscosidad fija, area de torta fija y -- presión fija para medir volúmen del líquido que pase en la -- unidad de tiempo.

La unidad de permeabilidad tomó el nombre de este investiga-- dor y se define como el paso de un mililitro en cada segun-- do, por centímetro cuadrado, de un líquido de una viscosidad de un centipoise a través de una torta de un centímetro de -- espesor a una presión diferencial de una atmósfera.

Ya que la permeabilidad se define como la facilidad con que pasa el líquido, la resistencia de la torta es definida por oposición, como la dificultad con la que pasa el líquido, -- por lo que se tiene:

$$K = \frac{1}{R} \quad (7)$$

Este concepto de resistencia a la filtración es de suma im-- portancia por su significado físico.

La ley de Poiseuille ha probado que es adecuada en predic--- ciones cuantitativas del flujo laminar, no solamente en cana-- les circulares sino también con ligeras modificaciones en --

canales de otras formas geométricas regulares. Es natural - que muchos investigadores hayan tratado de aplicarla a fenómenos más complejos. Koseny y posteriormente Carman propusieron modificaciones a la ecuación de d'Arcy (5) incluyendo dos nuevos términos para el flujo del líquido a través de medios porosos: Porosidad (e) y superficie específica de partículas ( $S_v$ )

$$q = \frac{e^3}{k S_v^2 (1-e)^2} \frac{A \Delta P}{\mu L} \quad gc \quad (8)$$

e = Fracción hueca o porosidad (adimensional)

$S_v$  = Superficie específica de las partículas sólidas sobre un volumen base en ( $m^2/m^3$ )

K = Constante (adimensional) (\*)

(\*) Con un valor igual a 5 en el sistema c.g.s.

La relación de Koseny y Carman al igual que la ley de Poiseuille establece que el flujo volumétrico es directamente proporcional a la caída de presión a través del lecho y al área del lecho perpendicular a la dirección del flujo e inversamente proporcional a la viscosidad del líquido y al espesor del lecho en la dirección del flujo. Para caracterizar las partículas sólidas que forman el lecho, dos nuevas cantida--

des  $e$  y  $S_v$  son introducidas reemplazando el diámetro de la ecuación de Poiseuille.

Por otra parte en lugar de la constante definida de la ley de Poiseuille que puede obtenerse por consideraciones teóricas la constante de Koseny es empírica y su valor puede variar de tres a seis dependiendo del sistema. Para el caso más simple de flujo líquido a través de un lecho empacado -- al azar con partículas esféricas no porosas, la relación --- Koseny-Carman, pueden usarse con bastante exactitud para predecir el flujo volumétrico o la caída de presión. Sin embargo en sistemas más complejos, esta ecuación tiene sus limitaciones, aunque no deja de ser el modelo más utilizado para dichos sistemas complejos.

Para un sistema dado, las características del medio filtrante son representadas por el grupo:

$$\frac{e^3}{K S_v^2 (1-e)^2} \quad (9) \quad \checkmark$$

En la relación de Koseny-Carman puede suponerse constante. Este grupo es comunmente llamado permeabilidad o coeficiente de permeabilidad  $K$  del medio. El valor de  $K$  empíricamente determinado sirve como un índice cuantitativo de que tan fa-

cilmente un líquido puede pasar a través del medio y de ahí su gran significado práctico. De la ecuación (8),  $K$  puede ser determinado en términos de las cantidades:  $q$ ,  $\Delta P$ ,  $\mu$ ,  $A$  y  $L$  con la ecuación:

$$K = \frac{\mu L q}{A \Delta P g_c} \quad (10)$$

Hay que conocer que la teoría de la filtración tiene un largo camino que recorrer para alcanzar los sueños de algunos teorizantes aún cuando la teoría existente es una herramienta invaluable en la interpretación de los fenómenos de filtración.

Una variedad de fenómenos prevalece en tales separaciones y para efectos de consideración matemática, cada una de estas se discutirán brevemente como mecanismos de filtración.

## 2.2 MECANISMOS DE FILTRACION

### FILTRACION POR MEDIO FILTRANTE O BLOQUEO COMPLETO.

Se representa cuando las partículas taponean los capilares del medio filtrante, incluye todas las filtraciones en las que el tamaño de las horadaciones en el medio filtrante determina el tamaño de las partículas que se retendrán. Partículas mayores que las horadaciones son retenidas. Partículas menores pasan, Fig. (2.1).

### FILTRACION PROFUNDA

Como en el caso anterior, la filtración es efectuada por el medio filtrante, pero en contraste, la filtración profunda puede retener partículas más pequeñas que las horadaciones, por adherencia de las partículas a las paredes, conforme se llena el filtro con sólidos, la resistencia a la filtración se incrementa hasta que el ciclo es terminado y el cartucho o medio filtrante reemplazado, Fig. (2.2).

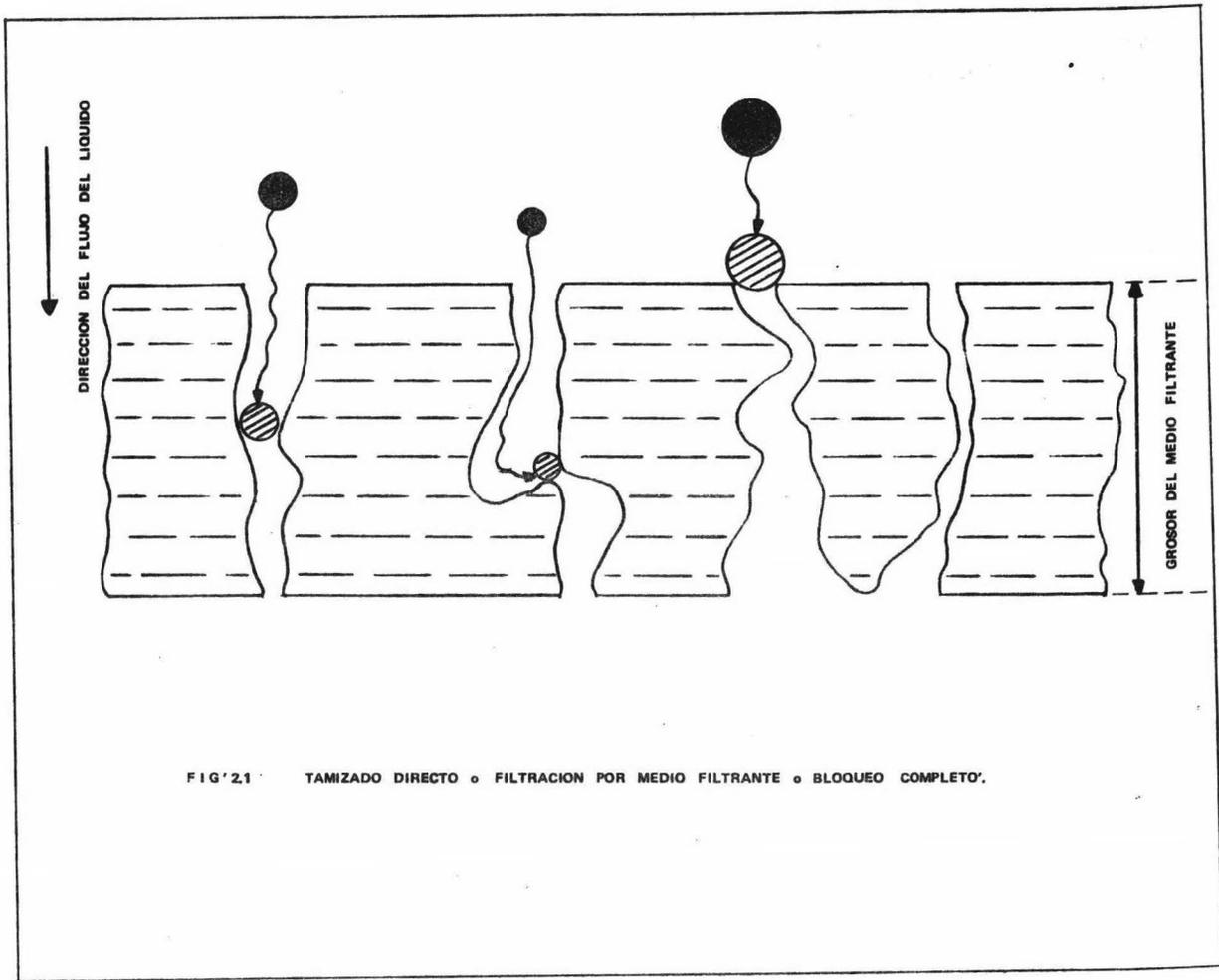
### FILTRACION POR TORTA

Es el caso más frecuente en la práctica. Se manifiesta por la acumulación continua de sólidos, en cantidades suficien-

tes para formar una torta filtrante sobre el medio. El ciclo de filtración normalmente continúa hasta que la torta acumulada ocupa totalmente el espacio de la cámara y/o la resistencia de la torta filtrante alcanza la caída de presión disponible del filtro y/o la velocidad del flujo desciende a un nivel aceptable. Fig. (2.3).

Por ser la filtración por torta el caso más general es el más estudiado y la base para diseño; pues abarca a toda suspensión cuya concentración es superior al 0.1%. En contraste -- la filtración profunda presenta fuertes problemas teóricos ya que aparte de la acción de retención de partículas que tiene lugar cuando las partículas son grandes comparadas con los poros, se presenta la retención de partículas pequeñas y esto -- a producido discrepancias entre el tipo de fuerzas gravitacionales o moleculares que producen este fenómeno, además de que el mecanismo está determinado por el medio filtrante y el sistema de que se trate, ocasionando así un sin número de casos específicos y/o ecuaciones complejas.

En la actualidad la complejidad matemática de las interrelaciones obtenidas ya no será una barrera debido al desarrollo de las computadoras. Todo esto hace pensar en la continuidad



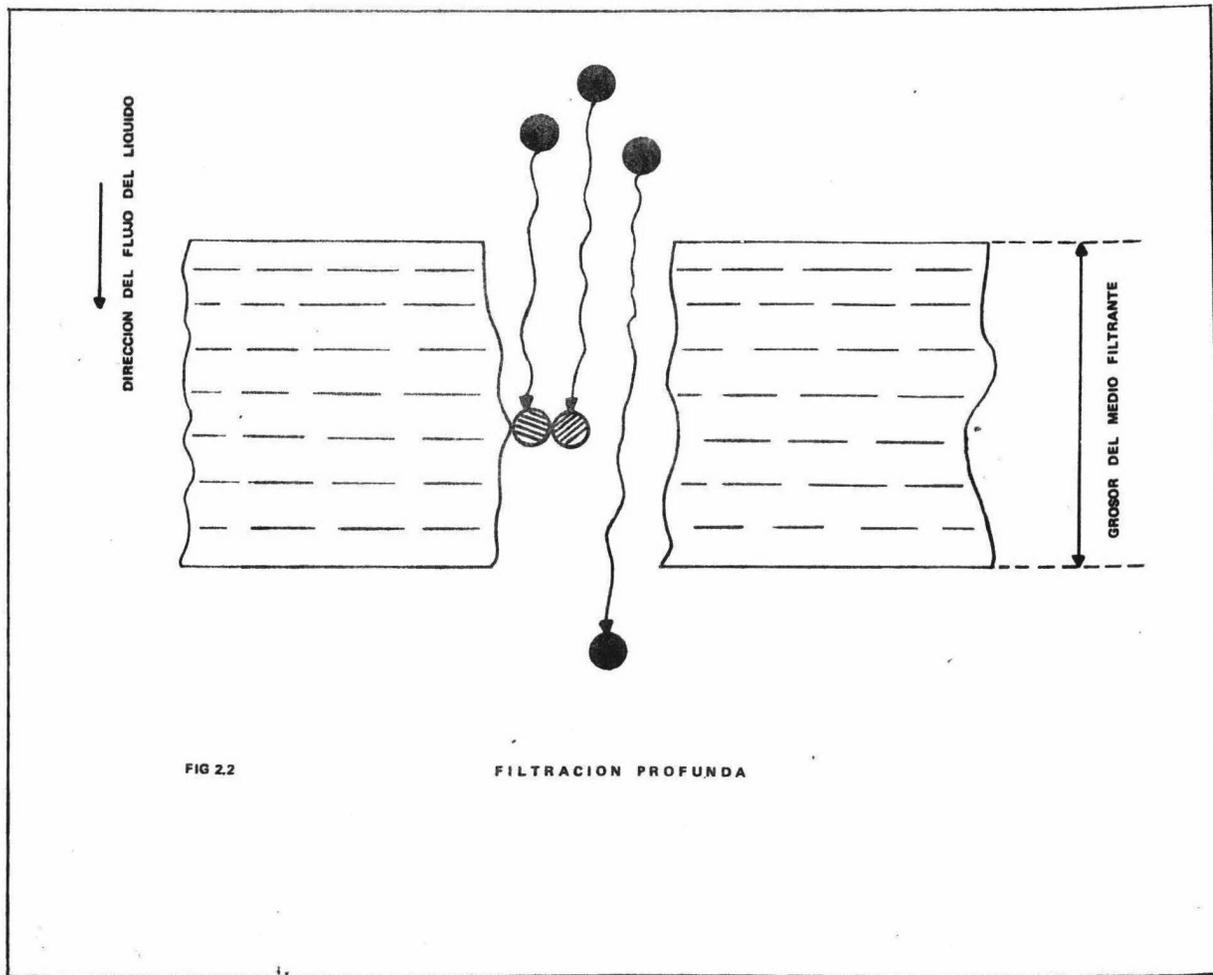
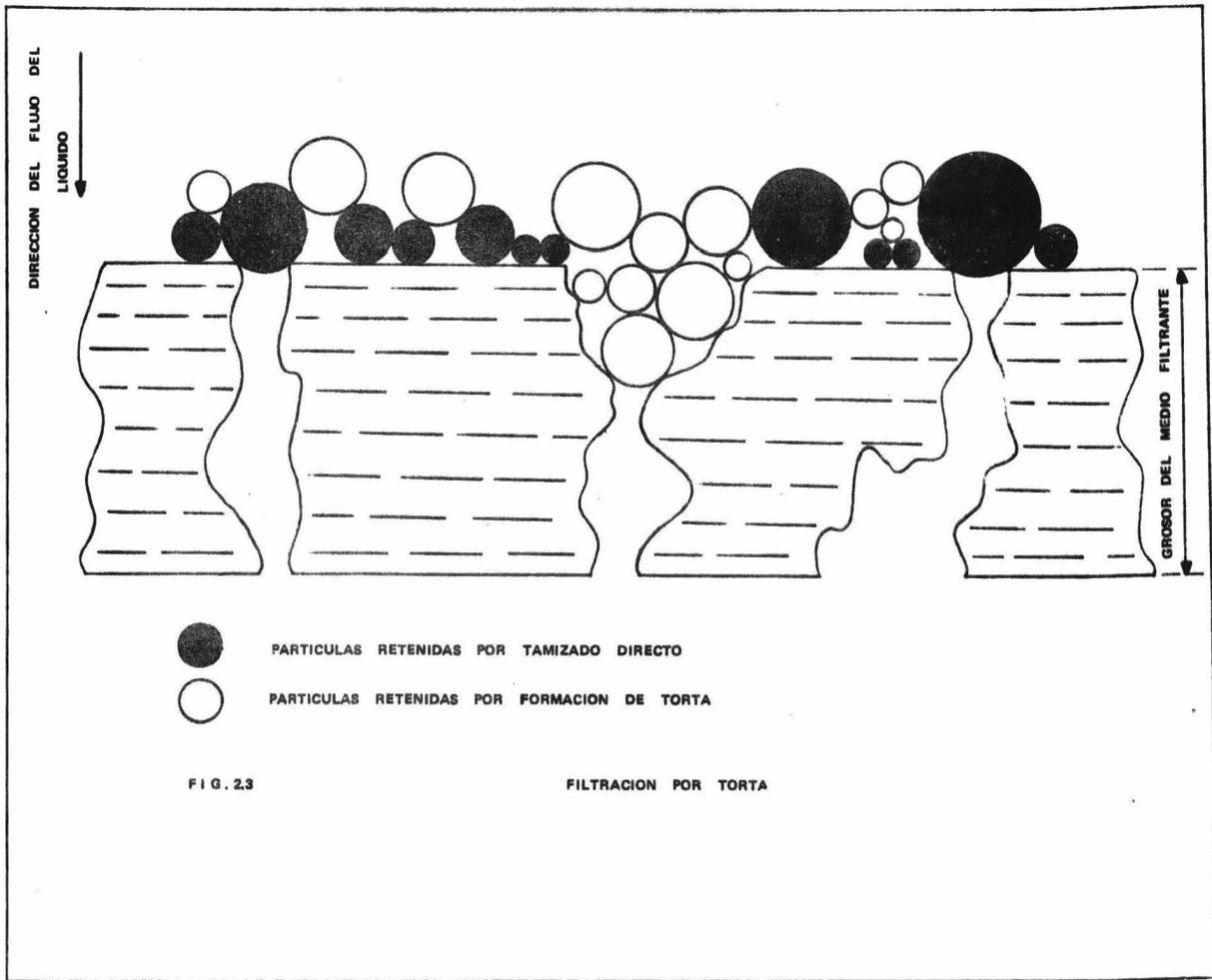


FIG 22

FILTRACION PROFUNDA



de investigaciones sobre filtración profunda que desembocará en un futuro próximo en ecuaciones de aplicación directa.

A partir de las investigaciones realizadas por Hermans y Bredes, surge otra clasificación de los mecanismos basada en la interpretación de la divergencia entre el paso idealizado del fluido y su comportamiento real. Estos investigadores analizaron el flujo de un líquido limpio (ideal) a través de una capa porosa que tendrá una resistencia constante y en consecuencia un flujo constante para una diferencial de presión dada. Por contraste con el líquido que tiene partículas sólidas suspendidas (real) de donde la resistencia de la capa porosa se incrementará conforme se acumulan las partículas en ella, ocasionando una caída en el flujo para una diferencia de presión constante.

La relación, tiempo-volumen del filtrado. Fig.(2.4) es recta para el líquido limpio y parabólica en el caso de la filtración.

Hermans y Bredes puntualizaron que las variaciones de flujo cuando la resistencia se incrementa indican la existencia de cuatro diferentes mecanismos de filtración.

Para tres de estos mecanismos fueron postulados patrones que

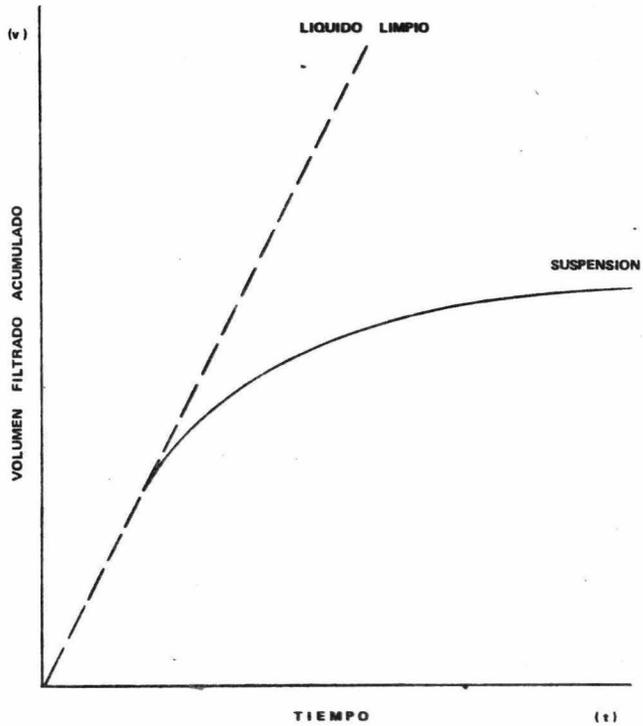


FIG 24      GRAFICA TIPICA DE VOLUMEN DE FILTRADO ACUMULADO  
                 COMO FUNCION DEL TIEMPO

suponen el medio filtrante como una masa de finos capilares a través de los cuales fluye el líquido. La existencia del cuarto mecanismo fué deducida empíricamente al observar que ocasionalmente la velocidad de bloqueo cae entre lo que pudiera esperarse ya sea por filtración por torta o bloqueo normal, esto fué consecuentemente llamado bloqueo intermedio, como etapa de transición que no presenta interrelaciones definidas.

## 2.3 ECUACIONES DE DISEÑO

La ecuación básica (10) puede ser adaptada para dar la ecuación general de filtración, expresando el termino:

$$\frac{L}{K} = R + r$$

que expresa la resistencia al flujo de una capa porosa con dos terminos: Uno debido a la resistencia del medio otro -- debido a la resistencia de la torta:

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = k \left( \frac{\Delta P}{\mu L} \frac{gc}{L} \right) \quad (11)$$

Es razonable suponer constante la resistencia del medio representada por R, aún cuando para grandes períodos esto es falso debido a la progresiva obstrucción del medio. La resistencia de la torta por otra parte deberá expresarse en tal forma que tome en cuenta el continuo crecimiento conforme el espesor de la torta aumete, bajo el postulado de que la torta tiene una resistencia específica por unidad de peso ( $r_0$ ); la resistencia total de la torta (r) puede expresarse en términos de: Volumen total del filtrado recolectado (V), concentración original de la suspensión (w), sien

do esta el peso de torta seca por unidad de volumen de filtrado; con estas consideraciones la ecuación (11) quedará:

$$\frac{l}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{\mu} \frac{qc}{(r \frac{w}{A} V + R)} = \frac{q}{A} \quad (12)$$

Esta ecuación es una expresión de condiciones instantáneas de filtración y obviamente puede integrarse para obtener datos de rendimiento para un período finito. La consideración de constancia en el valor de la resistencia del medio es una aproximación razonable para un filtro típico industrial en el que no se tiene una obstrucción total rápida.

En la práctica se acostumbra que en la resistencia del medio se incluya la resistencia de entrada, de salida y de tuberías asociadas, las cuales frecuentemente presentan al principio valores más grandes que los del mismo medio.

La ecuación (12) es también aplicable cuando el medio filtrante se ha obstruido con solo dar un valor mayor a la R, que corresponda a la obstrucción presentada.

La resistencia específica de la torta presenta aún más inseguridad, ya que tanto las consideraciones fundamentales

así como las medidas experimentales se muestran influenciadas por factores tales como: Forma, tamaño, distribución de las partículas, rigidez, arreglos relativos dentro de la torta, etc; estos arreglos dependen de factores de concentración de sólidos en la alimentación y de la velocidad del líquido a través de la torta y pueden ser alterados por influencia de vibraciones que frecuentemente existen en las plantas industriales, los efectos de velocidad y vibración son ilustrados como ejemplo en la(Fig.2.5), en tanto, la(Fig.2.6), muestra como la resistencia de una torta se eleva conforme la concentración de sólidos en la alimentación decrece.

Quizá la caída de presión a través de la torta es la variable mas importante y frecuente de la resistencia específica de ésta. Así es determinante distinguir entre materiales que forman tortas incomprensibles y aquellos en los cuales la compresión causa deformación.

Los efectos de compresión puede ser correlacionados por las interrelaciones empíricas sugeridas por Almy y Lewis, obtuvieron interrelaciones empíricas del efecto de la presión sobre la resistencia específica de la torta para un intervalo limi-

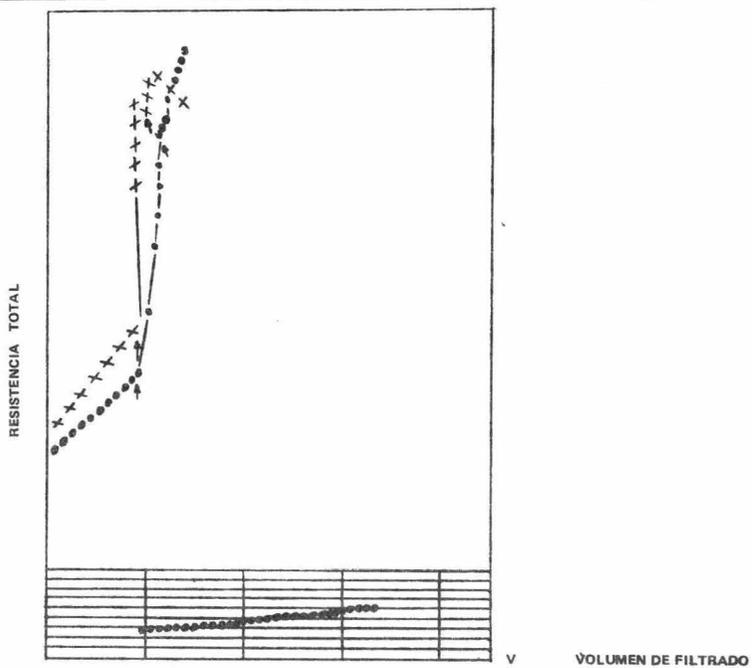


FIG 25 INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE FLUJO Y VIBRACIONES SOBRE LA RESISTENCIA DE LA TORTA

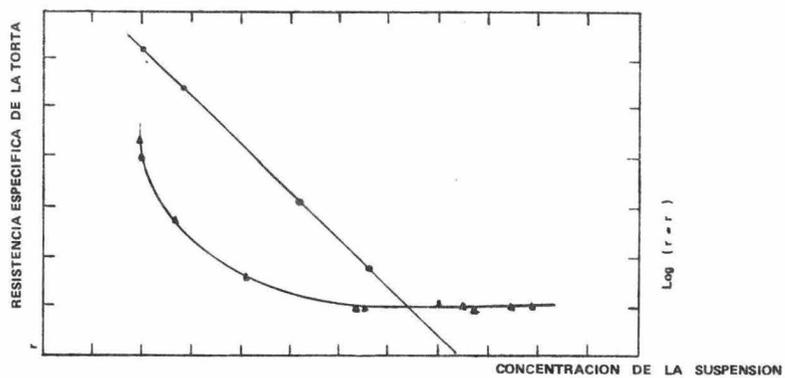


FIG 26 EFECTO DE LA CONCENTRACION DE LA SUSPENSION SOBRE LA RESISTENCIA ESPECIFICA DE LA TORTA

tado de presiones encontrando que:

$$r = r_0 p^s \quad (13)$$

en la que ( $r_0$ ) es la resistencia específica de la torta a una presión de cero y "s" es el factor de compresibilidad que tiene un valor característico y diferente para cada material. - En la práctica "s" es también afectada por la presión pero -- generalmente puede considerarse constante sobre intervalos -- moderados.

En la tabla 2.1 se dan valores de resistencia específica de - la torta (r) para una amplia variedad de materiales industria les.

La aplicación de la Ec. (12) a un típico filtro industrial se hace con las siguientes suposiciones: Volúmen filtrado casi igual al volúmen de la suspensión alimentada; esto que puede darse como válido para la clarificación, pierde exactitud - - conforme aumenta la concentración; otra suposición es que -- el área de flujo se considera constante, lo que es cierto pa - ra muchos filtros tales como el prensa, en el cual, la superfi cie es plana, pero obviamente falso para un elemento tubular -

## T A B L A 2.1

VALORES TIPICOS DE LA  
RESISTENCIA ESPECIFICA DE LA TORTA

Material	Presión (Kg/mm <sup>2</sup> )	r cgs	r u técnicos
Kieselguhr - grado superior	-	$1.67 \times 10^5$	0.0157
Kieselguhr ordinario	1.5	$1.17 \times 10^7$	1.10
	7.0	$1.34 \times 10^7$	1.26
Carbonato de calcio	1.5	$2.25 \times 10^7$	2.12
	7.0	$2.73 \times 10^7$	2.57
Oxido Férrico	1.5	$8.2 \times 10^7$	7.7
	7.0	$14.4 \times 10^7$	13.6
Pigmento	1.5	$4.9 \times 10^7$	4.6
	7.0	$8.8 \times 10^7$	8.25
Arcilla de Mica	1.5	$5.2 \times 10^8$	49.0
	7.0	$6.6 \times 10^8$	62.0
Arcilla Coloidal	1.5	$3.3 \times 10^8$	31.0
	7.0	$7.1 \times 10^8$	67.0
Hidróxido de Magnesio gelatinoso	1.5	$2.2 \times 10^9$	207.0
	7.0		
Hidróxido de Alumi- nio gelatinoso	1.5		
	7.0		

Material	Presión Kg/cm <sup>2</sup>	r cgs	r u técnicos
	7.0	4.1 x 10 <sup>9</sup>	385.0
Hidróxido férrico	1.5	1.5 x 10 <sup>9</sup>	141.0
	7.0	4.6 x 10 <sup>9</sup>	433.0
Lodo tixotrópico	5.0	1.5 x 10 <sup>10</sup>	1410.0

FIGURAS TEORICAS  
PARA ESFERAS --  
RIGIDAS:

d = 10 $\mu$	-	6.5 x 10 <sup>5</sup>	0.061
d = 1 $\mu$	-	6.5 x 10 <sup>7</sup>	6.1
d = 0.1 $\mu$	-	6.5 x 10 <sup>9</sup>	610.0

U técnicas: P en psi

Flujo en gph

A en ft<sup>2</sup>

Concentración el lb. de torta seca/gal

Viscosidad en Cp

o un tambor rotatorio especialmente cuando la torta es relativamente gruesa.

Otra de las suposiciones es considerar que el flujo de líquido que entra dentro de una cara de la torta igual al flujo -- que sale de la cara opuesta, aún cuando a primera vista esto puede considerarse obvio de aplicar, Tiller ha demostrado tanto teórica como prácticamente, que la descarga siempre es menor que lo que entra. Para considerar todos estos factores, pueden desarrollarse ecuaciones teóricas convenientes, pero -- solo a expensas de hacerlas más complejas, lo que tiende a -- oscurecer la simplicidad de las interrelaciones generales las cuales de hecho pueden aplicarse con suficiente exactitud a la mayoría de los problemas industriales.

Considerando las aplicaciones de la ecuación general (12) a la filtración industrial, se presentan dos posibilidades:

- (1) Predicción del comportamiento mediante el conocimiento de las propiedades del sistema.
- (2) Extrapolando el comportamiento en las condiciones necesarias mediante la observación del comportamiento en otras condiciones.

Es necesario la integración de la ecuación (12) para obtener el flujo en un tiempo determinado en lugar de un flujo instantáneo, suponiendo  $\mu$ ,  $r$ ,  $w$ ,  $R$  y  $A$  constantes, el flujo instantáneo, la presión de operación y el tiempo son variables - posibles llevando a cabo una integración simple es normal suponer, ya que sea que  $P$  se mantenga constante conforme cae el flujo, o que el flujo se mantenga constante bajo incrementos progresivos en la presión. Desafortunadamente ninguna de esas suposiciones describe estrictamente las condiciones de operación de la mayoría de los filtros industriales; ya que algunas veces el margen de error puede ser substancial, dependiendo tanto del tipo del filtro como de la forma de operación; estas complicaciones en el empleo de las generalidades teóricas hace surgir una clasificación de la operación de los filtros en dos grandes categorías:

(1) Filtración intermitente ordinaria, es caracterizada por un ciclo largo durante el cual los sólidos se acumulan y por una interrupción del flujo durante la descarga o limpieza. En este sistema se emplea un filtro prensa, e incluye también al filtro de cartucho y todos aquellos integrados por --

elementos tubulares u hojas planas.

(2) Filtración continua, caracterizada por ciclos cortos en virtud de que la torta puede descargarse desde una pequeña parte de la superficie filtrante, mientras el flujo continúa en la superficie restante sin interrupción; ejemplos de este sistema son: Filtros a vacío de tambor rotatorio, de disco, y las varias clases de banda horizontal y de charollas.

### 1.- Filtración Intermitente o de Ciclo Largo.

La ecuación general de filtración (12) puede rearrreglarse para darnos la interrelación del tiempo por unidad del flujo:

$$\frac{l}{A} \frac{dt}{dV} = \frac{\mu}{A^2} \frac{r}{p} w v + \frac{\mu}{A} \frac{R}{P} \quad (14)$$

Empleando esta ecuación para una operación a presión constante y detallando la reducción del flujo conforme se avanza en la operación, al integrarla se obtendrá el volumen como función del tiempo. Alternativamente si se emplea para una operación a flujo constante, puede encontrarse la interrelación de presión final a volumen total de filtrado. Una tercera posibilidad incluye la variación tanto de la presión como del flujo en forma simultánea, y resulta ser la representativa de la filtración industrial. Cada uno de estos tres casos cuenta con interrelaciones específicas de las variables de operación.

a) Filtración a Presión Constante.- En este caso las variables determinantes en la operación son el flujo y el volumen de filtrado, y quedan como constantes:  $\mu$ ,  $r$ ,  $w$ ,  $R$  y  $P$ , y queda expresado por la ecuación (15) características de una recta:

$$\frac{dt}{dV} = a V + b \quad (15)$$

Donde:

$$a = \frac{\mu r w}{A^2 P}$$

$$b = \frac{\mu R}{A P}$$

La ecuación (15) se emplea para obtener el volúmen final de filtrado teniendo como datos: 1) el flujo final mínimo aceptable y 2) el tiempo de filtración deseado.

El primer caso se resolverá sustituyendo el flujo mínimo y despejando el volúmen final:

$$\left(\frac{dt}{dV}\right)_f = a V_f + b$$

$$V_f = a' (dt/dV)_f - b' \quad (16)$$

Donde:

$$a' = \frac{A^2 P}{\mu r w}$$

$$b' = \frac{R A}{r w}$$

Para el segundo caso, solo mediante la integración la ecuación (16), se obtiene la relación entre el volúmen total y el tiempo final de filtrado:

$$\int_0^{t_f} dt = \int_0^{v_f} (av + b) dv$$

$$y \quad t_f = \frac{a}{2} v_f^2 + b v_f \quad (17)$$

$$v_f = \frac{(2 at + b^2)^{1/2} - b}{a} \quad (18)$$

Cuando  $r$  y  $R_n$  son conocidos, el uso de la ecuación (16) en forma experimental puede graficarse como  $dt/dV$  vs.  $V$ , que dará una línea recta (Fig. 2.7) cuya pendiente será  $(a)$  y cuya ordenada al origen será  $(b)$ .

Para tortas compresibles la resistencia específica es función de la presión de operación y su determinación involucrará una serie de pruebas a diferentes presiones de operación. La representación gráfica es una serie de líneas rectas con iguales ordenadas al origen pero con diferentes presiones de operación y por lo tanto diferentes pendientes (Fig. 2.8.).

b) Filtración a Flujo Constante. - En este caso las variables importantes son: presión y volumen total de filtrado, quedando como constantes  $\mu, r, w, r$  y  $V$

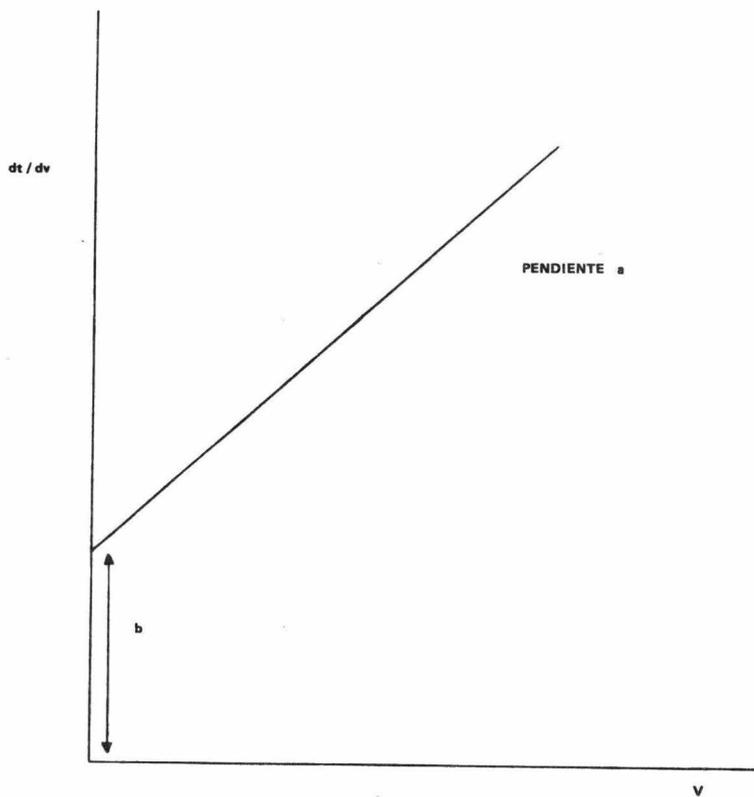


FIG 2.7

FILTRACION a PRESION CONSTANTE

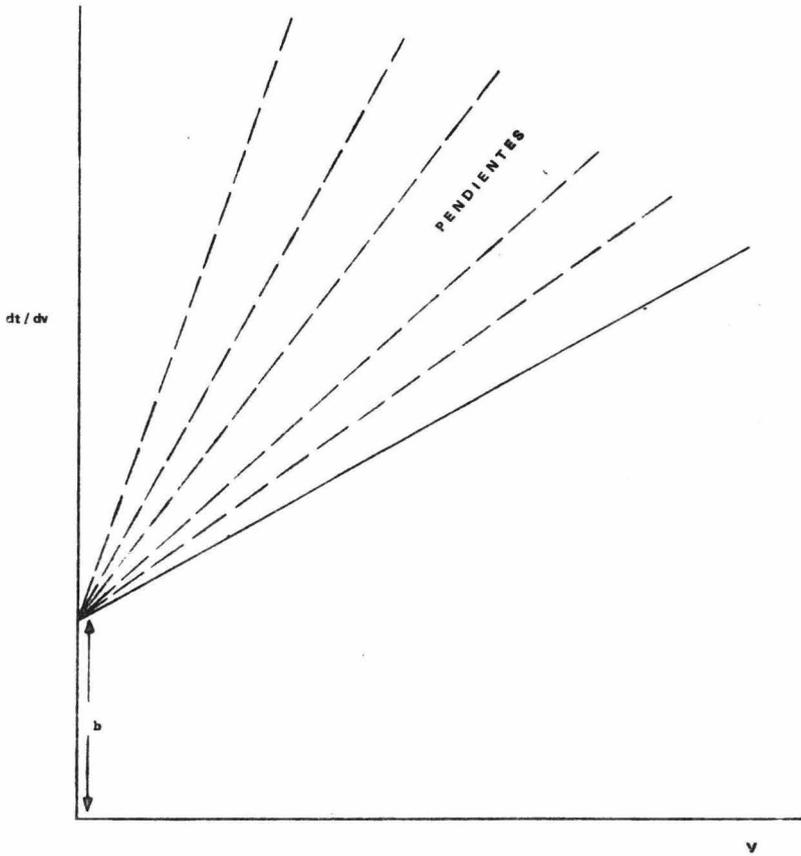


FIG 2.8 FILTRACION PARA DIFERENTES VALORES DE PRESION CONSTANTE

expresado por la ecuación (19).

$$P \left( \frac{dt}{dV} \right) = \frac{\mu r w V}{A^2} + \frac{\mu R}{A P} \quad (19)$$

rearrugada como la ecuación de una línea recta dá:

$$P = a'' V + b'' \quad (20)$$

Donde:

$$a'' = \frac{\mu r w}{A^2} \quad (dV/dt)_{cte.}$$

$$b'' = \frac{\mu R}{A P} \quad (dV/dt)_{cte.}$$

La ecuación (19) se aplica a tortas incompresibles ya que la resistencia  $r$  de torta en el término ( $a''$ ) es independiente de la presión. Para tortas compresibles la ecuación (13) y la ecuación (19) puede rearrugarse como:

$$P \left( \frac{dt}{dV} \right)_{cte.} = \frac{\mu r_0 w}{A^2} P^s V + \frac{\mu R}{A} \quad (21)$$

donde el volúmen total de filtrado será:

$$V = a''' P^{1-s} - b''' P^s \quad (22)$$

(tortas compresibles)

si:  $s=0$  y  $r_0 = r$

$$V = a''' P - b''' \quad (23)$$

( tortas incompresibles)

Donde:

$$a''' = \frac{A^2}{\mu r_0 w} \left( \frac{dt}{dV} \right)_{cte.}$$

$$b''' = \frac{R A}{r_0 w}$$

La relación entre volúmen total de filtrado y el tiempo total de filtrado puede expresarse según la ec.

(24):

$$V_f = (dV/dt)_{cte.} t_f \quad (24)$$

Esta ecuación es más simple que la usada en el caso a presión constante, (18) y al igual que ella permite predecir efectos por el cambio de escala y/o de las condiciones de operación del filtro.

Para el cálculo de  $r$  y  $R$  si el material es incompresible ó  $s=0$ , puede hacerse si se grafica  $P$  vs.  $V$ , que dará una línea recta con pendiente ( $a''$ ) y con ordenada al origen ( $b''$ ) Fig. (2.9)

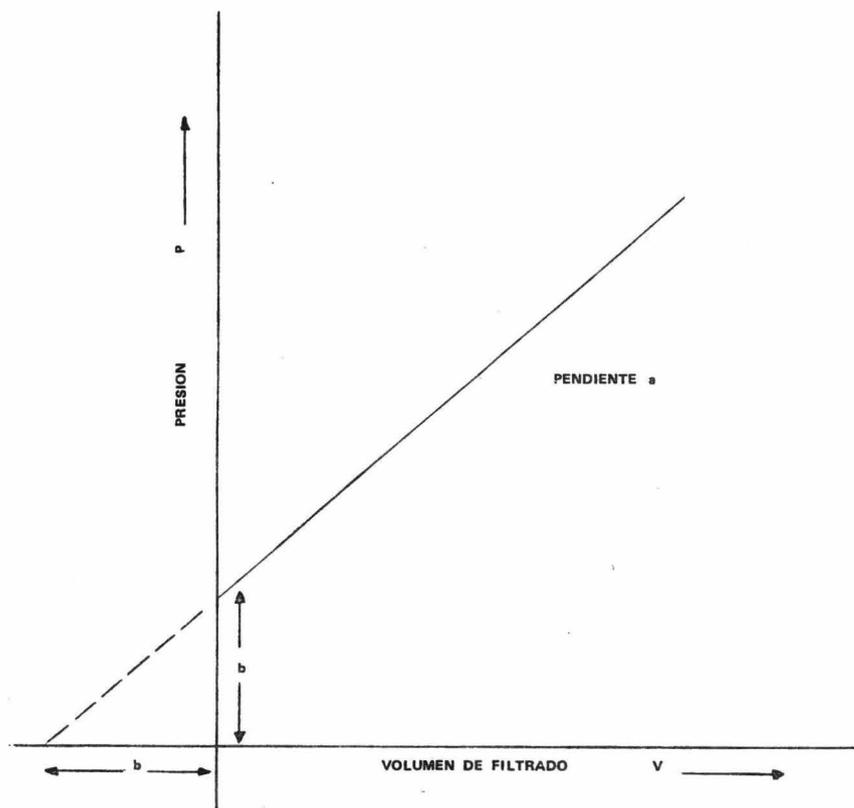


FIG. 9

FILTRACION A VELOCIDAD CONSTANTE

Si el material es compresible ó  $s \neq 0$ , no habrá dependencia lineal entre  $V$  y  $P$ , el cálculo de  $r$  y  $R$  y de  $s$ , puede hacerse de las rectas resultantes por una serie de pruebas a presión constante para varias presiones, graficando en escala  $\log. P$  vs.  $r_0$ . Así los valores de  $r_0$ ,  $s$  y  $R$  pueden --- sustituirse para dar una ecuación particular del sistema bajo consideración en la ec. (22).

c) Filtración a Presión y Velocidad Variables.- La mayoría de las filtraciones típicas industriales se presentan variaciones simultáneas en la presión como en la velocidad de filtración; (Fig. 2.10) la cual relaciona la velocidad de filtración con la presión de operación para varios tipos de bomba.

En la práctica el cuadro real es aún más complejo, ya que puede influir la forma de operación. Por otra parte si la velocidad inicial es muy alta, algunas partículas pueden ser forzadas dentro del medio y taponearlo, por lo que es más frecuente usar una presión baja inicial y controlarla al final - de manera que se eleve; la importancia de este aspecto se muestra al graficar  $V$  vs  $t$  (Fig. 2.11) para dos bombas diferentes y el mismo sistema filtrante.

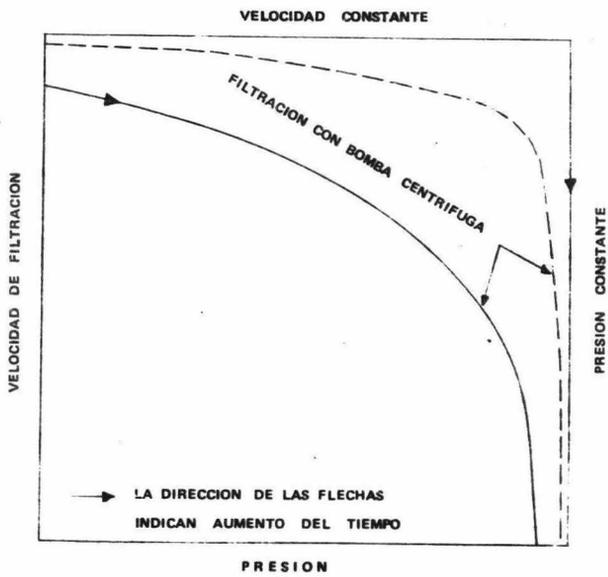


FIG . 2 . 10 RELACION ENTRE VELOCIDAD DE FILTRACION Y PRESION

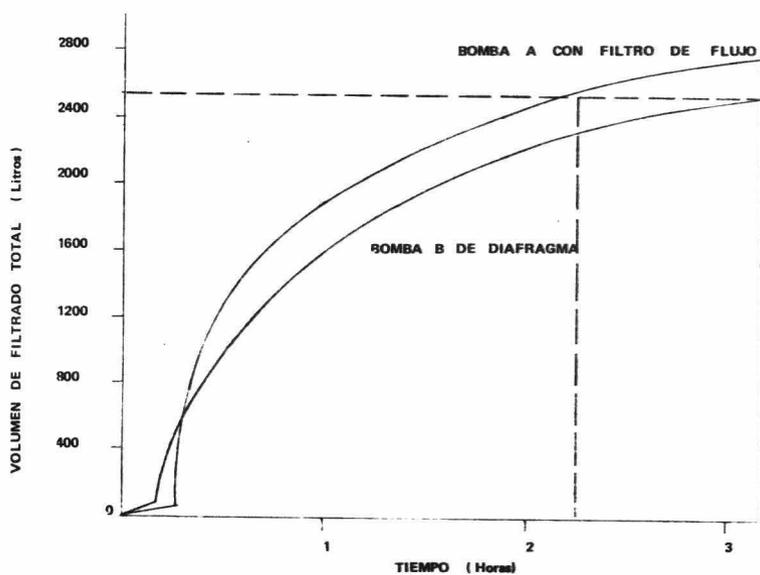


FIG 2.1f INFLUENCIA DEL TIPO DE BOMBA EN LA CAPACIDAD DE UN FILTRO A PRESION

La diferencia en las curvas se explica por el hecho de que - la bomba B de diafragma, dió una velocidad constante hasta - un punto sobre la presión máxima permisible en donde la válvula de relevo se abrió y se mantuvo la presión constante -- sobre un punto fijo; la bomba A empezó también a una velocidad constante sobre el punto de presión máxima permisible, - pero fué controlada automáticamente para bajar la velocidad con la válvula de relevo, mientras que la presión alcanzó - un máximo final y así llevar la operación a presión constante.

Tiller F. M. , desarrolló para filtración a velocidad y presión variables la siguiente ecuación para condiciones extremas con una bomba centrífuga, (situación poco común):

$$v = \frac{gc}{\mu} \frac{(1-mS)}{r} \int_{P_1}^P \frac{dP}{r} \quad (25)$$

Donde:

$v$  = Volúmen de filtrado ( $m^3 / m^2$ )

$gc$  = Constante gravitacional ( $m / seg^2$ )

$$m = \frac{\text{Peso de la torta húmeda}}{\text{Peso de la torta seca}}$$

S = Fracción de sólidos en la suspensión

Q = Velocidad de flujo (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> seg.)

P = Presión de filtración (Kg/m<sup>2</sup>)

r = Resistencia promedio de la torta ( m/Kg )

u = Viscosidad del filtrato (Kg/m. seg.)

$\rho$  = Densidad del filtrado (Kg/m<sup>3</sup>)

Y ha mostrado que la aplicación de dicha ecuación puede hacer se por el conocimiento de la variación de r con respecto a -- presión y de Q (con la curva característica de la bomba).

Cálculo de  $V_{opt}$  ,  $t_{opt}$  , Y  $t_m$ , Un problema común y frecuente en los filtros intermitentes, es la necesaria interrupción de un proceso para la limpieza y preparación del equipo que trae como consecuencia un tiempo muerto ( $t_m$ ).

Sharbaugh J.C. sugiere un método gráfico aplicable a cualquier operación para el cálculo de tiempo y volumen optimos. Al graficar volumen de filtrado acumulado vs. tiempo, Fig. -- 2.(12), se obtiene una curva cuya tangente señala en el punto -- de intercepción, el correspondiente valor de tiempo óptimo --

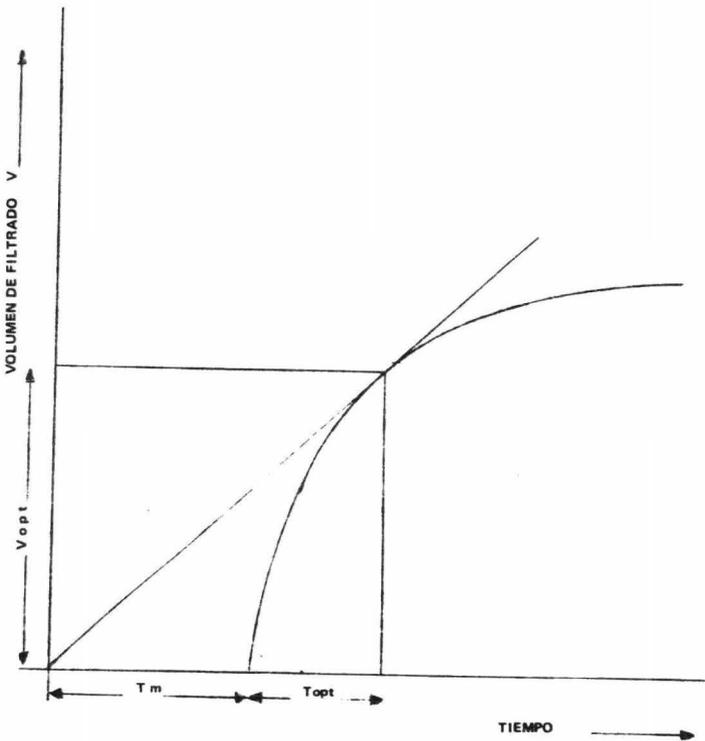


FIG. 2.12 METODO GRAFICO PARA CALCULAR  $V_{opt}$  Y  $T_{opt}$  PARA FILTRACION A PRESION CONSTANTE

( $t_{opt}$ ); la prolongación de dicha recta al eje de las abscisas dá el valor del tiempo muerto ( $t_m$ ). El cálculo de la velocidad final de filtrado, quede hacerse de la ec. (15), como se expresa en la ec. (26):

$$\frac{dv_{opt}}{dt_{opt}} = \frac{1}{av_{opt.} + b} = \frac{v_{opt.}}{t_m + t_{opt.}}$$

Una relación simple entre el  $V_{opt.}$  y el tiempo muerte puede deducirse al sustituir en la ec. (17)  $t_{opt}$ :

$$t_{opt.} = \frac{a}{2} V_{opt.}^2 + b V_{opt.}$$

y que dá:

$$V_{opt.} = \left[ \frac{2 t_m}{a} \right]^{1/2} \quad (27)$$

Así el cálculo de  $t_{opt.}$  se obtiene al combinar las ec. (17) y la ecuación (25)

$$t_{opt.} = t_m \left( 1 + b \frac{2}{a} t_m \right) \quad (28)$$

Si la resistencia del filtro es mucho menor que la resistencia de la torta, de tal manera que pueda despreciarse, la ecuación será:

$$t_{\text{opt.}} = t_m \quad (29)$$

El cálculo del espesor de la torta correspondiente al volúmen de filtrado óptimo obtenido, es de especial interés, ya que si el espesor del marco de un filtro de hojas no es el correcto, podrían hacer el proceso imposible. Si la densidad de la torta se es  $\rho_s$ , entonces el volúmen de torta formado es:  $(w V_{\text{opt}}) / \rho_b$  Y:

El espesor óptimo de la torta es:

$$E_{\text{opt.}} = \frac{w}{A \rho_b} \cdot \frac{2 t_m}{a} \quad (30)$$

Lavado de torta.- El lavado de torta es frecuente antes de la descarga, ya sea para recobrar licor de valor o eliminar impurezas. Los problemas a resolver en este caso son:

- 1) Cantidad de licor de lavado
- 2) Tiempo necesario de lavado

Para el primer punto, Rhodes F.H., sugiere dividir el lavado en dos partes:

- a) Para desplazamiento físico del licor de filtración ocluido.

b) Para la difusión.

Choudhury y Dahlstrom, desarrollaron una relación para la eta para de difusión:

$$F = (1 - \xi/100)^n \quad (32)$$

Donde:

F = Fracción de soluto que permanece en la torta después de lavado.

$\xi$  = Eficiencia de lavado

n = Relación de lavado

Moncrieff A.G. estableció una ecuación modificada que incluye la primera etapa o sea el desplazamiento físico:

$$F = (1-X) e^{-(n-X) / (1-X)} \quad (33)$$

Donde:

X = Licor de lavado para desplazamiento.

Las ecuaciones anteriores permiten graficar log. de R como función de  $n$  (Fig. 2.13 y 2.14) en donde para  $n = 1$ ,  $\xi = 79.8\%$  y  $\xi = 79\%$  respectivamente; y se aprecia que la relativa -

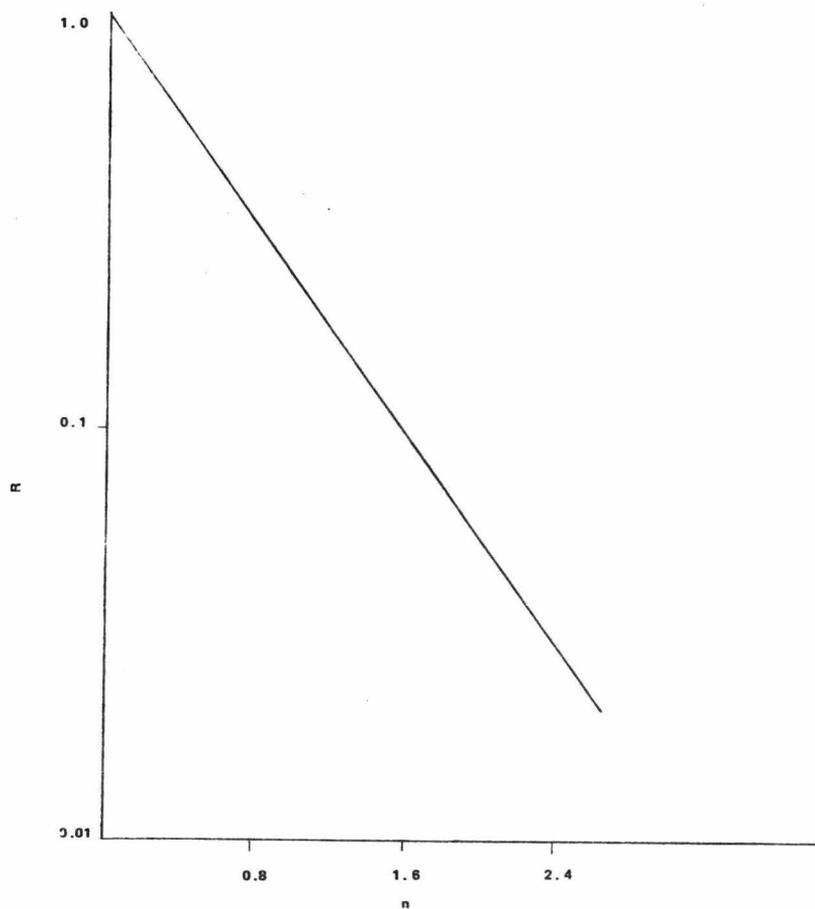


FIG. 213 CANTIDAD DE IMPUREZAS REMANENTES EN LA TORTA DESPUES DEL LAVADO ( $R$ ) CON DIFERENTES REFACCIONES DE LAVADO ( $n$ )

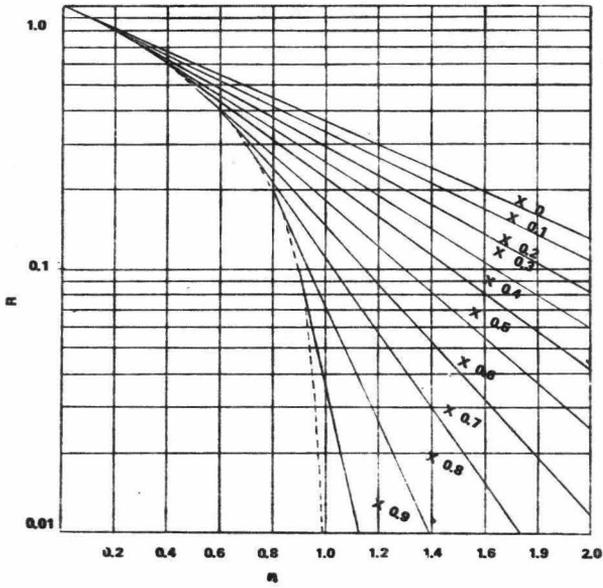


FIG 214

GRAFICA DE MONCRIEFF PARA LAVADO DE TORTA  
( DE LOS DATOS DE LA FIGURA 2 )

simplicidad de la ec. (32) justifica su uso para condiciones normales donde  $n > 1$  y la ec. (33) para  $n < 1$ .

Para el segundo punto o sea el cálculo de tiempo de lavado - puede hacerse teóricamente con exactitud considerable a partir de la ec. (15) ya que la velocidad a través de la torta es constante e igual a la velocidad instantanea de filtración después del período de formación de ésta; o bien gráficamente con la pendiente de la curva de  $V$  vs.  $t$  (Fig. 2.12)

La velocidad de lavado, puede verse afectada enormemente por diferencia de viscosidades, pero puede corregirse por relación de viscosidades, otros factores que deben tomarse en cuenta son los posibles cambios en la presión, espesor de la torta, o área filtrante disponible que influirán en el desarrollo de lavado; así el flujo de lavado en un filtro prensa es a través de la mitad del área y de dos veces el espesor de la torta por lo que la velocidad de lavado resulta un cuarto de la velocidad de filtrado; así puede decirse que el lavado eficiente de torta depende de factores tales como: dificultad en la distribución del líquido de lavado, migración de partículas sólidas poca homogeneidad en la permeabilidad de

la torta, formación de grietas, etc., algunos de estos dependen parcial o totalmente del tipo de filtro o de las características del sistema sólido líquido; también depende del espesor de la torta, alcanzando un valor máximo a un espesor definido. Así los efectos no deseados pueden ser eliminados o por la menos minimizados con la debida selección de equipo y adecuadas técnicas de operación.

Secado de torta.- Es llevado a cabo generalmente por soplado o succión de aire a través de la torta, los factores en este secado son: naturaleza de las partículas, contenido final -- de humedad, presión, concentración, etc., Dahstrom D.A. y colab. analizaron estos factores y desarrollaron un método simple empírico que correlaciona gráficamente el contenido de humedad en la torta como función de un factor J

$$J = \frac{P \ t_A \ Q_A}{E \ A \ \mu} \quad (34)$$

Donde:

P = Presión

$t_A$  = Flujo de aire

E = Espesor de la torta

A = Area filtrante

$\mu$  = Viscosidad del líquido residual

La Fig. (Fig. 2.15) muestra la gráfica típica que correlaciona el factor J y el contenido de humedad de la torta.

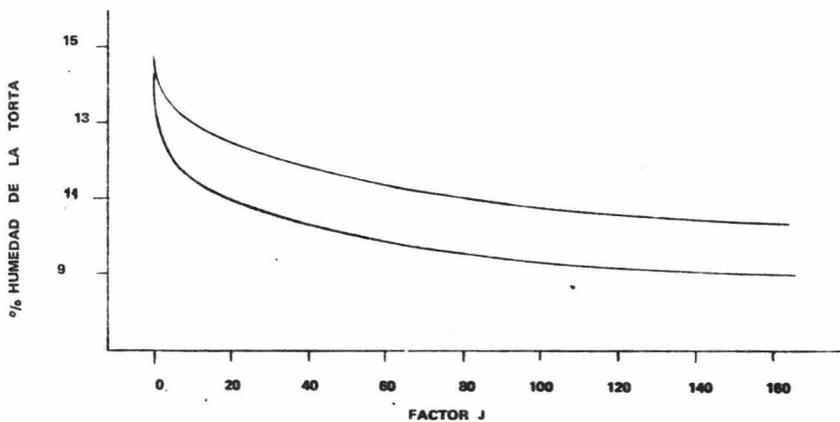


FIG. 215 RELACION FACTOR J Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA TORTA

## 2.- Filtración Continua o de Ciclo Corto.

De los diversos tipos de filtros continuos, puede deducirse el ciclo de proceso para una serie de operaciones separadas y de duración definida, pero que en cualquier momento pueden ocurrir alguna de ellas o todas simultáneamente y en diferentes partes del filtro.

Para el caso específico de filtro rotatorio, estas operaciones son:

- a) Formación de la torta.
- b) Lavado de la torta (para eliminación de solubles o purificación).
- c) Secado parcial de la torta (hasta un contenido de humedad predeterminado).
- d) Secado térmico de la torta (si se requiere)
- e) Descarga de la torta.
- f) Lavado del medio filtrante y/o formación de precapa.
- g) Superficie muerta hasta el inicio del nuevo ciclo.

De las etapas anteriormente mencionadas, las cuatro primeras están controladas por la velocidad de operación del proceso --

que a su vez es dependiente del tipo de suspensión y de la presión de operación; las tres últimas dependen de las características de diseño del equipo.

Dahlstrom D.A. y Pourchas D.B., han descrito técnicas matemáticas para predecir la influencia del proceso y las variables de operación en el desarrollo e instalación de un filtro. --- También han demostrado que las ecuaciones para formación de torta y de lavado se deducen de consideraciones teóricas modificando las ecuaciones desarrolladas en filtros intermitentes.

Las ecuaciones para formación de torta se deducen al integrar la ec. (30) para presión constante y suponiendo que la resistencia del filtro es despreciable. Así para encontrar el tiempo disponible para la formación de torta  $t_{ft}$ , se tiene:

$$\frac{v_f}{A} = \left[ \frac{2P \quad t_{ft}}{\mu \quad r \quad w} \right]^{1/2} \quad (35)$$

Para hacer la ecuación anterior de aplicación más general se tiene que relacionar con la resistencia específica de la torta y el factor de compresibilidad s:

$\pm_{op}$

$$\frac{V_f}{A} = \left[ \frac{2P^{1-s} t_{ft}}{\mu r_o w} \right]^{1/2} \quad (36)$$

Para propósitos prácticos, resulta más conveniente expresar la velocidad de filtrado como colúmen de filtrado por unidad de tiempo, lo cual se obtiene dividiendo la expresión anterior entre  $t_{ft}$ . o sea:

$$t_{ft} = F t_c$$

Donde:

$F$  = Fracción del ciclo dedicada a la formación de torta.

$t_c$  = Tiempo del ciclo completo.

Por lo tanto la capacidad de un filtro rotatorio puede ser expresada como:

$$Y = \frac{V_f}{A t_c} = \left[ \frac{2P^{1-s} F}{\mu r_o w t_c} \right]^{1/2} \quad (37 a)$$

$$Y = \frac{\text{Volúmen de filtrado}}{\text{tiempo}}$$

$$Z = \frac{V_f w}{A t_c} = \left[ \frac{2w P^{1-s} F}{\mu r_o t_c} \right]^{1/2} \quad (37 b)$$

$$Z = \frac{\text{Sólidos secos}}{\text{Tiempo}}$$

Lavado de torta.- La cantidad de licor de lavado usado, puede ser expresada como la relación  $\underline{n}$  entre volúmen de licor de lavado y el volúmen de licor de filtrado ocluido en la torta, -- como ya se vió en las ecs. (48) y (49) en las Figs. (2.13) y -- (2.14) aplicadas a filtros intermitentes; la velocidad de lavado será:

$$\frac{1}{A} \left( \frac{dV}{dt} \right) = \frac{P}{\mu} \frac{A}{r w V_f} \quad (38)$$

El volúmen de lavado será la velocidad de lavado por el tiempo de lavado, y si la resistencia del filtro es despreciable, se pueden combinar estas dos consideraciones para llevar a cabo una integración similar a la de la ec. (30):

$$\frac{V_1}{A} = \left[ \frac{P}{2 \mu r w t_{ft}} \right]^{1/2} t_1 \quad (39)$$

Para encontrar las interrelaciones entre  $t_{ft}$ ,  $t_1$ , y  $\underline{n}$  se -- le considera que el volúmen de licor de filtrado ocluido en la torta es proporcional a la cantidad de torta y que a su vez es

función del volúmen de filtrado o sea:

$$\frac{V_M}{A} = k \left[ \frac{2P \quad t_{ft}}{u \quad r \quad w} \right]^{1/2} \quad (40)$$

Donde:

$V_M$  = Volúmen de licor ocluido en la torta.

y  $V_M = k_1 V_f$

Finalmente si:

$$n = \frac{V_1}{V_M} = \frac{1}{2k_1} \cdot \frac{t_1}{t_{ft}} \quad (41)$$

y si:

$$\frac{1}{2k_1} = k'$$

Sustituyendo y reorganizando:

$$t_1 = k' \quad n \quad t_{ft} \quad (42)$$

Secado de la torta.- Esta operación involucra el desplazamiento de la humedad residual en la torta por el flujo de aire.

Usando el factor J descrito anteriormente en la Ec. (34), es posible seleccionar el factor económico adecuado.

## 2.4 EFECTO DE LAS VARIABLES

Las diferentes ecuaciones que rigen la teoría de la filtración son interrelaciones de las variables, que afectan el proceso y, resumiendo, podrían agruparse como pertenecientes a tres diferentes tipos:

### I.- Variables del Problema.

Son las introducidas por el sistema particular que se trabaja, tales como tamaño de las partículas suspendidas, tendencias de las partículas a flocular, -- viscosidad, temperatura y concentración de las suspensiones, es decir, son propiedades intrínsecas del problema a solucionar dependientes como se vé, de las propiedades del sistema y de las condiciones en que se presentan.

### II.- Variables para la Solución.

Son las introducidas por posibilidades que se presentan para resolver el problema, éstas son: área -

efectiva del filtro, caída de presión a través del -  
filtro, resistencia del medio filtrante al flujo de  
filtrado, etc.

### III.- Variables combinadas.

Son las funciones posibles resultantes de la com-  
binación entre el problema y la solución: a este ti  
po pertenece el efecto humectante del solvente sobre  
el medio filtrante, resistencia de la torta al flujo  
de fluido, velocidad de formación de la torta, com--  
pensabilidad del medio filtrante bajo la presión del  
fluido, etc.

El análisis detallado de las variables, es conve-  
niente hacerlo separadamente y partiendo de algunas -  
de las ecuaciones anteriormente deducidas.

Las tablas 2.2 y 2.3 presentan la proporcionalidad  
entre las variables.

## FILTRACION INTERMITENTE O DE CICLO LARGO

Flujo Instantáneo:

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{P}{\mu \left( \frac{r w}{A} V + R \right)} = \frac{Q}{A} \quad \text{ec. (12)}$$

Volúmen total de tiempo de filtrado por ciclo a presión constante:

$$V_f = \frac{A P c}{\mu r w} \frac{dt}{dV} = \frac{R A}{r w} \quad \text{ec. (16)}$$

Tiempo de filtrado a presión constante:

$$t_f = \frac{\mu r w}{2 A P c} V_f^2 + \frac{\mu R}{A P c} V_f \quad \text{ec. (17)}$$

Volúmen de filtrado a un tiempo fijo:

$$V_f = \frac{2 (\mu r w / A P c) t + (\mu R / A P c)^2 - \mu R / A P c}{\mu r w / A P c} \quad \text{ec. (18)}$$

Volúmen de filtrado en un tiempo fijo a flujo constante:

$$V_f = (dV/dt)_{cte.} t_f \quad \text{ec. (24)}$$

volúmen óptimo de filtrado:

$$V_{opt} = \frac{2}{\mu} \frac{t}{r} \frac{m}{w/a} \frac{1}{Pc} \quad \text{Ec. (27)}$$

Tiempo óptimo de filtrado:

$$T_{opt.} = t_m \left( 1 + \mu \frac{R}{APc} \right) \frac{2A^2}{\mu} \frac{Pc}{r} \frac{t_m}{w} \quad \text{Ec. (28)}$$

Espesor óptimo de filtrado:

$$E_{opt} = \frac{2\theta}{A} \frac{P_A}{P_A} \frac{wR}{APc} \cdot \frac{2A}{\mu} \frac{Pc}{r} \frac{t_m}{w} \quad \text{Ec. (30)}$$

Secado con aire:

$$J = P \frac{t_A}{E} \frac{Q_A}{A \mu} \quad \text{Ec. (34)}$$

## FILTRACION CONTINUA O DE CICLO CORTO

Capacidad del filtro:  $\frac{\text{Vol. filtrado}}{\text{tiempo}}$

$$J = \frac{V_f}{A \, t_c} = \left[ \frac{2 P F}{\mu r_o w t_c} \right]^{1/2} \quad \text{Ec. (37.a)}$$

Capacidad del filtro:  $\frac{\text{Sólidos secos}}{\text{tiempo}}$

$$Z = \frac{f w}{A \, t_c} = \left[ \frac{2 w P F}{\mu r_o t_c} \right]^{1/2} \quad \text{Ec. (37 b.)}$$

Relación de lavado:

$$n = \frac{V}{V_m} = k_1 \frac{t}{t_{f_t}} \quad \text{Ec. (41)}$$

T A B L A 2.2

F I L T R A C I O N I N T E R M I T E N T E O D E C I C L O L A R G O .

	PLUJO INSTANTANEO	TIEMPO DE FILTRADO.	VOLUMEN DE FILTRADO.	TIEMPO OPTIMO	ESPEJOR OPTIMO.	VOLUMEN OPTIMO	VOLUMEN Y TIEMPO FINAL DE FILTRADO.
VISCOSIDAD ( $\mu$ )	$\frac{1}{\mu}$	$\mu$	$\frac{1}{\mu}$	$\frac{1}{\mu^{0.5}}$	$\mu^{0.5}$	$\frac{1}{\mu^{0.5}}$	$\frac{1}{\mu}$
CONCENTRACION (w)	$\frac{1}{w}$	w	$\frac{1}{w}$	$\frac{1}{w^{0.5}}$	$w^{0.5}$	$\frac{1}{w^{0.5}}$	$\frac{1}{w}$
RESISTENCIA DE LA TORTA (r)	$\frac{1}{r}$	r	$\frac{1}{r}$	$\frac{1}{r^{0.5}}$	$r^{0.5}$	$\frac{1}{r^{0.5}}$	$\frac{1}{r}$

TABLA 2.3

FILTRACION CONTINUA O DE CICLO CORTO

	CAPACIDAD DEL FILTRO	ESPEJOR DE LA TORTA	RELACION DE LAVADO	SECADO CON AIRE
DURACION DEL CICLO (t <sub>c</sub> )	$\frac{1}{t_c^{0.5}}$	t <sub>c</sub> <sup>0.5</sup>	INDEPENDIENTE	INDEPENDIENTE
FRACCION PARA FORMACION DE TORTA (t <sub>f,t</sub> )	t <sub>f,t</sub> <sup>0.5</sup>	t <sub>f,t</sub> <sup>0.5</sup>	INDEPENDIENTE	t <sub>a</sub> t <sub>f,t</sub>
PRESION DE OPERACION (P)	P <sup>0.5</sup>	P	INDEPENDIENTE	J DE P
VISCOSIDAD (μ)	$\frac{1}{\mu^{0.5}}$	$\frac{1}{\mu^{0.5}}$	INDEPENDIENTE	
CONCENTRACION (w)	Y $\frac{1}{w^{0.5}}$ Z w	w	w	w
RESISTENCIA DE LA TORTA. (r)	$\frac{1}{r^{0.5}}$	r	$\frac{1}{r}$	r

**CAPITULO 3****E Q U I P O****3.1 CLASIFICACION****3.2 DESCRIPCION**

La filtración es una separación de los sólidos contenidos en un fluido, mediante una fuerza impulsora a través de un medio filtrante.

Así, de acuerdo a esta fuerza impulsora, los filtros se pueden clasificar en:

FILTROS POR GRAVEDAD,

FILTROS A VACIO,

FILTROS A PRESION, Y

FILTROS CENTRIFUGOS.

74, 76, 84, 86, 90, 93, 95-96

### 3.1 CLASIFICACION:

#### I.- FILTROS POR GRAVEDAD

(La fuerza impulsora es la presión de la columna de líquido sobre el medio filtrante)

- De cama o de arena
- De saco
- De tanque de fondo falso
- De tambor rotatorio
- De disco rotatorio

#### II.- FILTROS A VACIO

(La fuerza impulsora es la succión del lado del medio filtrante o salida del filtrado)

- De tanque de fondo falso
- De hojas
- De banda
- De disco
- De tambor: comportamiento simple  
comportamiento multi-  
ple

**III.- FILTROS A PRESION**

(La fuerza impulsora es la presión -  
dada por la fuerza motriz)

- Prensa

- Hojas      Horizontales  
                 Verticales

### 3.2 DESCRIPCION

#### I.- FILTROS POR GRAVEDAD

El diseño y la construcción de estos filtros, - tienen la ventaja inherente de que la fuerza impulsora requerida, está dada por la naturaleza, desde luego - dependiente de la altitud, lo que limita la aplicación a materiales que puedan manejarse a bajas diferencias de presión.

Los filtros por gravedad son abiertos a la atmosfera, tienen soporte para el medio filtrante y un sistema de drenado interior que desaloja el filtrado.

Una subclasificación de estos filtros puede presentarse con el soporte del medio filtrante:

- A) Filtros de medio filtrante fijo.
- B) Filtros de medio filtrante móvil.

Dentro de los Filtros de medio filtrante fijo, se tienen:

- a) Filtros de arena o de cama (Fig. 3.1)

Consiste de un tanque en el cual se coloca la

de diferente tamaño, de tal manera que el tamaño va disminuyendo del fondo del tanque hacia arriba. La arena que es el medio filtrante, debe ser colocada de tal manera, que no obstruya el flujo del filtrado por la cercanía que puede existir entre las partículas, para evitar ésto, se usan placas perforadas sobre la línea de drenado para un flujo adecuado tanto de filtrado como de retrolavado, que se use.

El uso principal o más frecuente de estos filtros, es la clarificación de agua.

A b) Filtros con medio filtrante colgante

Incluyen los filtros de saco, sombrero y desague.

Consisten de una o varias unidades abiertas a un cabezal de alimentación dividido generalmente en dos secciones para uso alternado. Los sacos pueden ser tejidos, cilíndricos o rectangulares. La suspensión es alimentada por el cabezal y fluye por la gravedad a través de los nipples, al interior de los sacos. El licor clarificado, se recoge en canales colocados

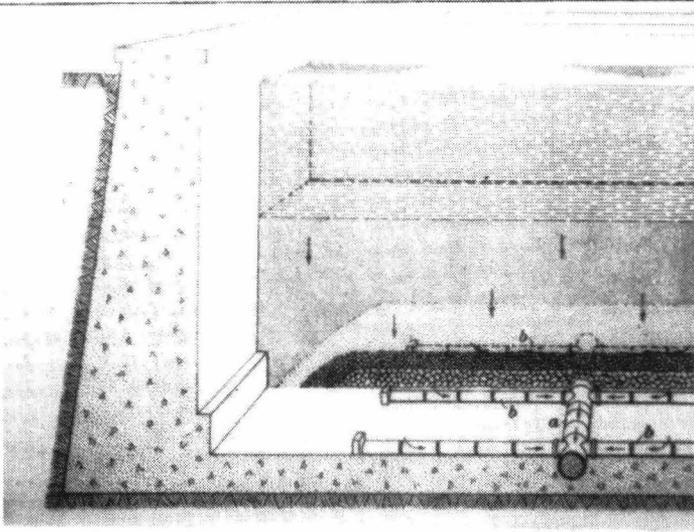


FIG 3.1 FILTRO DE ARENA

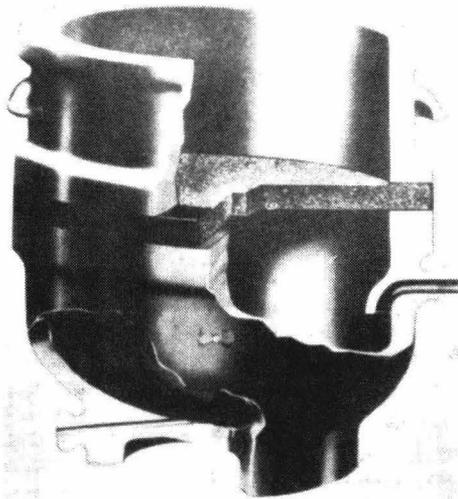


FIG 3.2 FILTRO DE TANQUE DE FONDO FALSO

debajo de los sacos.

El uso de estos filtros en la actualidad, es -- ocasional y generalmente para pinturas, barnices, aceites y algunos productos farmacéuticos.

A c) Filtros de tanque de fondo falso. (Fig. 3.2). Filtros poco usados en la actualidad, tienen -- sin embargo aplicación en la industria química para - filtración ácida. El medio filtrante es una placa de cerámica perforada y colocada a la mitad del recipiente.

B a) Dentro de los Filtros de medio filtrante móvil se tiene: de tamiz rotatorio (Fig. 3.3). Con-- siste de un tamiz sin fin que presiona sobre el mate-- rial y desaloja el agua contenida. Los sólidos se -- descargan por gravedad.

B b) Filtros de tambor rotatorio (Fig. 3.4). Consiste de una armazón cilíndrica que sirve como soporte de una tela metálica enrollada sobre dicha armazón.

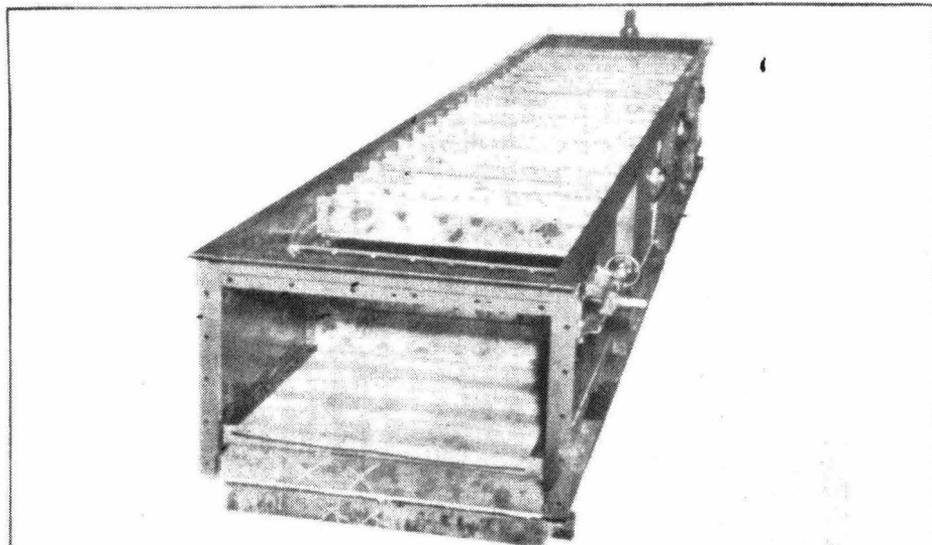


FIG 3,3 FILTRO DE TAMIZ MOVIL

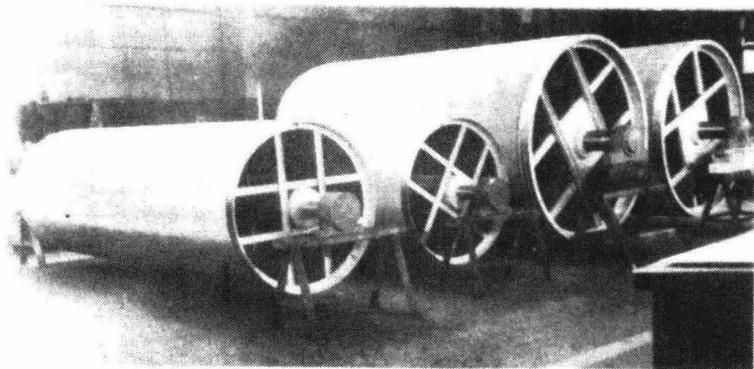


FIG 3,4 FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO

El tambor está suspendido en un tanque o caja de inmersión, controlando la inmersión del tambor. Los sólidos se depositan sobre la tela metálica por el giro del tambor, y la diferencia de nivel entre la caja de inmersión y el tambor. La eliminación de sólidos depositados puede ser por una cuchilla, por regaderas, por retrolavado o extensión del tamiz.

B c) Filtros de disco rotatorio.

El diseño de estos filtros, es generalmente un gran disco metálico, colocado a un ángulo tal, que la mitad esté sumergido en el flujo de alimentación. Un eje central sirve de soporte al disco y a las cuchillas de descarga, así como al mecanismo de agitación.

## II.- FILTROS A VACIO

El diseño y construcción de estos filtros está basada en el método utilizado para producir vacío, así como la fuente abastecedora de descarga de sólidos. El uso de una presión negativa (succión) tiene como fin el acelerar la velocidad de descarga del filtrado y la de secado de sólidos como una medida económica, ya que se reducen el tiempo de operación y el espacio ocupado (en comparación con los filtros por gravedad, anteriormente descritos).

Es necesario hacer notar que existe otro factor para obtener una rapidez en la operación que es la capa relativamente delgada, común en los filtros de tambor, que reduce enormemente las pérdidas por fricción de flujo a través de la torta.

Desde luego, existen limitaciones en la filtración al vacío, las más sobresalientes son: la diferencia de presión está limitada por la altitud, localización de pérdidas de vacío ó inundaciones con suspensión más difíciles de localizar.

Una subclasificación puede presentarse en función de la continuidad ó discontinuidad (ó no continuidad) de la operación, aunque básicamente están diseñados - para operar en forma cíclica y continua:

A Intermitentes

- a) Tanque de fondo falso
- b) Tubular y de hoja

B Contínuos

- a) Banda

- b) Disco
  - Horizontal
  - Vertical

- c) Tambor
  - Simple compartimiento
  - Múltiple compartimiento

Descarga:

- 1) Banda
- 2) Tornillo
- 3) Cuchilla
- 4) Cuerda
- 5) Precapa



QUINDÍO

## A Intermitentes

### a) Tanque de fondo falso. (Fig. 3.2)

La construcción de este filtro es similar al de gravedad, consiste de un recipiente dividido en dos compartimientos por una sección perforada.

La sección superior opera a presión atmosférica, para suspender el material sin filtrar; la inferior opera a vacío y como receptor de filtrado, y la sección perforada actúa como soporte del medio filtrante.

El tamaño del filtro es función de las cantidades a manejar. Para aumentar la capacidad del filtro se puede alimentar o descargar en forma intermitente y continua, que traerá como consecuencia, áreas de almacenamiento menores.

El uso de estos filtros es particular, para materiales ácidos.

Una cierta imitación para estos filtros, es la construcción más cuidadosa para una mayor resistencia

a las diferencias de presión.

Los materiales de construcción más comunes son: cerámica, madera y metálicos:

La alimentación se efectúa vaciando la carga dentro de la cámara superior, ya sea: directamente, después de formar precapa ó después de mezclar la suspensión con precapa.

Los sólidos pueden ser lavado por inundación de la torta con licor de lavado, aplicando después el vacío. Esta forma de inundación es eficiente y conveniente, - cuando la torta no sufre cuarteaduras ó encogimientos. El licor de lavado tiende a desplazar casi en su totalidad al licor del filtrado.

A b) Filtro de hojas (Fig.3.5).

Consiste de una o más hojas verticales conectadas a un sistema de vacío. Ensambladas en paralelo y sostenidas por medio de dos soleras. Las líneas de recolección de filtrado están conectadas a una tubería común.

La construcción de estos filtros puede ser metálica,

ya sea ensamblada y soldada a fuego ó de tela en forma de bolsa en las que se introducen las hojas. El soporte tubular quizás el más común y satisfactorio, consiste de un marco tubular con perforaciones en la parte inferior, dá mejores resultados de operación, - ya que hay menos pérdidas de vacío si las hojas están muy profundas.

El filtro de hojas de tanque abierto más conocido como filtro "Moore", en el cual la hoja está cubierta con medio filtrante de tela, cortado y cocido de manera que forma una bolsa y con espaciadores metálicos, o de madera. En filtros no mayores de 4 in. de diámetro y 50 in, de largo, el armazón puede ser de madera.

Si el medio filtrante es metálico, los extremos - soldados y remachados al calor; la tubería de descarga está en la parte inferior. El área de filtración es de 10 a 40 m<sup>2</sup>.

La unidad está sumergida en la suspensión; la filtración empieza cuando se aplica la succión; la capa

de sólidos formada, puede ser lavada o descargada con soplado con aire; si es lavada la unidad de hojas es transferida a otro tanque para lavado, con licor adecuado de lavado.

La tubería de vacío puede ser de mangueras flexibles, que permitan el traslado de la unidad de hojas. El secado puede ser al aire o aire comprimido.

Es ampliamente usado para lodos metálicos de oro, plata o zinc, por su bajo costo por unidad de área filtrante; por su fácil operación; facilidad en el lavado, aunque ha sido desplazado por filtros continuos. El área de filtración desde 20, 60, 80 m<sup>2</sup>.

## B CONTINUOS Y AUTOMATICOS

### a) Filtro de banda (Fig. 3.6)

La construcción de este filtro es una pantalla horizontal colocada en forma de banda sin fin, en la que se hace el vacío.

Si el medio filtrante es de tela o de tejido fino, las fugas y fricción por arrastre son muy serias, generalmente se usa una ceja de hule o un sellado con agua

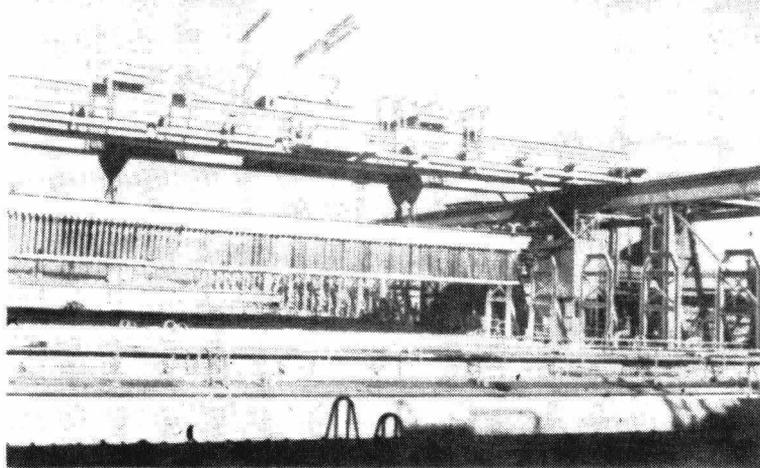


FIG 3,5 FILTRO DE HOJAS A VACIO ABIERTO

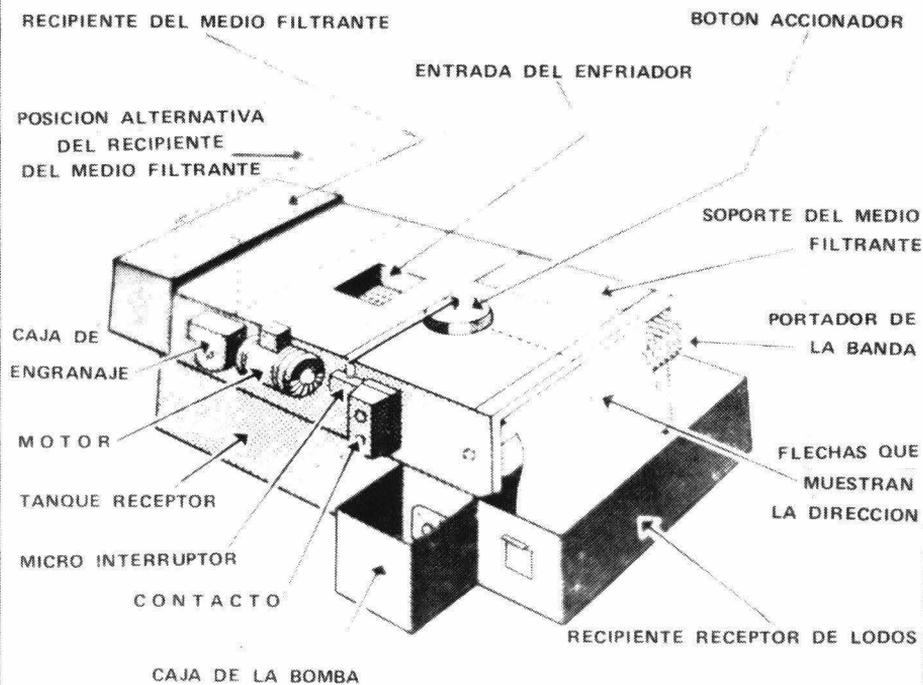


FIG 3,6 FILTRO DE BANDA

sobre la banda.

El uso inicial fué en la fabricación de papel como deshidratador, antes de usar los rojillos secadores, y es el más común.

B b) Filtro de disco horizontal. (Fig. 3.7)

La construcción de estos filtros es en forma circular, para facilitar su rotación y la operación de descarga.

Este filtro conocido inicialmente como mesa de arena en la metalurgia, consiste de un sólo disco formado por varias secciones uniformes, cada una conectada a un eje central giratorio; cada sección tiene medio filtrante individual. El vacío se aplica automáticamente por medio de una válvula múltiple conectada al eje central giratorio que lleva a cabo las operaciones de: extracción de licor de filtrado, lavado y secado de sólidos en las diferentes secciones del filtro. La descarga de sólidos es por medio de un rodillo a un transportado. La velocidad de rotación del disco, se

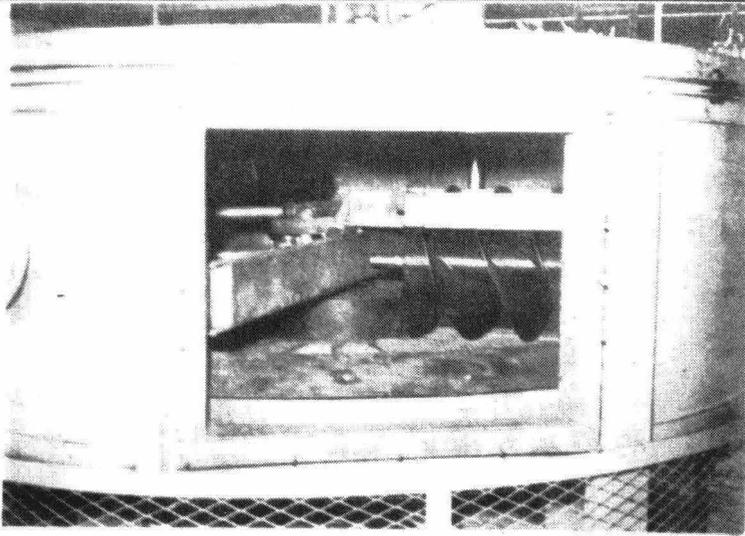


FIG 3.7 FILTRO DE DISCO HORIZONTAL

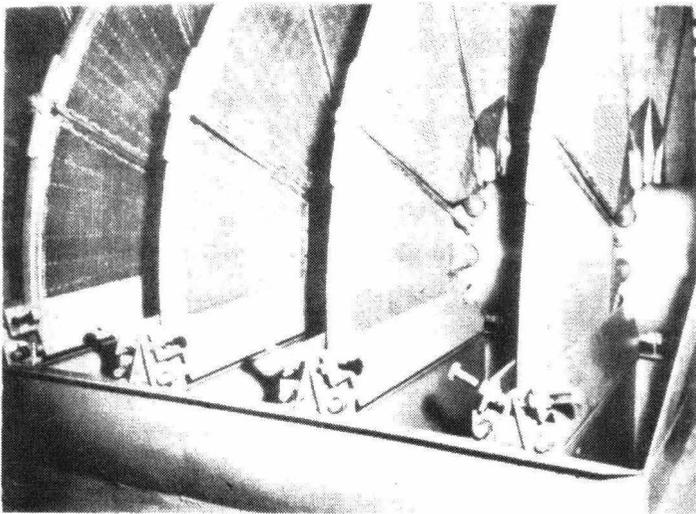


FIG 3.8 FILTRO DE DISCO VERTICAL

ajusta hasta obtener las condiciones de operación - adecuada.

Una gran ventaja que presenta este filtro es - que puede manejar grandes cantidades de suspensión - sin necesidad de agitación. Por otra parte, tiene la desventaja de que la descarga de sólidos es más cara que en otros filtros, como los deshidratadores; éste filtro no es adecuado para lodos comprensibles.

Su mayor aplicación es para materiales cristalinos con velocidad de filtración rápida.

El tamaño promedio de estos filtros es de 50 m<sup>2</sup>.

B c) Filtros de disco vertical. (Fig. 3.8)

Está construido de uno o varios discos montados en un eje central giratorio. El vacío se aplica, como en el filtro anterior, automáticamente por medio de una - válvula multiple conectada al eje central. Cada disco, está construido de número de sectores uniformes tangen ciales y conectados cada uno por líneas de válvula múl tiple central. La parte inferior de los discos, está

sumergida en el tanque de la suspensión, sobre la -  
cual se depositan los sólidos por succión, en ambos  
lados del disco conforme los discos giran, se hace la  
extracción del licor de filtrado por las líneas conec-  
tadas a la válvula central, y la descarga de sólidos  
se hace generalmente por un soplado con aire a presión  
combinado con un raspador.

Por la construcción de estos filtros, el nivel de  
la suspensión en el tanque, es crítico y debe ser el  
adecuado para la formación de la torta, para que des-  
pués de la descarga de ésta, el sector está completa-  
mente sumergido y se haga la succión. Por otra parte,  
el nivel no debe ser tan alto que evite la descarga de  
la torta.

Esto tiene como desventaja que restringe la por-  
ción disponible para la formación de la torta a un 20  
ó 45% del total. La velocidad de rotación de los dis-  
cos, es de 2 a 5 minutos por revolución. Su principal  
aplicación es para tortas que no requieren lavado.

El diámetro de los discos va de 20 cm. a 4 m. -

Discos ensamblados en un número mayor de 12 dan áreas de 200 a 300 m<sup>2</sup>.

B c) Filtro de tambor rotatorio (Fig.3.9).

Es el tipo de filtro más ampliamente usado en la industria en donde se requiere mayor capacidad y continuidad en la operación; ya sea con o sin lavado de sólidos.

Los filtros de tambor rotatorio consisten de cuatro partes: tambor rotatorio con medio filtrante, tanque de suspensión, válvula automática y mecanismo de descarga.

Se subdividen en dos grupos:

#### 1.- Compartimento Simple

Fué el diseño inicial en este tipo de filtros y consiste de un cilindro perforado, ya sea como placa ó tamiz sobre el cual se coloca el medio filtrante; aquí todo el tambor está vacío, con arreglos especiales para drenado de filtrado y licor de lavado y para soplado con aire para la descarga de sólidos. Su uso queda limitado para presiones bajas de vacío.

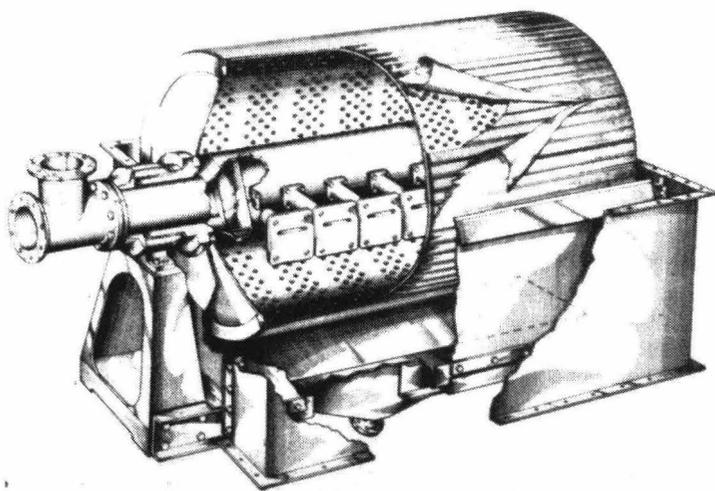


FIG 3.9 FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO

## 2.- Compartimiento Múltiple (Fig.3.10).-

Como su nombre lo indica, el vacío es aplicado en el interior del tambor dividido en diferentes compartimientos, cada uno separado por ductos especiales, y conectados individualmente a la válvula múltiple; - con rotación del tambor, cada compartimiento pasa a través del mismo ciclo de operación: filtrado, escurrimiento, lavado y desprendimiento de la torta; todo el ciclo está controlado por la válvula automática - (Fig.3.11).

El tambor se encuentra suspendido en el interior del tanque de suspensión a un nivel controlado. La filtración real ocurre en la sección sumergida del tambor, - que es la sección de formación de la torta; los sólidos se depositan sobre el medio filtrante y el licor de filtrado es separado a través del tambor, por las líneas que descargan en el tanque recolector de filtrado. Esta sección con la torta ya formada, pasa a la sección de escurrimiento con el mismo vacío para acabar de - - separar el filtrado por el interior del tambor al tan-

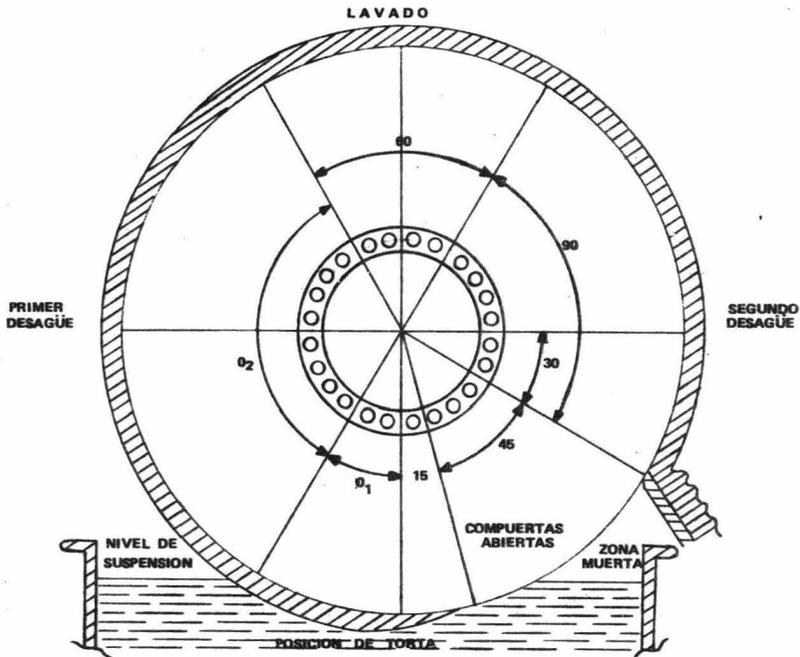


FIG. 3.10 CICLO OPERACIONAL DE UN FILTRO ROTATORIO DE TAMBOR AL VACIO DE COMPARTIMIENTO MULTIPLE

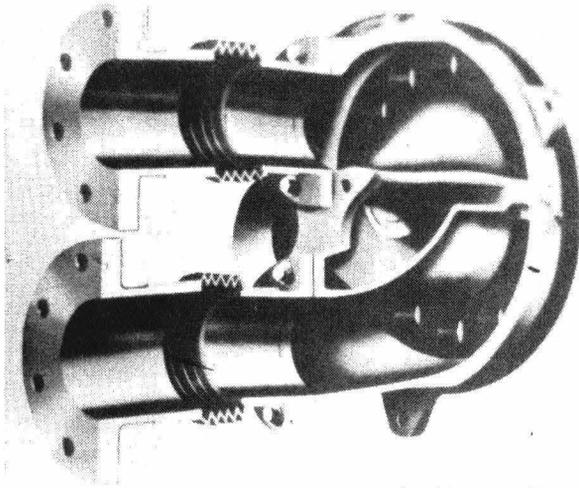


FIG 3.11 VALVULA AUTOMATICA

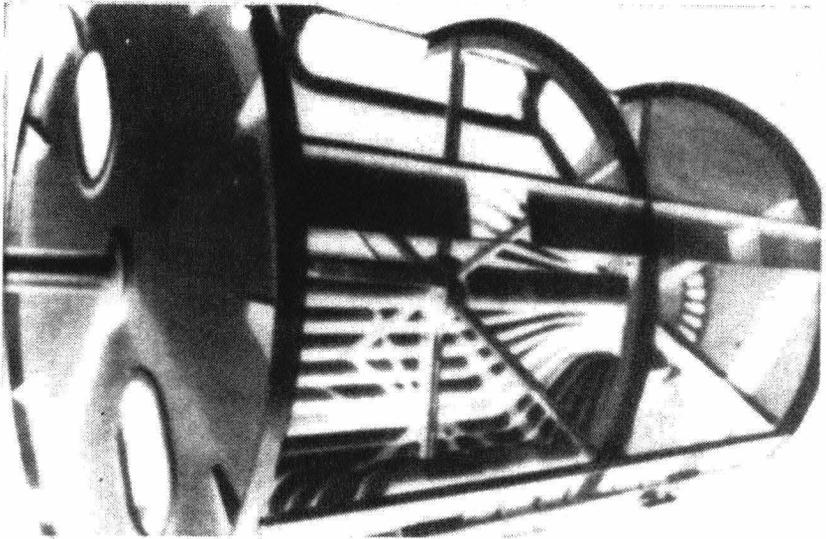


FIG 3.11' SECCIONES EN LA VALVULA AUTOMATICA

que recolector y evitar la caída de la torta por su propio peso en la siguiente sección de lavado, se aplica el licor de lavado y un mayor vacío que sustrae el licor de lavado por las líneas de descarga a otro tanque recolector de licor de lavado Fig, 3.11' La siguiente sección de secado, el vacío extrae el licor de lavado hasta la humedad residual conveniente y recolectando dicho licor, en el tanque correspondiente. El desprendimiento de torta se efectúa cortando el vacío, y abriendo dicha sección a la presión atmosférica, para facilitar dicha operación. Una vez que se descarga la torta, la sección vuelve a entrar en la suspensión y a renovarse el ciclo.

**Existen diferentes mecanismos de descarga:**

- 1) Banda (Fig. 3.12)
- 2) Tornillo (Fig. 3.13)
- 3) Cuchilla (Fig. 3.14)
- 4) Cuerdas (Fig. 3.15)
- 5) Precapa (Fig. 3.16)

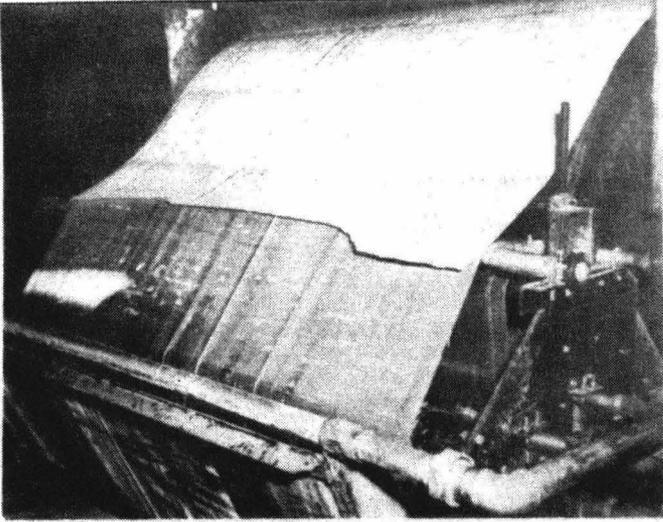


FIG 3,12 DESCARGA CON BANDA

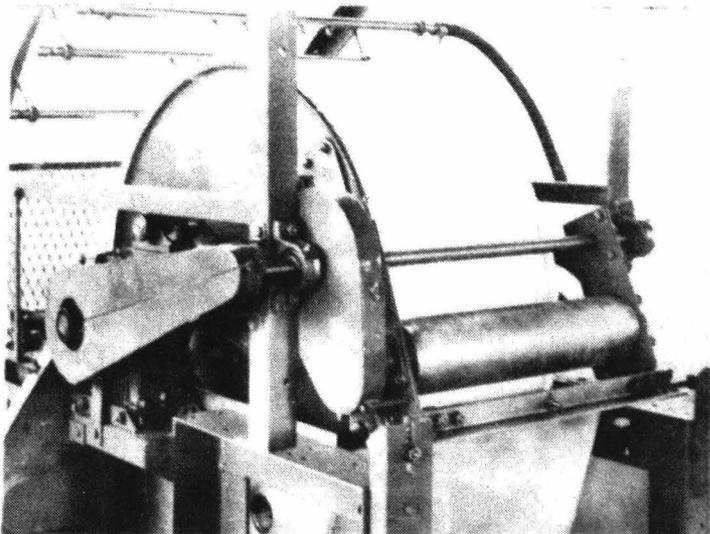


FIG 3,13 DESCARGA CON TORNILLO

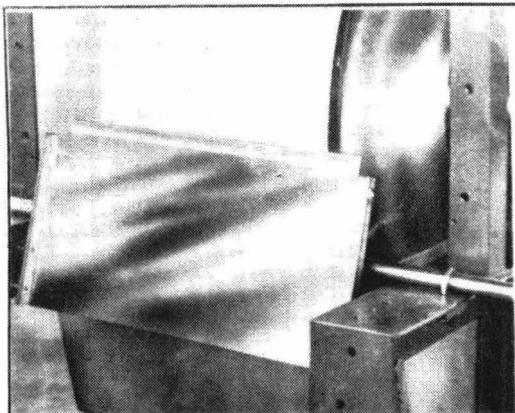


FIG 3,14 DESCARGA CON CUCHILLA

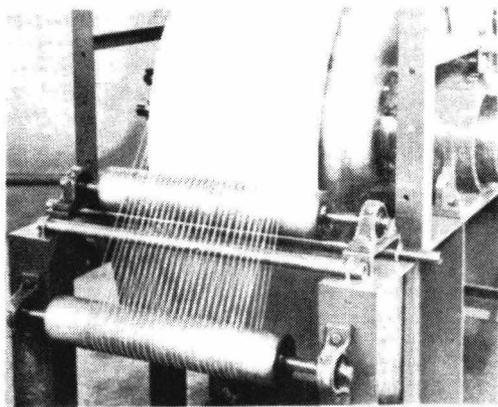


FIG 3,15 DESCARGA CON CUERDAS

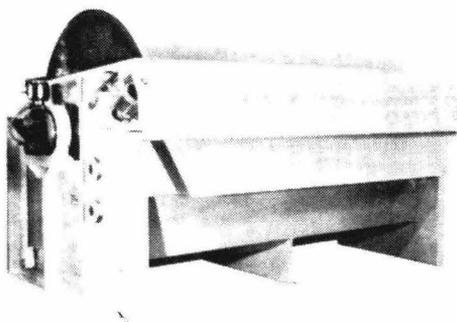


FIG 3,16 DESCARGA CON PRECAPA

Accesorios.- Los accesorios en un filtro de tambor rotatorio son considerados en algunos casos, de gran importancia, los principales son:

- 1) Tubería o espreas para lavado (Fig.3.17)
- 2) Rodillos para compresión (Fig 3.18)
- 3) Vibradores
- 4) Agitador
- 5) Fuente de vacío

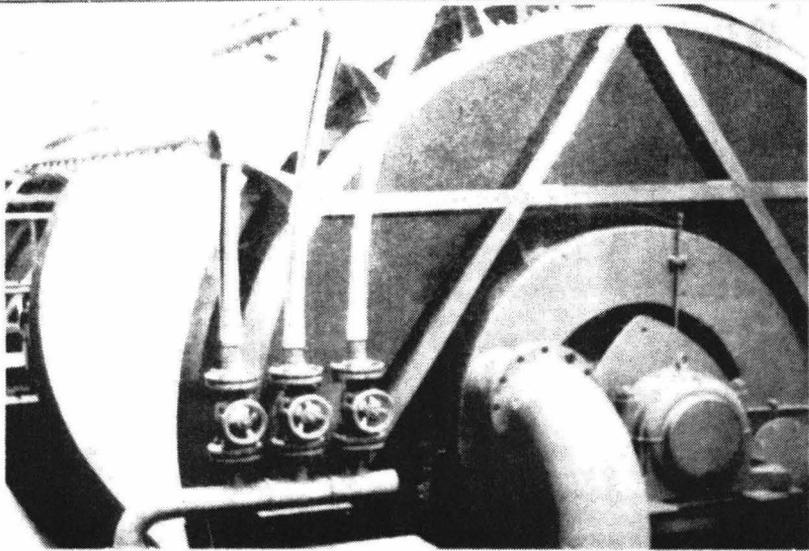


FIG 3.17 ESPREAS

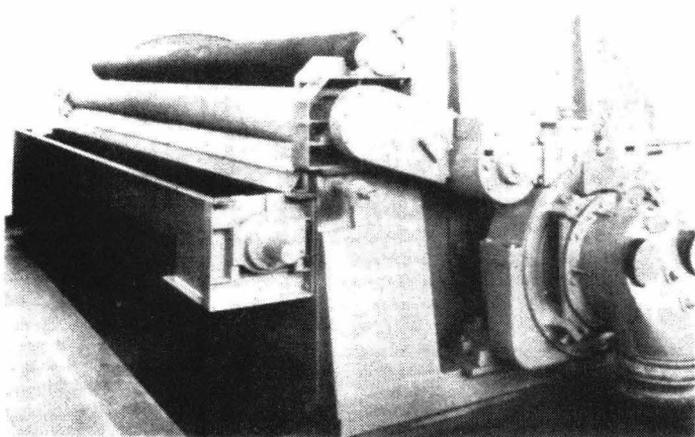


FIG 3.18 RODILLOS

## FILTROS A PRESION

Los filtros a presión tienen la ventaja de utilizar caídas de presión mayores que las empleadas en los filtros por gravedad y a vacío, aunque esto no siempre resuelve los problemas en filtración, antes bien, pueden presentarse problemas de compresibilidad de la torta, - ó taponeamiento del medio filtrante, que disminuye la - velocidad de filtración.

Una subclasificación de estos filtros, es la siguiente:

- A) Filtro de Prensa
  - a) de placas y marcos
  - b) de placas cóncavas
- B) Filtro de hojas
  - a) horizontal
  - b) vertical

### A FILTRO A PRESION

- a) Filtro de placas y marcos (Fig.3.19).

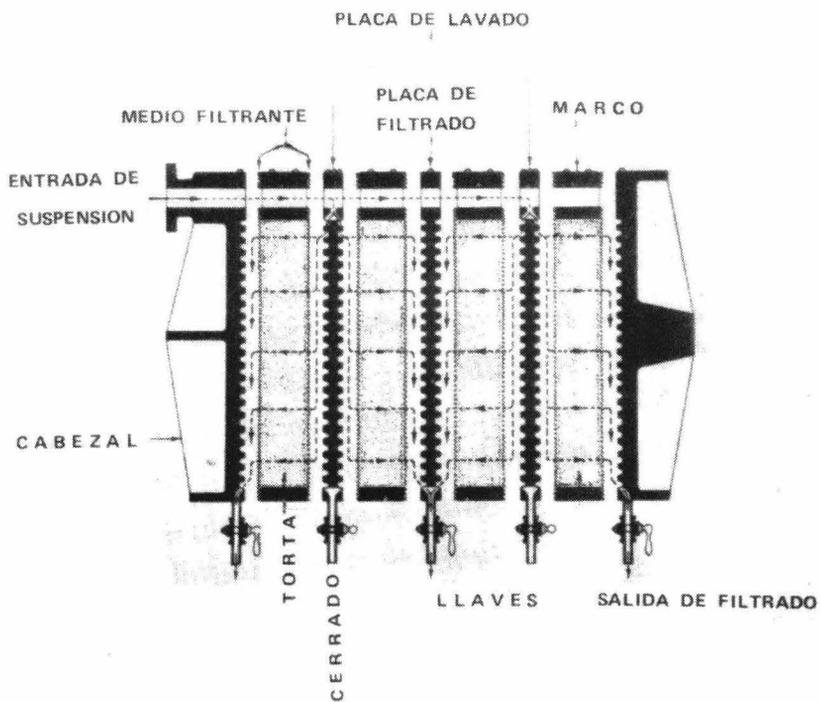


FIG 3,19 FILTRO PRENSA DE PLACAS Y MARCOS

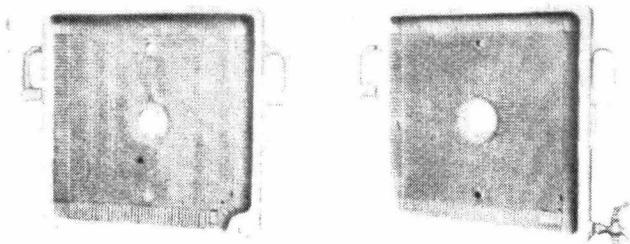


FIG 3,20 PLACAS CONCAVAS

Está formado por un marco y de cada lado, dos placas, componiendo así una cámara filtrante.

b) Filtro de placas cóncavas (Fig.3.20).-

La cámara filtrante está formada por dos placas huecas adyacentes.

Se encuentran disponibles una gran variedad de placas y marcos; algunas de sus principales diferencias son las siguientes:

Localización de la alimentación y, de la descarga del filtrado:

- |     |           |            |
|-----|-----------|------------|
| i)  | Esquinada | (Fig.3.21) |
| ii) | Lateral   | (Fig.3.22) |

Tipo de descarga del filtrado:

Descarga abierta. En ésta la salida del filtrado se encuentra en cada placa con llaves de control, permitiendo así, un control más adecuado en cada cámara. Es recomendable para cuando la claridad del filtrado es importante. (Fig.3.23).

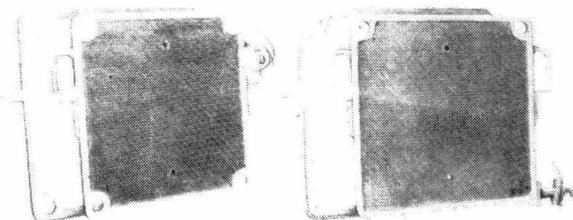


FIG 3,21 PLACAS CON ALIMENTACION Y DESCARGA ESQUINADA

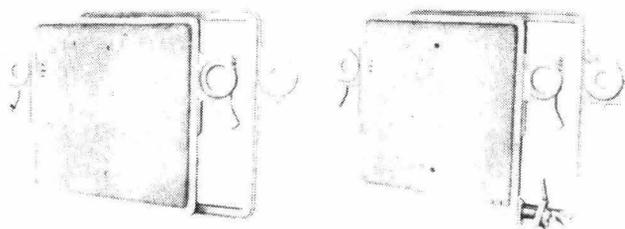


FIG 3,22 PLACAS CON ALIMENTACION Y DESCARGA LATERAL

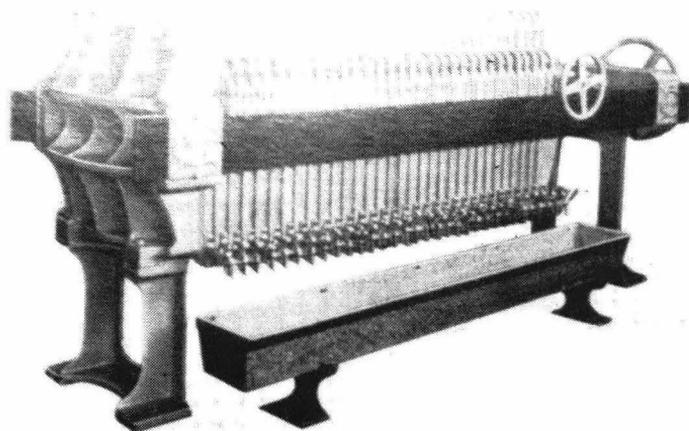


FIG 3,23 FILTRO PRENSA CON DESCARGA ABIERTA

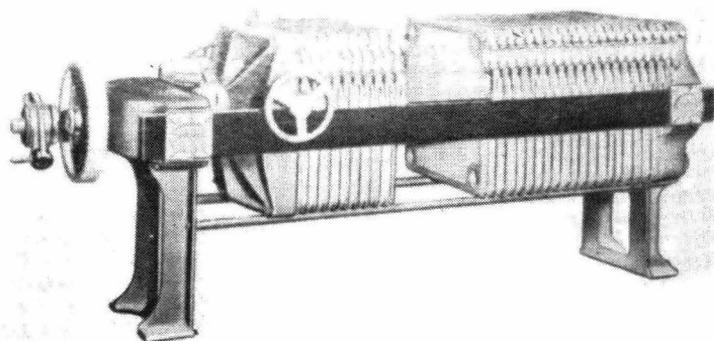


FIG 3,24 FILTRO PRENSA CON DESCARGA CERRADA

Descarga cerrada.- El filtrado se descarga por canal cerrado, que recolecta el filtrado de todas las placas. Es recomendable para filtrados en los que se desee evitar el contacto con el aire, o para filtrados volátiles. (Fig.3.24).

Tipos combinados:

Alimentación inferior. - Descarga Superior.-

Son usadas principalmente para clarificación. -

Sus principales ventajas son: Permiten una descarga rápida de aire, producen tortas uniformes sobre la superficie y facilitan el manejo de filtro ayuda como precapa.

Alimentación superior.- Descarga superior o inferior y marcos con venteo. Son usadas en la clarificación de líquidos, cuando se quieren evitar burbujas de aire.

Alimentación y descarga lateral.- Diseño sencillo, que es satisfactorio cuando se necesita precapa; se puede usar ya sea para clarificación o recuperación de sólidos.

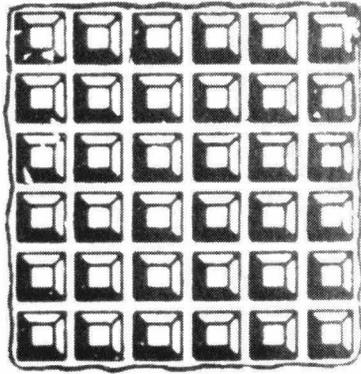
Alimentación doble - Descarga doble.- Tienen un amplio uso para materiales de alta viscosidad, precapa con filtro ayuda y eliminación de torta, al final de cada ciclo.

Otros tipos de placas, son los siguientes:

Placas para control de temperatura .- Son placas de metal en las que puede circular vapor, agua, aceite caliente, salmuera o cualquier otro agente regulador. También hay placas para calentamiento eléctrico.

Placas para lavado.- Estas pueden ser las mismas que las de filtrado, en éste caso, el agente lavador - tendrá la misma dirección que la corriente de alimentación; ó bien placas especiales, para el lavado en cuyo caso el agente lavador entrará en sentido transversal, ó a contracorriente del de la alimentación.

Superficie de las placas.- La superficie de la placa es importante, ya que servirá de soporte del medio filtrante y de drenado del filtrado. Los tipos -- más comunes son:



+ Usado.

FIG 3,25 SUPERFICIE DE PLACA PIRAMIDAL

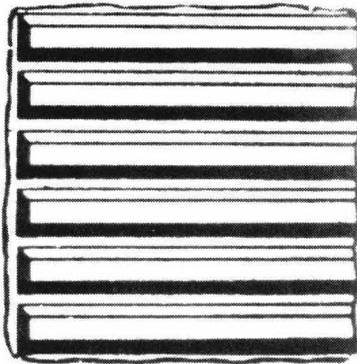


FIG 3,26 SUPERFICIE DE PLACA CORRUGADO

- i) Piramidal (el más usado) (Fig.3.25)
- ii) Corrugado (Fig.3.26)

Hay diseños especiales para soportar presiones hasta de  $60 \text{ Kg/cm}^2$ . (Fig.3.27) (Fig.3.28).

Otra gran variedad de modelos surge al tener que decidir el método de alimentación, entre los más comunes se tienen:

Alimentación por gravedad.- Es recomendable para bajas presiones o velocidades de filtración lentas, ó en dónde no se requiere dureza en las tortas.

Alimentación en montejes.- Estos son recipientes cerrados que alimentan al filtro mediante la aplicación de aire a presión sobre la suspensión. Su aplicación es para materiales difíciles de bombear o corrosivos. Las principales desventajas son las siguientes: consideración de un factor de seguridad; disponibilidad de una fuente amplia de aire a presión; la necesidad de colocar el montejeo cerca del filtro.

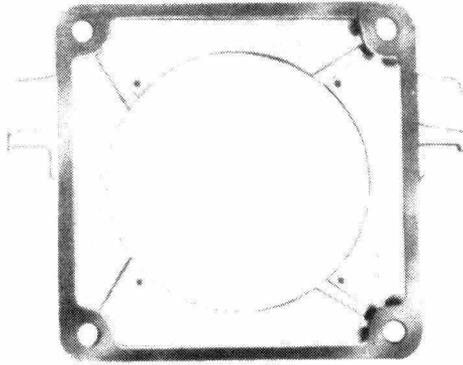


FIG 3,27 PLACAS Y MARCOS ESPECIALES  
PARA ALTAS TEMPERATURAS Y PRESIONES

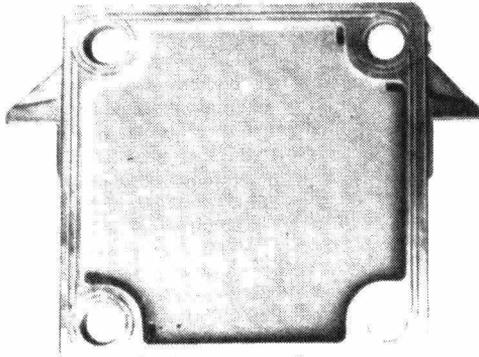


FIG 3,28 PLACAS Y MARCOS ESPECIALES  
PARA ALTAS PRESIONES

Alimentación con bomba.- Es el método normalmente usado. La selección de este tipo dependerá de las condiciones de succión, presión de descarga, temperatura y capacidad; así también, de las propiedades físicas y químicas del material.

a) Filtro de prensa de placas y marcos:

Este filtro está constituido de placas y marcos colocados en forma alternada sobre unas barras de soporte. El número de éstas puede variar, de acuerdo a la capacidad del filtro o por el espesor del marco, que determinará el espesor de torta en cada cámara filtrante.

Las etapas que se llevan a cabo en un filtro prensa, son las siguientes:

- 1) Período de filtración y formación de torta
- 2) Lavado de torta
- 3) Secado de torta
- 4) Descarga de torta
- 5) Limpieza y preparación para el siguiente ciclo.

Este filtrado de operación intermitente, es el más usado en la industria, debido a su gran versatilidad de partes del equipo, como por su fácil manejo, aunque elevado costo de mano de obra.

Para operar un filtro prensa, se colocan las cámaras filtrantes en la forma siguiente: una placa de lavado, un marco, una placa de filtrado. El medio filtrante, es colocado sobre los lados de cada placa, de manera que sellen perfectamente con cada marco.

Para el acomodo correcto de estas unidades, se han colocado unos botones metálicos sobre la superficie superior derecha, de tal manera que el botón 1 (\*), correspondiente a placas de lavado; el 2 (:), para los marcos y el 3 (!), para las placas de filtrado; el arreglo de éstas es: 1, 2, 3, 2, 1, 2, 3, 2, 1,; empezando y terminando con placas 1.

La alimentación de la suspensión al filtro se hace por el ducto formado por los orificios superiores de las unidades que penetran por la parte superior de los

marcos al interior de éstos, de tal manera, que los sólidos se acumulan dentro del marco y el filtrado pasa a través del medio filtrante, drenando por toda la placa, para descarga.

Para lavado y/o secado de la torta, se abre la línea de agua y/o aire (generalmente en contracorriente). Cuando el aire sale sin arrastrar agua, se cierra la línea de aire y se descarga la torta, hasta restablecer la nueva operación.

## B FILTRO DE HOJAS

Como su nombre lo indica, son filtros que consisten de un elemento filtrante contenido en un tanque cerrado que sirve como soporte de éste, y como tanque de suspensión. Pueden clasificarse en intermitentes, o continuos y, dependiendo de su construcción, pueden tener ejes verticales ú horizontales, y el elemento filtrante puede ser horizontal o vertical.

El elemento filtrante consiste de un número de - hojas comunicadas a un eje central, por medio de un ducto de drenado del filtrado, comunicado a éste con perforaciones que coinciden con cada hoja. Las hojas pueden ser redondas, triángulares o rectángulares y - están cubiertas por ambos lados, de medio filtrante ó tela metálica, que sirve como soporte del medio filtrante.

El tanque, ya sea vertical u horizontal, tiene - un cabezal móvil, para el fácil acceso del acomodo de las hojas ó salida de éstas, para descarga de la torta.

El filtro SPARKLER HRC, tiene sobre el eje central una rotación de 90 que con ayuda de vibraciones permite la descarga rápida y eficiente de la torta, ésto puede hacerse sin abrir el filtro; la torta cae a un tornillo sin fin, colocado en la parte inferior del tanque.

El filtro de hojas horizontales - tanque vertical, tiene una área de filtración de 1 a 30 m<sup>2</sup>.

El filtro de tanque vertical - hojas verticales, -- tiene una área de filtración menor de 60 m<sup>2</sup>; mientras - que los filtros de tanque horizontal - hojas horizontales, tienen una área promedio de 200 m<sup>2</sup>.

Una variable muy importante que afecta el área, es el claro entre las hojas que depende desde luego del - espesor de la torta, razonablemente manipulable, el espesor de la torta generalmente vá desde 2.5 cm. hasta - 8 cm.

Otras variables comunes son: el uso de vapor o gas comprimido, para soplar y eliminar la humedad residual en la torta, ya sea antes o después del lavado y el uso

de vacío, o aire caliente para secar la torta y descargarla.

Ejemplos típicos de estos filtros son:

Filtro de Tanque Horizontal - Hojas Verticales  
(Fig.3.29), con área de  $\pm 20 \text{ m}^2$ .

Filtro Kelly (Fig.3.30)

Diámetro	-	1.5 m.
Longitud de Hojas	-	3.0 m.
Separación de Hojas de		10 cm.
Area de Filtración de		130 $\text{m}^2$ .

Filtro Tanque Horizontal - Hojas Horizontales  
(Fig.3.31)

Filtro Tanque Vertical - Hojas Verticales  
, (Fig.3.32)

El campo de aplicación de estos filtros es para -  
la clarificación de licores, con el uso del filtro -  
ayuda en suspensiones, con pequeños porcentajes de sólidos y que son de lento asentamiento, o condiciones -

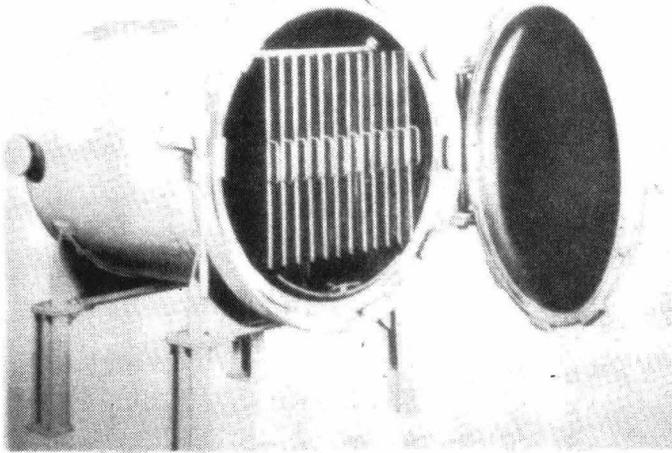


FIG 3.29 FILTRO DE HOJAS VERTICALES  
TANQUE HORIZONTAL

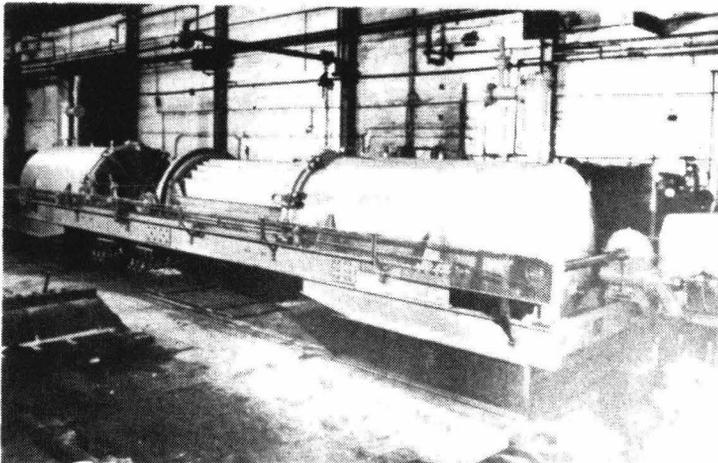


FIG 3.30 FILTRO KELLY

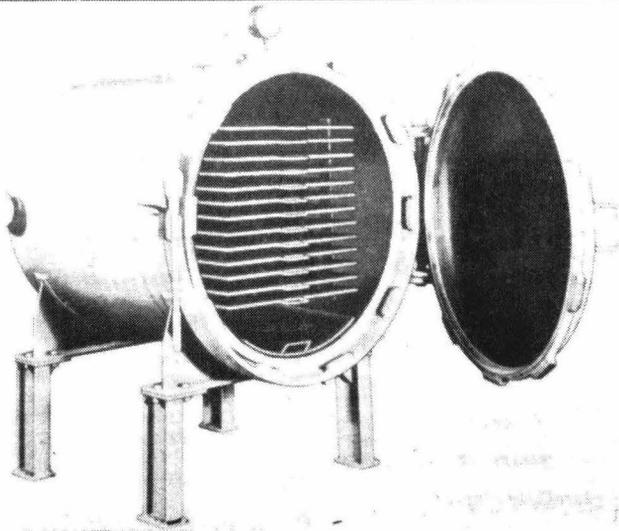


FIG 3,31 FILTRO DE HOJAS HORIZONTALES TANQUE HORIZONTAL

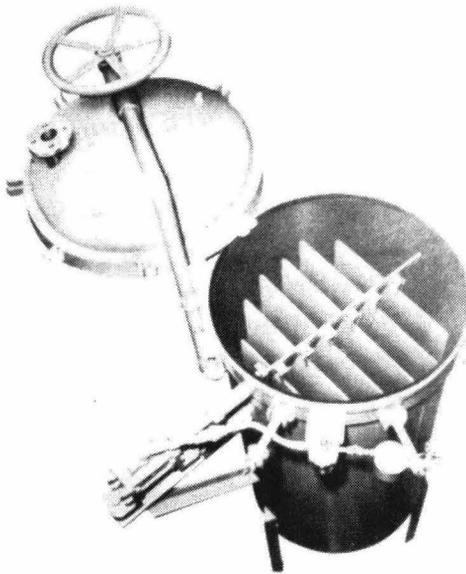


FIG 3,32 FILTRO DE HOJAS VERTICALES TANQUE VERTICAL

de altas temperaturas, líquidos volátiles, venenosos, etc.

Manejan una amplia variedad de productos químicos, como: azúcar, bebidas, aceites, jugos, licores, cáusticos, lodos metalúrgicos, etc.

**CAPITULO 4****C R I T E R I O D E S E L E C C I O N**

- 4.1 CONSIDERACIONES BASICAS
- 4.2 ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE  
DIMENSIONES DE EQUIPO
- 4.3 ALGUNAS CONDICIONES SOBRE COSTOS
- 4.4 TABLAS DE SELECCION

La selección del equipo para filtración, puede ser complicada si no se hace la debido aplicación de la teoría en pruebas de laboratorio o en plantas piloto. Los datos inmediatos obtenidos de dicha aplicación son: Filtrabilidad del sistema, el volumen de filtrado recolectado en la unidad de tiempo, y el volumen de torta formada en la unidad de tiempo, esto combinado con el conocimiento de las posibilidades que cada equipo ofrece y con algunas consideraciones esenciales que resuman las condiciones específicas del problema, podrán facilitar dicha selección.

Las consideraciones esenciales para la selección son:

1) Objetivos y/o Resultados Requeridos.

Clarificación

Recuperación de sólidos

Recuperación de líquido

Recuperación de líquido y sólido

Decoloración

Esterilización

Filtración para facilitar otras operaciones

Pulido

Lavado

Presecado

2) Características de la Suspensión.

Concentración de sólidos

Naturaleza de las partículas tales como: Forma, tamaño, irregularidad en el tamaño de partícula, rigidez, tipo de superficie, etc.

Propiedades del líquido, particularmente su viscosidad.

Interacción entre líquido y partículas sólidas

Densidad

Temperatura

pH

3) Tratamiento Previo de la Suspensión

4) Nivel de Producción, Ciclo de Duración

Pequeña, mediana o gran escala

Intermitente o continuo

5) Condiciones de Proceso.

6) Materiales de Construcción.

7) Medio Filtrante

8) Espacio Ocupado

## OBJETIVOS Y/O RESULTADOS REQUERIDOS

Dentro de los objetivos de la filtración, la clarificación se define como la eliminación de pequeñas cantidades de partículas suspendidas siendo la concentración de la suspensión generalmente de 0.15%. El grado de claridad obtenido de este proceso es dependiente del uso posterior, así si se requiere un filtrado fino puede presentarse una filtración secundaria como pulido o abrillantamiento del filtrado.

Recuperación de Líquido y/o Sólido.- En este caso generalmente se entiende la obtención de un filtrado claro y siendo necesario un máximo lavado para evitar las pérdidas de licor en la torta y/o para reducir la contaminación del líquido en la torta. También se desea generalmente una torta tan seca como es posible. Bajo tales condiciones, debe hacerse un balance entre la cantidad máxima de licor recuperado y la pureza máxima de la torta de acuerdo a los valores establecidos.

## TIPO DE SUSPENSIONES

Las suspensiones pueden clasificarse basandose en su concentración y/o en base a la rapidez de filtración, que influye determinantemente en la selección del equipo.

**Clasificación de las suspensiones:**

Suspensiones de filtración rápida

Suspensiones de filtración mediana

Suspensiones de filtración lenta

Suspensiones diluídas

Suspensiones muy diluídas

Es conveniente hacer algunas especificaciones sobre las suspensiones diluídas y las muy deluídas.

Las suspensiones diluídas incluyen aquellas suspensiones que tienen una cantidad considerable de sólidos, pero que no forman capa de sólidos con suficiente rapidez, como para manejarse en un filtro continuo. Esto se presenta cuando los sólidos son muy finos o la concentración es muy baja.

Las suspensiones muy diluídas incluyen cualquier categoría -

con la condición de que la concentración sea menor del 0.1%; los factores determinantes en este caso son la viscosidad -- de la solución y el tamaño de partícula, ya que la obstrucción se dá con mucha frecuencia con este tipo de suspensiones.

## PREPARACION DE MATERIALES

El tratamiento previo de la suspensión, puede facilitar y -- economizar la separación. Existe una gran variedad de téc-- nicas que influyen directamente sobre los factores de los -- cuales depende la separación.

Estos factores pueden ser sintetizados en:

Naturaleza de las partículas

Concentración de sólidos suspendidos

Propiedades del líquido; particularmente su viscosidad

Interacción entre líquido y los sólidos

La naturaleza de las partículas y el tamaño de éstas, pueden ser alteradas por diferentes caminos tales como: Pulverización previa, tiempo de formación de las partículas, diferencia de temperatura, concentración de reactivos y orden en -- que se han agregado, temperatura de reacción, etc.

Concentración de sólidos. La mayor influencia quizás es la concentración de sólidos.

Una torta formada de una suspensión diluida, tendrá general-

mente una mayor resistencia al flujo que una torta del mismo peso formada de una suspensión más concentrada. Por lo tanto es impráctico, si no imposible, formar una torta manipulable de una suspensión de más o menos 1% de sólidos. El resultado directo de tratar tales suspensiones será una obstrucción rápida sobre el medio filtrante y dificultad en su limpieza. Un incremento de sólidos en forma artificial que sea compatible química y económicamente con el sistema es conveniente, estos cambios pueden resolverse con el uso de filtro ayuda o de ciertos asentadores para descomponer la suspensión en dos fracciones, una de las cuales contiene mayor cantidad de sólidos para llevar a cabo una filtración por torta, mientras que la otra fracción será tratada por clarificación en un filtro adecuado.

Viscosidad del líquido. Si la viscosidad de un líquido puede ser reducida se incrementará la velocidad de filtración y se obtendrá una torta más seca. El método más usado para reducir dicha viscosidad es elevación de temperatura. El uso de agentes surfactantes activos que reducen la humectabilidad de las partículas sólidas y así minimiza la cantidad de

líquido adsorbido, también aumenta la veloc. de filtración.

líquido ocluido, también aumentan la velocidad de filtración

Floculación y Coagulación.- Las técnicas de pretratamiento más ampliamente empleadas son: floculación y coagulación.

Las palabras floculación y coagulación son usadas frecuentemente como sinónimos, pero es necesario hacer notar que describen dos fenómenos diferentes que pueden distinguirse en términos de mecanismos; estos fenómenos pueden ocurrir simultánea o consecutivamente.

Coagulación.- Es el fenómeno de adhesión directa de partículas por neutralización de sus cargas eléctricas con las de los iones formados por el coagulante.

Floculación.- Es la formación de aglomerados (de aspecto --gelatinoso) bajo ciertas condiciones químicas.

Las funciones químicas de los productos coagulantes y floculantes son:

Neutralización de cargas

Aceleración de formación de flóculo

Mejorar el asentamiento del flóculo.

Mejorar la consistencia del flóculo.

Los floculantes y coagulantes más usados están dados en la  
Tabla 4.1.

TABLA 4.1

## COAGULANTES Y FLOCULANTES TÍPICOS Y SUS APLICACIONES

Nombre Comercial	Composición	Tipo de Mecanismo	Aplicación típica	Ambito normal efectivo de pH	Concentración efectiva normal	Fabricante
Alumbre	$Al_2(SO_4)_3$ $x H_2O$	Electrolítico y <u>co</u> agulación	Tratamiento de agua	5 a 10	14 ppm	Inorganic Chemical Mfgs.
Sulfato - Férrico	$Fe_3(SO)_4x$ $H_2O$	Electrolítico y <u>co</u> agulación	Tratamiento de agua y - proceso <u>quí</u> mico	Cualquiera	5 a 100 ppm	Inorganic Chemical Mfgs.
Sodio CMC	Sodio carbo <u>x</u> imetilcelu <u>l</u> osa.	Coagulación y punteo	Proceso - mineral	3 a 9	0.3 a 0.5 lb/Ton.	Hércules, Du Pont
Kalgin W	Algina	Coagulación y punteo	Tratamiento de agua	4 a 11	arriba 5 ppm	Kelco Co.
Separan	Polímero de acrilamida	Punteo	Proceso - químico	22 a 10	0.2 a 10 ppm	Dow Chemical Company
Fibrefloc	Cola (animal)	Electrolítico	Tratamiento a deshechos	1 a 9	5 a 30 ppm	Armour & - Company

## NIVEL DE PRODUCCION

Las características de filtrabilidad del sistema, el volumen de producción de líquido y sólido, indican frecuentemente si la operación puede ser continua o intermitente. Volúmenes altos favorecen a los filtros continuos debido a los bajos costos de mano de obra. En volúmenes pequeños es difícil justificar una operación continua.

## CONDICIONES DE PROCESO

Las condiciones de proceso algunas veces limitan severamente la selección de un filtro. Por ejemplo, las operaciones al vacío pueden no ser prácticas por limitaciones de temperatura o presión; los materiales volátiles, explosivos y tóxicos, requieren un filtro hermético, continuo o intermitente.

## MATERIALES DE CONSTRUCCION

Las características corrosivas o abrasivas de la suspensión que maneje el filtro, así como las presiones que necesite soportar, decidirán el material de construcción del equipo.

Los filtros son construídos de fierro, plomo, bronce, aluminio, madera, níquel, metal monel y otras aleaciones especiales, acero inoxidable, hule duro, plásticos, etc. Además -- las estructuras pueden ser galvanizadas, estañadas, esmaltadas o recubiertas de hule, aunque también pueden presentar-- ser partes electrochapeadas. Muchos productos farmacéuticos y alimenticios son filtrados satisfactoriamente en equipo de aluminio. Plomo duro y aleaciones especiales son usadas en donde debe evitarse la corrosión y/o la contaminación. La - madera se usa en condiciones ácidas. El fierro fundido es - generalmente empleado por ser un material fuerte y barato.

#### MEDIO FILTRANTE

Lo fundamental en cualquier filtro es el medio filtrante, de hecho aún el más ingenioso filtro es inútil sin un medio adecuado.

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

La capacidad de un medio filtrante para reducir de sólidos suspendidos una suspensión, se llama retención, y es función no sólo de las características de medio filtrante, sino también de los siguientes factores:

Propiedades físicas del fluido.

Propiedades químicas del fluido.

Duración de la filtración

Tamaños, forma y naturaleza química de los sólidos suspendidos.

Para responder a que tan fino puede filtrar un determinado medio filtrante, es decir cual es el tamaño de la menor partícula que puede retenerse, habrá que considerar el conjunto completo de propiedades y métodos empleados.

Los factores involucrados en el intento de definir el grado de finura de la filtración alcanzada con un determinado medio, caen dentro de tres grupos:

Estructura del medio

Mecanismo de filtración.

Método de medida usado.

En realidad la selección del medio filtrante es un juego de valores locales, de velocidad de filtración y retención, dado en función de las condiciones específicas del problema.

La capacidad de filtración de un medio filtrante está dado - por sus siguientes características:

Tamaño mínimo de la partícula retenida.

Permeabilidad o resistencia al flujo.

Relación entre oclusión del medio e incremento de resistencia al flujo.

Resistencia al calor, a la acción de productos químicos, a la abrasión y a la flexión.

La resistencia a la rotura.

Estabilidad dimensional.

La facilidad de limpieza.

Tamaño mínimo de la partícula retenida.- Existe una diferencia básica entre tamaño del poro y tamaño de la partícula -- más pequeña que un medio filtrante puede retener, sin embargo lo que más se maneja para seleccionar un medio filtrante es el tamaño del poro.

La determinación exacta y precisa de las propiedades de retención de un medio filtrante es conveniente para hacer una mejor selección. Existen varias técnicas para esto; desde análisis en un microscopia, hasta la más usada, "Prueba de punto de burbuja". Lo más adecuado y práctico es hacer determinaciones bajo condiciones de operación, lo que consiste en pasar un fluido, ya sea líquido o gas, conteniendo una baja concentración de partículas suspendidas, las que al depositarse en el medio puedan ser medidas y contadas.

Permeabilidad del medio filtrante.- La resistencia al flujo de un medio filtrante depende tanto del tamaño de los poros individuales como del número de poros por unidad de área. En realidad, sólo se cuentan los orificios de una parte de la superficie del medio, la proporción exacta dependerá de las propiedades físicas del medio y del método por el cual se ha fabricado.

Una guía general de porosidades probables de materiales más comunes está dada en la Tabla 4.2. Estos datos están basados en consideraciones teóricas que muestran las posibles variaciones con partículas esféricas, de tamaño uniforme y

combinaciones.

La medición experimental de la permeabilidad de un medio filtrante se basa en la medición de velocidad de flujo de un -- fluido bajo una diferencial de presión.

Un equipo típico para determinar la permeabilidad de papel - se ilustra en la Fig. 4.1.

En la tabla 4.2 se dá un resumen de datos típicos de permeabilidad para diferentes medios filtrantes.

Limite de retención de sólidos.- Para la eliminación de pequeñas cantidades de sólidos contenidos en líquido o gases, - tales como la clarificación de aceites y la purificación de aire, es práctica común el uso de elementos filtrantes lavables y de reemplazo fácil; este tipo de unidades requerirá - la mayor duración posible entre sucesivos reemplazos o lavados.

Tanto los sólidos acumulados como los medios filtrantes di-fieren en variedad de tipos, por lo que se presentan diferentes problemas. Basándose en los mecanismos de filtración se

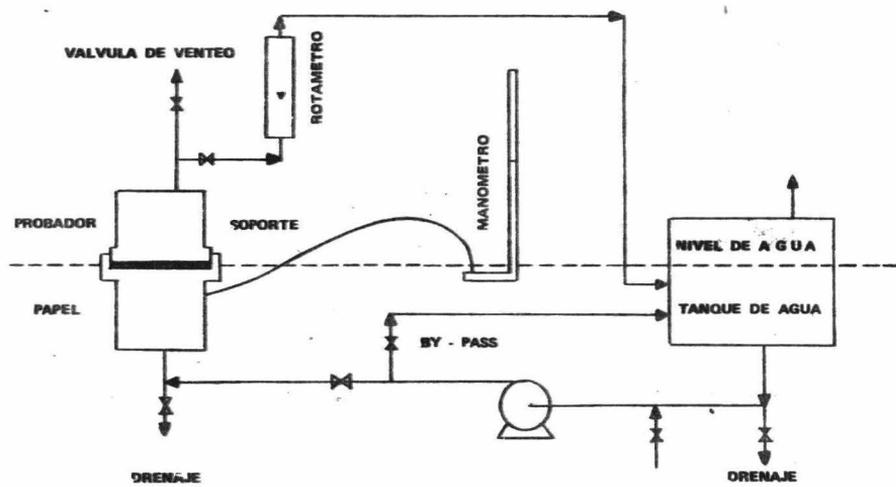


FIG. 4.1 EQUIPO PARA DETERMINAR PERMEABILIDAD

tiene que una filtración por medio filtrante formará más rápidamente una capa de sólidos que impedirá el paso del fluido, mientras que una filtración profunda dispersará la misma cantidad de sólidos, por parte ó todo el espesor del medio filtrante y así se verá menos afectado. Del depósito de sólidos, resulta una simultánea elevación de presión y una disminución en la propiedad de retención del elemento filtrante.

De la Tabla 42 se deduce la gran variedad de medios filtrantes y ejemplos típicos que se describirán brevemente.

TABLA 4.2

MEDIOS FILTRANTES

T I P O	EJEMPLOS	TAMAÑO MINIMO DE PARTICULA RETENIDA	POROSIDAD	(Tipo de Escala)	( D a t o s )
		(Micras, u)	(% Area Libre)		
FABRICACIONES SOLIDAS	Vasijas lavadoras	5	5 - 10.		
	Tubos Alambrados				
CUERPOS RIGIDOS POROSOS	Cerámicos	1	30 - 50	a) 1/min./m <sup>2</sup> de agua ó 1/min./m <sup>2</sup> de aire a presión en kg./cm. <sup>2</sup>	Poros de 15 a 20 micras: a) 3 cc/min./m <sup>2</sup> de aire a 5 kg./cm. <sup>2</sup> P = 2.75 mm. Hg.
	Metal Sinterizado	3		b) mm. Hg./m <sup>2</sup> ó por elemento: a través de un espesor de más o menos de 1 cm.	b) 2 l/min./m de agua P = 75 mm. Hg.
HOJAS NO TEJIDAS	Filtros	10	60 - 95	a) 1/min./m <sup>2</sup> de aire	1 - 50 l/min./m <sup>2</sup>
				b) 1/min./m <sup>2</sup> de agua	1 - 200 l/min./m <sup>2</sup>
HOJAS NO TEJIDAS	Celulosa	5	60 - 95	a) Tiempo para flujo de ± 100 cc. de agua a presión de ± 245 mm. Hg.	4 - 100 segundos
	Papel			b) Tiempo para flujo fijo de -- aire a presión definida.	1.5-50 segundos
HOJAS NO TEJIDAS	Vidrio	2	5 - 10	c) 1/min./10 cm <sup>2</sup> de aire a -- presión de 10 cm. agua Manom.	40 - 400 litros
	Hojas y Placas	0.5		d) Presión necesaria para producir un flujo de ± 28 l/min.	1 - 73 cm. agua Manom.
S O L I D O S S U E L T O S	Tierra diatomácea	Submicrón	80 - 90	a) Expresada como relación: relacionando el valor más - bajo de un promedio de diferentes productos.	
	Perlita expandida	"			
S O L I D O S S U E L T O S	Polvos: Carbón	"	80	b) Darcies, basados en flujo de agua.	0.05 - 5 darcies
	Polvos Absorbentes	"			
S O L I D O S S U E L T O S	Materiales Burdos	"	80	b) Darcies, basados en flujo de agua.	0.05 - 5 darcies
	Fibras: Asbesto	"			
PLACAS METALICAS	Algodón	3	15 - 35	1/min./cm. <sup>2</sup> de agua	Malla No. 100 Tejido Cuadrado Alambre de 0,12 mm. y 30% Area 30 l/min./cm <sup>2</sup> .
	Alambres Tejidos	5			
PLASTICOS POROSOS	Almohadillas, Láminas, etc.	3	30 - 50		
	Membranas	0.005			
TELAS O TEJIDOS	Algodón		10	1/min./m <sup>2</sup> de aire	Algodón Tordido: 1 - 4 l/min./m <sup>2</sup>
	Fibras Sintéticas				Nylon Monofilamento: 10 - 20 l/min./m <sup>2</sup>
CARTUCHOS			10 - 25	1/min./m <sup>2</sup> de agua	Nylon Multifilamento: 1.0 - 15 l/min./m <sup>2</sup>
	Cartuchos Devanados	2			Vidrio: 0.5 - 5 l/min./m <sup>2</sup>
CARTUCHOS	Cartuchos Devanados	2	10 - 25	1/min./m <sup>2</sup> de agua	1 - 2 l/min./m <sup>2</sup>

## FABRICACIONES SOLIDAS.-

## Vasijas Lavadoras.

Consta de varios lavadores especialmente maquinados y ensamblados en un eje central; cada uno tiene surcos en forma de concha para que al unirse formen huecos muy finos, hasta de 5 micras. Su uso principal es como soporte de filtro ayuda.

## Tubos Alambrados.

Están compuestos de alambre enrollado en una estructura adecuada, el alambre puede o no ser de sección circular, su calibre es variable.

## CUERPOS RIGIDOS POROSOS.-

## Cerámicos.

Son de importancia por su resistencia al ataque químico y -- estabilidad a altas temperaturas y su bajo costo. Incluye -- arcillas ricas en sílice. Su presentación en la industria -- son placas comprimidas con perforaciones de cerca de 0.65 cm. de diámetro. Sus desventajas principales son su relativa -- fragilidad y el restringido número de formas disponibles.

### Metal Sinterizado.

Son producidos a partir de metales pulverizados que se comprimen sobre alambre tejido. Su importancia radica en el control preciso y uniforme del tamaño y forma del polvo metálico que se comprime en el alambre que puede ser de uno o varios hilos, controlando así perfectamente la porosidad del medio; su gran desventaja, es el elevado costo.

### HOJAS METALICAS.-

#### Placas Perforadas.

Su uso como medio filtrante es limitado, ya que las perforaciones no pueden ser menores de 75 micras; aunque funcionan como soportes de medios filtrantes más finos, se usan además como tamizadores y para filtración burda. Sin embargo aplicando las técnicas de rayos Laser se pueden obtener perforaciones extremadamente finas.

#### Alambre Tejido.

Se encuentra disponible en gran variedad de tejidos y metales. La tela de alambre se produce buscando el equilibrio entre usar alambre fino para obtener una malla de tamaño mínimo --

y alambre grueso para que la tela tenga propiedades mecánicas aceptables, tales como rigidez y resistencia al desgaste. El más usado es el llamado tejido Holandés que usa un mayor número de alambre de diámetro más grueso en la trama transversal.

Cuando los alambres se cruzan (una vez por arriba y la siguiente por abajo) se produce lo que se conoce por tejido Holandés sencillo. El tejido Holandés cruzado es una tela más densa que se logra cuando los alambres de la trama longitudinal cruzan a dos de la trama transversal.

Se puede obtener una gran variedad de tamaños de abertura en materiales tejidos hasta de 5 micras. Aunque bajo ciertas normas representa un grado alto de finura, para este tipo de materiales, se considera relativamente burdo. Tabla - 4.3.

TABLA 4.3

<u>Número - de Hilos</u>	<u>Tipo de Tejido</u>	<u>Peso Kg/M<sup>2</sup></u>	<u>Valor en Micras</u>	<u>Velocidad de Flujo de Agua</u> *
10 x 52	Torcido Sencillo Liso	0.05	350	3.36
12 x 64	Torcido Sencillo Liso	0.037	325	2.88
24 x 110	Torcido Sencillo Liso	0.03	140	3.06
30 x 150	Torcido Sencillo Liso	0.018	120	3.42
30 x 150	Torcido Sencillo Liso	0.018	68	1.32
50 x 250	Torcido Sencillo Liso	0.011	60	2.88
50 x 250	Torcido Doble Liso	0.011	40	1.20
16 x 200	Torcido Sencillo Cruzado	0.03	88	1.50
50 x 700	Torcido Sencillo Cruzado	0.013	47	1.80
50 x 500	Torcido Doble Cruzado	0.017	35	1.02
165 x 1,400	Torcido Sencillo Cruzado	0.007	17	0.48
200 x 1,400	Torcido Sencillo Cruzado	0.008	10	0.30
400 x 2,800	Torcido Sencillo Cruzado	0.042	5	0.18

\* 1/mm/cm<sup>2</sup>.

Datos de Michigan Wire Cloth Co.

## PLASTICOS POROSOS. -

## Almohadillas.

Estos materiales se encuentran disponibles en una gran variedad de materiales incluyendo el PVC, Polietileno, Teflón, Poliuretano, etc. y en una amplia gama de formas desde perfiles y tubos rígidos hasta placas porosas rígidas, así como almohadillas y hojas -- flexibles con espesas que pueden ir desde 25 mm. hasta milésimos, el tamaño de los poros puede ir variando desde agujeros grandes hasta perforaciones de 1 micra. Para su producción se siguen tanto técnicas de sintetizado como técnicas de formación de espuma. Un producto de alta calidad es el Milli-Pore elaborado con hojas muy finas de 7 a 12 micras por técnicas de radiación que dá por resultado poros uniformes de 1 a 10 micras. Su elevado costo es una gran desventaja -- pero por ser un plástico poroso tan fino se justifica y clasifica casi como una membrana.

## Membranas.

Una membrana es esencialmente una película muy delgada con poros extremadamente finos, su variedad dependerá del uso a pequeña o gran escala. El espesor de los grados comerciales van de 150 micras hasta cerca de 0.2 micras.

Las membranas de nitrato de celulosa fueron las primeras en usarse y su aplicación se limitó al laboratorio. Actualmente por el desarrollo tecnológico se usan otros materiales tales como ésteres de celulosa, PVC, polietileno y fluoro carbón; su uso se ha extendido a gran escala tal como la esterilización de cerveza.

La mayoría de las membranas en la actualidad se fabrican con ésteres de celulosa, lo cual tiene la desventaja de ser disueltas por muchas substancias tales como cetonas, ésteres, alcoholes, nitroparafinas y álcalis fuertes, además su límite de temperatura es de más o menos 125°C.

Las membranas de polietileno son de mayor estabilidad química.

Una adición conveniente a este tipo de membranas - es la membrana de plata, recientemente descubierta en U. S. A.; cuyos 6 grados tienen un tamaño máximo de - poro de 5 micras a 0.2 micras y con espesor de 2 a 4 mm.

Su uso en filtración de líquidos es amplio y funcionan como medios de superficie.

## TELAS O TEJIDOS.-

Es el grupo más grande de medios filtrantes por -  
 amplitud de su aplicación y por el gran número de -  
 variantes que presenta, las cuales deben considerarse  
 para una buena elección; estas variantes son:

Naturaleza de la fibra: natural o sintética

Forma de la fibra: monofilamento, multifilamento  
 o hilatura

Grosor del hilo y torsión

Número de hilos: trama longitudinal, trama trans-  
 versal

Tipo de tejido: La Tabla 4.4 muestra las caracte-  
 rísticas principales de los teji-  
 dos más usados.

Acabado: en crudo, pre-escogido, blanqueado, ca-  
 landreado, afelpado, estabilizado a calor o acabado  
 con resinas.

Resistencias: al calor, rasgado, ataque químico, -  
 desgaste, etc.

TABLA 4.4

CARACTERISTICAS DE LOS TEJIDOS

Tejido	Esfuerzo a la tensión	Claridad del filtrado	Velocidad de flujo	Torta	Tendencia a evitar la obstrucción	Encogimiento
Franela de algodón	Perfecto	Alta	Perfecta	Pobre	Buena	Irregular
Chain	Bajo	Alta	Alta	Perfecta	Perfecta	Irregular
Loneta	Alto	Perfecta	Pobre	Buena	Pobre	Regular
Muselina	Bajo	Pobre	Alta	Buena	Buena	Regular
Tela cruzada	Perfecto	Perfecta	Alta	Perfecta	Perfecta	Irregular

La Tabla 4.5 muestra la composición química y algunas características de las fibras más comunes.

La Tabla 4.6 muestra la naturaleza básica de las principales fibras en el mercado.

Se debe hacer notar que en muchos casos las fibras son únicamente el tipo de cada clase y que en la práctica puede haber variaciones, dependiendo de la naturaleza del proceso y manufactura del proveedor.

Las principales fibras usadas son:

Algodón.

El algodón cuenta actualmente con el mayor porcentaje de fabricación y aplicación en medios filtrantes, debido a su reducido costo. Tiene un magnífico esfuerzo mecánico y buena resistencia a la abrasión, ofrece excelente retención a las partículas por la longitud de sus filamentos, tiene buena resistencia a la degradación térmica.

Sus principales desventajas son el ataque por ácidos -

TABLA 4.5

CARACTERISTICAS Y COMPOSICION QUIMICA DE ALGUNAS FIBRAS

NOMBRE	MATERIAL BASICO	REQUERIMIENTOS	TEMERIDAD A LA RUPTURA (g/denier)	RESISTENCIA A LA ABRASION.	RESISTENCIA AL CALOR.	TEMPERATURA MAXIMA DE OPERACION °C	RESISTENCIA A LOS ACIDOS	RESISTENCIA A LOS ALCALIS.	RESISTENCIA A LOS AGENTES OXIDANTES.	RESISTENCIA A LOS SOLVENTES.	GRAVEDAD ESPECIFICA	PRECIO CON RELACION AL ALGODON. = 1.0	FORMA DE TEJIDO.	% USADO EN FILTRACION.
ACETATO	Acetato de Celulosa $[C_6H_7O_2(OOCCH_3)_3]$	Derivado de la Celulosa Natural. No menos del 92% de los grupos Hidroxilos estan acetilados.	1.2 - 1.5	B.	B.	100	B.	B.	B.	B.	1.33	1.0	F, S	20
ACRILICO	Acrilo - Nitrilo $[CH_2 - CH_2]$	Por lo menos 85% en peso de estas unidades.	2.0 - 4.8	B.	B.	150	B.	B.	B.	E.	1.18	2.7	S	2
FLUORO CARBON	Tetra - Fluoro etileno $-(CF_2 - CF_2) -$	n alrededor de 1000	1.9	B.	E.	260	E.	E.	E.	E.	2.1 - 2.3	25.0	F, M	1
MODACRILICO	Acrilo - Nitrilo $[CH_2 - CH_2]$	35 a 85% de estas -- unidades en peso.	2.5 - 3.0	B.	M.P.	93	B.	B.	B.	B.	1.3	3.2	S	2
NOMEX	Poliamida-Aromática $[-C-NH-]$	Reciente adición - al grupo de nylon.	2.1 - 8.0	B.	P.	93	M.	B.	P.	B.	1.14	2.2	F, S, M	5
NYLON	Poliamida-Alifática $[-C-NH-]$		3.8 - 9.2	E.	B.	95	M.	E.	P.	E.	1.14	2.5	F, S, M	9
POLIESTER	Etilen glicol y -- Acido tereftálico $[COOC_6H_4 COOCH_2CH_2]$	Por lo menos 85% en peso del ester.	2.2 - 7.8	E.	B.	150	B.	B.	B.	E.	1.39	2.7	F, S	2
POLIETILENO	Etileno $[CH_2 = CH_2]_n$	Por lo menos 85% en peso de etileno.	1.0 - 7.0	B.	M.P.	75	B.	B.	P.	E.	0.92	2.0	M	1
P. V. C.	Cloruro de Vinilo $[CH_2 - CHCl]_n$	Por lo menos 85% en peso de cloruro de vinilo.	1.0 - 3.0	B.	P.	75	B.	E.	B.	R.	1.2 - 1.55	2.7	F	1
POLIPROPILENO	Propileno $[CH_3 - CH = CH_2]_n$	Por lo menos 85% en peso de propileno.	4.8 - 8.5	E.	P.	75	E.	E.	B.	B.	0.92	1.75	F, S, M	1
RAYON	Compuesto de la Celulosa regenerada.	No más del 15% en peso de los hidrógenos de los grupos hidroxilos que se han substituido.	1.5 - 5.7	B.	B.	100	R.	R.	R.	B.	1.52	1.0	F, S	20
SARAN	Cloruro de Vinilideno $[CH_2 - CCl_2]$	No menos del 80% en peso de cloruro de vinilo.	1.0 - 2.3	B.	P.	71	B.	B.	R.	B.	1.70	2.1	F, M	1
FIBRA DE VIDRIO	VIDRIO		6.0 - 7.3	P.	E.	200	P.	P.	E.	E.	2.56	2.2	F	7

E. = EXCELENTE  
B. = BUENA  
M. = MEDIANA  
R. = REGULAR  
P. = POCA  
M.P. = MUY POCA

\* F = MULTIFILAMENTO  
S = STANDARD  
M = MONOFILAMENTO

TABLA 4.6

EQUIVALENTES GENERICOS DE MARCAS COMERCIALES  
PARA FIBRAS SINTETICAS

	Acetato	Acrílico	Fluoro- carbón	Modacrí- lico	Polia- mida	Poli- ester	Cloruro de poli- vinilo	Poli- prop leno	Sarán
Acrilán		-							
Arnel	-								
Avisco	-								
Caprolan									
Celanese	-								
Courlene									
Creslán		-							
Dacrón									
Dralón		-							
Dinel									
Fluon									
Kodel									
Nomex									
Nylon									
Orlón									
Perlón									
Teflón									
Terileno									
Vinyón									
Zefrán		-							

débiles en caliente o ácidos concentrados en frío -  
mientras que su exposición a soluciones cáusticas -  
tiene como desventaja hinchar la fibra; por otro la  
do el algodón está sujeto a rompimiento, enmohecimien  
tò y encogimiento.

### N y l o n.

El Nylon después del algodón, es la fibra que cuen  
ta con mayor porcentaje en uso como medio filtrante y  
su resistencia a la abrasión es excelente.

Su alta tenacidad y su resistencia a la abrasión -  
hace que esta fibra se pueda obtener en monofilamento,  
en filamento contínuo y en hilatura, resulte ser una  
fibra de sobresaliente importancia como material fil-  
trante. Tiene una superficie rugosa excelente para -  
una buena adherencia de la torta, no siendo atacada -  
por el moho y las bacterias, asímismo, cuenta con una  
alta resistencia a la tensión perdiendo un 15% de su  
resistencia cuando está mojada.

Otra cualidad es que para propósitos de filtración

es altamente elástico siendo ideal cuando está sujeta a flexiones continuas; 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 filtros rotatorios al vacío en donde se necesita una buena estabilidad dimensional.

Tiene buena resistencia a ácidos orgánicos y minerales, con excepción de los ácidos nítrico, sulfúrico, carbónico concentrado; tiene buena resistencia a la mayoría de los agentes oxidantes y trabaja muy bien en la mayoría de los solventes orgánicos; sin embargo a altas temperaturas y concentraciones los álcalis lo disuelven, el calor húmedo le ocasiona degradación hidrolítica.

### Polipropileno.

Actualmente el polipropileno ha avanzado t n rápido-  
damente en la filtración industrial que est  des-  
plazando al polietileno y nylon, debido a que cuenta con  
la más baja densidad de todos los medios filtrantes -  
hasta ahora conocidos, dando como resultado una mayor  
 rea por kilogramo de fibra usada, reflejándose desde  
luego en sus bajos costos de adquisición y embarque.

Su resistencia a la abrasión y a la flexión son muy  
buenas. Es prácticamente inerte a los ácidos y  lca-  
lis en cualquier concentración excepto ácido nítrico y  
agentes oxidantes a altas temperaturas. La fibra se  
hincha a temperatura ambiente y pierde resistencia a  
la tracción en la presencia de hidrocarburos clorina-  
dos y es soluble a 71 C en ellos. No es soluble la -  
glicerina, éter, ni acetona.

Se obtiene en monofilamento, filamento continuo y  
en hilatura.

Esta fibra cuenta con una superficie fina excelente para descarga eficiente de la torta, evitando la oclusión del medio filtrante, su única limitación es que no puede ser trabajada arriba de 80°C.

#### Polietileno

Esta fibra se empezó a usar para propósitos de filtración en forma tejida de monofilamento y multifilamento de alta densidad, actualmente se usa en forma de monofilamento tejido de baja densidad, siendo de gran aceptación debido a dos causas básicas que son: su economía y su resistencia química.

Su resistencia a la abrasión es regular. Su resistencia a la tracción es regular a buena, dependiendo del tejido. Su superficie lisa permite soltar fácilmente las tortas formadas al filtrar. Se obtiene en monofilamento, filamento continuo e hilatura. Esta fibra es magnífica para ácidos minerales, álcalis, soluciones acuosas salinas y ácidos orgánicos. Se suaviza a 110°C y se derrite entre los 115°C y los 123°C.

Tiene resistencia a los solventes orgánicos y a los agentes oxidantes a temperatura ambiente mas no a temperaturas superiores a 65.5°C.

#### Acrílico.

Las fibras acrílicas son considerablemente superiores al poliéster y al nylon en calor húmedo. Tienen buena resistencia a la mayoría de los ácidos minerales y orgánicos y poca a otros ácidos sintéticos, buena resistencia a los agentes oxidantes y excelente resistencia a solventes orgánicos.

La fibra está disponible en forma torcida y multifilamento. Se ha usado satisfactoriamente en la filtración de solventes, pinturas, barnices y aceites minerales.

#### Orlón.

Se obtiene en fibra corta o en hilados y tejida en monofilamento y multifilamento. Su resistencia a la

abrasión y su tenacidad son regulares. Resiste en forma buena o excelente a los ácidos minerales, a muchas sales ácidas, a grasas y aceites, a sal neutra, a solventes comunes, y a productos químicos oxidantes. Es resistente a condiciones de altas concentraciones calientes de gases corrosivos, así como al cloro.

Dinel.

La resistencia a la abrasión y a la tensión son buenas. Su resistencia a ácidos orgánicos es excelente, incluyendo agua regia, ácido crómico, nítrico, fosfórico y sulfúrico. Presenta buena resistencia a la mayor parte de los solventes comunes, excepto acetona tibia y otros de su misma familia. Se encoge a  $93^{\circ}\text{C}$  y se suaviza entre  $145^{\circ}\text{C}$  y  $163^{\circ}\text{C}$ .

Sarán.

Su resistencia a la abrasión y a la tracción se pueden clasificar de regular a mala. Tiene excelente

resistencia a los ácidos, aunque sóloamente resistencia regular ante ácido sulfúrico concentrado. Los álcalis no le afectan excepto el hidróxido de amonia. Debido a su superficie lisa suelta fácilmente las toras de filtrados. Trabaja cómodamente a temperaturas de 71°C aún cuando en forma intermitente permite temperaturas hasta 100°C. Normalmente se obtiene en monofilamento, pero también se puede obtener en filamento contínuo y en fibra corta o hilatura. No se quema, pero se derrite. No es soluble en acetona.

## CARTUCHOS.

Los elementos tipo cartucho se fabrican en diferentes tipos de medios filtrantes, como: cerámica, metales sinterizados, fibras y papel.

Estos se hacen enredando hilo en una pantalla cilíndrica, ya sea peinando cada capa conforme ésta se vá formando o incluyendo en el conjunto un medio pulverizado cuidadosamente controlado mientras el proceso de enrollado procede.

En otro sistema se van agregando capas de fibra en una pantalla similar; se impregnan con diversas resinas y después se someten a polimerización para dar una estructura rígida que resista la ruptura, en cogimiento o distorción. La resina también evita la absorción de líquido por filtrar.

Los cartuchos funcionan como filtros de profundidad.

Existen en el mercado diversos tipos, dependiendo

de su fabricación y aplicación, por ejemplo:

Para ácidos y álcalis diluídos, productos derivados del petróleo, gases y agentes oxidantes y no oxidantes, se usan cartuchos con pantalla de rayón y como medio filtrante algodón.

Los cartuchos con pantalla de algodón y medio filtrante de algodón son ideales para líquidos acuosos, alcoholes de tipo polar, para agua potable, bebidas, productos alimenticios y donde se requiere resistencia química.

Para ácidos fuertes, álcalis concentrados, agentes reductores fuertes y otros fluídos que reaccionan con el algodón o rayón, se emplean cartuchos a base de propileno que usan como medio filtrante propileno que puede ser reemplazable; son ideales para vinos, licores, jarabes, lociones, baños de galvanoplastia.

(Datos de A. M. F. Cuno)

## HOJAS NO TEJIDAS.-

## Fieltros.

Son esencialmente hojas formadas de fibras cortas colocadas al azar, funcionan como medios filtrantes de profundidad. Los fieltros sueltos, es decir los que están impregnados con un agente pegador, dependen para su resistencia del acomodo mecánico de las fibras.

Un material mecánicamente más débil es el de tela traslapada hecha de algodón o de lana o una mezcla de estos dos, algunas veces con fibras de asbesto y resinas modificadas de fenol formaldehido, en la práctica se puede aumentar la resistencia y rigidez usando capas de otra tela como la muselina, que son de gran importancia para la filtración de aire.

Hasta últimamente se han desarrollado técnicas adecuadas para producir fieltros con materiales sintéticos. Los fieltros sintéticos se impregnan con resina de fenol formaldehido; las propiedades de

éstos, tanto físicas como químicas están sujetas y limitadas por supuesto por las propiedades de las fibras, de las cuales están hechos, así como también de la resina usada, y éstos generalmente son recomendables para condiciones alcalinas.

Algunas fibras sintéticas se usan para fabricar - telas traslapadas, la más usada es la fibra de vidrio.

Existen tres clases de fibra de vidrio: la más - burda la forman fibras que van de un máximo de 14 micras a un mínimo de 6 micras; la intermedia con menos de 3.5 y como máximo 10 micras; la más fina con 95% - de fibras de 3 micras y 5% de menos de una micra. Una limitación de la fibra de vidrio es que no puede trabajar a temperaturas mayores de 50°C. Su principal - aplicación es para filtración de aire.

Hay otras fibras minerales que si soportan altas - temperaturas, la más importante es la lana mineral - también llamada lana de escoria o que se hace con escoria fundida. Las longitudes de estas fibras van de

4 a 5 micras; la mayor cantidad se encuentra entre 6 y 12 micras. La lana mineral se comprime gradualmente para formar bloques o almohadillas con una densidad de 0.24 a 0.32 Kg/l y pueden usarse a 800°C, - por lo que generalmente se usan para esterilización de gases y filtraciones extremas de presión y temperatura.

#### Papel.

El papel filtro está compuesto de incontables fibras, dando por resultado una red de diminutos espacios, huecos o poros. Se pueden fabricar papeles con variación en la porosidad; desde una consistencia -- impermeable hasta una consistencia abierta.

Las fibras de celulosa que son relativamente burdas (más o menos 30  $\mu$ ) pueden mejorar sus características por fibrilización. La fibra de vidrio no se puede fibrilizar, pero se pueden obtener fibras hasta de 0.03 u; por lo que los papeles fabricados con celulosa tienen menor poder de retención que los de fibra de vidrio.

Sin embargo en la mayoría de las aplicaciones industriales para filtración de líquidos, se usan papeles a base de celulosa, ya que son más baratos y tienen mejores propiedades mecánicas. El papel a base de fibra de vidrio, se usa en filtración de líquidos en el laboratorio y su mayor aplicación es la filtración de aire.

Una diferencia importante entre papeles filtrantes, es que los que están fabricados de celulosa, se hinchan cuando se humedecen, mientras que los de fibra de vidrio no. Los filtros de celulosa más cerrados se fabrican golpeando las fibras de manera que se produzcan poros más finos, mientras que en los de fibra de vidrio puede escogerse la fibra más fina para obtener poros de la finura deseada, dando como resultado mayor poder de retención y velocidad de filtración más alta.

Los papeles de celulosa de fibra de vidrio también están impregnados con resinas de malamina y neopreno para aumentar la resistencia del papel ya

sea en húmedo o en seco. Para producir un papel repelente al agua se puede usar silicón.

La Tabla 4.7 muestra propiedades comparativas de papeles filtro a base de celulosa y de fibra de vidrio.

La Tabla 4.8 muestra las propiedades de papeles filtro a base de celulosa.

T A B L A 4.7

## PROPIEDADES COMPARATIVAS DE PAPELES FILTRO.

GRADO		DE FIBRA DE VIDRIO			DE CELULOSA		
		GF/A	GF/B	GF/C	No.41	No.40	No.42
PESO BASE	g/m <sup>2</sup>	52.4	150	55	91	95	100
ESPEJOR	mm.	0.25	0.64	0.26	0.18	0.18	0.18
TENSION	g.	480	1150	550	8	12	25
VELOCIDAD DE DIFUSION	min.	2.5	4.5	2.5	170	140	120
ABSORCION DE AGUA	g.	500	550	450	45	180	450
FLUJO DE AGUA	seg.	65	85	100	150	30	7.5
PERMEABILIDAD DE AIRE		140	50	90	-	-	-

## N O T A:

- Resistencia a la tensión - Medida sobre 1 cm. de amplitud
- Velocidad de difusión - Tiempo medido para ascender el agua 7.5 cm. de una tira de papel.
- Absorción de agua - Peso de agua absorbida por 100 g. de papel.
- Flujo de agua - Tiempo para 500 ml. de agua pasen a través de un papel con diámetro de 7 cm. bajo un vacío de 2 cm.
- Permeabilidad - Volúmen de aire en c.c./100 cm<sup>2</sup>/seg. diferencial de presión en cm. de agua.

(DATOS DE H. REEVE ANGLE &amp; CO.)

T A B L A 4.8

## PAPEL FILTRO A BASE DE CELULOSA

GRADO	PESO g/m	ESPESOR 1/10 mm	COLOR	SUPER- FICIE	RAPIDEZ	RESIST. HUMEDAD	CLARIDAD	RETENCION MICRAS	MATERIAL**
A	262	8.7	Blanco	Crepe	MR	R	R	22	CB
AX	186	5.8	Blanco	Crepe	MR	R	R	20	CB
AXD	127	3.8	Blanco	Crepe	RA	R	B	20	CB
ARH	116	2.9	Blanco	Lisa	RA	R	R	17	CB
B	244	6.5	Blanco	Lisa	R	R	B	17	CB
C	528	13.6	Blanco	Lisa	L	R	E	3	CB
CC310	315	7.3	Blanco	Lisa	L	R	E	4	CB
E	274	8.8	Canela	Crepe	R	R	B	12	CSB
EL	274	8.8	Canela	Lisa	R	R	B	12	CSB
F	60	2.0	Blanco	Crepe	RA	R	B	4	CB
M	40		Blanco	Lisa	MR	B	R	50	RC
MG	65		Blanco	Lisa	MR	B	R	40	RC
N	102	5.5	Blanco	Lisa	RA	R	B	30	CB
R	105		Blanco	Lisa	RA	B	R	25	RC
CW	28		Blanco	Lisa	RA	B	R	75	RC
952	135	7.0	Crema	Lisa	RA	B	B	25	CB

\* MR = Muy Rápido

RA = Rápido

L = Lento

\*\* CB = Celulosa Blanca

CBS = Celulosa sin -  
blanquear

RC = Rayón Celulosa

\*\*\* R = Regular

B = Buena

E = Excelente

### Placas.

Las placas para filtración son similares a los papeles, la característica distinguible, es que su espesor está entre 2 y 6 mm. por lo tanto las placas pertenecen al tipo de filtración por profundidad, - mientras que el papel es de superficie. Generalmente están hechas de asbesto con fibra de celulosa, esta - última actúa como pegamento.

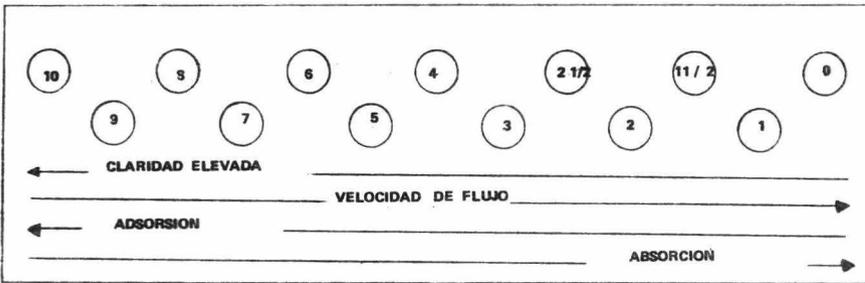
Existen también combinaciones de: asbesto-diatomita; asbesto-tierra Fuller's; asbesto carbón.

El asbesto es uno de los materiales que se encuentra en estado natural. De las variedades de asbesto; el más importante en filtración es la crisolita, que químicamente es un silicato de magnesio hidratado. El asbesto por ser un mineral contiene impurezas que pueden ser solubles bajo determinadas condiciones; - el contenido de estas substancias puede reducirse - con tratamiento ácido durante su fabricación; existen diversos grados típicos, de acuerdo a su pureza.

La cantidad de asbesto en una placa varía de 5 a 45% de acuerdo a su aplicación, la finura de la fibra también varía para dar grandes áreas de superficie, - que van de 15,000 a 35,000  $\text{cm}^2/\text{g}.$ , otra variable es - el grado de fibrilización para controlar su densidad y como consecuencia su porosidad. Se encuentran disponibles en el mercado 15 grados que van del No. 30 - (retención hasta de 10 u ) al No. 100 (retención menor de 1 u).

Las principales aplicaciones de estas placas son: clarificación de líquidos, pulido y esterilización. Ideales para la filtración de vinos, jarabes, licores, perfumes, antibióticos, antisépticos, vacunas, productos farmacéuticos, etc.

La gráfica 4.1 muestra los flujos relativos de placas de asbesto celulosa.



N.º 10 . 100% ASBESTO

9 90 % ASBESTO 10 / CELULOSA

8 80 % ASBESTO 20 / CELULOSA Etc.

GRAFICA 4.1 FLUJOS RELATIVOS DE PLACAS DE ASBESTO CELULOSO.

## SOLIDOS SUELTOS.-

Existe una gran variedad de sólidos sueltos, que se usan en la filtración de líquidos, en tres distintas formas:

a) Como precapa en medios filtrantes rígidos o flexibles, esto cuando el objeto de usar estos materiales sea proteger al medio soporte o medio filtrante, evitando que se contamine con la materia sólida que se está filtrando y también para agrapar partículas demasiado finas que se pasarían por el medio filtrante.

b) Como capas profundas cuando el objeto es una filtración profunda (como el filtro de arena), o cuando el líquido entra en contacto con el material de la capa, para provocar un proceso de absorción o de decoloración.

c) Como aditivo dispersado en el líquido que se va a filtrar, cuando se desee llevar a cabo un aumento -

en la porosidad de la torta de sólidos formados en el filtro y también para facilitar el flujo y aumentar el ciclo de duración. En este último caso se le conoce como cuerpo ayuda.

Muchos de estos sólidos sueltos se usan simultáneamente en las formas anteriormente mencionadas, de manera que resulta más conveniente, una nueva clasificación basada en sus características físicas y químicas.

**Filtro ayuda.**- Bajo esta denominación se entiende un material finamente dividido, que no presenta ninguna reacción química con el líquido por filtrarse y que prácticamente no se compacte o comprima, por la presión que ejerce el líquido al pasar a través de él.

#### Características del filtro-ayuda:

Debe ser inerte. Si se toma en cuenta que un filtro ayuda necesariamente, estará en contacto con el líquido por filtrarse; es indispensable que no presente reacción alguna con el mismo.

Debe ser ligero. Mientras más ligero sea un filtro-ayuda, mayores ventajas económicas se pueden obtener, ya que a igualdad de peso, hay mayor presencia volumétrica de filtro ayuda, la cual lógicamente redundando en una mayor capacidad de filtración kilo por kilo.

Debe formar una torta porosa. La porosidad no está relacionada con el mayor o menor tamaño de poros, sino con la cantidad de poros o espacios vacío que puedan existir en dicha torta. Un buen filtro-ayuda, debe presentar una buena distribución en el tamaño de las partículas.

#### Operación:

El uso del filtro-ayuda como precapa, tiene por objeto formar un medio filtrante que produzca líquido sin sólidos en suspensión desde las primeras porciones y a la vez con mínima resistencia.

Generalmente se usa 0.5 Kg. de filtro-ayuda por -

m<sup>2</sup>. Para la preparación de la precapa, se debe usar líquido limpio, de ser posible ya filtrado, o si nó, lo más clarificado posible. No es recomendable el uso de concentraciones mayores al 5%.

Como aditivo dispersado, el filtro-ayuda es agregado al líquido a filtrar, su objetivo será conservar la permeabilidad del medio.

La adición puede ser por un tanque exclusivo y una bomba dosificadora, o bien, por adición directa al tanque del licor a filtrarse, cuidando de tener una agitación suficiente para evitar el asentamiento, tanto de las impurezas, como del filtro-ayuda; pero no excesiva, pues podría provocar rompimiento de partículas de filtro-ayuda, y así cambiarle las características. La cantidad de éste agregado posterior, es difícil de determinar empíricamente, pero puede iniciarse sobre una relación de 1:1 (g/l de filtro-ayuda; g/l de impurezas a eliminar), ó de 5 a 10% de los sólidos contenidos en la alimentación. Con esta base se pue-

den hacer los ajustes para mayor ó menor dosificación de filtro-ayuda, que permita el ciclo de mayor duración posible. La (Fig. 4.2) muestra la relación entre dosificación de filtro-ayuda y el flujo del filtrado, y muestra que una dosis excesiva no es conveniente, - yá que una capa gruesa aumenta la resistencia al flujo, costos y tiempo de filtrado.

Entre los filtros-ayuda más comunes, se encuentran las tierras diatomáceas.

La diatomita o tierra diatomácea, está compuesta - de esqueletos silicosos de plantas acuáticas microscópicas.

Se reproducen básicamente, tres clases de diatomita: natural, calcinado y "calcinado flux".

Natural.- La materia original sólo se ha triturado, tamizado y secado.

Calcinado.- El material se ha llevado a un proceso de calcinación, para mejorar su velocidad de filtración.

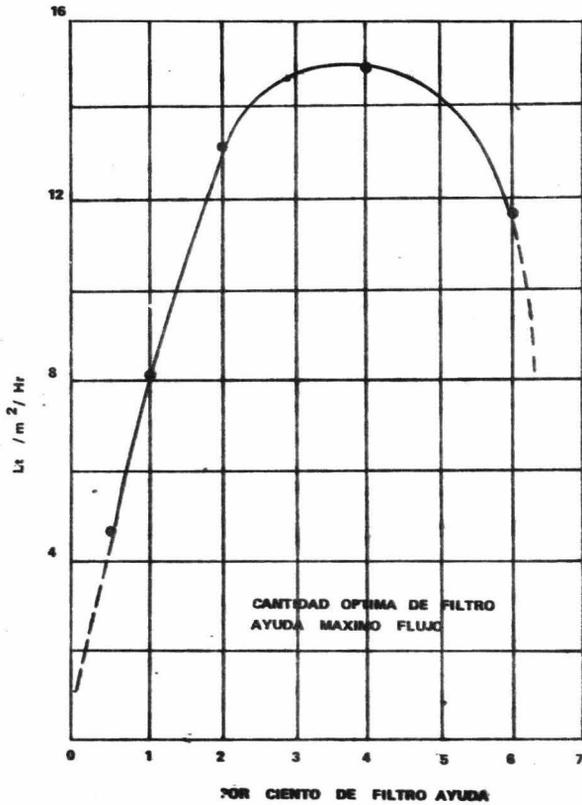


FIG 4.2 EFECTO EN LA VARIACION DE LA CANTIDAD DE FILTRO AYUDA

( Great Lakes Carbon Corporation )

"Calcinado-flux".- Se obtiene por calcinación en presencia de un agente fundente, soda ash; el efecto de ésto, es que la roca inicial con densidad de: - 0.38 a 0.72 Kg/l. y con 20 - 40% de agua, sea convertida en una gran variedad de materiales más ligeros, con densidad de 12 a 0.192 Kg/l. La calcinación afecta la superficie de la diatomita aumentando el tamaño de las partículas y reduciendo el área de superficie, originando el consecuente, pero al mismo tiempo, aumento en las velocidades de filtración.

La Tabla 4.9 muestra un análisis químico comparativo de diatomita.

La Tabla 4.10 muestra las características físicas de diatomita bajo el nombre comercial de Celite y - Micro-cel.

T A B L A 4.9

## ANALISIS QUIMICO DE UNA DIATOMITA REFINADA

Componente	Natural	Calcinada	Calcinada "Flux"
SiO <sub>2</sub>	85.8	91.1	89.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.8	4.0	4.0
Fe 0	1.2	1.3	1.5
Ca0	0.5	0.5	0.5
Mg0	0.6	0.6	0.6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2	0.2	0.2
TiO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	1.1	1.1	3.3
Pérdidas por ignición	3.6	0.5	0.2
Agua	3.0	0.5	0.1

DATOS DE: JOHNS MANVILLE Co. LTD.

T A B L A 4.10

## PROPIEDADES TÍPICAS DE CELITE

T I P O	COLOR *	FLUJO RELATIVO	RETENIDO MALLA 150	PH	DENSIDAD	
					Suelto Kg/l	Húmedo Kg/l
CELITE 545	B	2160	7.5	9.5	0.19	0.30
CELITE 535	B	1350	7.5	9.5	0.19	0.30
CELITE 503	B	900	5.0	9.5	0.15	0.30
CELITE 501	B	750	5.0	9.5	0.15	0.30
HYFLO-SUPER	B	500	3.0	9.5	0.15	0.30
CELITE 512	R	300	3.0	7.0	0.12	0.31
CELITE 505	R	135	0.1	7.0	0.12	0.32
FILTER-CEL	B	100	0.1	7.0	0.106	0.27

\* R Rosado

B Blanco

DATOS DE: JOHNS-MANVILLE MEXICANA, S.A.



#### 4.2 ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE DIMENSIONES DEL EQUIPO

Las dimensiones del equipo, se basarán en los requerimientos de capacidad del equipo, generalmente expresados en términos de cantidad de torta por hora por metro cuadrado de superficie filtrante que puede calcularse a partir de:

1.- Area de filtración

Dada por la velocidad de filtración.

2.- Volúmen de torta

Dado por la cantidad de sólidos retenidos y de ahí el volúmen total de la suspensión que pueda pasar.

Estos dos términos no son independientes. El volúmen de torta es igual a la mitad del área filtrante multiplicada por el espesor de torta, todo en unidades consistentes.

Area de filtración requerida. Para determinarla se requiere el conocimiento de la velocidad de filtración promedio posible para cada suspensión particular, este dato es más valioso si se conoce lo siguiente:

Cantidad de material o tamaño del lote normal.

Duración del ciclo completo.

Características químicas de líquido-sólido.

Cantidad de sólidos por separar.

Naturaleza de las partículas.

Necesidades de lavado.

Producto final deseado: filtrado, sólido ó ambos.

Temperatura de filtración.

Posibilidad del uso de filtro ayuda.

Materiales de construcción.

Volúmen de torta requerido.- Para determinar el -  
espacio de torta necesario debe conocerse:

Cantidad de sólidos.

Espesor práctico de la torta.

Cantidad de sólidos secos, contenidos en un volúmen  
de torta húmedo.

Capacidad de un filtro prensa.- Es la cantidad de  
filtrado que puede manejar en la unidad de tiempo. -

Varía con el área de filtración, cantidad de sólidos retenidos y velocidad de filtración.

Velocidad de filtración.- Es la velocidad promedio de filtración, expresada comunmente como número de litros por hora, que pueden pasar en un metro cuadrado de área filtrante, determinada experimentalmente para el sistema particular.

Capacidad de Retención de un Filtro Prensa. Es la cantidad de sólidos que un filtro puede retener y depende del tamaño de las placas, del espesor de los marcos o de la profundidad de las placas cóncavas y del número de cámaras.

Los siguientes cuadros resumen las dimensiones más frecuentes en el mercado de algunos filtros.

Las tablas 4.12, 4.13 y 4.14.

El uso de la tabla 4.12 ayuda con el cálculo del área filtrante y capacidad de retención de un filtro prensa siguiendo:

T A B L A 4.12

AREA APROXIMADA DE PLACAS Y CAPACIDAD DE RETENCION DE MARCOS

TAMAÑO DE - LA PLACA (cm)	AREA DE FILTRACION EFECTIVA POR CAMARA (m <sup>2</sup> )		CAPACIDAD DE RETENCION POR ESPESOR DE MARCO DE 2.5 CM (10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> )		PRESION DE OPERACION MAXIMA. (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	METAL	MADERA	METAL	MADERA	METAL	MADERA
15	0.05	-	0.65	-	1.4	-
30	0.17	0.09	1.98	1.13	1.0	0.7
45	0.39	0.23	4.53	2.83	1.0	0.7
60	0.70	0.48	8.35	5.61	0.7	0.7
65	0.80	-	9.33	-	0.7	-
75	1.00	0.73	11.32	8.49	0.7	0.5
80	1.20	0.83	14.10	7.62	0.7	0.5
90	1.56	1.05	18.40	12.20	0.7	0.5
105	2.22	1.50	26.30	17.82	0.7	0.5
120	2.80	1.95	43.00	18.64	0.7	0.37
140	-	2.80	-	33.00	-	0.35
170	4.90	-	57.70	-	0.7	-

T A B L A 4.13

AREA DE FILTRACION DE FILTROS DE TAMBOR ROTATORIO

(m<sup>2</sup>)

CARA (m)		0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	4.0	4.3	4.6	4.0	5.3	5.6	5.8	6.0	
D I A M E T R O (m)	0.9	0.94	1.88	2.82	3.77	4.71	5.65															
	1.35			4.28	5.65	7.06	8.48	9.89	10.3	12.7												
	1.80					9.42	11.3	13.2	15.1	17.0	18.8	20.7	22.6									
	2.40								17.6	20.1	22.6	25.1	27.7	30.2	35.2	37.7	40.2					
	3.00										27.3	31.4	34.5	37.7	40.5	44.0	47.1	50.2	53.4	56.5	59.6	62.8
	3.70											37.7	41.5	45.2	49.0	52.8	56.5	60.3	64.1	67.9	71.6	25.4

T A B L A 4.14

DIMENSIONES FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO										
TAMAÑO DEL TAMBOR DIAMETRO (m)	DEL TAMBOR			NUMERO DE SECCIONES	DUCTO PARA - FILTRADO Y - NO. POR SECCION		DESCARGA (cm)	LAVADO Y - RETORNO (cm)	VALVULAS DE SALIDA	
	ANCHO (m)	CARA			(m)	No.			(cm)	(cm)
0.90	0.30	0.60	0.90	12	2.5	1	10	10	5.0	2
0.90	1.2	1.5	1.8	12	2.5	2	10	10	5.0	2
1.35	0.90			12	3.0	1	10	10	6.3	2
1.35	1.2	1.5	1.8	12	3.0	2	10	10	6.3	2
1.35	2.1			12	3.0	2	10	15	6.3	2
1.35	2.4	2.7		12	3.0	3	10	15	6.3	2
1.80	1.5	1.8	2.1	16	3.75	2	15	15	7.5	2
1.80	2.4	2.7	3.033	16	3.75	3	15	15	7.5	2
1.80	3.7			16	3.75	4	15	15	7.5	2
2.40	2.4	2.7	3.033	20	3.75	3	15	15	10	2
2.40	3.7			20	3.75	4	15	15	10	2
2.40	4.3	4.6	5.0	20	3.75	4	15	10	10	2
3.0	3.7	4.0	4.3	24	3.75	4	15	20	15	2
3.0	4.6	5.0		24	3.75	5	15	20	15	2
3.0	5.3	5.6		24	3.75	5	20	20	15	2
3.0	5.8	6.0		24	3.75	6	10	20	15	2
3.7	3.7	4.0	4.3	24	3.75	4	15	20	15	2
3.7	4.6	5.0		24	3.75	5	15	20	15	2
3.7	5.3	5.6		24	3.75	5	20	10	15	2
3.7	5.8	6.0		24	3.75	6	10	10	15	2

Para determinar el área filtrante y capacidad de retención de un filtro de prensa, con el manejo de la tabla 4.12 se multiplica el área correspondiente a cada cámara por el área correspondiente a cada cámara por el número de cámaras requerido para un tamaño dado, así:

Un filtro de 60 cm. de metal con 20 cámaras, tendrá:

$$\text{Area total de } 20 \times 0.7 = 14.0 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidad de retención: } 20 \times 8.85 \times 10^3 &= \\ 167 \times 10^3 \text{ cms}^3 &\text{ de espesor} \\ \text{de } 2.5 \text{ cm.} & \end{aligned}$$

Para calcular la capacidad de retención por cámara mayor o menor de 2.5 cm., se multiplica el espesor requerido por el factor dado en la columna de espesor de cámara, así:

$$\begin{aligned} \text{Un marco metálico de } 30 \text{ cm. con espesor de } 0.75 \text{ -} \\ \text{cm., tendrá una capacidad de retención de } 0.75 \times 1.98 \\ \times 10^3 = 1.5 \times 10^3 \text{ cm}^3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Un marco de madera de } 105 \text{ cm. con espesor de } 3.75 \\ \text{cm., tendrá una capacidad de retención de } 3.75 \times 17.82 \\ \times 10^3 = 66.0 \times 10^3 \text{ x cm}^3. \end{aligned}$$

#### 4.3 ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE COSTOS

En la selección de cualquier equipo, el objetivo fundamental, es obtener la unidad más económica que resulte las necesidades del proyecto. Para esto se requiere la consideración analítica de lo siguiente:

- 1.- Capacidad requerida.
- 2.- Materiales de construcción.
- 3.- Espacio ocupado.
- 4.- Costos.

La evaluación económica para los costos de inversión fija y de operación de un equipo son necesarios, para encontrar las interrelaciones técnicas básicas de acuerdo con la producción anual (periódica) del producto deseado.

Hay tres consideraciones importantes en el estudio económico para operaciones unitarias como la filtración:

- 1.- Relaciones técnicas de las variables.

Las relaciones técnicas deben ser conocidas, entre la velocidad de producción y la capacidad del equipo: esto puede ser teórico ó empírico.

## 2.- Ecuaciones para balances económicos.-

Están basadas en parámetros comunes tales como: duración del ciclo, capacidad del equipo, o dimensiones del equipo y las relaciones técnicas con costos.

## 3.- Restricciones.-

Las ecuaciones de costos pueden contener dos o más variables; las restricciones pueden hacerse si algunas de las variables se consideran constantes, -- (ejemplo: temperatura, presión, viscosidad, etc.), para operaciones cíclicas como en el caso de filtración, puede fijarse la duración del ciclo.

Cuando todo lo anterior se ha establecido, puede determinarse la operación óptima, analíticamente o gráficamente, relacionando los costos fijos y la capacidad del equipo y así los costos de operación, relacionarlos con la capacidad del equipo.

Así se tienen dos tipos básicos de costos en función de la capacidad del equipo, ó sea de la producción anual (periódica) del producto:

Costos Fijos.- Que son los costos que no cambian con la producción.

Costos Variables.- Que son los costos relacionados directamente con la cantidad del producto.

El siguiente cuadro resume los diferentes tipos de costos:

I.- COSTOS VARIABLES

- A.- Materias primas
- B.- Mano de obra
- C.- Servicios
- D.- Mantenimiento
- E.- Materiales misceláneos y otros
- F.- Supervisión directa
- G.- Laboratorio
- H.- Regalías y patentes
- I.- Empaque y Almacenamiento
- J.- Créditos
- K.- Merma y desecho
- L.- Otros

**II.- COSTOS FIJOS****A).- Costos indirectos de planta****1.- Costos de inversión**

- a) Depreciación
- b) Impuestos
- c) Seguros
- d) Inventarios
- e) Otros (Valoración: arancelaria, multas, etc.)

**2.- Costos de administración**

- a) Técnica
- b) No técnica (oficina, - protección, planta, etc.)
- c) Materiales (no cargables a costos directos)
- d) Renta
- e) Otros

**B).- Gastos de administración****1.- Ejecutivos****2.- Legal****3.- Investigación (técnica y de mercado)**

## C).- Gastos de Venta o Distribución

- 1.- Costo de Venta
- 2.- Costo de transporte y reparto
- 3.- Servicio técnico

La filtración como operación cíclica, presenta un análisis económico complicado y, en general el análisis es hecho sobre la base de un ciclo, que puede ser convertido a costos anuales al multiplicar los costos por ciclo, por el número de ciclos por año:

$$\text{Costos Anuales} = \frac{\text{Ciclos}}{\text{año}} \times \frac{\text{Costos de operación}}{\text{ciclo}} + \text{Costos fijos anuales.}$$

$$\frac{\text{Ciclo}}{\text{año}} = \frac{\text{Producción anual}}{\text{Producción ciclo}}$$

La duración del ciclo óptimo, es por lo tanto, función de la velocidad de producción requerida, de los costos de operación del filtro, de los costos de descarga de la torta y, restablecimiento de la operación.

El balance económico es esencialmente entre el au-

mento de los costos fijos y la disminución entre los costos por limpieza, ó sea tiempo muerto.

Debe enfatizarse que los datos para costos de inversión y de operación de un equipo, varían para la misma operación, pero en diferentes plantas y en diferentes fechas. El estudio económico, debe cubrir la responsabilidad de los datos utilizados. Todo se facilita si se correlacionan los datos utilizados para costos fijos y las variables técnicas y los costos de operación, con la capacidad del equipo.

Los costos en filtración son expresados generalmente en \$/tonelada, de producto obtenido y se integran por:

I.- Costos Variables:

- 1.- Costos de operación: Mano de Obra, Supervisión, Mantenimiento, Refacciones, etc.
- 2.- Servicios: Vapor, Energía eléctrica, agua de proceso, refrigeración, etc.
- 3.- Merma y desechos.

## II.- Costos Fijos:

- 1.- Inversión en el equipo
- 2.- Interés
- 3.- Depreciación

Los costos óptimos de operación se evalúan sobre -  
características específicas del problema como:

### 1.- Alimentación

- a) Cantidad
- b) Análisis

% de sólidos suspendidos

Composición de los sólidos suspen-  
didos

Tamaño de las partículas suspendi-  
das

% de cada tamaño

% de sólidos disueltos

Composición de los sólidos disuel-  
tos

c) Temperatura

d) pH

### 2.e) Lavado

- a) Cantidad

b) Temperatura

c) Composición

d) pH

3.- Torta

a) Cantidad

b) Humedad

c) Pureza

d) Espesor

4.- Filtrado

a) Cantidad

b) Claridad

c) Concentración

Las siguientes tablas y gráficas, dan algunos -  
datos de costos:

Tablas 4.15, 4.16 y

Gráficas 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6

T A B L A 4.15

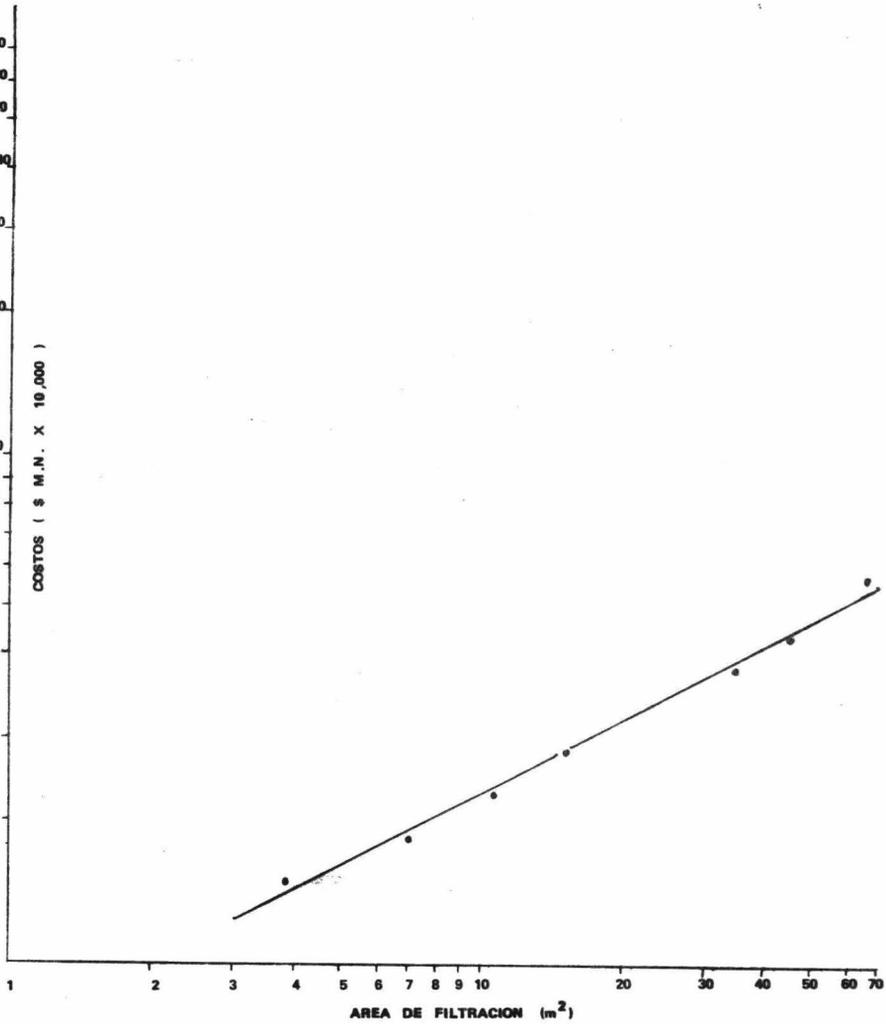
COSTO Y PESO DE FILTRO PRENSA

MATERIAL	TAMAÑO (cm)	NO.DE CAMARAS	AREA DE - FILTRACION (m <sup>2</sup> )	CAPACIDAD DE RETENCION (l)	PLACAS COSTO (\$)	CONCAVAS PESO (Kg)	PLACAS Y MARCOS COSTO (\$)	PESO (Kg)
Fierro	30.0	12	2.04	34.0	10,500	-	13,600	-
Pino	30.0	12	1.08	13.0	-	-	-	-
Fierro	45.0	18	7.02	83.0	30,500	-	37,500	-
Pino	45.0	18	4.46	53.0	-	-	25,000	-
Fierro	60.0	24	1.68	200.0	45,000	2,400	56,000	2,750
Pino	60.0	24	1.15	136.0	-	-	40,500	1,500
Fierro	25	30	31.5	370	70,000	4,400	90,000	5,500
Pino	75	30	21.9	255	-	-	55,000	2,650
Fierro	90	36	56.2	655	10,500	8,600	130,000	9,000
Pino	90	36	37.4	440	-	-	81,000	15,000
Fierro	105	42	93.2	1,110	152,000	15,200	195,000	16,000
Pino	105	42	63.4	740	-	-	110,000	7,050

T A B L A 4.16

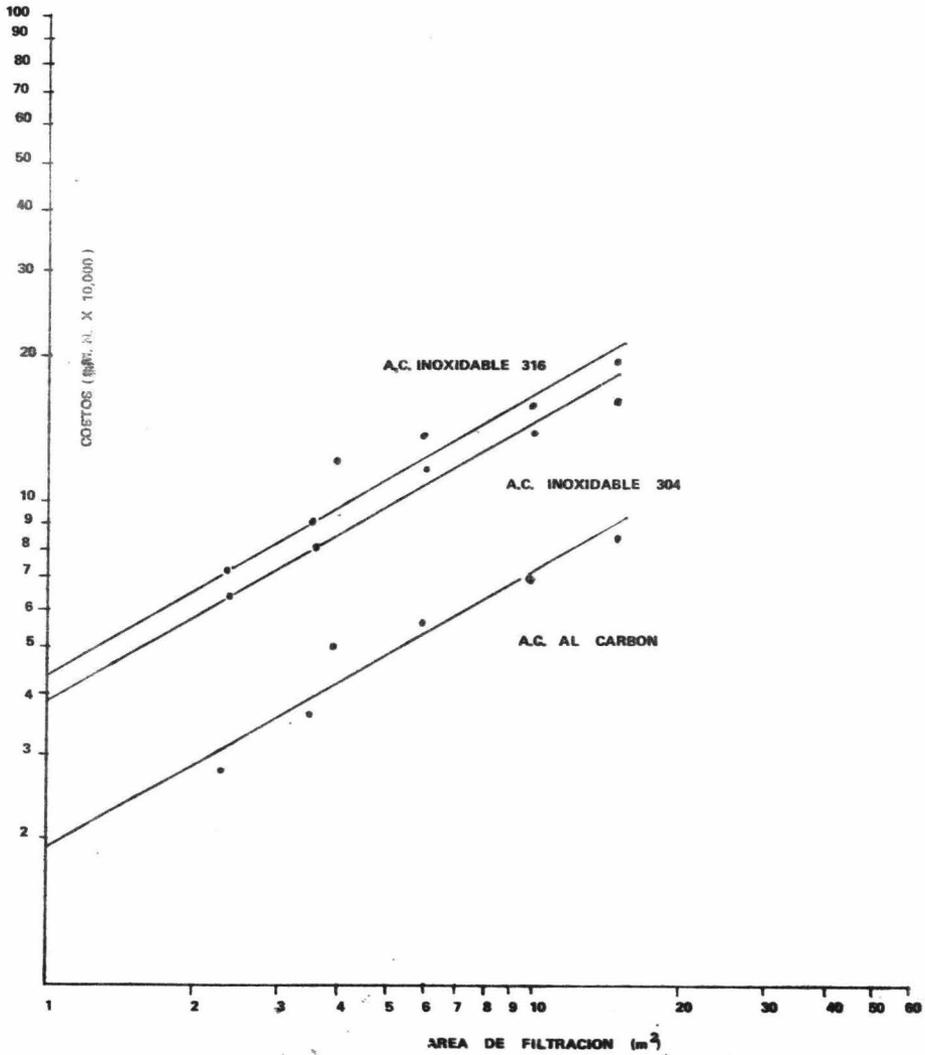
## COSTO Y PESO POR CAMARA ADICIONAL DE 1 IN PARA FILTRO DE PRENSA

MATERIAL	TAMAÑO (cm)	AREA - FILTRANTE (cm)	CAPACIDAD DE RETENCION ( )	C O S T O (\$)	P E S O (lb)	C O S T O (\$)	P E S O (lb)
Fierro	30	0.17	1.96	750.00	-	1,062.50	-
Pino	30	0.09	1.12	-	-	625.00	-
Fierro	45	0.39	4.48	1,000.00	-	1,500.00	-
Pino	45	0.23	2.8	-	-	687.50	-
Fierro	60	0.7	8.12	1,087.50	67.5	1,675.00	135
Pino	60	0.48	5.6	-	-	875.00	37.5
Fierro	75	1.05	12.32	1,625.00	8.7	2,375.00	180
Pino	75	0.73	8.4	-	-	937.50	60
Fierro	50	1.56	18.2	1,250.00	175	3,125.00	18.5
Pino	90	1.04	12.04	-	-	1,250.00	92.5



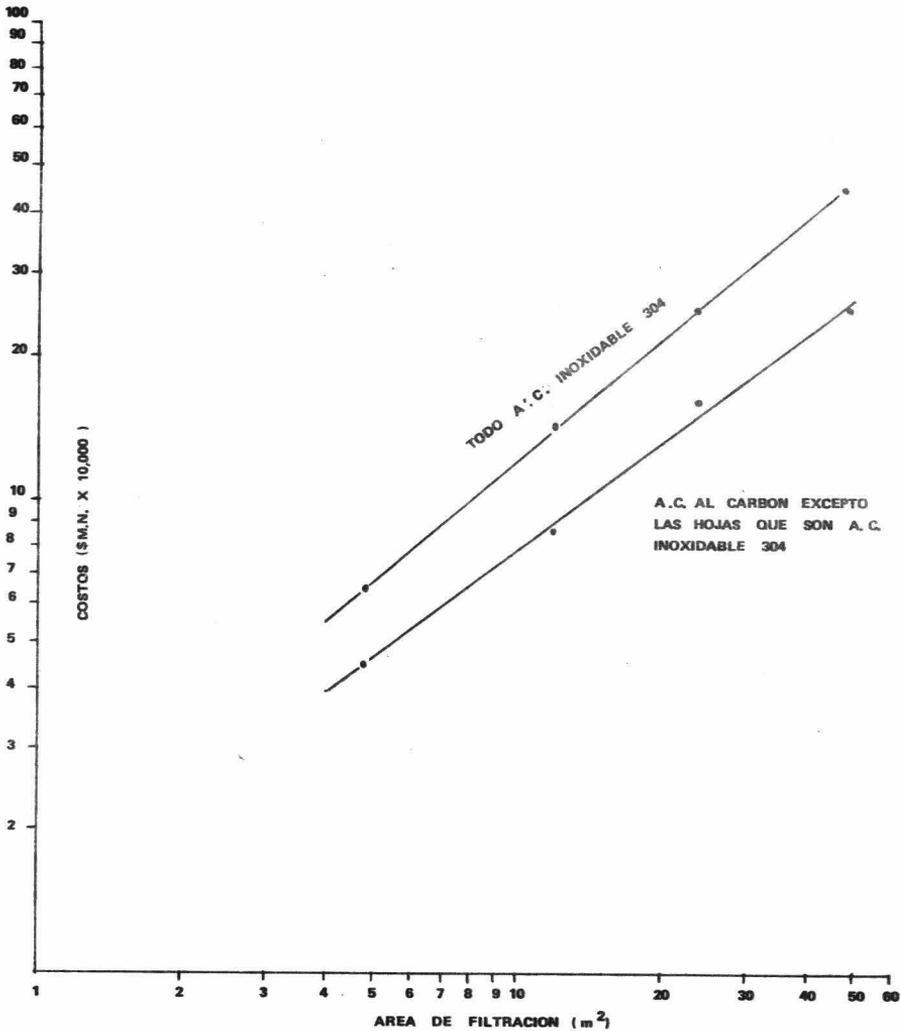
GRAFICA 4.2

COSTOS DE FILTROS DE HOJAS VERTICALES  
CONSTRUIDOS EN ACERO AL CARBON.

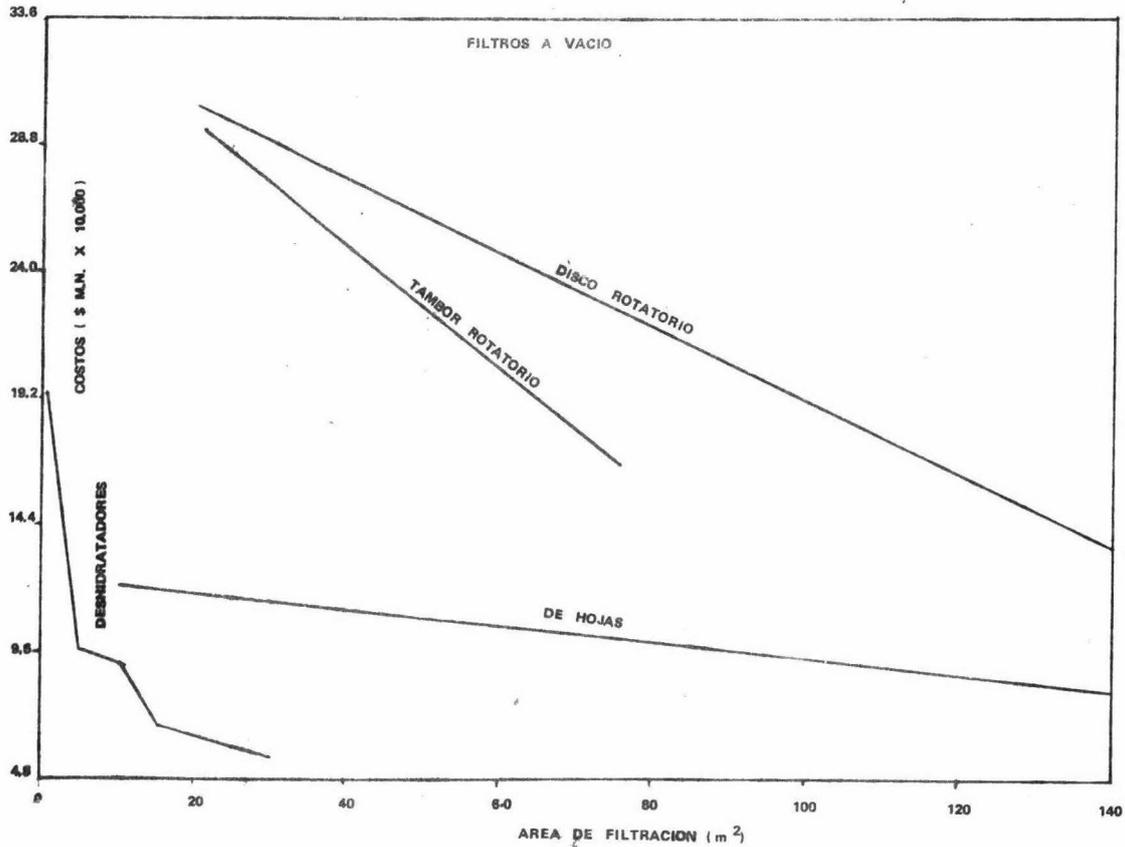


GRAFICA 4.3

COSTOS DE FILTROS DE HOJAS HORIZONTALES

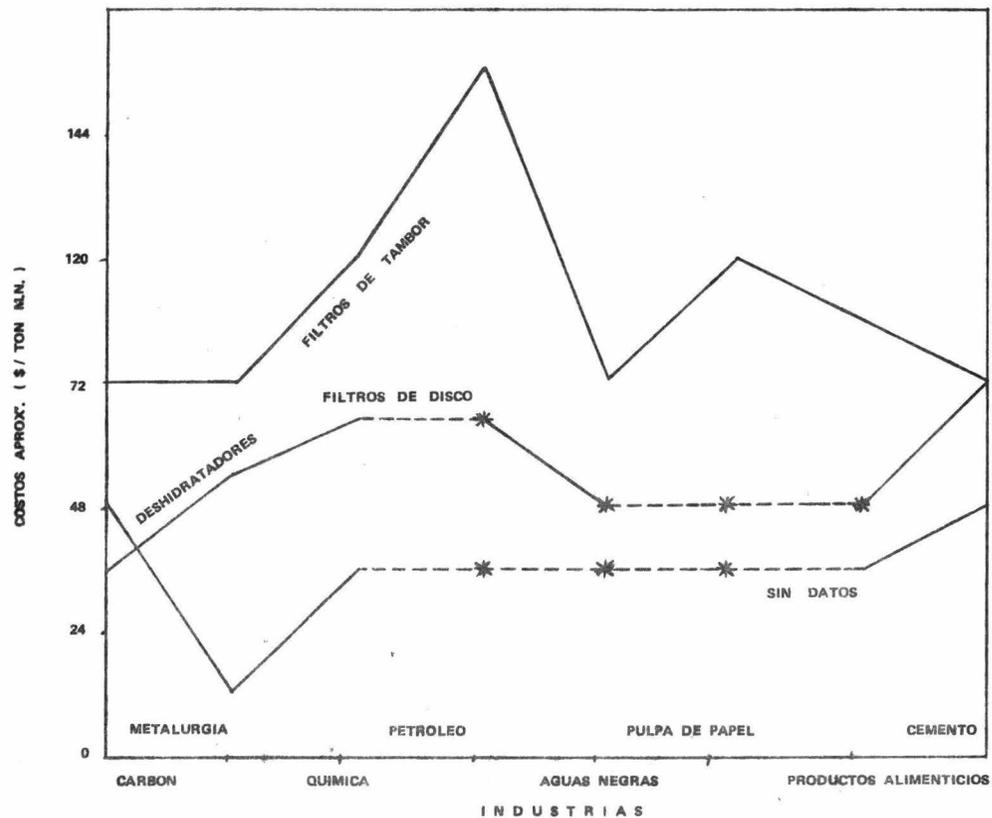


GRAFICA 4.4 COSTOS DE FILTROS DE HOJAS HORIZONTALES CON SISTEMA AUTOMATICO DE DESCARGA POR TORTA.



GRAFICA 4.5

COSTOS DE FILTROS A VACIO



GRAFICA 4.6 COSTOS APROXIMADOS DE OPERACION EN FILTROS A VACIO PARA VARIAS INDUSTRIAS

## T A B L A S D E S E L E C C I O N

T A B L A 4117

## FILTRACION DE PRODUCTOS QUIMICOS

ALIMENTACION	SERVICIO	TEMPERATURA (°C)	SOLIDOS (%)	HUMEDAD DE LA TORTA (%)	CAPACIDAD hr/m <sup>2</sup>	PRESION	TIPO DE FILTRO
Acido Tartárico	Clarificación	Ambiente	0.5	-	3.0	12.5 cm Hg	Hojas verticales
Almidón	Separación	18	45	45	2.0 Hg	25 cm Hg	Tambor rotatorio a vacío Descarga con cuerdas
Aluminio Trini- dratado	Separación	54	50	10 - 12	5.0 H 7.5 Kg	12 cm Hg	Deshidratador a vacío
Bicarbonato de Sodio	Separación	27	50	11 - 14	18 Kg	35 cm Hg	Tambor rotatorio a vacío
Carbonato de - Calcio	Separación	74	20	43 - 48	3.5 - 4 4.5 Kg.	60 cm Hg	Tambor rotatorio a vacío
C a l	Separación	18	5	35	0.5 Kg	60 cm Hg	Hojas verticales a vacío
Dietil Oxalato	Clarificación	18	3	-	12	2.4 kg/cm <sup>2</sup>	Hojas verticales
Glicerina	Clarificación	82	0.15	-	1	2.5 kg/cm <sup>2</sup>	Hojas verticales
Hidróxido de - Fierro	Clarificación	Ambiente	0.5	-	4	2.5 kg/cm <sup>2</sup>	Hojas verticales
Nitrato de Bario	Separación	27	80	6 - 8	12 Kg	25 cm Hg	Deshidratador a vacío
Oxido de Titanio	Separación	18	4	30 - 35	0.5 Kg	50 cm Hg	Tambor rotatorio a vacío
Sulfato de Bario	Separación	71	80	28	0.5 Kg	50 cm Hg	Tambor rotatorio a vacío
Sulfato de Calcio	Separación	27	65	30	9.0 Kg	15 - 20 cm Hg	De Banda continuo a vacío
Sal Cáustica	Separación	32	25	5 e 6	12 Kg	55 cm Hg	Tambor rotatorio a vacío

T A B L A 4.18

## CLARIFICACION Y DESHIDRATAACION DE ACEITE LUBRICANTE

ALIMENTACION	SERVICIO	TEMPERATURA (°C)	SOLIDOS (%)	HUMEDAD (%)	CAPACIDAD hr/m <sup>2</sup>	PRESION DIFERENCIAL	TIPO DE FILTRO
Arcilla	Separación	43	4	55	0.5 kg	2.0 kg/cm <sup>2</sup>	Hojas horizontales
Arcilla	Separación	75	2	48	31	2.5 kg/cm <sup>2</sup>	Hojas verticales
Gasolina	Clarificación	21	0.5	-	95	4.0 kg/cm <sup>2</sup>	Hojas verticales
Aceite (Impreg- nación)	Clarificación	121	* 1.0	-	8	2.5 kg/cm <sup>2</sup>	Placas y marcos
Aceite (Lubri- cante)	Desparafinado	- 7	15	-	3.5	45 cm Hg	Tambor rotatorio a vacío
Aceite (Lubri- cante)	Desparafinado	- 7	10	-	7	47 cm Hg	Tambor rotatorio a vacío
Sintéticos Molidos	Separación	1 B	5	35	0.5 kg	40 cm Hg	Tambor rotatorio a vacío

\* Fibra de  
Papel

T A B L A 4.19

## FILTRACION DE FIBRAS

MATERIAL	SERVICIO	PRECAPA Kg/hr	TEMPERATURA (°C)	SOLIDOS	HUMEDAD TORTA (%)	CAPACIDAD /hr m <sup>2</sup>	PRESION - DIFERENCIAL	TIPO DE FILTRO
Blanqueada	Lavado	-	35	0.75%	10%	2 - 5	25 cm Kg	Tambor rotatorio a vacío
Papel Tissue (Má- quina)	Recuperación	0.25 Pasta Mecánica	35	Fibra - 0.11%	Filtrado con 0.0025%	32	Gravedad	Tambor rotatorio (Gravedad)
Caolín (Papel - Bond)	Recuperación	145 Pulpa	32	Caolín 8%	0.0014%	64.0	Gravedad	Tambor rotatorio (Gravedad)
Fibra Suelta - (Alcantar.)	Recuperación	62 Pulpa	29	0.025%	0.0016%	128.0	Gravedad	Tambor rotatorio (Gravedad)
Alimentación -- Evap. Kraft	Recuperación	30 Kraft	88	Finos 50-5 ppm	3.5 ppm	190.0	Gravedad	Tambor rotatorio (Gravedad)

T A B L A 4.20  
FILTRACION DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS

ALIMENTACION	SERVICIO	TEMPERATURA (°C)	SOLIDOS (%)	HUMEDAD DE LA TORTA	CAPACIDAD hr m <sup>2</sup>	PRESION	TIPO DE FILTRO
Aceite de Oliva	Clarificación	Ambiente	Filtro-Ayuda	Sin secar	3.0 - 5.0	2.5 kg/cm <sup>2</sup>	Placas y Marcos
Azúcar (Carbonlio)	Separacion	77	5	Sin secar	5.0 <sup>2</sup> kg	6 cm kg	Tambor rotatorio a vacío
Azúcar (Sales de - Calcio)	Separación	71	5	35	5.0 kg	6 cm kg	Tambor rotatorio a vacío
Azúcar (Jarabe)	Clarificación	85	Filtro- Ayuda	Sin secar	48.0	2.5 kg/cm <sup>2</sup>	Tanque horizontal Hojas verticales
Maíz (Jarabe)	Clarificación	71	4-5 Decolorante	Sin secar	2.0 - 3.0	2.5 kg/cm <sup>2</sup>	Tanque horizontal Hojas verticales
Maíz (Sémola)	Separación	38	-	-	2.0 - 3 kg	4.5 cm Hg	Tambor rotatorio a vacío
S a l	Deshidratación	43	30	30	130 kg	7 cm Hg <sup>2</sup>	Tambor rotatorio a vacío
Vinagre	Clarificación	Ambiente	0.5 Filtro-Ayuda	Sin secar	45	2-3 kg/cm <sup>2</sup>	Hojas verticales

T A B L A 4.21  
CLARIFICACION DE BEBIDAS

ALIMENTACION	SERVICIO	PRECAPA	TEMPERATURA (°C)	PRESION kg/cm <sup>2</sup>	CLARIDAD FILTRADO	CAPACIDAD /hr/m <sup>2</sup>	TIPO DE FILTRO
Jarabe de Malta	Clarificación	No.	18	1.2	Claro	1.2	Placas y Marcos
Jugo de Frutas	Clarificación	Asbesto	21	0.6	Brillante	1.6	Hojas horizontales
Acido Cítrico 1°	Clarificación	Diatonita	88	1.3	Brillante	4.4	Hojas verticales
Jarabe de Manzana	Clarificación	Carbón	82	2.0	Brillante	4.4	Hojas verticales

T A B L A 4.22

## DESHIDRATACION DE ARCILLA Y CEMENTO

ALIMENTACION	SOLIDOS (%)	NATURALEZA DEL LICOR	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD - TORTA (%)	PRESION	CLARIDAD DEL FILTRADO	SOLIDOS kg/hr/m <sup>2</sup>	TIPO DE FILTRO
Suspensión Cemento	65	Agua	32	20	65 cm kg	Claro	2	Disco a vacío
Suspensión Cemento	66	Agua	38	19	55 cm kg	Claro	2	Disco a vacío
Suspensión Arcilla	25	Agua	Ambiente	15	18 kg/cm <sup>2</sup>	Claro- Nebuloso	1	Placas y marcos
Suspensión Arcilla	30	Agua	Ambiente	17	55 cm Hg	Nebuloso	2	Tambor rotatorio a vacío - descarga con cuerda
Suspensión Arcilla	38	Agua	43	20 - 25	65 cm hg	Claro	0.5	Tambor rotatorio a vacío
Suspensión Cuarzo	3	Agua	18	16	50 cm Hg	Claro	2	Tambor rotatorio a vacío

TABLA 4.23

GUIA PARA LA SELECCION DE EQUIPO

TIPO DE FILTRO	SOLIDOS MAXIMOS (%)	VOLUMEN DE LICOR FILTRADO (l/min.)	ESPESOR DE TORTA * (cm.)	AREA FILTRANTE (m <sup>2</sup> )	NUMERO DE ELEMENTOS (No.)	ESPACIO (m <sup>2</sup> )	GRADO DE FILTRACION **	PRESION MAXIMA (1) Kg./cm. <sup>2</sup> (2) mm Hg.	VOLUMEN DE LA TORTA (l.)	VOLUMEN DE LICOR MINIMO A FILTRAR POR CICLO (l.)	FILTRO AYUDA PRECAPA (Kg./m <sup>2</sup> )	U S O S	MEDIO FILTRANTE	MATERIALES DE CONSTRUCCION
<b>FILTROS A PRESION:</b>														
CARTUCHOS	0.05	8 - 600	-	0.046-7.0	1 - 360	0.008-0.45	T.	7.0 (1)	0.5 - 35	20-3000	NO	Lubricantes, - Agua, Hidraulicos, Solventes, Barnices.	Lana, Nylon, - Inox. Poroso, - Algodón, Poli--propileno.	A. Carbón Inox. 316 Inox. 304 Titanio Hasteloy
HOJAS HORIZ. TANQUE VERT.	1.0	2 - 500	2.5	1 - 35	3 - 42	0.1-1.5	M.B.	3.3 (1)	2.0 - 500	200-6000	0.5	Pinturas, Agua, Cerveza, Vinos, Aceites, Petroquímicos.	Papel, Celulosa, Lonas, Mallas Met. y -- Diatomáceas.	A. Carbón Inox. 316 Inox. 304
HOJAS VERTS. TANQUE VERT.	3.0	76 -1320	5.0	3.5-61	5 - 24	0.5-2	B.	4.0 (1)	90 - 1161	3000-60000	0.5	Barnices, Cerveza, Azufre, -- Aromáticos, Silicatos, Azúcar.	Lonas, Mallas Met., y Diatomáceas.	A. Carbón Inox. 316 Inox. 304
HOJAS VERTS. TANQUE HORIZ.	5.0	200-4000	8.0	9 -186	7 - 54	4 -26	B.	4.0 (1)	235 - 7000	15000-250000	0.5	Aceite, Grasas, Azufre, Hormonas, Cerveza, Tequila.	Lonas, Mallas Met., Diatomáceas.	A. Carbón Inox. 316 Inox. 304
HOJAS HORIZ. GIRATORIAS TANQUE HORIZ.	3.0	200-600	5.0	4.6-28	77 -15	3 -13	M.B.	4.0 (1)	275 - 1450	19000-50000	0.5	Azúcar, Acido - Sulfúrico -soln. acuosa, Vino, -- Farmacéuticos, - Jarabes, Venenos, Explosivos.	Lonas, Mallas - Met., Diatomáceas.	A. Carbón Inox. 316 Inox. 304
FILTRO PRENSA	10.0	4-4000	6.0	0.2-200	5 -60	0.5-25	B.	5.0 (1)	10 - 4000	50-40000	0.7	Aceite, Grasas, Jarabes, Jabones, Metalúrgicos, -- Farmacéuticos.	Papel, Celulosa, Lonas, -- Mallas Met.	A. Carbón Inox. 316 Inox. 304 Aluminio Nedera
<b>FILTROS A VACIO:</b>														
DE TAMBOR ROTATORIO	30.0	0.5-4.0	4.0	0.9- 70	-	1.5-35	C.	730 (2)	0.15 - 1.2	100	1.0	Alimenticio, -- Farmacéutico, Metalúrgico.	Tela Metálica.	A. Carbón Inox. 316 Inox. 304 Titánio.
DE BANDA	30.0	5-350	10.0	0.9- 70	-	1.5-38	C.	730 (2)	0.15 - 1.2	100	1.0	Alimenticio, Farmacéutico, Metalúrgico.	Tela Metálica.	A. Carbón Inox. 316 Inox. 304 Titánio.
DE PRECAPA	15.0	0.5-4.0	10.0	0.9- 70	-	1.5-35	B.	730 (2)	0.05 - 0.6	100	32.0	Alimenticio, -- Farmacéutico, Metalúrgico.	Tela Metálica.	A. Carbón Inox. 316 Inox. 304 Titánio.

\* HASTA

\*\* T. = TRAMPEO

M.B. = MUY BRILLANTE

B. = BRILLANTE

C. = CLARO

## T A B L A 4.24

## INFORMACION DE DATOS TÍPICOS

Material que va a ser filtrado: . . . . .

Cantidad de alimentación . . . . . kg. por . . . . .  
. . . . .conteniendo. . . . .  
kg de sólidos suspendidos.

Características físicas de Sólidos en la Alimentación  
. . . . . Gravedad específica. . . . .Malla. . . . .

Composición química del líquido en la alimentación .  
. . . . . Gravedad específica. . . . . Viscosidad .  
. . . . . a la temperatura de filtrado. . . . .

Valor del pH. . . . .

Temperatura de alimentación. . . . . °C; Máxima dis-  
ponible. . . . .

Qué se requiere: Filtrado. . . . . Sólidos. . . . .  
ó Ambos. . . . .

Calidad del filtrado, requerida: Brillante. . . . .  
Clara. . . . . Turbia. . . . .

Se requiere lavado de torta. . . ¿Con qué líquido? . .  
. . . . . a . . . . . °C.

Limitación sobre cantidad de lavado. . . . .

Constituyentes solubles a eliminarse. . . . .% en licor  
de alimentación. . . . .% disponible en torta descar-  
gada.

¿Van a ser separados filtrado y fluído de lavado? . . .  
. . . . .

Si la torta no es recuperada podría usarse filtro-  
ayuda. . . . .

Preferentemente. . . . .

Se rompe la torta cuando se seca?. . . . .

Resultados de filtración sobre el mismo material (Des-  
cribir también equipo, Ciclo de filtrado, Espesor de -  
la torta y medio filtrante usado). . . . .

. . . . .

. . . . .

¿Qué materiales resisten la acción corrosiva del líqui-  
do?. . . . .

¿Qué materiales no son permisibles?. . . . .

¿Se desea conexión directa con el motor?. . . . .

¿Se desea equipo auxiliar con el filtro?. . . . .

Completo. . . . . Completo excepto para. . . . .

. . . . .

Muestras. . . . .

C O N C L U S I O N E S .

Ya que la filtración es una de las operaciones más frecuentes en los procesos químicos y actualmente se cuenta con pocos recursos teóricos-prácticos sobre dicha operación, este trabajo resume en el Capítulo 2, los principios básicos y ecuaciones generales; se ha enfatizado la importancia de un conocimiento teórico y su uso adecuado en la determinación de las características específicas del sistema.

En el Capítulo 3, se presenta una descripción general de los filtros más comunmente usados.

El criterio de selección de equipo está descrito en el Capítulo 4, presentando las consideraciones esenciales para dicha selección.

En las tablas 4.2, 4.3, 4.5, 4.7, 4.8, y 4.10 se muestran las características básicas de medios filtrantes; y en las tablas 4.17 a 4.22, algunas aplicaciones típicas de filtración industrial.

Las tablas 4.11 y 4.24, reúnen la necesaria información acerca del problema a resolver, y la tabla 4.23 sirve como una primera guía para la selección de equipo.

## BIBLIOGRAFIA

- ARIES AND NEWTON                      Chemical Engineering Cost Estimation.  
New York. Mc. Graw Hill 1955
- DICKEY G.D.                              Filtration  
New York Mc. Graw Hill 1963
- EATON DIKERMAN Co.                      Handbook of Filtration  
Mt. Holly Springs, Pennsylvania 1960
- Mc. CABE AND SMITH                      Unit Operation of Chemical Engineering  
Mc. Graw Hill 1956
- OSBURN & KAMMERMEYER                      Money and the Chemical Engineer  
Prentice Hall Inc. 1958
- PERRY JOHN H                              Chemical Engineering Handbook  
3a. Ed. Mc. Graw Hill
- POURCHAS D.B.                              Industrial Filtration of Liquids  
Leonard Hill Books. 1971
- PETERS W.A.                                Plant Design and Economics for -  
Chemical Engineering  
Mc Graw Hill 1955
- SCHWEYER HERBERT                        Process Engineering Economics  
Mc Graw Hill 1955
- WALKER W.H,  
LEWIS W.K. AND  
Mc. Adams W.H.                              Principles of Chemical Engineering  
New York Graw Hill 1945
- ZIMMERMANN AND  
LAVINE                                        Chemical Engineering Cost  
Industrial R.S. 1955

ATTILIO CONTRINI B

Datos de Costos de algunos equipos de Procesos para Plantas Químicas fabricados en México.  
Tesis 1963

CHEMICAL PROCESSING

Liquid/solids Separation  
October 1967  
September 1969  
September 1968  
April 1970  
September 1970

CHEMICAL ENG. PRO.

December 19th 1962 p. 153  
February 1972 Deskbook

FILTRATION AND SEPARATION

Abril (2) 1965 p. 308

## PROVEEDORES CONSULTADOS

SHRIVER DE MEXICO, S.A.	Filtro Prensa
INDUSTRIAS DELMEX, S.A. (FILTROS SPARKLER)	Filtros; De Hojas y Tanque - a Presión, a Vacío, <u>rotato</u> rios al Vacío.
JOHNS MANSVILLE	Filtro Ayuda
DICALITE DE MEXICO, S.A.	Filtro Ayuda
Carborundum de México S.A.	Cartuchos
Cuno de México S.A.	Cartuchos
Cellulo de México S.A.	Placas
Columbia Filter Co.	Placas
Filtrotec S.A.	Telas
Filtración S.A.	Papel, Telas Filtrantes