

1  
2ej



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**"Z A R A G O Z A"**

**LA FILTRACION AL VACIO APLICADA  
A UN PROBLEMA INDUSTRIAL**

**T E S I S**

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

**P R E S E N T A N:**

**FRANCISCO EDUARDO ALVAREZ MORALES**

**ORESTES ALVAREZ SOLANO**

**MEXICO, D. F.**

**1988**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

## INDICE DE FIGURAS

Fig. II.1	Sección transversal de un medio filtrante y la torta...	13
Fig. II.2	Gráfica de volumen filtrado contra tiempo .....	21
Fig. II.3	Gráfica de $(\Delta t/\Delta V)$ contra $(\bar{V})$ .....	21
Fig. II.4	Comportamiento real (Línea interrumpida) de $(\alpha)$ contra $(-\Delta P)$ .....	22
Fig. II.5	Zona válida para la ecuación (II.18) .....	25
Fig. II.6	Curva de escurrimiento (Rango bajo) .....	33
Fig. II.7	Curva integrada de aire-velocidad (Rango bajo) .....	33
Fig. II.8	Corrección por turbulencia (aire saturado a 60° F) ....	35
Fig. II.9	Curvas de lavado en medio poroso .....	37
Fig. II.10	Factor de corrección por relación de viscosidad .....	37
Fig. II.11	Factor de corrección por canalización .....	39
Fig. II.12	Curvas de Lavado .....	39
Fig. II.13	Lavado de una torta de filtración .....	13
Fig. III.1	Filtro prensa .....	47
Fig. III.2	Filtro de hojas .....	48
Fig. III.3	Filtro de platos .....	49
Fig. III.4	Filtro de cajones .....	50
Fig. III.5	Filtro de tubos .....	51
Fig. III.6	Filtro de mesa o charolas inclinadas .....	53
Fig. III.7	Filtro de discos .....	54
Fig. III.8	Filtro de banda .....	55
Fig. III.9	Filtro de tambor .....	57
Fig. III.10	Cilindro de filtro de tambor .....	57

# I N D I C E

	C A P I T U L O	P A G I N A
I.	INTRODUCCION . . . . .	8
II.	PRINCIPIOS DE FILTRACION . . . . .	11
III.	TIPOS DE FILTROS . . . . .	43
IV.	MEDIO FILTRANTE . . . . .	92
V.	ANALISIS PARA LA SELECCION DE FILTRO . . . . .	175
VI.	DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO . . . . .	211
VII.	EQUIPO AUXILIAR . . . . .	221
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	262
	NOMENCLATURA . . . . .	269
	ANEXO I . . . . .	273
	ANEXO II . . . . .	276
	ANEXO III . . . . .	286
	ANEXO IV . . . . .	292
	ANEXO V . . . . .	297
	ANEXO VI . . . . .	309
	BIBLIOGRAFIA . . . . .	313

TABLA V.4	Granulometría del sólido en suspensión .....	178
TABLA V.5	Resultados obtenidos con diferentes aberturas de malla.	182
TABLA V.6	Resultados de las pruebas realizadas en el filtro - - Buchner - (275 mm Hg) .....	183
TABLA V.6.1	Resultados de las pruebas realizadas en el filtro - - Buchner - (415 mm Hg) .....	184
TABLA V.7	Resultados de las pruebas en filtro de hoja - (170 mm - Hg) .....	186
TABLA V.7.1	Resultados de las pruebas en filtro de hoja - (300 mm - Hg) .....	187
TABLA V.7.2	Resultados de las pruebas en filtro de hoja - (420 mm - Hg) .....	188
TABLA V.8	Resultados de pruebas en filtro de hoja .....	189
TABLA V.9	Pruebas en filtro Buchner .....	193
TABLA V.10	Pruebas en filtro hoja .....	194
TABLA V.11	Resultados del estimado $\alpha$ y $R_m$ .....	195
TABLA V.12	Datos obtenidos de las pruebas de filtración a nivel - planta piloto .....	206
TABLA V.13	Tabla comparativa de resistencias específicas .....	209
TABLA VI.1	Tabla de resultados de simulación para espesor de torta	309
TABLA VI.2	Tabla de resultados de simulación para espesor de torta	310
TABLA VI.3	Tabla de resultados de simulación para espesor de torta	311
TABLA VI.4	Tabla de resultados de simulación para espesor de torta	312
TABLA VI.5	Comportamiento del filtro .....	218

## INDICE DE TABLAS

TABLA III.1	Guía para la selección de filtro .....	72
TABLA III.2	Carta de selección del filtro de acuerdo a las características de la suspensión .....	85
TABLA III.3	Carta de selección de filtro de acuerdo al contenido de sólidos en la suspensión .....	88
TABLA IV.1	Efecto del tipo de hilado en el funcionamiento de la tela .....	94
TABLA IV.2	Efecto del tipo de tejido en el funcionamiento de la tela .....	96
TABLA IV.3	Equivalentes genéricos de nombres registrados de fibras sintéticas .....	118
TABLA IV.4	Naturaleza química de las fibras sintéticas .....	119
TABLA IV.5	Propiedades físicas de las fibras .....	120
TABLA IV.6	Propiedades de la cerámica porosa .....	121
TABLA IV.7	Propiedades de membranas "Millipore" .....	122
TABLA IV.8	Sumario de escalas de permeabilidad utilizadas en varios campos .....	123
TABLA IV.9	Resistencia química de fibras sintéticas y naturales ..	124
TABLA IV.10	Propiedades de los filtros ayudas .....	137
TABLA IV.11	Propiedades típicas filtro ayudas de diatomita .....	139
TABLA IV.12	Tabla de problemas y sus causas .....	168
TABLA V.1	Características de la suspensión .....	177
TABLA V.2	Características de la suspensión .....	178
TABLA V.2	Análisis de sólidos .....	178

	boratorio .....	179
Fig. V.2	Filtro de hoja, pruebas de filtración a nivel laboratorio .....	180
Fig. VII.1	Sistema de filtración al vacío .....	223
Fig. VII.2	Representación gráfica de las dimensiones del tanque de alimentación al filtro .....	224
Fig. VII.3	Representación plana de la sección cónica del recipiente para el cálculo de $h$ .....	225
Fig. VII.4	Proporciones típicas para un recipiente con agitación ..	227
Fig. VII.5	Sistema para la bomba de recirculación de filtrado ....	233
Fig. VII.6	Dimensiones típicas del recipiente de recepción de filtrado .....	244
Fig. VII.7	Dimensiones del tanque de recepción de filtrado .....	253
Fig. VIII.1	Diagrama de flujo para el sistema de filtración a nivel industrial .....	268
Gráfica V.1	Representación gráfica de los valores de la tabla V.6 .	297
Gráfica V.2	Representación gráfica de los valores de la tabla V.6.1	298
Gráfica V.3	Representación gráfica de los valores de la tabla V.7 .	299
Gráfica V.4	Representación gráfica de los valores de la tabla V.7.1	300
Gráfica V.5	Representación gráfica de los valores de la tabla V.7.2	301
Gráfica V.6	$\Delta t/\Delta V$ vs. $\bar{V}$ de la tabla V.9 para $\Delta P = 421.5 \text{ g/cm}^2$ ....	302
Gráfica V.7	$\Delta t/\Delta V$ vs. $\bar{V}$ de la tabla V.9 para $\Delta P = 231.1 \text{ g/cm}^2$ ....	303
Gráfica V.8	$\Delta t/\Delta V$ vs. $\bar{V}$ de la tabla V.10 para $\Delta P = 564 \text{ g/cm}^2$ ....	304
Gráfica V.9	$\Delta t/\Delta V$ vs. $\bar{V}$ de la tabla V.10 para $\Delta P = 387.4 \text{ g/cm}^2$ ....	305
Gráfica V.10	$\Delta t/\Delta V$ vs. $\bar{V}$ de la tabla V.10 para $\Delta P = 224.3 \text{ g/cm}^2$ ....	306

Fig. III.11	Etapas de operación de un filtro al vacío de tambor giratorio .....	58
Fig. III.12	Cabezal de la válvula .....	60
Fig. III.13	Compresor de torta .....	62
Fig. III.14	Esquema de la instalación típica de un filtro de tambor rotatorio .....	62
Fig. III.15	Filtro continuo con precapa .....	71
Fig. IV.1	Tipos básicos de tejido .....	95
Fig. IV.2	Distribución de tamaños de poro de diferentes grados de filtro ayuda de diatomita (Johns-Manville) .....	136
Fig. IV.3	Gráfica de concentración de filtro ayuda contra velocidad de filtración .....	144
Fig. IV.4	Relación de flujos relativos de grados, tierras diatomáceas (celite) .....	146
Fig. IV.5	Distribución de tamaños de partícula de filtro ayudas - (Celite) .....	146
Fig. IV.6	Caída de presión vs. flujo .....	151
Fig. IV.7	Filtro ayuda usado por galón filtrado .....	151
Fig. IV.8	Sistema de filtración - suspensión de cuerpo ayuda alimentado por adición .....	157
Fig. IV.9	Sistema de filtración alimentación de cuerpo ayuda seco, por adición .....	157
Fig. IV.10	Sistema de filtro rotatorio con precapa .....	159
Fig. IV.11	Porcentaje de dosificación .....	166
Fig. IV.12	Longitud del ciclo-minutos .....	166
Fig. V.1	Sistema Buchner para pruebas de filtración a nivel la-	

Gráfica V.11	$\alpha$ vs. $\Delta P$ para prueba en filtro Buchner .....	307
Gráfica V.12	$\alpha$ vs. $\Delta P$ para pruebas en filtro de hoja .....	308

## I. INTRODUCCION

El surgimiento de la Ingeniería Química con las operaciones unitarias y los procesos continuos permitió un gran paso hacia adelante en la productividad de la Industria Química, esto se manifiesta en el aumento de la capacidad de producción, disminución de costos y mejoramiento en la confiabilidad del equipo.

El desarrollo de tecnología en la actualidad requiere de mejores materiales de construcción, mejores técnicas de diseño y fabricación de equipo, herramientas matemáticas complejas que permitan la simulación en una computadora del comportamiento de un proceso y sobre todo del uso intensivo de la experimentación en Planta Piloto ya que las condiciones del desarrollo tecnológico hacen impráctico en muchos casos el trabajo a nivel Laboratorio.

El trabajo desarrollado en esta tesis, tiene como objetivo solucionar el problema causado por los efluentes de una Planta Industrial mediante la operación unitaria conocida como filtración en una de sus variantes que es la filtración al vacío continua.

Por medio de este proceso se tratará el efluente que contiene sólidos en suspensión y agua, la cual tiene compuestos químicos disueltos. El sólido recuperado tiene valor comercial, que hace interesante su recuperación y el líquido obtenido será recirculado al proceso principal.

Para lograr este objetivo fué necesario cubrir el aspecto teórico mediante la revisión de la literatura, así como la caracterización de la suspensión y finalmente pruebas a nivel Laboratorio y Planta Piloto que en conjunto proporcionaron información básica para el escalamiento de equipo a nivel industrial, concluyendo el trabajo con la implementación completa del sistema de filtración al vacío, diagrama de flujo, recomendaciones con respecto a materiales, equipo y operación.

## CAPITULO II

### I N D I C E

II.	PRINCIPIOS DE FILTRACION . . . . .	11
II.1	RESISTENCIA EN LA FILTRACION . . . . .	11
II.2	TIPOS DE FILTRACION . . . . .	14
II.3	CAIDA DE PRESION A TRAVES DE LA TORTA . . . . .	14
II.4	MECANICA DE TORTAS . . . . .	16
II.5	FILTRACION A PRESION CONSTANTE . . . . .	19
II.5.1	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA ESPECIFICA DE TORTA ( $\alpha$ ) Y RESISTENCIA DEL MEDIO FILTRANTE ( $R_m$ ) . . . . .	20
II.5.2	ECUACIONES EMPIRICAS PARA LA RESISTENCIA DE TORTA . . . . .	22
II.6	FILTRACION CONTINUA . . . . .	25
II.6.1	VELOCIDAD DE SUCCION DE AIRE EN FILTROS ROTATORIOS AL - VACIO . . . . .	28
II.7	REMOCION DE FILTRADO EN LA TORTA . . . . .	31
II.7.1	REMOCION DEL FILTRADO POR FLUJO DE AIRE . . . . .	31
II.7.2	LAVADO DE TORTAS . . . . .	36

## II. PRINCIPIOS DE FILTRACION

En un equipo de filtración es importante evaluar su capacidad, analizando la caída de presión a través del filtro. Inicialmente se discute la deducción de la ecuación para evaluar la caída de presión a través del filtro, la cual es función del gasto que se maneja y se conoce como ecuación general de filtración. Posteriormente, dicha ecuación se aplica a diferentes tipos de operación de los filtros y se deducen las ecuaciones de evaluación de capacidad correspondiente.

### II.1 RESISTENCIA EN LA FILTRACION

Durante la filtración de una suspensión dada se presentan tres resistencias al flujo del filtrado a través del filtro, las cuales están en serie y se manifiestan como caídas de presión.

Estas son:

- a).- Resistencia de las conexiones que llevan la suspensión hasta que encuentra la torta, y las que permiten la descarga del filtrado después que pasa a través del medio filtrante.
- b).- Resistencia de la torta
- c).- Resistencia del medio filtrante

Puesto que el flujo es en serie, la caída de presión total en el filtro es igual a la suma de las caídas de presión individuales.

En un filtro bien diseñado, las resistencias de las conexiones de entrada y salida son pequeñas y se pueden despreciar, por lo que se puede

considerar que las resistencias a las que se enfrenta el fluido durante el proceso de filtración son:

— Resistencia del medio filtrante

Es la resistencia total que se establece sobre el medio, incluyendo a la de las partículas incrustadas y es importante durante el principio de la filtración.

— Resistencia de la torta

Es la resistencia que ofrece al líquido los sólidos depositados y no asociados al medio filtrante. Es igual a cero al principio de la filtración y va aumentando durante la misma, a medida que aumenta el espesor de la torta.

Durante el lavado de la torta, la resistencia no varía resultando despreciable la del medio filtrante frente a la resistencia de la torta.

Puesto que la resistencia de las conexiones se puede despreciar, la caída de presión total en cualquier tiempo, es la suma de las caídas de presión a través de la torta y el medio filtrante, y está dada por la siguiente ecuación:

$$-\Delta P = P_{ent} - P_{sal} = (P_{ent} - P') + (P' - P_{sal}) \quad \text{-----} \quad (II.1)$$

Donde:

$\Delta P$  = Caída de presión total

$P_{ent}$  = Presión de entrada

$P_{sal}$  = Presión de salida

$P'$  = Presión en el límite entre la torta y el medio filtrante

Observando la figura (II.1), se deduce que:

$P_{\text{ent}} - P' = -\Delta P_t =$  Caída de presión en la torta

$P' - P_{\text{sal}} = -\Delta P_m =$  Presión en el límite entre la torta y el medio filtrante

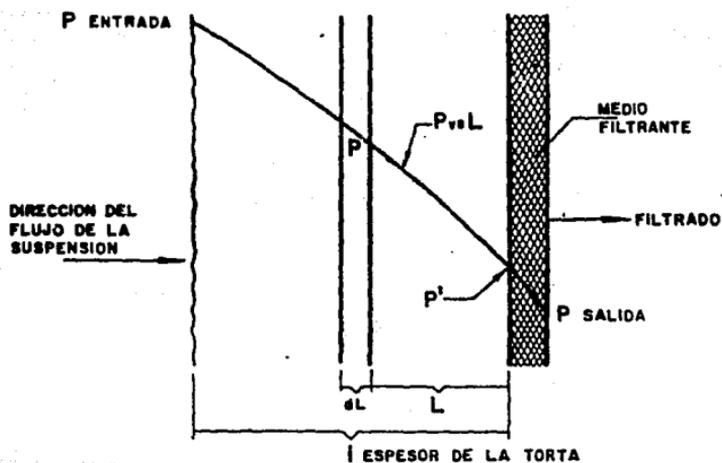


FIGURA II.1 SECCION TRANSVERSAL DE UN MEDIO FILTRANTE Y LA TORTA

## II.2 TIPOS DE FILTRACION

Debido a que en los procesos de filtración la variable manipulable es la caída de presión y, dado que en los filtros a presión, la presión de salida es constante (Presión barométrica), la caída de presión total ( $\Delta P$ ) se controla mediante la presión a la entrada. Si la caída de presión es constante ( $\Delta P = \text{cte}$ ), el caudal es máximo al principio y mínimo al final, este método recibe el nombre de "filtración a presión constante".

Si la caída de presión total es variable ( $\Delta P$ ), suele ser mínima al principio y máxima al final, en este caso suele mantenerse constante el caudal, denominándose a esta operación "filtración a caudal constante". Una variable habitual, consiste en filtrar a caudal constante hasta alcanzar una presión de entrada máxima especificada, continuando posteriormente a presión constante hasta finalizar la filtración. Este procedimiento minimiza la pérdida de sólidos a baja resistencia de torta y evita que los sólidos tapen el medio filtrante.

Cabe aclarar que la filtración a caudal constante no se tratará en este trabajo, ya que no concierne al tema.

## II.3 CAIDA DE PRESION A TRAVES DE LA TORTA

Como punto de partida para el tratamiento de la diferencia de presión a través de la torta puede usarse la siguiente ecuación: <sup>(13)</sup>

$$-\frac{\Delta P}{\rho L} = \frac{1 - \epsilon}{\epsilon^3} \frac{S_p}{\rho g c} \left[ \frac{K_1 \mu U (1 - \epsilon) S_p}{\rho U_p} + K_2 U^2 \right] \quad \text{-----} \quad \text{(II.2)}$$

Donde:

$\Delta P$  = Pérdida de presión a través del lecho

$\rho$  = Densidad del fluido

$\epsilon$  = Porosidad del lecho o torta

$S_p$  = Superficie de una partícula

$V_p$  = Volumen de partícula

$K_1$  = Constante de proporcionalidad para flujos con preponderancia de fuerzas viscosas (laminar)

$\mu$  = Viscosidad del líquido

$U$  = Velocidad del líquido antes de llegar a la torta

$K_2$  = Constante de proporcionalidad para flujos con preponderancia de fuerzas inerciales (turbulento)

$L$  = Profundidad del lecho

Para flujo laminar,  $K_2 = 0$ , tenemos

$$\frac{dP}{dL} = \frac{K_1 \mu U (1 - \epsilon)^2 (S_p / V_p)^2}{g_c \epsilon^3} \quad \text{-----} \quad \text{(II.3)}$$

La masa de sólidos en la capa es

$$d_m = \rho_p (1 - \epsilon) A dL \quad \text{-----} \quad \text{(II.4)}$$

Donde,

$A$  = Área de filtración

$\rho_p$  = Densidad de las partículas

Eliminando  $(dL)$  entre las ecuaciones (II.3) y (II.4)

$$-dP = \frac{K_1 \mu U (S_p / v_p)^2 (1 - \epsilon) dm}{g_c \rho_p A \epsilon^3} \quad \text{-----} \quad \text{(II.5)}$$

Se denominan tortas incompresibles a aquellas en las cuales los parámetros de la ecuación anterior, no varían con la profundidad del lecho.

Integrando la ecuación (II.5), para todo el espesor de la torta se tiene

$$P_{ent} - P' = \frac{K_1 \mu U (S_p / v_p)^2 (1 - \epsilon) m_t}{g_c \rho_p A \epsilon^3} = -\Delta P_t \quad \text{-----} \quad \text{(II.6)}$$

donde,

$m_t$  = Masa de sólidos en la torta

$P_{ent}$  = Presión de entrada

$P'$  = Presión en el límite entre la torta y el medio filtrante

Las tortas cuya resistencia varía con la profundidad del lecho, se llaman tortas compresibles.

#### II.4 MECANICA DE TORTAS

La variación en la resistencia de una torta de capa a capa, es resultado de los efectos mecánicos en la torta. La presión del líquido es máxima aguas arriba y mínima aguas abajo, esto se debe a que las partículas aguas abajo ejercen la fuerza de resistencia al arrastre de todas aquellas partículas ubicadas aguas arriba de la misma

Los parámetros de la ecuación (II.6)  $K_1$ ,  $(S_p / v_p)$  y  $(\epsilon)$  dependen solamente del valor  $(P_{ent} - P)$  y varían a través de la torta. En la práctica tales variaciones son ignoradas y una cantidad promedio ( $\alpha$ ), llamada

resistencia específica de torta, se define, para todo su espesor como: <sup>(13)</sup>

$$\alpha = \frac{\bar{K}_1 (\overline{S_p/\overline{U_p}})^2 (1 - \bar{\epsilon})}{\bar{\epsilon}^3 \rho_p} \text{-----} \quad (\text{II.7})$$

donde  $(\bar{K}_1)$ ,  $(\overline{S_p/\overline{U_p}})$  y  $(\bar{\epsilon})$  son valores promedio.

Dicha resistencia específica de torta, caracteriza las tortas de los - filtros.

Sustituyendo la ecuación (II.7) en la ecuación (II.6) se tiene:

$$P_{\text{ent}} - P' = -\Delta P_t = \frac{\alpha \mu U_m t}{g_c A} \text{-----} \quad (\text{II.8})$$

Y constituye la ecuación básica para la pérdida de presión a través de una torta.

El significado físico de la resistencia específica de torta es: La caída de presión requerida para brindar una velocidad unitaria de flujo de filtrado cuando la viscosidad es unitaria y torta contiene la unidad de masa de sólidos por unidad de área de filtro. Se mide experimentalmente para cada suspensión y es un promedio.

Las dimensiones de la resistencia específica de torta son, de la ecuación (II.8): (L/M)

Resistencia del Medio Filtrante.- La resistencia del medio filtrante - ( $R_m$ ) puede definirse por analogía a partir de la ecuación (II.8)<sup>(13)</sup>:

$$\frac{P' - P_{snl}}{R_m} = \frac{-\Delta P_m}{R_m} = \frac{\mu U}{g_c} \text{-----} \quad (\text{II.9})$$

La dimensión de  $R_m = L^{-1}$

Generalmente la resistencia del medio filtrante sólo es importante durante los primeros instantes de la filtración, es satisfactorio suponer que la resistencia del medio filtrante es constante durante la filtración y la determinación de su valor se consigue en forma empírica a partir de datos experimentales.

La resistencia del medio filtrante varía ligeramente de un experimento a otro, incluso con la misma suspensión y el mismo filtro. Cuando ( $R_m$ ) se considera como una constante empírica, incluye también cualquier resistencia al flujo que pueda existir hacia y, de el filtro.

De acuerdo a las ecuaciones (II.8) y (II.9)

$$-\Delta P = -\Delta P_t - \Delta P_m = \frac{\mu U}{g_c} \left[ \frac{m_t \alpha}{A} + R_m \right] \quad \text{-----} \quad \text{(II.10)}$$

La caída de presión total es más función de la caída de presión en la torta que de la caída de presión en el medio filtrante durante la fase importante de la filtración.

Por lo tanto la caída de presión total es aproximadamente igual a la caída de presión en la torta.

La relación entre el volumen de filtrado y los sólidos que se depositan en la torta se pueden evaluar como sigue:

$$m_t = V_c \quad \text{-----} \quad \text{(II.11)}$$

donde

$V =$  Volumen de filtrado colectado desde el inicio de la filtración hasta el tiempo  $t$ .

$c$  = Masa de partículas depositadas en el filtro por unidad de volumen de filtrado (Ver anexo I).

Sustituyendo la velocidad lineal de filtrado, ecuación (II.12)

$$U = \frac{dV/dt}{A} \text{ ----- (II.12)}$$

y (mt) de la ecuación (II.11) en la ecuación (II.17), se tiene:

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu}{A g_c (-\Delta P)} \left( \frac{V c \alpha}{A} + R_m \right) \text{ ----- (II.13)}$$

y se conoce como ecuación fundamental para la filtración.

## II.5 FILTRACION A PRESION CONSTANTE

Se emplea mucho en trabajos de laboratorio e investigación y es inevitable en filtros rotatorios continuos.

Cuando la caída de presión total es constante, el volumen de filtrado y el tiempo son las únicas variables de la ecuación (II.13) integrando ésta se tiene,

$$t = \frac{\mu}{g_c (-\Delta P)} \left[ \frac{c \alpha}{2} \left( \frac{V}{A} \right)^2 + R_m \frac{V}{A} \right] \text{ ----- (II.14)}$$

Siendo (V) el volumen total de filtrado, recogido en el tiempo (t), suponiendo que el tiempo se cuenta desde el instante en que se obtiene la primera gota de filtrado, de modo que cuando el tiempo es igual a cero, el volumen total de filtrado es igual a cero.

### II.5.1 Determinación de la resistencia específica de torta ( $\alpha$ ) y resistencia del medio filtrante ( $R_m$ )

Para evaluar las constantes ( $\alpha$ ) y ( $R_m$ ) para una caída de presión determinada, se necesitan datos experimentales de volumen total de filtrado contra tiempo, a dicha caída de presión.

El tratamiento de tales datos se facilitan mediante la ecuación (II.13) expresada en la forma

$$\frac{dt}{dV} = K_p V + B \text{ ----- (II.15)}$$

Siendo

$$K_p = \frac{c \alpha \mu}{A^2 (-\Delta P) g_c} \text{ ----- (II.16)}$$

y

$$B = \frac{R_m \mu}{A (-\Delta P) g_c} \text{ ----- (II.17)}$$

Se obtienen varios datos de ( $V$ ) vs. ( $t$ ). Entonces para dos observaciones sucesivas puede calcularse ( $\Delta t/\Delta V$ ), donde ( $\Delta t$ ) es el tiempo entre observaciones y ( $\Delta V$ ) es el incremento de filtrado colectado en un período de tiempo ( $\Delta t$ ). Para la ecuación (II.15), ( $dt/dV$ ) es lineal con ( $V$ ); un valor de  $\Delta t/\Delta V$  es la pendiente de la línea ( $t$ ) contra ( $V$ ) en el punto  $[(V_1 + V_2)/2]$  (Fig. II.2). Si se representa ( $\Delta t/\Delta V$ ) contra  $[(V_1 + V_2)/2]$  y se traza la mejor recta a través de estos puntos; la pendiente de la línea es ( $K_p$ ), y la ordenada al origen ( $B$ ) (Fig. II.3). Los primeros puntos en los que la torta comienza a formarse son los menos importantes pues en ellos las suposiciones efectuadas son menos válidas.

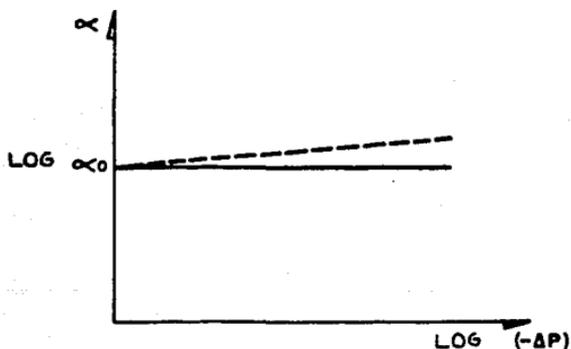


### II.5.2 Ecuaciones empíricas para la resistencia de torta<sup>(s)</sup>

Si se efectúan varios experimentos a nivel laboratorio, a presión constante, para valores distintos de caída de presión ( $-\Delta P$ ), puede hallarse la relación que existe entre la resistencia específica de torta y la caída de presión.

Si graficamos  $\log(\alpha)$  contra  $\log(-\Delta P)$  y obtenemos una recta horizontal ésta nos indica que la torta es incompresible [Fig. (II.4) línea continua con pendiente igual a cero].

Esto significa que la porosidad de la torta no varía y por lo tanto la resistencia específica de torta se mantiene constante para cualquier caída de presión.



**FIGURA II.4 COMPORTAMIENTO REAL (LÍNEA INTERRUPTA) DE ( $\alpha$ ) CONTRA ( $-\Delta P$ )**

Todas las tortas son compresibles en un grado muy pequeño, por lo que suele observarse una pequeña inclinación de la recta, en la gráfica de logaritmo de la resistencia específica de torta ( $\log \alpha$ ) contra el loga

ritmo de la caída de presión ( $\log -\Delta P$ ). Ver figura (II.4) (línea interrumpida).

Si la resistencia específica de torta no es función de la caída de presión, la torta es incompresible. Generalmente la resistencia específica de torta aumenta al hacerlo la caída de presión, ya que todas las tortas son compresibles en cierta medida. La función más común que vincula la resistencia específica de torta con la caída de presión es:

$$\alpha = \alpha_0 (-\Delta P)^s \text{ ----- (II.18)}$$

$$\alpha = \alpha'_0 [1 + \beta(-\Delta P)^{s'}] \text{ ----- (II.19)}$$

donde,

$\alpha_0, \alpha'_0, \beta, s$  y  $s'$  son constantes empíricas

$s$  = coeficiente de compresibilidad de la torta

La ecuación (II.18) es un poco más restringida que la ecuación (II.19), pero es de aplicación más sencilla y sólo hacen falta dos experiencias a presión constante para evaluar ( $\alpha_0$ ) y ( $s$ ).

Para evaluar las constantes de la ecuación (II.19) se necesitan tres experiencias a partir de cero y en un margen más amplio de diferencias de presión, que la ecuación (II.18).

Aplicando la ecuación (II.18) a la ecuación (II.16) se obtiene

$$K_p = \frac{c \alpha_0 \mu}{A^2 (-\Delta P)^{1-s} g_c} \text{ ----- (II.20)}$$

Por lo anterior, para tortas se puede aplicar la ecuación (II.15) y con ello se deduce ( $K_p$ ).

Conocidos los valores de ( $K_p$ ), que pueden resultar de realizar dos pruebas a diferentes caídas de presión, se puede deducir ( $\alpha_0$ ) y ( $s$ ), si dichos valores, se indican con subíndices 1 y 2, entonces,

$$s = 1 - \frac{\log[K_{p1}/K_{p2}]}{\log[(-\Delta P)_2/(-\Delta P)_1]} \quad \text{-----} \quad \text{(II.21)}$$

Conocido el valor del coeficiente de compresibilidad ( $s$ ) y un valor de ( $K_p$ ), se puede deducir el de ( $\alpha_0$ ) aplicando la ecuación (II.20).

Cuando el coeficiente de compresibilidad es igual a cero, obviamente se trata de una torta incompresible. Si el coeficiente de compresibilidad es mayor que cero la torta será compresible. Generalmente se encuentra entre (0.15 y 0.9).

Dado que los parámetros ( $\alpha_0$ ) y ( $s$ ) son empíricos, la ecuación (II.18) - es válida en la zona en la que se obtuvieron los valores de ( $\alpha_0$ ) y ( $s$ ). Fig. (II.5).

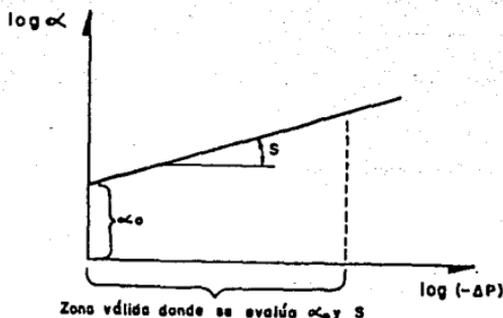


FIGURA II.5 ZONA VALIDA PARA LA ECUACION (II.20)

## II.6 FILTRACION CONTINUA<sup>(13)</sup>

En una filtración continua la alimentación, el filtrado y la torta se desplazan a una velocidad constante. Sin embargo, para cualquier elemento particular de la superficie filtrante, las condiciones no son estacionarias. La pérdida de presión a través del filtro durante la formación de la torta se mantiene constante.

En filtración continua, la resistencia del medio filtrante es a retenciones altas siempre despreciable en comparación con la resistencia de la torta.

Por lo tanto partiendo de la ecuación (II.13) se tiene que:

$$t = \frac{K_p V^2}{2} \text{-----} \quad (II.22)$$

donde ( $t$ ) es el tiempo que el elemento de superficie en el que se forma la torta permanece sumergido. En un filtro continuo ( $t$ ) es siempre menor que el tiempo total del ciclo ( $t_c$ ), la relación entre ambos es:

$$t = f t_c \text{ ----- (II.23)}$$

donde

$t_c$  = tiempo que requiere el filtro para cumplir con ciclo completo

$f$  = fracción del ciclo disponible para formación de torta

En un filtro de tambor giratorio ( $f$ ) es igual a la fracción de tambor sumergida en la suspensión.

Si reemplazamos el valor de ( $K_p$ ) de la ecuación (II.16) y (II.23) en (II.22) se tiene

$$\frac{V}{A} = \frac{[2(-\Delta P)g_c f t_c]^{\frac{1}{2}}}{c \alpha \mu} \text{ ----- (II.24)}$$

Dividiendo por ( $t_c$ ) ambos miembros de la ecuación (II.24) se obtiene la velocidad media de flujo de filtrado por unidad de área y si la resistencia específica de torta varía de acuerdo a la ecuación (II.18) se tiene

$$\frac{V}{A t_c} = \frac{[2(-\Delta P)^{1-s} g_c f]^{\frac{1}{2}}}{c \alpha_0 \mu t_c} \text{ ----- (II.25)}$$

Si la resistencia del medio filtrante ( $R_m$ ) no es despreciable, mediante un análisis similar al aquí efectuado, se obtiene

$$\frac{V}{At_c} = \left[ \frac{2c(-\Delta P)^{0.5} f / \mu t_c + (R_m/t_c)^2}{c \alpha} \right]^{1/2} - R_m/t_c \quad \text{-----} \quad \text{(II.26)}$$

Las ecuaciones (II.25) y (II.26) se aplican tanto a filtros continuos - de presión y vacío.

Cuando ( $R_m$ ) es despreciable la ecuación (II.25) predice que el caudal - del filtrado varía inversamente con la raíz cuadrada de la viscosidad y del tiempo de un ciclo. Esta situación se observa para tortas gruesas - y ciclos largos, en caso contrario debe aplicarse la ecuación (II.26).

Para ciclos cortos la resistencia del medio filtrante no es desprecia- - ble.

De la ecuación (II.25) graficamos  $[V/(At_c)]$  contra  $(t_c^{1/2})$ , si esto nos - da recta, ( $R_m$ ) es despreciable y si no hay que usar la ecuación (II.26).

En general, puede afirmarse que el caudal aumenta al aumentar la veloci- - dad de rotación pues la torta formada es más delgada, existe un valor - crítico por encima del cual el caudal no aumenta más al aumentar la ve- - locidad de rotación, si no que se mantiene constante y la torta tiende - a volverse húmeda y difícil de separar.

En un filtro continuo, el espesor de torta en cualquier posición en la - superficie sumergida, no varía con el tiempo. Sin embargo, el espesor - varía con la posición en que se forma la torta sobre la superficie del - filtro durante el paso a través de la suspensión. El espesor de la tor - ta saliendo de la zona de filtración es función de la concentración de - la suspensión, densidad de la torta, y volumen de filtrado liberado por - revolución. Este espesor puede ser expresado por la siguiente ecuación

(17):

$$\left. \begin{array}{l} \text{saliendo de la} \\ \text{zona de filtración} \end{array} \right\} = \frac{c V_R}{\rho_t A} \text{-----} \quad (\text{II.27})$$

Donde ( $V_R$ ) es el volumen de filtrado liberado por revolución y ( $\rho_t$ ) es la densidad de la torta como masa de sólidos (torta seca) por unidad de volumen de torta húmeda saliendo de la zona de filtración.

Las siguientes ecuaciones están basadas en que la resistencia del medio filtrante es despreciable y la torta es concompresible<sup>(17)</sup>:

$$\text{Volumen de filtrado por revolución} = V_R = A \left[ \frac{2f(-\Delta P)g_c}{\alpha c \mu N_R} \right]^{\frac{1}{2}} \text{-----} \quad (\text{II.28})$$

$$\text{Volumen de filtrado por unidad de tiempo} = V_R N_R = A \left[ \frac{2f N_R (-\Delta P) g_c}{\alpha c \mu} \right]^{\frac{1}{2}} \text{-----} \quad (\text{II.29})$$

$$\text{Peso de torta seca por unidad de tiempo} = V_R N_R C = A \left[ \frac{2f N_R C (-\Delta P) g_c}{\alpha \mu} \right]^{\frac{1}{2}} \text{-----} \quad (\text{II.30})$$

### II.6.1 Velocidad de succión de aire en filtros rotatorios al vacío.

Una bomba de vacío debe adecuarse para la operación de un filtro rotatorio al vacío, y el ingeniero de diseño puede necesitar estimar el tamaño de la bomba y el requerimiento de potencia para una unidad de filtración dada.

Debido a que la fuga de aire en el sistema de vacío puede suministrar -

una mayor cantidad de aire que pasa a través de la bomba, los métodos - de diseños para predecir las velocidades de succión de aire, deben ser considerados como aproximados debido a que no toman en cuenta las fugas de aire.

La velocidad a la cual el aire es sacado a través de la sección de eliminación de líquido de un filtro rotatorio al vacío puede ser expresada por la siguiente ecuación:<sup>(17)</sup>

$$\frac{dV_a}{dt} = \frac{A f_a (-\Delta P) g_c}{(R'_m + R'_t) \mu_a} \quad \text{-----} \quad \text{(II.31)}$$

donde

$V_a$  = Volumen de aire a temperatura y presión de los alrededores saliendo a través de la torta en un tiempo  $t$

$f_a$  = fracción de superficie total disponible para la succión de aire

$\mu_a$  = Viscosidad del aire a temperatura y presión de los alrededores

$R'_t$  = Resistencia de la torta al paso de aire

$R'_m$  = Resistencia del medio filtrante al paso de aire

Si la torta es compresible, una gruesa corrección por variación en la resistencia específica de torta a la succión de aire ( $\beta$ ) con cambio en la caída de presión, puede ser hecha por el uso de la siguiente ecuación empírica:

$$\beta = \beta' (-\Delta P)^{S'}$$

donde  $(\beta')$  y  $(s')$  son constantes.

Despreciando la resistencia del medio filtrante se pueden aplicar las siguientes ecuaciones<sup>(17)</sup>:

$$\text{Volumen de aire por revolución} = V_{aR} = \frac{A^2 f_a (-\Delta P) g_c}{\beta c V_R \mu_a N_R} \text{----- (II.32)}$$

$$\text{Volumen de aire por unidad de tiempo} = V_{aR} N_R = \frac{A^2 f_a (-\Delta P) g_c}{\beta c V_R \mu_a} \text{----- (II.33)}$$

Las ecuaciones (II.28), (II.30) y (II.33) pueden ser combinadas para dar

$$\text{Volumen de aire por unidad de tiempo} = \frac{A f_a}{\beta \mu_a} = \left[ \frac{\alpha \mu N_R (-\Delta P) g_c}{2 c f} \right]^{\frac{1}{2}} \text{----- (II.34)}$$

$$\frac{\text{Volumen de aire por unidad de tiempo}}{\text{Peso de torta seca por unidad de tiempo}} = \frac{f_a}{f} \frac{\mu}{\mu_a} \frac{\alpha}{2\beta c} \text{----- (II.35)}$$

Si las constantes en la ecuación anterior son conocidas para un sistema de filtración dado y la suposición de que no hay fuga es adecuada, la cantidad total de succión de aire puede ser estimada. Este valor, combinado con la temperatura del aire y las presiones en la toma y salida de la bomba de vacío, puede ser usado para estimar los requerimientos de potencia de la bomba de vacío por medio de la ecuación:

$$\text{HP} = \frac{3.03 \times 10^{-5} k}{k-1} P_1 q_{fm1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} - 1 \right] \text{----- (II.36)}$$

La cual proporciona los HP teóricos para compresión en una sola etapa isoentrópica.

donde

$k$  = relación de capacidad calorífica de gas a presión constante, a capacidad calorífica de gas a volumen constante -

$$\frac{C_p}{C_v} = 1.4$$

$P_1$  = Presión de entrada a la bomba de vacío

$P_2$  = Presión de salida de la bomba de vacío

$q_{fm_1}$  = flujo volumétrico de aire a las condiciones de entrada de la bomba

## II.7 REMOCION DE FILTRADO EN LA TORTA<sup>(3)</sup>

### II.7.1 Remoción del filtrado por flujo de aire

Después de que la torta es formada, una porción mayor del filtrado en los espacios vacíos de la torta puede ser removido por el paso de aire a través de la torta. Este procedimiento es llamado "escurrimiento" e involucra el flujo en estado no estacionario de dos fases, filtrado y aire. En el escurrimiento, el flujo a dos fases depende de la proporción volumétrica de filtrado y aire en los espacios vacíos de la torta. La relación volumétrica de filtrado a espacios vacíos, llamada saturación (S), es usada para describir las proporciones de estas dos fases.

Fuerzas capilares en la torta impiden la remoción completa del filtrado por el flujo del fluido únicamente. Además la remoción puede ser acompañada por lavado de torta y/o secado con aire caliente. El filtrado -

retenido en la torta por fuerzas capilares es llamado saturación residual, ( $S_r$ ). El valor de la saturación residual depende del tamaño de los espacios vacíos en la torta, el gradiente de presión y la tensión superficial del filtrado, se evaluará experimentalmente; sin embargo, la siguiente ecuación puede ser usada como una aproximación:

$$S_r = 0.025 \left[ g \frac{\gamma}{D} (-\Delta P_t) \right]^{0.264} \text{-----} \quad (II.37)$$

Donde,

$S_r$  = Saturación residual

$g$  = Constante gravitacional

$l$  = Espesor de torta

$\gamma$  = Tensión superficial del filtrado

$D$  = Permeabilidad de la torta

$(-\Delta P_t)$  = Caída de presión a través de la torta

En el escurrimiento la saturación disminuye desde la unidad a algún valor inferior, alcanzando la saturación residual. La figura (II.6) muestra la disminución de la saturación como una función de la relación tiempo, ( $t/C_t$ ) con parámetros de saturación residual, ( $S_r$ ). La constante de filtración ( $C_t$ ), es definida como sigue:

$$C_t = \mu \epsilon^2 / [D (-\Delta P_t)] \text{-----} \quad (II.38)$$

donde,

$\mu$  = Viscosidad del filtrado

$\epsilon$  = Porosidad de la torta

La figura (II.6) está basada en ecuaciones para flujo laminar del fil--

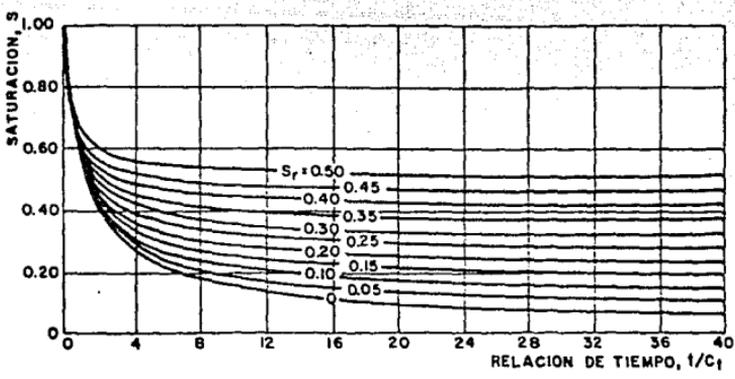


FIGURA II.6 CURVA DE ESCURRIMIENTO (RANGO BAJO)

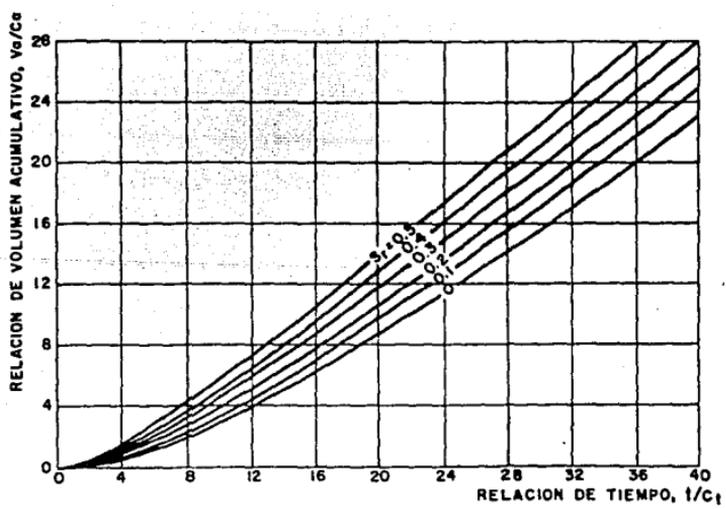


FIGURA II.7 CURVA INTEGRADA DE AIRE-VELOCIDAD (RANGO BAJO)

trado, y permite una rápida determinación de la curva de contenido de humedad contra tiempo para remoción de humedad por flujo de aire.

Ya que el aire fluye generalmente en las cercanías de la región de transición entre flujo laminar y turbulento, las relaciones han sido derivadas sobre la base de flujo laminar (Ver figura II.7) con un factor de corrección por turbulencia (Ver figura II.8). En la figura (II.7) el volumen acumulativo de aire, ( $V_a$ ), es mostrado como una función del tiempo, ( $t$ ), y constantes de filtración ( $C_a$ ) y ( $C_t$ ) con parámetros de saturación residual, ( $S_r$ ). La constante de filtración ( $C_a$ ) es definida como sigue:

$$C_a = \epsilon \left| \frac{\mu}{\nu_a} \right. \text{-----} \quad (\text{II.39})$$

donde,

$$\nu_a = \text{Viscosidad del aire, lb/seg-ft}$$

La figura (II.7), permite una rápida determinación del flujo de aire acumulativo para condiciones de flujo laminar.

Sin embargo, una corrección debe ser hecha por turbulencia. Como la velocidad es la única variable, la corrección será una relación de dos números de Reynolds, calculados para relaciones de flujo laminar, y en la curva de transición. En una gráfica de factor de fricción contra número de Reynolds estos dos números de Reynolds están sobre una línea con una pendiente de (-2) porque la velocidad es la única variable. La gráfica del factor de corrección en términos de permeabilidad, ( $D$ ), y gradiente de presión, ( $\Delta P/l$ ) es mostrada en la figura (II.8).

Aunque el flujo de aire puede incrementar de cero a un máximo durante un ciclo de filtrado, el número de Reynolds para el aire permanece vir-

tualmente constante sobre este rango, a condición que el gradiente de presión y las propiedades del aire permanezcan constantes. Por lo tanto, una sola evaluación de la corrección por turbulencia es suficiente.

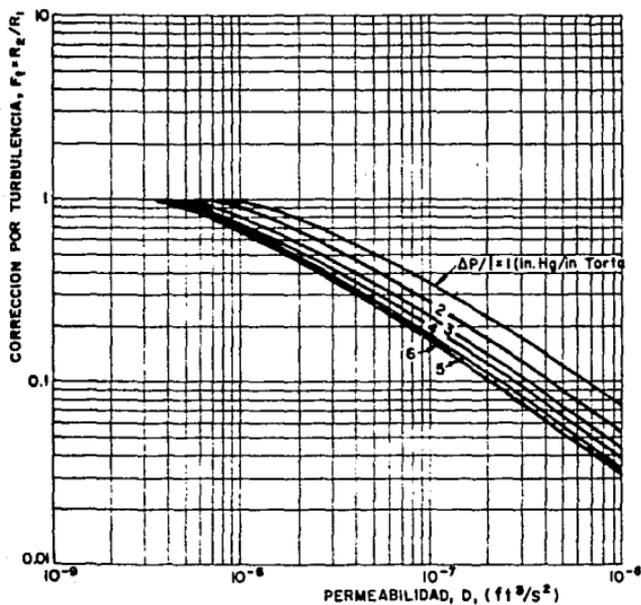


FIGURA II.8 CORRECCION POR TURBULENCIA (AIRE - SATURADO A 60°F)

### II.7.2 Lavado de Tortas

Para eliminar el material soluble retenido por las tortas después de la filtración, puede usarse un disolvente miscible con el filtrado como líquido de lavado. El agua es el líquido de lavado más común.

La velocidad de flujo del líquido de lavado y el volumen de líquido necesario para reducir el contenido de soluto hasta el grado deseado son importantes en el diseño y operación de un filtro. Aunque los siguientes principios generales se aplican al problema, estas cuestiones no pueden resolverse totalmente sin recurrir a la experimentación.

El agua de lavado o licor de lavado es frecuentemente usado con flujo de aire o solo, para remover el filtrado. Durante el período inicial de lavado, el filtrado es removido por desplazamiento. En el lavado de una torta saturada con filtrado, aproximadamente el 90% del filtrado puede ser removido sin diluir, después que la interfase de lavado atraviesa la torta. La porción restante de filtrado es removida con incremento de dificultad conforme procede el lavado y es limitado por el tamaño de las partículas en la torta. La figura (II.9) muestra la cantidad de lavado requerido para reducir el filtrado a una saturación dada, como una función del tamaño promedio de la partícula y el volumen de filtrado originalmente presente en la torta. Si la viscosidad del líquido de lavado, ( $\mu_w$ ) difiere de la del filtrado ( $\mu$ ), un factor de corrección ( $\theta$ ), es requerido. También en el caso donde el espesor de torta es menor de 100 diámetros de partícula ( $l/d_p < 100$ ), un factor de corrección ( $\delta$ ) es requerido para cuantificar la ineffectividad del lavado resultante de la canalización. Las figuras (II.10 y II.11) muestran es

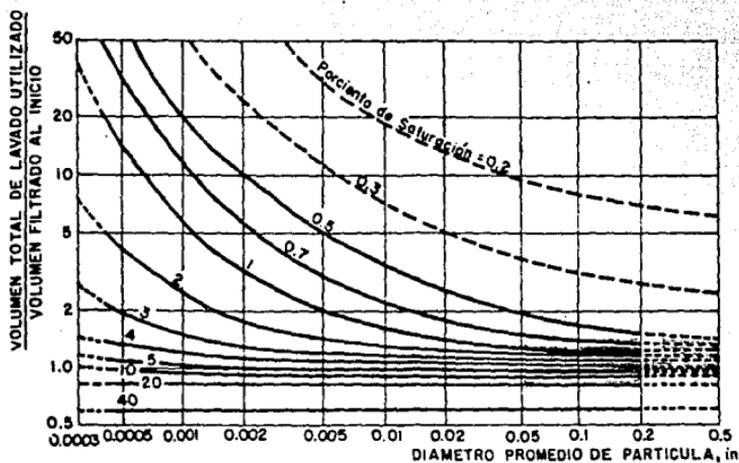


FIGURA II.9 CURVAS DE LAVADO EN MEDIO POROSO

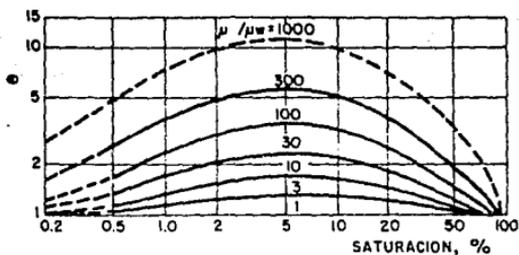


FIGURA II.10 FACTOR DE CORRECCION POR RELACION DE VISCOSIDAD

tos factores de corrección. El volumen corregido del líquido de lavado es obtenido multiplicando el volumen de lavado determinado de la figura (II.9) por los factores de corrección ( $\theta$ ) y ( $\delta$ ).

En el caso, cuando el líquido de lavado no siga la trayectoria del filtrado, ocurre una canalización adicional y el efecto de esto debe ser evaluado experimentalmente. Esto es también cierto cuando una torta irregular es producida o cuando el lavado es aplicado no uniformemente.

La velocidad a la cual pasará el lavado en la torta durante el flujo de aire es mostrado en la figura (II.12). Esta es una gráfica de la relación de la velocidad de líquido de lavado con flujo de aire, ( $V_L$ ), a la velocidad de lavado sin flujo de aire, ( $V_L$ ), contra la relación de la velocidad de flujo de aire durante el lavado, ( $V_A'$ ), a la velocidad de flujo de aire a través de la torta seca, ( $V_{TS}$ ). La gráfica muestra parámetros de saturación residual, ( $S_r$ ), y parámetros de saturación, ( $S$ ). Las velocidades ( $V_L$ ), y ( $V_{TS}$ ), son determinadas de la ecuación de Darcy, ecuación (II.39)

$$u = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{D(-\Delta P_t)}{\mu} \text{-----} \quad \text{(II.39)}$$

Donde,

$u$  = Velocidad basada en el área total, ( $\text{ft}^3/(\text{ft}^2)/\text{seg}$ )

$t$  = tiempo en, (seg)

$V$  = Volumen de filtrado, ( $\text{ft}^3$ )

$A$  = Area de medio filtrante, ( $\text{ft}^2$ )

$\mu$  = Espesor de la torta, (ft)

$D$  = Permeabilidad, una propiedad de la torta, ( $\text{ft}^3/\text{seg}^2$ )

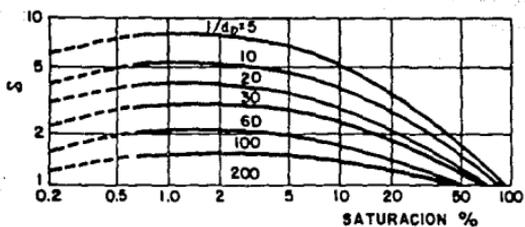


FIGURA II.11 FACTOR DE CORRECCION POR CANALIZACION

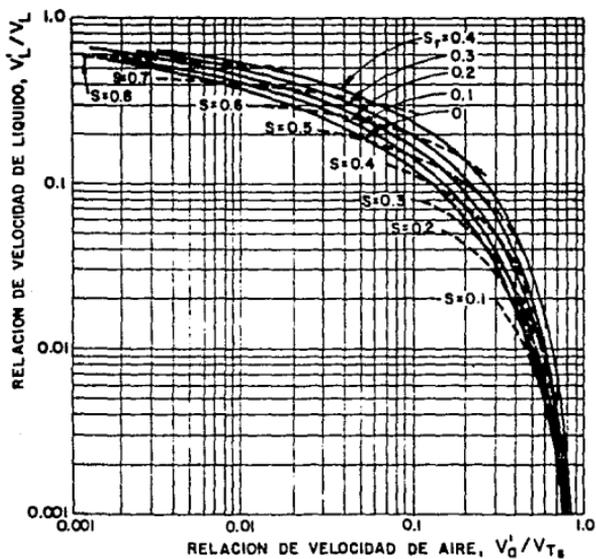


FIGURA II.12 CURVAS DE LAVADO

$(-\Delta P_t)$  = Caída de presión a través de la torta, (lb/ft )

$\mu$  = Viscosidad del filtrado, (lb/(seg) (ft))

Como resultado, la selección de la velocidad del aire, ( $V_a$ ), fija la velocidad de lavado, ( $V_L$ ), o viceversa.

Como se puede observar en la gráfica (fig. II.13), de la relación concentración-tiempo para el lavado de torta, la primera parte del líquido recogido está representado por el segmento (ab) de la fig. (II.13). El efluente consiste esencialmente de filtrado retenido en el filtro, que es arrastrado por el primer líquido de lavado sin dilución apreciable. Esta etapa de lavado se denomina lavado por desplazamiento y es el método ideal para lavar una torta. La segunda etapa de lavado, que corresponde al segmento (bc), se caracteriza por una caída rápida de la concentración del efluente. La tercera etapa está representada por el segmento (cd). La concentración de soluto en el efluente es baja y el soluto que queda es lixiviado lentamente fuera de la torta. Si se emplea suficiente líquido, el soluto residual en la torta puede reducirse hasta cualquier valor deseado, pero el lavado debe pararse cuando el valor del soluto no recuperado sea menor que el costo de recuperación.

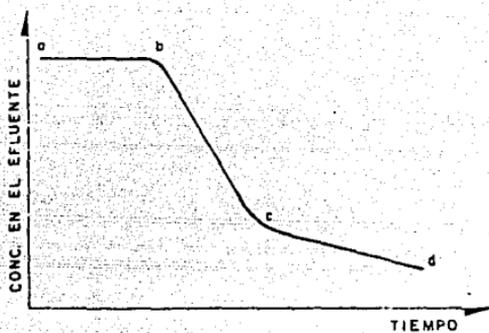


FIGURA II.13 LAVADO DE UNA TORTA DE FILTRACION

## CAPITULO III

### I N D I C E

III.	TIPOS DE FILTROS . . . . .	43
III.1	TIPOS DE FILTROS Y APLICACIONES . . . . .	43
III.2	SELECCION DEL FILTRO . . . . .	75

### III. TIPOS DE FILTROS

#### III.1. TIPOS DE FILTROS Y APLICACIONES

En la Industria de Proceso se utilizan varios diseños de filtros, por lo que es conveniente tener un conocimiento general de ellos.

El equipo puede ser clasificado de acuerdo a:

##### III.1.1. Fuerza Impulsora

- a) Gravedad
- b) Vacío
- c) Presión: Bombas centrífugas y de desplazamiento positivo.

##### III.1.2. Continuidad de las operaciones

###### III.1.2.1. Intermitentes

###### III.1.2.2. Semicontínuos

###### III.1.2.3. Contínuos

##### III.1.3 Superficie de Filtración

- a) Estacionaria o con movimiento
- b) Forma geométrica: Plana, cilíndrica, plato, hoja
- c) Medio para retención de torta o precapa

##### III.1.4. Recipiente Contenedor de Torta y Suspensión

- a) Tanques cerrados bajo presión
- b) Tanques abiertos: alimentados por la parte superior en bandas y tambores, alimentados en la parte inferior por-

tambores y bancos de hojas al vacío.

c) Marcos

d) Platos

### III.1.5. Post - Tratamiento

a) Lavado

b) Eliminación de agua por presión hidráulica o mecánica

c) Secado

### III.1.6. Descarga de la Torta

a) Descarga húmeda

b) Descarga en seco

### III.1.2. Continuidad de la Operación

Otros factores relacionados con las características mecánicas, como flujo en canales y automatización, son utilizados para la clasificación de equipo.

En términos de continuidad de operación, los filtros a presión, al vacío y por gravedad pueden agruparse de la manera siguiente:

#### III.1.2.1 Filtros Intermitentes

- 1.- Prensa, marcos y platos, y platos suspendidos
- 2.- De hojas, horizontal, vertical
- 3.- Platos
- 4.- De cajones
- 5.- De tubos
- 6.- Nutsche
- 7.- De hojas al vacío
- 8.- Diseños especiales

### III.1.2.2. Filtros Semicontínuos

- 1.- De mesa o charolas inclinadas
- 2.- De banda intermitente
- 3.- De prensa automático

### III.1.2.3. Filtros Contínuos

- 1.- De disco
- 2.- De banda
- 3.- De tambor

En la actualidad con los nuevos instrumentos automáticos utilizados para la descarga en filtros intermitentes, es difícil asignar una categoría precisa a algunos filtros.

Para la filtración, la mayoría de los filtros a presión son intermitentes, mientras que la mayoría de filtros al vacío son contínuos o semicontínuos.

Las ventajas y desventajas son cubiertas en discusiones subsiguientes de una manera general, reconociéndose que dichas consideraciones varían ampliamente, dependiendo del problema particular de filtración.

### III.1.2.1 Filtros Intermitentes

#### 1.- Filtro Prensa

El filtro prensa (Fig. III.1) consiste de un esqueleto hecho de dos soportes extremos unidos por dos barras paralelas horizontales. Sobre las barras se encuentran un número variable de cámaras filtrantes que consisten de placas cubiertas con un medio filtrante alternados con marcos, los cuales proporcionan espacio para la torta. Las cámaras están cerradas y ajustadas por un tornillo o ariete hidráulico, el cual man-

tiene las placas y marcos juntos, convirtiéndolo a la tela filtrante en un empaque.

La carga entra al filtro prensa bajo presión y llena cada una de las cámaras casi simultáneamente. El líquido pasa a través del medio filtrante, el cual a su vez retiene los sólidos. El filtrado es removido en la salida de descarga.

Hay varias maneras de arreglar la entrada de alimentación, salida del filtrado y, entrada del líquido de lavado. Las ventajas de un filtro prensa son su adaptabilidad a altas presiones, producción de una torta lavada y seca, durabilidad, medio filtrante, marcos y placas fácilmente desmontables y flexibilidad.

Las desventajas incluyen un costo de mano de obra alto, a menos que se mecanice, ruptura y exposición del producto al aire durante la descarga. La previsión de sistemas mecanizados para mover las placas del filtro, y para abrir y cerrar el filtro prensa al final y comienzo de cada ciclo de filtración, puede reducir los requerimientos de mano de obra de operación.

Los materiales de construcción de un filtro-prensa incluyen: fierro colado, madera, acero inoxidable, poliéster con fibra de vidrio, polipropileno y aluminio; las placas metálicas y marcos pueden tener un recubrimiento fenólico o de hule, o pueden ser de plástico.

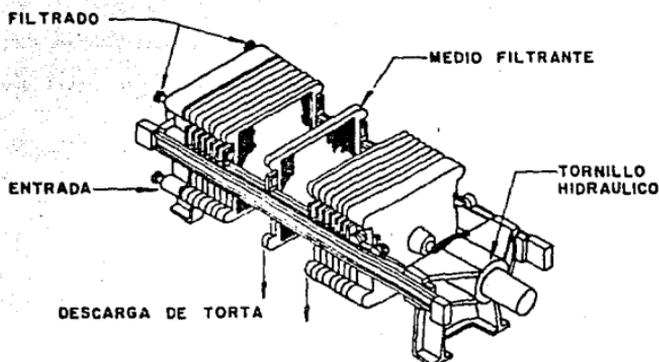


FIGURA III.1 FILTRO PRENSA

## 2.- Filtro de hojas

El filtro de hojas a presión (Fig. III.2), tiene una variedad de diseños. Esta unidad utiliza hojas como el medio filtrante. Las variaciones más comunes comprenden el arreglo de un tanque y hojas en varias combinaciones verticales y horizontales. Los tanques verticales normalmente contienen hojas verticales, mientras que los tanques horizontales pueden tener hojas verticales u horizontales. Las hojas pueden ser estacionarias o rotatorias, y de forma cuadrada, rectangular, trapezoidal, circular, elíptica, o un segmento de círculo. El drenaje puede localizarse en la parte superior, inferior, y en el centro, o en varias combinaciones. Cada diseño de hoja puede acoplarse a varios métodos de descarga. Para descarga húmeda, los elementos pueden limpiarse por medio

de un sistema de aspersión estacionario, rotatorio, oscilatorio o móvil, o el elemento puede hacerse pasar por un sistema fijo.

La descarga en seco puede completarse manualmente o mecánicamente, utilizando un golpeo repentino, vibración, aire o fuerza centrífuga.

En algunos filtros las hojas rotan lentamente contra un cepillo, para desprender la torta. En otros diseños, el tanque o las hojas giran 90° después de la filtración y antes de la descarga. La filtración se lleva a cabo con las hojas en posición horizontal, y la descarga se lleva a cabo con las hojas en posición vertical para aprovechar la fuerza de gravedad.

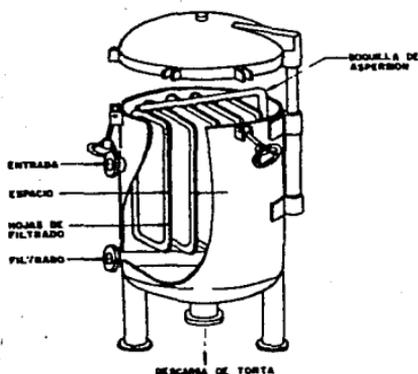


FIGURA 32.2 FILTRO DE HOJAS

### 3.- Filtro de Platos

El filtro de platos (Fig. III.3) es un tanque vertical con un cartucho de platos horizontales, actuando el medio filtrante como empaque y filtro. La dirección del flujo a través del medio es de la parte superior hacia abajo del plato circular, donde se forma la torta. El flujo por gravedad proporciona una estabilidad de torta excelente. Las ventajas de este tipo de filtro son: adaptabilidad para utilizar papel como medio filtrante, excelente estabilidad de torta para filtraciones intermitentes; sus desventajas son: alto costo de mano de obra (operación), rompimiento de la torta si los platos están torcidos, y limitaciones de tamaño. Los materiales de construcción incluyen acero inoxidable 304 y 316. Los platos normalmente están diseñados para una presión máxima de 50 psi.

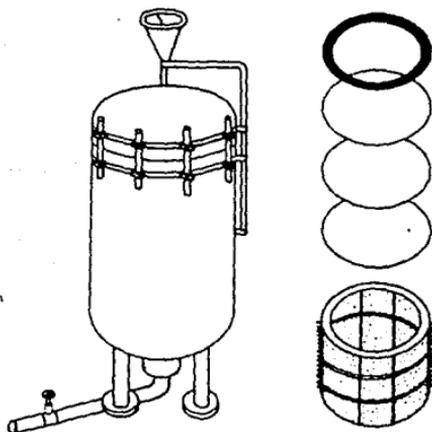


FIGURA III.3 FILTRO DE PLATOS

#### 4.- Filtro de Cajones

Este filtro (Fig. III.4), consiste de una serie de cajones adaptados a un tanque horizontal, abierto en un extremo. Cada cajón es normalmente drenado a través de salidas individuales hacia el drene del tanque. El arreglo de tubería es de tal forma que el líquido es transferido desde la parte inferior del tanque hasta el cajón superior y hacia los demás cajones. El filtro de cajón, estando en un tanque cerrado, proporciona un ciclo de secado eficiente. Esto permite una recuperación casi completa de sólidos y filtrado. La principal ventaja del filtro de cajones es que la recuperación de sólidos y líquidos es prácticamente completa. Las desventajas que presenta es el hecho de que la filtración se lleva a cabo en la superficie superior del cajón solamente. Tiene limitaciones de tamaño, y sus costos de operación son altos. Los materiales estándar de construcción son aceros inoxidables 304 y 316. También se encuentran disponibles en materiales como: monel, Hastelloy, titanio y níquel.

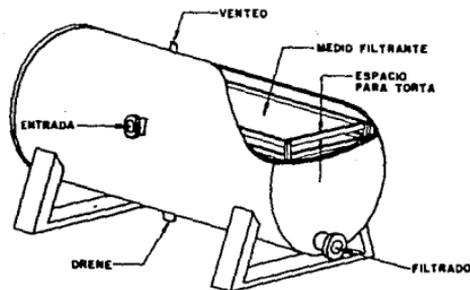


FIGURA III.4 FILTRO DE CAJONES

### 5.- Filtro de Tubos

Un filtro de tubos (Fig. III.5), normalmente contiene tubos verticales que consisten de elementos alambrados, paquetes de anillos, algodón sintético, mallas de alambre flexible, cerámicas porosas y carbón poroso. Los tubos pueden estar montados para una descarga superior o inferior. La descarga de la torta depende de la acción de lavado con o sin aire, o con una bomba de gas. Los principales atributos de este filtro son: requerimiento pequeño de espacio, costo de construcción bajo y operación simple. Sus desventajas surgen del hecho de que los tubos deben lavarse uniformemente para evitar acumulación de impurezas, la descarga en seco no es posible más que en algunos diseños, y la construcción de los tubos debe ser tal que soporte flujo en dos direcciones.

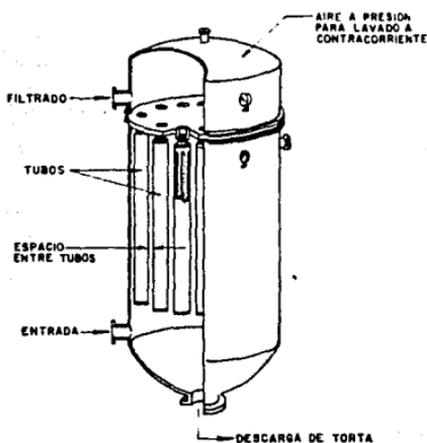


FIGURA III.5 FILTRO DE TUBOS

## 6.- Nutsche

Similar en operación al filtro Buchner, este filtro usualmente está -  
construido por un cilindro dividido en dos partes por un filtro horizon-  
tal de platos cubiertos con un medio conveniente. La solución está co-  
locada en la cámara superior, y la filtración se lleva a cabo por grave-  
dad o al vacío.

Un filtro Nutsche tiene ventajas de simplicidad de construcción y opera-  
ción, desplazamiento efectivo de lavado, facilidad para procedimientos-  
de prueba y estudios a nivel planta piloto, facilidad para manejo de ma-  
teriales cristalinos, y para manejar materiales corrosivos. Su uso re-  
quiere de un alto costo de mano de obra para descarga de la torta, y -  
ocupa mucho espacio por unidad de filtración. Puede ser construido de  
varios materiales incluyendo plásticos reforzados.

## 7.- Filtro de Hojas al Vacío

Filtro que opera al vacío. Sus ventajas incluyen: amplio rango de ma-  
teriales de construcción, bajo costo de operación y mano de obra, faci-  
lidad de descarga de torta. Sus desventajas derivan en la limitación -  
de manejar líquidos volátiles y en controlar la temperatura por su cons-  
trucción abierta y limitación de la presión diferencial, impuesta por -  
el uso de vacío. El tanque puede construirse de una amplia gama de ma-  
teriales, incluyendo madera y concreto. Los elementos pueden construir-  
se de metal y plástico.

### III.1.2.2. Filtros Semicontínuos

#### 1.- Filtro de mesa o charolas inclinadas

Este filtro (Fig. III.6) consiste de una serie de cavidades o cámaras - abiertas en un plano horizontal, rotando en un eje central vertical. Las cámaras tienen una inclinación y se conectan directamente por medio de una válvula por debajo de la unidad. La torta se puede lavar a contracorriente. La descarga de la torta se lleva a cabo separadamente - por medio de unas palas, o simplemente por inclinación de cada sector - al final de la filtración. Este filtro es adecuado para productos con alto contenido de sólidos y grandes requerimientos hidráulicos. Sus desventajas: utiliza sólo un lado del elemento de filtración, requiere un gran espacio y el costo del equipo es relativamente alto.

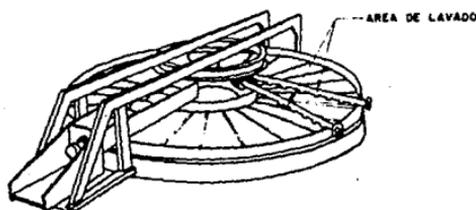


FIGURA III.6 FILTRO DE MESA O CHAROLAS INCLINADAS

## 2.- Filtro Prensa Automático

Básicamente la unidad consiste de una serie de marcos horizontales con un medio filtrante removible montado en una banda, la cual pasa hacia adelante y hacia atrás de los marcos. Al final del ciclo, los marcos son separados y la banda puesta en movimiento. Se introduce medio filtrante fresco en el filtro, y las secciones utilizadas se lavan y limpian mientras el siguiente ciclo se lleva a cabo. Dicho filtro produce

una torta con un contenido residual de humedad bajo, y es flexible en su uso. Su principal desventaja es que el costo del equipo es relativamente alto.

### III.1.2.3. Filtros Continuos

#### 1.- Filtro de Discos

Este filtro (Fig. III.7) consiste de una serie de discos delgados y acanalados que giran sobre una flecha y están parcialmente sumergidos en la suspensión. Cada disco está compuesto de secciones en forma de pay, y están cubiertos por un medio filtrante. El filtrado pasa a través del medio y en salidas separadas para cada sección. La tubería de salida para cada sección pasa a través de la flecha central y hacia la válvula principal del filtro, la cual controla el vacío y el flujo. Los discos proporcionan el mínimo costo por pie cuadrado de área efectiva de filtración y tienen la máxima área de filtración en el mínimo espacio. La desventaja es: poco satisfactorios para operaciones de lavado. Los filtros de discos pueden construirse en una variedad de materiales incluyendo madera y plástico.

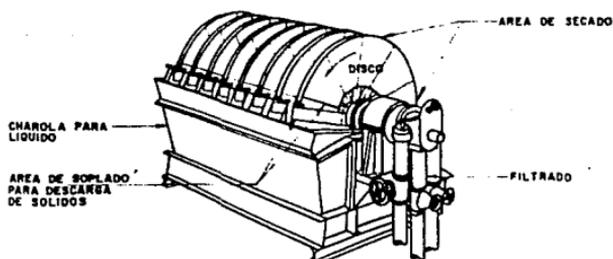


FIGURA III.7 FILTRO DE DISCOS

## 2.- Filtro de Banda

Se compone de una banda que pasa a través de cajas de succión, sometidas a vacío (Fig. III.8). La banda puede lavarse a su regreso en la parte inferior del filtro. Las ventajas de este arreglo son: las áreas relativas de filtración, lavado y, secado, pueden ajustarse más rápidamente que los tambores rotatorios, la sedimentación no interfiere con la filtración y el lavado a contracorriente de la torta es factible. Las desventajas son su alto costo y problemas asociados con la construcción de la banda.

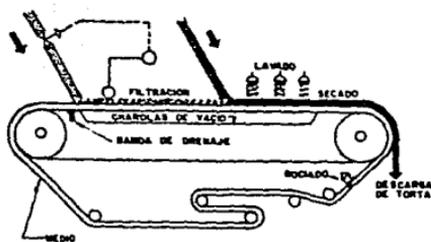


FIGURA III.8 FILTRO DE BANDA

## 3.- Filtro de Tambor

El filtro de tambor rotatorio (Fig. III.9), consiste de un cilindro (Fig. III.10), el cual está dispuesto horizontalmente, con la superficie exterior formada por una placa perforada o elementos de drenaje especiales sobre los cuales se fija la tela filtrante. Algunas veces la tela está separada del tambor por una malla metálica gruesa, por lo que

el área de filtración es máxima, manteniéndose en posición por medio de alambres o de una tela metálica fina que al mismo tiempo la protege.

En la mayoría de los modelos recientes, el cilindro está dividido en un cierto número de sectores, existiendo una conexión por separado entre - cada sector y una válvula rotatoria especial.

El tambor está sumergido en la suspensión hasta la profundidad adecuada, agitándose dicha suspensión para evitar la precipitación de los sólidos, y aplicándose el vacío a aquellos sectores del tambor que estén sumergidos.

Se produce una torta del espesor deseado, hasta aproximadamente 100 mm., ajustando la velocidad de rotación del tambor. Un aumento de velocidad tiene como resultado la formación de una torta más delgada y en consecuencia, una velocidad de filtración superior. La capacidad de un filtro normalmente comprende entre 0.1 y 5 Kgs., de sólidos por metro cuadrado y por segundo, variando según la naturaleza de la torta.

La mayoría de los filtros continuos operan en ciclos de tiempo en el - rango de 0.1 a 10 minutos por revolución (min/rev). (10 a 0.1 revoluciones por minuto (rpm)).

Ciclos mayores de 10 min/rev, o sea velocidades menores a 0.1 son raros y frecuentemente indican una mala aplicación para un filtro continuo, y un filtro intermitente posiblemente puede presentar una selección más - económica. Usualmente son usados filtros de velocidad variable para - que el tiempo de ciclo pueda ser ajustado a las condiciones adecuadas.

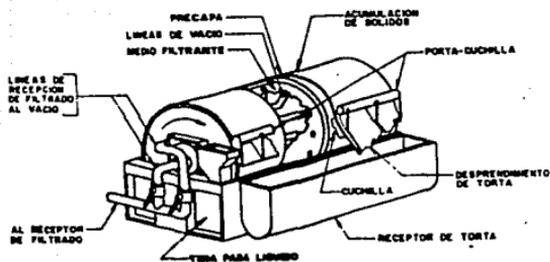


FIGURA III.9 FILTRO DE TAMBOR

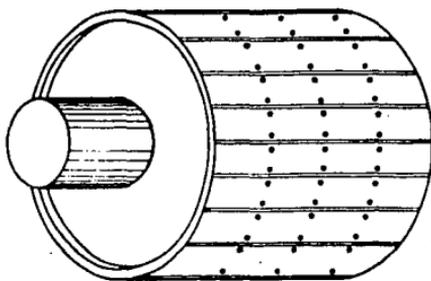


FIGURA III.10 CILINDRO DE FILTRO DE TAMBOR

La filtración tiene lugar a presión aproximadamente constante, excepto en las primeras etapas, cuando se está haciendo el vacío en el sector. Esta fase inicial ocupa aproximadamente el 3% del tiempo de filtración, para los materiales de filtración lenta, y hasta el 20% para los más fácilmente filtrables.

A medida que el tambor gira, este medio proporciona un filtro continuo, procediendo a través de las siguientes etapas, (Fig. III.11).

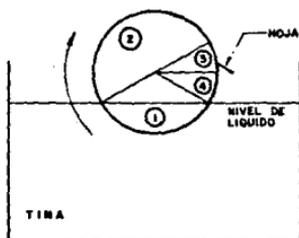


FIGURA III.11 ETAPAS DE OPERACION DE UN FILTRO AL VACIO DE TAMBOR GIRATORIO

1. Formación de la torta.- Durante esta etapa se sumerge el tambor en una tina que contiene la suspensión y se aplica el vacío. Los primeros sólidos que se depositan sobre el medio actúan como un filtro para la formación posterior de la torta. Por esta razón es recomendable que la torta se forme paulatinamente.

2. Extracción del líquido o secado.- También se aplica el vacío en la etapa de la extracción del líquido o secado.

Se extrae el agua de la torta del filtro a través del medio filtrante y pasa al interior del tambor y de allí a un receptor del filtrado.

3. Remoción de la torta del filtro.- La remoción de la torta del tambor puede efectuarse por alguno de los diferentes métodos que se verán posteriormente.

4. Lavado del medio.- La etapa final en el ciclo de la operación del filtro al vacío puede efectuarse de un modo continuo o intermitente.

Por lo regular se emplean pulverizadores de agua de alta presión.

Estos rociadores eliminan las partículas que podrían taponar el medio filtrante. A menudo es necesario lavar el filtro en forma rutinaria con un medio ácido. Esto es cierto, sobre todo cuando se emplean como acondicionadores compuestos químicos, tales como cloruro férrico y cal. Cada sector del tambor se sumerge por partes en la suspensión, y a continuación la torta es lavada y secada parcialmente por una corriente de aire. Finalmente, se aplica presión por debajo de la tela para ayudar al desprendimiento de la torta.

Uno de los elementos más importantes de este filtro es una válvula especial que consta de tres componentes principales, los dos primeros de rotación con el tambor, y el tercero fijo, y son los siguientes:

- a). El asiento de la válvula, que consiste en un disco plano con orificios que conectan con los dos sectores del filtro.
- b). El plato cambiante de desgaste, provisto de orificios correspondientes a los del asiento de la válvula y que gira en contacto con ésta.
- c). El cabezal de la válvula, mostrado en la Fig. (III.12), provisto de una ranura anular que conecta con la salida del filtrado, la entrada de líquidos de lavado, la conexión de vacío para secar la torta, y al aire comprimido para el desprendimiento de la misma, por lo que cada sector,

por turno, está frente a estas conexiones. Un punto móvil situado sobre la ranura, permite variar la fracción del ciclo ocupada por la filtración y el lavado. Normalmente, una tercera parte del ciclo se utiliza para la filtración, una mitad para el lavado y secado con aire, y la sexta parte restante para el desprendimiento de la torta.

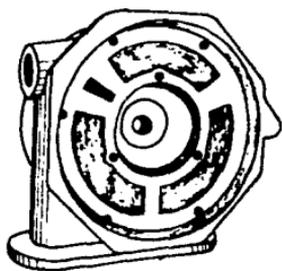


FIGURA III.12 CABEZAL DE LA VALVULA

El lavado se lleva a cabo rociando la torta una vez que abandona la suspensión, retirándose el líquido de lavado a través de la válvula rotatoria y recogiénose separadamente del filtrado. Si la torta se resquebraja al abandonar la suspensión, puede consolidarse por medio de una compresión efectuada por una correa de lona sinfin (Fig. III.13), forzada contra el tambor mediante dos pesados rodillos y movida por fricción con la torta sin que exista deslizamiento. El líquido de lavado se rocía en la parte superior del tambor y se filtra a través de la cinta, recogiénose el exceso. El compresor de torta puede utilizarse sin la aplicación del líquido para obtener una torta relativamente seca.

Cuando el lavado es muy difícil, puede descargarse la torta sin lavar, mezclándose después con líquido de lavado para formar una nueva suspensión que se vuelva a filtrar.

La capacidad de la bomba de vacío se encuentra en un rango de presiones diferenciales de aproximadamente 50 a 586 mm. Hg (2 a 27 in Hg), y estará determinada en gran manera por la cantidad de aire aspirado a través de la torta de filtración durante los períodos de lavado y secado en los que, en la mayoría de los casos, existirá simultáneamente flujo de líquido y de aire.

No es posible calcular con precisión la velocidad de paso de aire en estas circunstancias, y la capacidad del sistema de vacío se determinará por experimentación.

En la Fig. (III.14) se muestra el esquema típico de una instalación, observándose en el mismo que el aire y el líquido se retiran separadamente. Existen varios métodos de retirar la torta del tambor, pero la más usual es utilizar una cuchilla fija o rasqueta.

Se facilita la descarga mediante la acción de aire comprimido o vapor a la superficie inferior de la tela, desprendiéndose así la torta y elevándose ligeramente la tela filtrante, lo que la hace estar en más estrecho contacto con la cuchilla. Es importante un cuidadoso ajuste de esta rasqueta, ya que si está demasiado cerca del tambor puede dañar la tela.

Cuando resulta difícil desprender la torta, o cuando es interesante retirarla intacta, se utiliza la descarga mediante cuerda. Una serie de cuerdas sin fin, de fibras sintéticas, nylon u otros materiales, rodea -

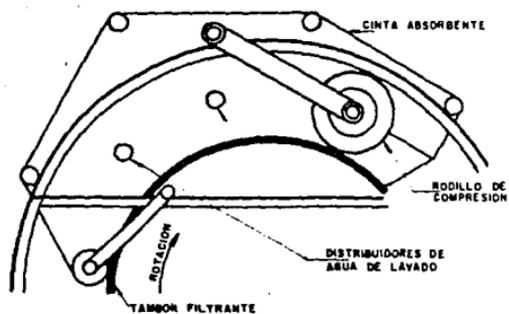


FIGURA III.13 COMPRESOR DE TORTA

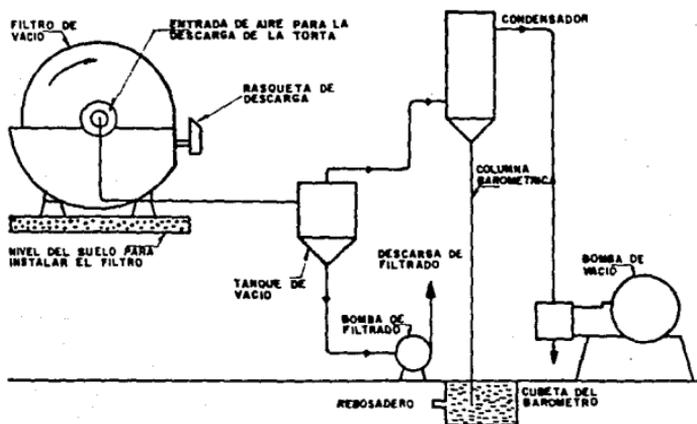


FIGURA III.14 ESQUEMA DE LA INSTALACION TÍPICA DE UN FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO

el tambor, al rodillo de descarga y a un peine de alineación y limpieza. Durante la operación el tambor tira y, debido a la succión, se forma una torta sobre la tela filtrante situada sobre las cuerdas. Estas aban donan el tambor tangencialmente, y la torta es transportada en una lámina contínua o un rodillo de descarga. La torta se descarga en gran par te por la flexión de las cuerdas sobre el rodillo.

La suspensión se debe agitar adecuadamente para impedir la sedimentación de las partículas, pero con materiales que decantan muy rápidamente, por ejemplo, suspensiones de carbón mineral en polvo o de cristales en sus aguas madres, resulta más satisfactorio introducir la alimenta-- ción por un canal vertedero situado en la parte superior del tambor de filtración. Como las partículas mayores se sedimentan más rápidamente, son depositadas cerca de la tela filtrante, formando las menores el res to de la torta. De esa forma se obtiene una torta de porosidad relati-- vamente elevada, consiguiéndose altas velocidades de filtración.

Los últimos avances en filtros rotatorios incluyen el aumento de tamaño, nuevos materiales de construcción y mejores métodos para la separación-- de la torta y el secado. Los tambores se fabrican ahora para dar super ficies de 60-148 m<sup>2</sup> (1600 ft<sup>2</sup>), frente a los 20 m<sup>2</sup> de los antiguos tam-- bores de fundición. Los nuevos materiales de construcción, como el ace ro inoxidable, titanio, resinas epoxi y plásticos como el PVC, presen-- tan una resistencia mucho más elevada frente a muchas suspensiones, y - por lo tanto una vida más larga. La sustitución del sistema de cuchi-- llas por un sistema de cinta proporciona una mejor descarga de la torta y permite la utilización de medios filtrantes más delgados como por - ejemplo fibras sintéticas. La cinta proporciona un soporte para la tor

ta y permite la utilización de aire comprimido para la separación de ésta.

El medio filtrante puede ser una malla de acero inoxidable o un tejido de fibra sintética o natural. Los materiales más comunes son nylon, polipropileno y polietileno. Se fabrican estos materiales dentro de un intervalo grande de porosidad lo bastante pequeña para obtener un filtrado adecuado, pero lo suficientemente grande para evitar el atascamiento. También debe considerarse la compatibilidad del material con la suspensión que debe filtrarse.

**EQUIPO AUXILIAR.** Varios son los dispositivos auxiliares que se requieren para la operación de filtros giratorios.

Estos incluyen la bomba de vacío, los receptores de vacío, la bomba de filtrado, la bomba de suspensión y el equipo para el acondicionamiento químico.

Es normal que cada filtro tenga su propia bomba, ya sea del tipo de desplazamiento positivo, ya sea recíprocamente o rotatoria o bien centrífuga. Las bombas recíprocantes son las más eficientes para altos vacíos de 20 a 25 pulgadas de mercurio. La capacidad de una bomba de vacío está determinada en parte por la porosidad del material filtrante. Si se cambia el medio filtrante, la capacidad de la bomba de vacío puede resultar insuficiente. Esta situación se pondrá de manifiesto cuando la bomba sea incapaz de evitar que el filtrado fluya hacia afuera cuando el tambor sale de la suspensión de la tina. Por supuesto que un desempeño pobre del sistema de vacío puede producirse por el desgaste normal o por un mantenimiento insuficiente del mismo.

Cada filtro de vacío debe tener un receptor de vacío entre la válvula - del filtro y la bomba de vacío. El receptor funciona como un separador entre el aire y el filtrado y como un depósito para la bomba de succión del filtrado.

Las bombas de alimentación de suspensión pueden ser: centrífugas, de - pistón, de diafragma o émbolo. Deben instalarse de manera que su capa- cidad sea constante e interconectarse con un sensor de nivel para que - se detenga cuando el líquido tenga en la tina una altura predeterminada, y volver a funcionar automáticamente cuando baje el nivel del filtro. Debe proporcionarse una bomba por separado para cada combinación de fil- tro y tanque.

El equipo de acondicionamiento químico incluye los tanques de almacena- miento de los productos químicos. Los recipientes de acondicionamiento de suspensión pueden ser tanques horizontales giratorios. La suspen- sión debe fluir por gravedad del tanque de acondicionamiento a la tina- del filtro para reducir a un mínimo el daño causado al flóculo. Para - que sea óptimo el mezclado de la suspensión y la floculación en condi- ciones variables, los tanques de acondicionamiento de suspensión debe- rán estar provistos de impulsores de mezclado de velocidad variable, - vertederos removibles y puntos múltiples para la aplicación de produc- tos químicos. En general, la velocidad de rotación de los mezcladores- fluctuará entre 10 y 60 rpm, según el diseño de los agitadores.

VARIABLES DE OPERACION. Diversas son las variables que deben armonizar se para operar con eficiencia un filtro al vacío, ya que cada suspen- sión que va a filtrarse tiene sus propias características de escurri---

miento, las variables deben ponerse a prueba para obtener el producto deseado. Los cambios deberán hacerse en pequeños incrementos y deberá dársele al sistema por lo menos media hora para reaccionar y alcanzar el nuevo equilibrio. Si se llena la tina del filtro con una suspensión impropriadamente acondicionada, lo mejor es drenar la tina y comenzar de nuevo.

—Acondicionamiento del lodo.— Los polielectrolitos, el cloruro férrico y la cal son los acondicionadores químicos empleados para coagular y flocular los sólidos en suspensión. Las partículas más grandes de flóculos se filtran más fácilmente y tienen una tendencia menor a obstruir los filtros. Cuando se usa hierro y cal, pueden acumularse depósitos en el medio filtrante y será necesaria una limpieza periódica con ácido. Es preciso un mezclado controlado para coagular y flocular apropiadamente las partículas en suspensión que deberán filtrarse al vacío. Los tanques de acondicionamiento están dimensionados para obtener un tiempo de retención de 30 a 60 segundos. Un mezclado deficiente no dispersará apropiadamente el flóculo; un mezclado excesivo romperá los flóculos. Deberá determinarse empíricamente la cantidad apropiada de mezclado para una suspensión en particular.

—Agitación de la tina.— La suspensión acondicionada deberá ser agitada en la tina del filtro para evitar su asentamiento. Las suspensiones orgánicas sin sólidos pesados, de ordinario sólo requieren de una agitación intermitente.

—Nivel de la tina.— El nivel de la tina de la suspensión acondicionada debe ser tal que, aunado al tiempo de giro del tambor, produzca el espe

sor que se desea para la torta. Los niveles altos producen tortas gruesas, aunque algo húmedas, en comparación con las producidas en niveles-bajos, siempre que las otras variables permanezcan constantes.

-Tiempos de ciclo.- La velocidad del tambor deberá ser ajustada de manera que la torta tenga el espesor y el contenido de humedad deseados. En la mayor parte de las aplicaciones es preferible una velocidad alta, que produzca una torta delgada y seca, a una velocidad baja, que produzca una torta gruesa.

-Vacío.- De ordinario, los filtros al vacío trabajan con el máximo que puede producirse. Ya que es usual emplear sólo una bomba de vacío por filtro, es necesario armonizar el vacío entre la sección que forma la torta y la sección que la seca. Un vacío alto producirá tortas más gruesas y húmedas en la zona de filtración y una velocidad mayor de escurrimiento de la torta.

-Material filtrante.- Se dispone de una gran variedad de materiales de filtración que permiten seleccionar tamaño y tejido. Los materiales con abertura de poro más grande, suelen producir tortas más secas a expensas de que pasan partículas finas al filtrado. Pueden efectuarse pruebas de hojas de filtro para determinar el medio apropiado a cada aplicación particular.

-Densidad de la Suspensión.- Las suspensiones espesas podrán ser filtradas y los sólidos eliminados del medio filtrante más fácilmente que las suspensiones diluidas. Algunas veces pueden añadirse rellenos como aserrín, tierra de diatomeas y ceniza muy fina para espesar suspensiones diluidas. Cuando los sólidos pasen, es conveniente alimentar cen-

za reciclada al espesador por delante del filtro, para aumentar los sólidos y mejorar el funcionamiento del filtro.

-Tamaño de la Partícula del sólido.- Si se logra una eficiencia alta en la recuperación (Captura), puede reducirse a un mínimo el nivel de partículas finas recicladas que se acumulan en la planta, si es muy alto; pueden obturarse los filtros. Las partículas finas pueden perjudicar también otros procesos de la planta, como la clarificación y la eliminación de DBO, sobrecargando la capacidad de separación de los sólidos.

EVALUACION DEL SISTEMA.- Para determinar si la filtración se está llevando a cabo adecuadamente, deben establecerse algunos puntos de referencia para su desempeño. Los resultados deseados, como la sequedad de la torta, un filtrado claro o una producción elevada, puede determinarse mediante los siguientes criterios:

1.- Rendimiento del filtro.- La medida más común del desempeño del filtro está expresada por el número de kilogramos de sólidos secos por metro cuadrado por segundo. Los valores típicos se encuentran entre 0.1 y 5 kilogramos por metro cuadrado por segundo. El rendimiento del filtro sólo mide la velocidad de producción en términos de equivalente en sólidos secos, pero no la eficiencia del filtro.

2.- Eficiencia del filtro.- Ya que el filtro al vacío es un dispositivo para separar tortas sólidas de una suspensión diluida, la eficiencia real del proceso está determinada por el porcentaje de sólidos alimentados que son recuperados en la torta del filtro. La eficiencia de un filtro al vacío para la remoción del sólido fluctúa entre 85% para una malla gruesa y 99% para tejido cerrado.

3.- Calidad de la Torta filtrada.- El contenido de humedad en la torta del filtro depende del tipo de suspensión y del tiempo de inmersión del filtro. Un buen funcionamiento del filtro no siempre significa que se produzca una torta lo más seca posible. Deberá ajustarse la humedad de la torta para obtener una torta tan seca como necesite.

Demandar algo más es ineficiencia y despilfarro de la capacidad del filtro.

4.- Calidad del filtrado.- El contenido de sólidos suspendidos es el indicador más importante de la calidad del filtrado. Esto depende del material del filtro (fino o grueso), la calidad de la suspensión alimentada al filtro (Porcentaje de partículas finas) y la magnitud del vacío. En general, deberá mantenerse lo más bajo posible la cantidad de sólidos suspendidos en el filtrado, en especial cuando el filtrado es asentado y enviado nuevamente a un espesador antes de entrar al filtro. Un porcentaje elevado de sólidos en el filtrado puede dar lugar a la formación de sólidos recirculantes, que interfieran con el espesador y la operación del filtro. No es necesario un sobretratamiento para obtener un filtrado claro como el agua, ya que una pequeña cantidad de partículas finas no producirá tales trastornos.

Los filtros al vacío son apropiados para efectuar diversas operaciones de desecamiento. En la mayor parte de los casos, el espesamiento de la suspensión antes de que sea filtrada al vacío, aumentará sustancialmente el rendimiento del filtro.

FILTROS CON PRECAPA CONTINUOS.- Los filtros continuos con precapa son usados principalmente como un mecanismo de clarificación para dar un filtrado perfectamente consistente. Adicionalmente, representa un medio

para descargar una torta extremadamente delgada, la cual no será removida por alguno de los sistemas previamente. En construcción es similar a otras unidades de tambor excepto que el vacío es mantenido sobre la superficie entera de filtración y el medio real consiste de un lecho altamente permeable de sólidos, tales como tierras diatomáceas (Fig. III.15). Esta precapa es aplicada al filtro en base a un ciclo para el filtrado de una suspensión diluida de material estable depositando una capa de 75 a 125 mm. (3 a 5 in) de espesor. Una vez que el medio es aplicado al espesor deseado la alimentación de la suspensión se introduce al filtro y el líquido es sacado a través del lecho poroso y los sólidos son depositados en la parte externa de la precapa. Esta torta de filtración es eliminada por el lento avance de una cuchilla, la cual también elimina una capa delgada de material de la precapa. En operación adecuada, la cuchilla no necesita avanzar más que la cantidad de penetración de los sólidos, la cual estará en el rango de 0.05 a 0.2 mm (0.002 a 0.008 in) por revolución del filtro, dependiendo de la porosidad del material de la precapa y las características de los sólidos. En promedio un lecho de precapa durará de 2 a 4 días, después de lo cual el filtro debe ser sacado de servicio, lavado y precapeado, una operación que requiere de 1 a 3 horas. Los materiales para precapa usualmente consisten de sustancias permeables, tales como tierras diatomáceas o perlita expandida. Otros materiales que pueden ser usados cuando el contenido de silicio de las tierras diatomáceas o perlita es considerado desventajoso, incluyen carbón finamente pulverizado, carbón de madera activado, aserrín, almidón de papa y sustancias similares. Con los diferentes grados de perlitas y tierras diatomáceas, las permeabilidades varía grandemente, lo cual da como consecuencia una variación

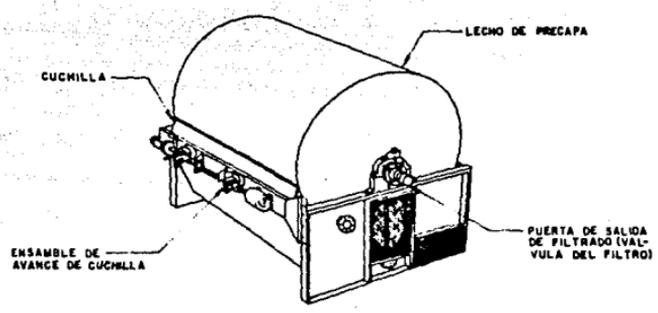


FIGURA III.16 FILTRO CONTINUO COM PRECAPA

similar en la velocidad de filtración, cuando suspensiones muy diluidas son filtradas. Si una cantidad considerable de sólidos está presente en la suspensión alimentada, la mayor caída de presión es producida por la torta de filtración y las velocidades no serán significativamente diferentes, independientemente del material de precapa seleccionado. Con los grados más permeables, la penetración de sólidos será mayor, y esto puede dar como resultado un mayor consumo del material de precapa por cantidad unitaria de filtrado.

El material de precapa es retenido por una tela adecuada o por medio de un tamiz, el cual es puesto en la superficie del tambor en forma típica. Es importante que el taponeo de este medio sea prevenido, debido a que esto causa que la precapa se reblandezca y caiga de la zona taponada.

En operación, el factor más importante es asegurar que los sólidos filtrados sean removidos continuamente para todas las revoluciones por la cuchilla. Si una remoción incompleta ocurre, debido a que el lecho de precapa se aleja de la cuchilla, una pausa del ciclo puede ser iniciada y da como resultado una reducción en la velocidad de filtración, debido a la resistencia de los sólidos filtrados. Una vez que la cuchilla entra en contacto con la torta y se remueve esta capa de sólidos, una rápida expansión del lecho ocurrirá y un corte profundo del material de la precapa se producirá. Este ciclo continúa indefinidamente hasta que la velocidad de avance de la cuchilla es incrementada al nivel requerido para mantener la penetración normal de los sólidos filtrados. Repetidos ciclos pausa causarán que el lecho de precapa se rompa y se deteriore la calidad del filtrado.

Un efecto similar aunque no así de prolongado, puede ocurrir si otros factores causan un cambio en la presión diferencial a través del lecho de precapa, tal como un incremento en la concentración de sólidos en la alimentación, o variación en el vacío, resultando del uso de un sistema de vacío ordinario.

#### VENTAJAS DEL FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO

- a).- El funcionamiento del filtro es completamente automático, reduciéndose por lo tanto a un mínimo la necesidad de mano de obra.
- b).- Pueden formarse tortas de cualquier espesor alterando la velocidad de rotación del filtro. El espesor suele ser normalmente desde 3 mm. para sólidos finos hasta 100 mm. para sólidos muy gruesos.
- c).- El filtro tiene una capacidad muy grande dado su tamaño, y es ampliamente utilizado para la filtración de grandes cantidades de materiales de fácil filtración.
- d).- Si la torta es de sólidos gruesos puede recuperarse de ella la mayor parte del líquido antes de descargarla.

#### INCONVENIENTES

- a).- Es un filtro de vacío y por lo tanto la diferencia de presiones máxima disponible es limitada, resultando difícil la filtración de líquidos calientes, debido a su tendencia a la ebullición.
- b).- No puede utilizarse este filtro para materiales que formen tortas relativamente impermeables o difíciles de separar de la tela. Las propiedades filtrantes de la suspensión pueden mejorarse utilizando coadyuvantes.

- c).- No es fácil obtener un buen lavado, pero frecuentemente una doble filtración resolverá este problema.
- d).- Es difícil obtener una torta seca.
- e).- Los gastos de instalación del filtro y de vacío son elevados.

### III.2 SELECCION DEL FILTRO

Hay dos pre-requisitos obvios para la selección del filtro.

El primero es un entendimiento completo del problema de la filtración a ser resuelto, lo cual es frecuentemente mucho más difícil de lo que aparenta inicialmente.

El segundo requerimiento es también un conocimiento completo de la gama de equipo de filtración disponible, lo cual permite conocer qué tipos de filtros son corrientemente vendidos, así como las áreas de aplicación de cada tipo. Ver tabla (III.1)

Hay dos medios usuales que nos dan mayor conocimiento en el desarrollo de filtración y son: catálogos y libros especializados en el tema o artículos publicados en revistas técnicas.

Los factores que deben ser considerados y los tipos de filtros disponibles complican la selección de uno o más para un trabajo particular.

Sin embargo, buenos datos de prueba y condiciones favorables de proceso hacen el trabajo más fácil.

Los factores importantes son generalmente los siguientes:

- (1) Carácter de la suspensión
- (2) Nivel de producción
- (3) Condiciones de proceso
- (4) Resultados requeridos
- (5) Materiales de construcción

Uno de estos, frecuentemente sobrepasa a los otros en importancia. Como se relacionan estos cinco factores a tipos específicos de equipo es-

TABLA (III.1) GUIA PARA LA SELECCION DE FILTROS

CARACTERISTICAS DE LA SUSPENSION	FILTRACION RAPIDA (A)	FILTRACION MEDIA (B)	FILTRACION LENTA (C)	DILUIDA (D)	MUY DILUIDA (E)
Velocidad de Formación de Torta	pulg/seg	pulg/min	0.05 a 0.25 pulg/min	0.05 pulg/min	
Concentración Normal	20%	10 a 20%	1 a 10%	5%	0.1%
Velocidad de Sedimentación	Rápida, diffcil de suspender	Rápida	Lenta	Lenta	-
Velocidad de Prueba en Filtro de Hoja lb/hr/pie <sup>2</sup>	500	50 a 500	5 a 50	5	
Velocidad de Filtración	5	0.2 a 5	0.01 a 0.02	0.01 a 2	0.01 a 2

mostrado en la tabla (III.2).

Las características de formación de torta de la suspensión indica si puede o no ser filtrada continuamente. Si una torta de 0.3175 cm. no puede ser formada bajo vacío en menos de 5 minutos, la filtración continua no es práctica. Sin embargo, tal filtración es frecuentemente usada con suspensiones que oscilan desde este límite inferior en formación de torta hasta materiales extremadamente libres de filtrado, por lo que espesores de 5 cm. de torta o mayores pueden ser formadas en cuestión de segundos. En este rango, las características de formación de torta y otros factores son importantes en la determinación de la selección más lógica de equipo del tipo de filtración continua.

La velocidad de producción frecuentemente indica si un filtro continuo será seleccionado. Altas velocidades de producción favorecen la filtración continua, debido a los bajos costos de operación. A bajas velocidades, la operación continua será difícil de justificar, en una planta piloto, el dinero para un filtro continuo puede ser mejor utilizado en rentar y probar diferentes tipos de equipo de filtración, y aún otros tipos de equipo de separación sólido-líquido.

Algunas veces las condiciones de proceso limitan severamente la selección del filtro. Por ejemplo, la operación al vacío puede no ser posible debido a limitaciones de temperatura y presión de vapor. Esto limita las posibilidades de un filtro a presión continuo costoso (con o sin precapa) o a una unidad intermitente a presión. La resistencia química y los requerimientos de temperatura pueden limitar la selección del medio filtrante, lo cual puede frecuentemente influenciar en el tipo de -

mostrado en la tabla (III.2).

Las características de formación de torta de la suspensión indica si puede o no ser filtrada continuamente. Si una torta de 0.3175 cm. no puede ser formada bajo vacío en menos de 5 minutos, la filtración continua no es práctica. Sin embargo, tal filtración es frecuentemente usada con suspensiones que oscilan desde este límite inferior en formación de torta hasta materiales extremadamente libres de filtrado, por lo que espesores de 5 cm. de torta o mayores pueden ser formadas en cuestión de segundos. En este rango, las características de formación de torta y otros factores son importantes en la determinación de la selección más lógica de equipo del tipo de filtración continua.

La velocidad de producción frecuentemente indica si un filtro continuo será seleccionado. Altas velocidades de producción favorecen la filtración continua, debido a los bajos costos de operación. A bajas velocidades, la operación continua será difícil de justificar, en una planta piloto, el dinero para un filtro continuo puede ser mejor utilizado en rentar y probar diferentes tipos de equipo de filtración, y aún otros tipos de equipo de separación sólido-líquido.

Algunas veces las condiciones de proceso limitan severamente la selección del filtro. Por ejemplo, la operación al vacío puede no ser posible debido a limitaciones de temperatura y presión de vapor. Esto limita las posibilidades de un filtro a presión continuo costoso (Con o sin precapa) o a una unidad intermitente a presión. La resistencia química y los requerimientos de temperatura pueden limitar la selección del medio filtrante, lo cual puede frecuentemente influenciar en el tipo de -

equipo.

Los materiales volátiles, explosivos y tóxicos requieren, ya sea un filtro continuo hermético a los vapores costosos, o una operación intermitente.

El proceso mismo, si es intermitente o continuo, influye en la selección entre filtración intermitente y continua, aunque el nivel de producción es usualmente un factor muy importante.

Que resultados son requeridos, es particularmente importante al decidir qué unidad específica de un tipo general puede ser mejor. Si la filtración continua es indicada, requerimientos de lavado, así como el grado de separación del filtrado del lavado que es necesario, tiene considerable relación. Similarmente, si la filtración intermitente parece lógica, el medio permisible de descarga de la torta (si puede ser desechada o debe ser recobrada seca), así como los requerimientos de lavado serán significativos.

El material de construcción influencia la selección del filtro, ya que afecta el precio de compra, lo cual depende de las dificultades de fabricación, así como el costo del mismo material. Por ejemplo, una aplicación para un filtro continuo al vacío puede ser más económicamente manejado para un diseño simple, que para un filtro intermitente fácilmente fabricado.

En años recientes, los plásticos han hecho posible los filtros económicos de muchos tipos para servicios muy corrosivos. Estos son particularmente usuales si la temperatura y presión no son excesivamente altas.

Especificación muy detallada de materiales de construcción es frecuentemente necesaria para evitar dificultades de operación y altos costos de mantenimiento.

La filtrabilidad depende de factores tales como la forma, distribución de tamaño y estructura de las partículas sólidas, así como de la viscosidad del líquido y de la concentración de sólidos en la suspensión.

Otra carta que nos servirá para la selección del filtro, la cual está basada en el contenido de sólidos en la suspensión y tamaño de partícula, la podemos ver en la tabla (III.3).

El carácter de la suspensión es arbitrariamente dividida en cinco tipos, los cuales cubren la mayoría de los materiales normalmente encontrados.

La más notable excepción son las suspensiones de materiales fibrosos, - tales como pulpa de papel, las cuales no forman rápidamente tortas densas debido a que ellas son muy diluídas. Aunque éstas pueden ser puestas en la categoría de filtración rápida, debido a que su rapidez de filtración es muy alta, pueden ser manejadas por equipo de filtración rápida.

#### TIPO A : SUSPENSIONES DE FILTRACION RAPIDA

Las suspensiones de filtración rápida son las más frecuentemente encontradas en el procesamiento de minerales y como productos de cristalizadores. Forman un espesor de torta de varias pulgadas en unos cuantos segundos.

Estas se asientan rápidamente (el líquido sobrenadante se clarifica en-

unos cuantos segundos), por lo cual requieren cuidado especial para ser filtradas en una hoja de vacío. Si la concentración de la suspensión no es alta frecuentemente es espesada antes de ser filtrada.

Tales suspensiones pueden ser manejadas con un solo compartimiento o versión especial de filtros al vacío de múltiple compartimiento o para producción en gran escala con filtros horizontales al vacío. Para producción a pequeña escala, filtros de platos horizontales Nutsche son frecuentemente usados.

Para una producción en gran escala, otros métodos de separación frecuentemente serán competitivos o superiores a los filtros. Estos incluyen centrífugas de varios tipos, tamizado y algunas veces sedimentación y drenado.

#### TIPO B : SUSPENSIONES DE SEDIMENTACION MEDIA

Con suspensiones de filtración media, tortas de media pulgada a dos pulgadas pueden ser formadas con vacío en aproximadamente un minuto. Estas suspensiones pueden usualmente ser puestas en suspensión por agitación suave con una espátula en un vaso.

Para producción en gran escala, el filtro de tambor de múltiple compartimiento es usualmente más económico. Si los requerimientos para lavado o separación de lavado es grande, otros tipos pueden ser justificados.

Para producción en pequeña escala, filtros Nutsche o filtros intermitentes a presión son frecuentemente usados. Si un alto grado de lavado es requerido, uno de placa y marcos es claramente indicado.

La filtración a presión es usualmente hecha con filtros intermitentes a presión aunque la versión presurizada de los filtros de tambor rotatorio son algunas veces substituidos.

Otra vez la centrifugación puede ser una alternativa.

#### TIPO C : SUSPENSIONES DE FILTRACION LENTA.

Las suspensiones de filtración lenta son aquellas que filtran a la mínima velocidad practicable para filtros contínuos: torta de 0.3175 cm. - en aproximadamente cinco minutos de vacío. Estas suspensiones se lo---gran fácilmente con agitación suave. Generalmente, la concentración de la suspensión será algo menor (de 1 a 10%). Las tortas delgadas, son -diffciles de descargar.

Para producción en gran escala, el filtro de tambor de múltiple compartimiento es usualmente el más económico. La torta puede ser descargada de varias formas: Por banda, cordón o rodillos.

Si un considerable lavado es requerido, el tambor con un sólo compartimiento puede ser el mejor.

Para producción en pequeña escala, se usan filtros intermitentes a presión y Nutsches intermitente. Un filtro de marco y placas es también -frecuentemente seleccionado, especialmente si los requerimientos de lavado son grandes.

#### TIPO D : SUSPENSIONES DILUIDAS.

Las suspensiones diluidas incluyen aquellas que tienen una cantidad sustancial de sólidos pero no forman una torta lo bastante rápido para ser descargada de un filtro contínuo. Esto pasa ya sea cuando los sólidos-

son muy finos o la suspensión es muy diluida. Rara vez hay un problema de sedimentación.

Filtros con precapa continuos al vacio pueden ocasionalmente ser justificados, pero los filtros intermitentes a presión son favorecidos.

Estos son seleccionados dependiendo de factores tales como, la escala de producción, la condición requerida de los sólidos, y la cantidad de líquido de lavado que sea necesaria.

La centrifugación puede ser económica, especialmente si una suspensión concentrada puede ser manejada a altas velocidades.

#### TIPO E : SUSPENSIONES MUY DILUIDAS.

Las suspensiones muy diluidas abarcan todas las categorías, a excepción de que tienen baja concentración de sólidos generalmente menos de 0.1%.

El color es clarificado, además se forma una torta. La viscosidad de la solución y tamaño de la partícula son de más influencia. Para la separación de tamaño de partícula mayor (5 micras o más), filtro prensa, filtros de placa horizontales, filtros de cartucho y ya sean filtros con precapa intermitentes o continuos pueden ser usados, dependiendo de la velocidad de producción.

Los filtros prensa, cartucho o de placa horizontal son mejores para soluciones muy viscosas.

Para separaciones finas (5 micrones o menos) de soluciones de baja viscosidad, filtros intermitentes a presión con precapa son comunes, aunque a altas velocidades de producción, filtros al vacio continuos o con

precapa a presión pueden frecuentemente ser justificados. Soluciones - de alta viscosidad, manejando sólidos de menos de 5 micrones, usualmente requieren filtro prensa de marco y placas con precapa.

Filtros de cartucho, especialmente diseñados son usualmente seleccionados para líquidos con muy alta viscosidad, tales como polímeros fundidos. Estas aplicaciones son frecuentemente complicadas por su condición de baja en capacidad y consideraciones de velocidad de corte.

TABLA III.2 CARTA DE SELECCION DEL FILTRO, DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICAS DE LA SUSPENSION

TIPO DE FILTRO	CLASE DE SUSPENSION					NOTA N°
	A	B	C	D	E	
<b>Continuos de Tambor al vacio</b>						
Múltiple compartimiento	X	X	X			1
Un solo compartimiento	X	X	X			2
Tambor interno	X	X				3
Tolva desecadora (o filtro secador)	X	X				4
Alimentación superior	X	X				4
<b>Continuos Horizontales</b>						
Descarga de rodillo	X	X				5
Charola inclinada	X	X				5
Banda	X	X				5
Continuo de Disco (Vacío)		X	X			6
Continuo de Disco (Presión)		X	X			7
Continuo de Tambor (Presión)		X	X			7
Continuo al vacío con Precapa			X	X		8
Continuo a Presión con Precapa			X	X		8
Intermitente de Hoja al Vacío		X	X			9
Intermitente Nutsche	X	X	X	X	X	10
Intermitente a Presión		X	X	X	X	11
Marco y placa		X	X	X	X	11
De hoja vertical		X	X	X	X	12
Elemento tubular		X	X	X	X	13
Placa horizontal	X	X	X	X	X	14
Cartucho					X	15
Filtros centrífugos	X	X				16
Tamices Mecánicos	X	X				

## NOTAS EXPLICATIVAS DE LA TABLA (III.2)

- 1.- Estos filtros son aplicables cuando se utiliza vacío o cuando la mayoría de las suspensiones de los tipos B y C se producen en gran escala.
- 2.- Utilizados cuando se aplican velocidades de tambor altas, y cuando se pueden descargar tortas delgadas, bien lavados.
- 3.- Utilizados en suspensiones de filtración rápida cuando se aplica vacío en la torta.
- 4.- Usado para aplicaciones especiales de materiales de filtración rápida y secado.
- 5.- Conveniente para materiales de drenado libre y cuando un buen lavado es requerido.
- 6.- Usado cuando grandes rendimientos son requeridos en pequeños espacios de piso. Sin embargo, el lavado es muy difícil, y el secado de la torta frecuentemente pobre.
- 7.- Esta versión del filtro al vacío permite incrementar la presión diferencial.
- 8.- Recomendable para clarificación y para materiales que tapan la superficie de la tela normal.
- 9.- Bueno para separar el licor de lavado y para manejar grandes cantidades de material similar. Sin embargo, el filtro requiere grandes espacios de pisos y presenta problemas de manejo.
- 10.- Recomendable prácticamente para cualquier separación, cuando unidades automáticas son consideradas.
- 11.- Este mecanismo de separación usado más ampliamente es particularmente bueno para procesos intermitentes, así como cuando muchos productos deben ser manejados por una unidad. Grandes instalaciones pueden ser automatizadas para reducir los requerimientos de mano de obra.

12.- La aplicación usual es para licores tóxicos y valiosos, donde completa seguridad es deseada. Buen lavado puede ser llevado a cabo y de carga automática puede ser arreglada.

13.- Este es comparado al tipo de marco y placas, excepto que la descarga de la torta seca no es posible. El filtro es adecuado para clarificaciones finas.

14.- Este es un filtro muy fino —con una retención final baja de líquido— cuando la filtración debe ser interrumpida. Precapa, papel filtro, etc., pueden ser usados para aplicaciones finas especiales.

15.- Muy recomendable para clarificación y remoción de partículas finas, así como para trabajos de filtrado y clarificación. La capacidad de sólidos es pequeña.

16.- Aunque recomendable para suspensiones del tipo A y B —especialmente cuando tortas secas son requeridas— es caro para ciertos materiales.

TABLA III.3 CARTA DE SELECCION DE FILTRO, DE ACUERDO AL CONTENIDO DE SOLIDOS EN LA SUSPENSION

EQUIPO	Contenido de sólidos s en peso (a)	Tamaño de Partícula Rango* de tamaño de partículas, micrones	FUNCIONAMIENTO RELATIVO:			
			Señeidad de la torta	Lavado de torta	Claridad (del filtrado)	Rompim: del Cristal
<b>Centrifugas</b>						
Canasta	10 a 50	2 a 30000	9	6	5	6
Criba Cónica (no espiral)	10 a 40	60 a 30000	7	-	5	7
Disco, manual	0.005 a 0.20	0.1 a 100	-	-	6-7	-
Disco, boquilla	0.1 a 2	0.1 a 100	3	-	6-7	-
Disco, auto-limpiante	0.08 a 1	0.1 a 100	3	-	6-7	-
Oscilante	40 a 70	50 a 30000	7-9	5	4	3
Impulsor	20 a 80	40 a 70000	9	5	4	4
Raspador	10 a 50	2 a 30000	9	6	5	5
Decantadora de tamiz giratorio	9 a 40	30 a 30000	6	5	4	5
Decantador espiral	7 a 60	1 a 30000	4	3	4	-
Tamiz espiral	30 a 60	100 a 20000	9	5	4	4
<b>Filtros por Gravedad</b>						
Tambor	0.08 a 0.8	50 a 6000	6	-	6-7	-
Lecho plano	0.05 a 5	1 a 90000	-	7	7-8	-
Tamiz rotatorio	0.009 a 0.1	100 a 10000	-	-	6	-
Arena	0.002 a 0.01	0.1 a 50	-	-	7-9	-
Mesa/charola	5 a 70	50 a 80000	5-7	9	7	8
Tamiz móvil	0.009 a 0.1	100 a 10000	-	-	6	-
Tamiz vibratorio	0.1 a 1	30 a 100000	5	5	6	-
<b>Filtros por Compresión</b>						
Filtro prensa automático	0.2 a 40	1 a 200	7	7	7-8	-
Prensa de charolas	10 a 60	1 a 200	7	7	7-8	-
<b>Filtros por Compresión</b>						
Tornillo por Compresión	10 a 70	1 a 200	6	-	-	-
<b>Filtros a Presión</b>						
Cartucho	0.002 a 0.02	2.6 a 50	5	-	7-9	8
Tambor	0.7 a 8	5 a 200	5-6	7	7-8	8
Canto	0.002 a 0.1	1 a 200	5	7	7-8	8
Filtro prensa	0.002 a 30	1 a 100	6	7	7-9	8
Hoja, Horizontal	0.002 a 0.26	1 a 100	5	8	8-9	8
Hoja, Vertical	0.008 a 0.4	1 a 110	5-6	6	7-8	8
Arena	0.002 a 0.02	0.2 a 60	-	-	7-9	-
Tamices	0.002 a 0.02	4 a 600	-	-	7	-
Elemento tubular	0.002 a 0.1	0.5 a 100	5	7	7-8	8
<b>Filtros al Vacío</b>						
Banda/charolas	8 a 50	20 a 80000	5-7	9	7	8
Disco	4 a 40	1 a 700	2-3	2	6	8
Tambor	5 a 70	1 a 600	4-5	7	7-8	8
Hoja	0.07 a 2	1 a 500	4-5	9	9	8
Tambor con Frecaza	0.01 a 7.1	0.6 a 170	-	-	3	-
Tamices de succión	7.12 a 2.29	50 a 223	-	-	7	-
Mesa/charola	8 a 50	20 a 80000	5-7	9	7	8
Elemento tubular	0.08 a 2	1 a 150	2-3	-	7	-

\*Adaptado de Edacs Data Manual

(a) Valores aproximados

(b) Escala de funcionamiento: 9 = El más alto.

CHEMICAL ENGINEERING/JUNE 26, 1972.

## CAPITULO IV

### I N D I C E

IV.	MEDIO FILTRANTE . . . . .	92
IV.1	CRITERIOS DE SELECCION . . . . .	92
IV.2	CLASIFICACION DE MEDIOS FILTRANTES . . . . .	93
IV.2.1	GENEROS TEJIDOS . . . . .	93
IV.2.1.1	ALGODON . . . . .	96
IV.2.1.2	NYLON . . . . .	97
IV.2.1.3	POLIESTER . . . . .	97
IV.2.1.4	POLIOLEFINAS . . . . .	98
IV.2.1.5	ACRILICO . . . . .	99
IV.2.1.6	MODACRILICO . . . . .	99
IV.2.1.7	SARAH . . . . .	99
IV.2.1.8	FLUOROCARBON . . . . .	100
IV.2.1.9	RAYON . . . . .	100
IV.2.2	GENEROS NO TEJIDOS . . . . .	102
IV.2.2.1	FIELTROS . . . . .	102
IV.2.2.2.	PAPEL . . . . .	103
IV.2.2.3	ASBESTOS . . . . .	104
IV.3	DESCRIPCION DE DIFERENTES MEDIOS FILTRANTES . . . . .	105
IV.3.1	CERAMICA Y SILICA . . . . .	105
IV.3.2	METALES . . . . .	106
IV.3.2.1	HOJAS METALICAS PERFORADAS . . . . .	107
IV.3.2.2	ALAMBRE TEJIDO . . . . .	107

## CAPITULO IV

IV.3.3	PLASTICOS POROSOS . . . . .	107
IV.3.3.1	HOJAS DE PLASTICO . . . . .	107
IV.3.3.2	MEMBRANAS . . . . .	108
IV.4	LA ESTRUCTURA DEL MEDIO FILTRANTE . . . . .	109
IV.5	EL MECANISMO DE FILTRACION . . . . .	110
IV.6	MEDICION DEL PODER DE DETENCION DEL MEDIO FILTRANTE .	111
IV.7	PERMEABILIDAD DEL MEDIO FILTRANTE . . . . .	113
IV.8	FILTRO AYUDAS . . . . .	134
IV.9	MATERIALES DISPONIBLES DE FILTRO AYUDAS . . . . .	136
IV.9.1	SILICE DE DIATOMACEAS . . . . .	138
IV.9.2	PERLITA . . . . .	140
IV.9.3	CELULOSA . . . . .	141
IV.9.4	CARBON . . . . .	141
IV.9.5	ASBESTO . . . . .	142
IV.10	SELECCION DE FILTRO AYUDAS . . . . .	142
IV.11	EVALUACION . . . . .	149
IV.12	PRECAPA . . . . .	152
IV.13	CUERPO AYUDA . . . . .	154
IV.14	SISTEMA DE FILTRACION . . . . .	155
IV.14.1	FILTRO ROTATORIO CON PRECAPA . . . . .	158
IV.15	EQUIPO AUXILIAR . . . . .	160
IV.15.1	TELAS DEL FILTRO . . . . .	160
IV.15.2	BOMBAS DE ALIMENTACION DEL FILTRO . . . . .	161
IV.15.3	PRECAPA Y TANQUES DOSIFICADORES . . . . .	162

## CAPITULO IV

IV.15.4	SISTEMAS DE DOSIFICACION DE FILTRO AYUDA . . . . .	163
IV.15.5	ADICION DE LA DOSIFICACION . . . . .	164
IV.16	METODOS DE RECUPERACION . . . . .	169
IV.16.1	RECUPERACION TERMICA . . . . .	169
IV.16.2	HIDROCICLONES . . . . .	170
IV.16.3	REUSO DIRECTO . . . . .	172
IV.16.4	TAMIZADO . . . . .	172
IV.16.5	SEDIMENTACION Y DECANTACION . . . . .	173

## IV. 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 función del medio filtrante es la de retener los sólidos suspendidos en la solución y permitir el paso del líquido. La selección de un medio filtrante se hará considerando los siguientes criterios.

### IV.1 Criterios de Selección

Los criterios fundamentales para la selección de un medio filtrante son los siguientes:

- a) Tamaño mínimo de partícula retenida
- b) Permeabilidad o resistencia al flujo
- c) Resistencia al calor, a la acción de productos químicos, a la abrasión y a la flexión
- d) Estabilidad dimensional
- e) Facilidad de limpieza

Además de estas características, se necesita información del estado físico (Concentración de partículas, temperatura, etc.) de la suspensión y su constitución química. En algunos casos, el componente deseable en la suspensión es el líquido, que puede requerirse en forma clarificada, en este caso las partículas pueden considerarse sin valor y la selección de un elemento de lecho profundo de gran capacidad de retención de

sólidos puede ser lo indicado. De otra forma, donde los sólidos son de valor, la información del tamaño de partícula del medio puede ser de uso más directo en la selección de éste.

La permeabilidad del medio limpio tendrá importancia en determinar los requerimientos de potencia y en decidir el flujo inicial a través del medio filtrante.

La resistencia al calor, a la acción de productos químicos, a la abrasión y a la flexión, son factores de vital importancia para la selección de un medio filtrante, ya que dependiendo de la composición química de la suspensión, temperatura de operación, naturaleza de los sólidos, será la selección del medio filtrante.

La estabilidad dimensional del medio filtrante debe ser tal que el tamaño de orificio no sufra variaciones de operación en operación, o cuando existan diferencias de temperatura.

Además de su facilidad de limpieza dependerá del gasto de agua de lavado, por lo que el medio filtrante debe sufrir la menor impregnación posible.

## IV.2 Clasificación de medios filtrantes

Los medios filtrantes se clasifican en dos grandes grupos: Géneros tejidos y géneros no tejidos, los cuales se describen a continuación:

### IV.2.1 Géneros Tejidos

Este es el grupo más grande de medios filtrantes. La primera y más obvia variable es la naturaleza de la fibra, que puede ser de un material natural como algodón, o sintético como nylon. Al seleccionar la fibra a utilizar, se debe prestar atención a las propiedades físicas co

mo resistencias al calor y al uso, así como también sus propiedades químicas.

La fibra seleccionada puede estar hecha dentro de un amplio rango de géneros dependiendo en la clase de tejido de la fibra y como es tejida.

Existen tres formas de hilados disponibles. Fibras naturales, como lana y algodón, las cuales son de longitud pequeña y son convertidas en hilados de hebra por medio de procesos de origen antiguo.

Las fibras sintéticas también pueden convertirse en hilados, pero normalmente son hechos por extrusión en filamentos, los cuales pueden fabricarse rápidamente en géneros, y son conocidos como hilados de monofilamentos. El tercer tipo de hilado es el multifilamento, que como su nombre lo indica, consiste de filamentos enredados y que produce un hilado más pesado. La tabla (IV.1) resume el efecto de estos tres tipos de hilados en las propiedades de la tela.

El tipo de hilado se muestra en orden decreciente de preferencia.

TABLA (IV.1) Efecto\* del tipo de hilado en el funcionamiento de la tela

MAXIMA CLARIDAD DE FILTRADO	RESISTENCIA MINIMA AL FLUJO	HUMEDAD MINIMA EN LA TORTA	MAXIMA FACILIDAD EN LA DESCARGA	VIDA MAXIMA DE LA TELA	MINIMA TENDENCIA A BLOQUEARSE
Hebra	Monofilamento	Monofil	Monofilamento	Hebra	Monofilamento
Multifilamento	Multifilamento	Multifil	Multifilamento	Multifilamento	Multifilamento
Monofilamento	Hebra	Hebra	Hebra	Monofilamento	Hebra

\*En orden decreciente de preferencia.

Existen tres tipos básicos de tejidos: sencillo, cruzado y satén, las diferencias entre éstos se ilustran claramente en la fig. (IV.1)

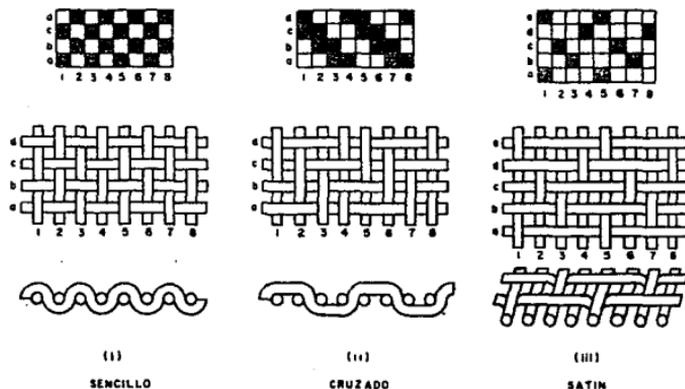


FIGURA IV.1 TIPOS BASICOS DE TEJIDO

Por supuesto hay muchos otros tejidos, pero éstos son esencialmente variaciones de los tres tipos básicos. La influencia de estos tejidos en las propiedades de un medio filtrante se muestra en la tabla (IV.2)

La tela tejida puede ser sujeta a una variedad de procesos de acabado. Los tres más importantes para la industria de la filtración son rolado, cepillado y calentamiento. Para el rolado se usan rodillos calientes a alta presión, lo cual causa que la tela se contraiga y proporcione a la superficie un pulido suave, lo cual puede mejorar la descarga de la torta. El cepillado es el uso de un rastrillo fino de acero, el cual produce una pelusa suave en la superficie de la tela, que mejora la reten-

ción de partículas finas de la tela. El calentamiento es aplicado algunas veces a fibras sintéticas para estabilizar las telas y hacerlas más adecuadas para uso a temperaturas elevadas.

TABLA (IV.2) Efecto\* del tipo de tejido en el funcionamiento de la tela

MAXIMA CLARIDAD DE FILTRADO	RESISTENCIA MINIMA AL FLUJO	HUMEDAD MINIMA EN LA TORTA	MAXIMA FACILIDAD EN LA DESCARGA	VIDA MAXIMA DE LA TELA	MINIMA TENDENCIA A BLOQUEARSE
Sencillo	Satín	Satín	Satín	Cruzado	Satín
Cruzado	Cruzado	Cruzado	Cruzado	Sencillo	Cruzado
Satín	Sencillo	Sencillo	Sencillo	Satín	Sencillo

\*En orden decreciente de preferencia.

Dentro de estos géneros, los materiales más comunes se describen a continuación:

IV.2.1.1 Algodón: Ha mantenido su amplia aplicación en las industrias químicas de proceso. En los últimos años, sin embargo, las fibras hechas por el hombre han reemplazado al algodón, pero éste aún posee gran parte del mercado, debido a su bajo costo y característica única de aumentar de dimensiones cuando es humedecido.

El algodón es la fibra natural más ampliamente utilizada como medio filtrante. Sólo se encuentra disponible en forma de fibra textil básica, es decir fibras cortas enrolladas y mecánicamente arregladas de tal forma que los ejes más largos de las fibras sean paralelos unas con otros, permitiéndoles ser desenredados en una longitud continua.

El algodón tiene buena resistencia al calor y a la abrasión, así como - resistencia mecánica. También tiene buena retención de partícula, debido a su forma de fibra textil hilada.

IV.2.1.2 Nylon: Es el material que ocupa el segundo lugar en el mercado industrial, y se caracteriza por su excepcional resistencia a la - abrasión y flexibilidad.

Su resistencia a los medios alcalinos es comparable sólo con la de los fluorocarbonos, pero generalmente tiene poca resistencia a los ácidos. Es degradado por ácidos minerales y agentes oxidantes, y este ataque es acelerado con altas temperaturas y concentraciones.

El nylon es adecuado a temperaturas superiores a 225° F (107° C) y en - medio húmedo. A causa de su resistencia a la abrasión y de su alto esfuerzo a la tensión tiene gran aplicación industrial.

IV.2.1.3 Poliéster: Ha ganado aceptación y uso en los últimos años. Poseen buena resistencia a la abrasión y al ataque químico, y tienen - una excelente estabilidad dimensional del medio es crítica.

Algunos textiles fabricados por el hombre son superiores en medios calientes y húmedos, donde los poliésteres están sujetos a degradación hidrolítica. Los poliésteres tienen buena resistencia a los ácidos orgánicos y minerales, con excepción de altas concentraciones de ácido nítrico y sulfúrico, así como de ácidos carboxílicos. También tienen buena resistencia a la mayoría de los disolventes orgánicos.

Sin embargo, los álcalis a altas temperaturas y concentraciones disuelven a los poliésteres.

IV.2.1.4 Hilados de poliolefinas: Es una familia compuesta por polietileno, polietileno lineal y polipropileno. El polipropileno es el más importante de los tres como filtro, debido a su amplio espectro de resistencia química y a la temperatura.

Las fibras de polipropileno combinan poco peso, alto esfuerzo a la tensión, excelente resistencia a la mayoría de los ácidos y álcalies en adición a un bajo costo.

La suavidad de la fibra produce un tejido con buenas características para la descarga y resistencia excepcional.

A causa de la baja absorción de humedad del polipropileno (0.5% después de constante inmersión por 24 horas), ofrece una ventaja importante en fábricas de colorantes y vinos.

El polipropileno ha sido utilizado exitosamente a temperaturas superiores a 250° F (121° C). Pierde tenacidad con el aumento de temperatura. Sin embargo, su calidad de no-higroscópico hace que sus características de degradación frente al calor sean las mismas en condiciones húmedas y secas.

Aunque el polipropileno tiene buena resistencia a los ácidos minerales y orgánicos, es atacado por el ácido nítrico y clorosulfónico a temperaturas elevadas.

Generalmente, tiene buena resistencia a los álcalis con excepción del hidróxido de sodio y de potasio a temperaturas arriba de 200° F (93° C) y altas concentraciones. El polipropileno también es adecuado en presencia de disolventes orgánicos excepto con hidrocarburos aromáticos y clorinados.

IV.2.1.5 Acrílico: Fibras que ofrecen una buena combinación de resistencia al calor y a la abrasión bajo condiciones húmedas y secas.

Es adecuado para aplicaciones en atmósferas ácidas y calientes.

Los acrílicos se han utilizado exitosamente en la filtración de disolventes, pinturas, aceite mineral, etc.

El acrílico es considerablemente superior a poliésteres y nylon en medios húmedos y calientes. Tiene resistencia satisfactoria a la mayoría de los ácidos minerales y orgánicos, pero menor que otros sintéticos, con la excepción de nylon y poliéster.

Es inferior en presencia de álcalis, ofrece de pobre a buena resistencia a los agentes oxidantes y excelente resistencia a los disolventes orgánicos, sobrepasando al polipropileno y modacrílico en este renglón.

IV.2.1.6 Modacrílicos: Generalmente tienen buena resistencia química y a la abrasión, así como excelente estabilidad dimensional. En medios húmedos y calientes esta fibra se degrada más que otras.

Los ácidos minerales y orgánicos tienen poco efecto, aún a concentraciones altas, éstas incluyen agua regia, ácidos crómico, nítrico, fosfórico y sulfónico.

Las fibras modacrílicas son satisfactorias en soluciones alcalinas y en casi todos los agentes oxidantes. No es afectado por disolventes o gasolina, pero se ablandan o disuelven con acetona tibia y algunas otras cetonas. Generalmente tienen buena resistencia a la abrasión, pero no tan buena como el nylon, poliéster o polipropileno.

IV.2.1.7 Saran: Tiene su más amplia aplicación en forma de monofilamento. Tiene buena resistencia a la abrasión pero no como el nylon o -

polipropileno. El saran se reblandece de 240 a 280° F (116 a 138° C), así que su temperatura límite de operación normalmente es de 160° F (71° C).

Ha sido utilizado exitosamente a temperaturas altas, pero sólo en forma intermitente.

El saran es una fibra autoextinguible. Funciona adecuadamente en la mayoría de los ácidos minerales, particularmente ácido clorhídrico y ácidos orgánicos, excepto con ácido sulfúrico concentrado. No es afectado por la mayoría de los álcalis con excepción del hidróxido de amonio.

Los ésteres y éteres causan degradación del saran los disolventes que comparten oxígeno. Los halógenos y el dioxano causan daños al saran.

IV.2.1.8 Fluorocarbón: Es la fibra químicamente más estable fabricada por el hombre. Tiene una superficie extremadamente lisa y un coeficiente de fricción bajo que le dan unas características de descarga excelentes. Tiene excelente resistencia al calor, habiéndose utilizado prolongadamente de 450 - 550° F (232 - 288° C). Sin embargo, una ventilación adecuada debe proveerse a temperaturas altas porque la fibra desprende gases tóxicos que deben ser removidos de las áreas de trabajo.

El fluorocarbón con la excepción del vidrio, es inferior a todas las demás fibras sintéticas en resistencia a la abrasión.

Reacciona con trifluoruro de cloro, metales alcalinos y gas fluoruro.

El costo es 20 veces más que el algodón, lo cual es otra característica limitante.

IV.2.1.9 Rayón: Es utilizado como medio filtrante en la producción de pinturas, aceites, té, licores y lociones. El medio es generalmente de

la forma no entretrejida (non-woven), y puede ser especificada donde -  
otras fibras celulósicas, como algodón y acetato, son usadas.  
Generalmente ofrece buena resistencia a la mayoría de los disolventes -  
orgánicos y ácidos orgánicos a excepción del salicílico. Acidos minera  
les concentrados fríos o diluidos y calientes desintegran la fibra.  
Fuertes soluciones de álcalis causan ablandamiento y reducción de la re  
sistencia a la tensión.

Las tablas (IV.3), (IV.4) y (IV.5) nos muestran algunas caracterfsticas  
y propiedades de las fibras sintéticas.

La tabla (IV.9) nos muestra la resistencia química de las fibras sinté-  
ticas y naturales.

## IV.2.2 Géneros No Tejidos

### IV.2.2.1 Fieltros

Un fieltro es esencialmente una serie de fibras cortas arregladas al azar. Un nombre común en el campo de los filtros es el de "géneros no tejidos". Los fieltros se conocen desde hace mucho tiempo y han encontrado un uso limitado como medio filtrante en la filtración a profundidad por muchos años. Sin embargo los desarrollos en años recientes han transformado esta situación al producir nuevos fieltros con tales propiedades que es fácil predecir que su uso se ampliará en un futuro muy cercano, tanto en filtración de superficie como profunda.

Los fieltros no entrelazados; es decir, fieltros que no están impregnados con una resina como agente de acción, son confiables por la resistencia mecánica de las fibras al azar. Sólo recientemente se han desarrollado técnicas adecuadas para producir estos fieltros que ahora se encuentran disponibles en varios materiales sintéticos. El método básico consiste en formar un material espeso por medio del proceso tradicional, el cual es virtualmente una operación de tejido, seguido de una compactación del material mediante una combinación de encogimiento y enredo mecánico en el cual el material es comprimido debajo de un plato vibratorio cubierto con agujas. De esta manera, combinando la selección del espesor correcto de la fibra, la porosidad y densidad pueden controlarse casi totalmente, produciéndose fieltros con pesos de 1 - 20 onzas/yarda<sup>2</sup> (34 - 678 g/m<sup>2</sup>). Normalmente producidos, estos fieltros tienen una superficie fibrosa, pero un acabado alternativo de "capa de huevo" puede lograrse.

Estos fieltros tienen excelentes propiedades mecánicas, gran estabili-

dad dimensional, resistencia a rasgarse y a deshilacharse después del corte.

Donde la rigidez es importante, esto puede obtenerse colocando el fieltro alrededor de una malla de alambre.

Las propiedades físicas y químicas de los fieltros, están limitadas por las propiedades de las fibras de los cuales están hechos.

Los fieltros entrelazados también están restringidos por las propiedades de la resina, con la cual están impregnadas, y que generalmente no son adecuadas para condiciones alcalinas.

Otro tipo de géneros impregnados con resina, son aquellos utilizados para filtrar aceites en filtros de cama, comunes en la industria metalúrgica.

Estos son géneros delgados, muy abiertos, con un énfasis mayor en un bajo costo, de tal manera que pueden ser desechados después de poco uso. Generalmente, están hechos de fibras sintéticas, alineados en forma paralela e impregnados con celulosa.

#### IV.2.2.2 Papel

Este material es ampliamente utilizado en la filtración industrial.

El proceso de fabricación de papel es esencialmente el mismo, utilizado por los chinos. Las materias primas originales fueron vegetales de fibras celulósicas como algodón, pasto y madera, pero se pueden utilizar muchos otros materiales como: vidrio, asbesto, e inclusive metal.

En esencia, el proceso no es más que dispersar las fibras individuales en una suspensión de agua y filtrar esta suspensión para dar una capa delgada que puede ser comprimida y secada. Por variaciones en el proceso, la porosidad del papel puede variarse de completamente impermeable-

a orificios muy abiertos.

Una de las mayores variables es el tamaño de las fibras individuales, - las cuales dependen en la naturaleza de las materias primas y en la forma de procesamiento.

El papel fabricado a base de celulosa tiene un poder de retención menor que aquellos hechos de fibra de vidrio. Sin embargo, la mayoría de los procesos de filtración industrial utilizan papel de celulosa por ser - más barato y tener mejores propiedades mecánicas. El papel de fibra de vidrio, que está especialmente sujeto a daño si no se maneja con cuidado, es frecuentemente utilizado para filtración de líquidos en laboratorio, su mayor campo de aplicación es en filtros de aire de alta y ultra eficiencia. Una diferencia importante entre estos dos tipos de papel - es que las fibras de celulosa se ablandan con la humedad, mientras que las fibras de vidrio no se alteran.

El papel de celulosa y de fibra de vidrio se pueden recubrir con neopreno y melamina, siendo el propósito principal incrementar la resistencia del papel cuando se encuentre húmedo o seco.

#### IV.2.2.3 Asbestos (En hojas)

Uno de los minerales más raros que se encuentran en la naturaleza son - los Asbestos. Hablando más estrictamente es un "grupo de materiales", - ya que el nombre Asbestos se aplica a cualquier mineral que puede ser - separado en fibras flexibles para producir un género. Estos materiales se han conocido desde tiempos remotos por sus propiedades particulares - de resistencia al fuego.

De los varios tipos de mineral de Asbestos, el más importante en la filtración es la Crisolita, que químicamente es un silicato de magnesio hi

tratado.

Una propiedad vital de los Asbestos es la de que su superficie tiene - cargas electrostáticas positivas, lo que probablemente explique sus propiedades singulares de filtración.

La naturaleza mineral de los Asbestos resulta en un contenido de impurezas, las cuales pueden ser solubles bajo ciertas circunstancias y que - pueden ser: magnesio, calcio y hierro. Los niveles de concentración de estos materiales pueden reducirse cuando sea necesario por medio de un tratamiento de Asbestos durante la manufactura.

La cantidad de asbestos en una hoja varfa de acuerdo al uso, dentro de un rango del 5-45%, mientras que la finura de las fibras se puede variar para obtener áreas de 15,000 a 35,000  $\text{cm}^2/\text{gr}$ .

En la práctica, existen hojas de asbestos que pueden manejar líquidos - muy viscosos, ya sea al vacfo o a presiones muy bajas.

La estructura física de las hojas y el mecanismo de su funcionamiento - imponen ciertas restricciones a la velocidad de flujo del líquido a través de ellas. Algunas hojas de asbestos están impregnadas con un agente de unión, para darles mayor resistencia, y también hay disponibles - hojas de asbestos con carbón activo para que calor disuelto y otros materiales sean removidos simultáneamente con los sólidos suspendidos.

#### IV.3 Descripción de Diferentes Medios Filtrantes

##### IV.3.1 Cerámica y Sílica

Este es un grupo de materiales que son de especial valor por su resistencia al ataque químico y a las altas temperaturas.

En realidad los filtros de sílica están comprendidos dentro del grupo -

de cerámicas. La característica común de ambos es que están compuestos por sólidos en polvo tratados a temperatura de 1400° C.

Esta clase de medio filtrante toma dos formas diferentes, una de las cuales comprende platos perforados con orificios de 1/4" de diámetro. La segunda de ellas de considerable importancia en la industria moderna, ya que incluye toda clase de elementos porosos. Generalmente están disponibles en forma cilíndrica y plana, de tal forma que su uso está restringido a un número pequeño de formas y tipos de filtros, además de que son relativamente frágiles. La tabla (IV.6) nos muestra algunas propiedades de la cerámica porosa.

#### IV.3.2 Metales

El uso de metales como medio filtrante había sido tratado con reserva, debido a las variaciones en porosidad y a problemas de tipo mecánico. Consecuentemente se utilizaban como un último recurso bajo condiciones de operación muy severas. Sin embargo, recientemente se han logrado avances en este campo, de tal manera que podemos encontrar filtros metálicos de bronce, acero inoxidable, Inconel, etc. Su única desventaja es su alto costo. Los filtros o medios filtrantes metálicos son producidos a partir de metales en polvo o alambre tejido. Los polvos pueden comprender partículas de forma irregular o esférica, y los de alambre tienen dos formas básicas, dependiendo de si se utiliza una o varias capas de alambre entretejido.

Controlando el tamaño de partícula de los polvos y el tejido del metal, la porosidad del medio filtrante metálico puede ser controlada con precisión considerable.

#### IV.3.2.1 Hojas Metálicas Perforadas

El uso de hojas metálicas perforadas como medio filtrante es de uso restringido, ya que los orificios generalmente no son más pequeños que de 75 micrones. Sin embargo, estas hojas tienen una importante función en el campo de la filtración, ya que actúan como soportes de medios más finos. La aplicación de rayos laser permite actualmente la producción de perforaciones extremadamente finas.

#### IV.3.2.2 Alambre Tejido

Han sido utilizados ampliamente por muchos años y se encuentran disponibles en muchos metales. Al fabricar una tela de alambre se tiene que hacer un balance entre utilizar un alambre fino para tener un mínimo de tamaño de malla, o utilizar un alambre más grueso que proporcione propiedades mecánicas como resistencia al esfuerzo y uso.

Este material se encuentra en el mercado en un amplio rango de tamaño de apertura hasta por debajo de 5 micrones.

#### IV.3.3 Plásticos Porosos

##### IV.3.3.1 Hojas de Plástico

El rango de plásticos porosos y la variedad de formas que se encuentran disponibles está creciendo rápidamente. Los materiales incluyen PVC, Poliuretano, polietileno y teflón; las formas van desde formas especiales rígidas a platos porosos, así como una variedad de hojas de naturaleza flexible con espesores de pulgadas hasta milésimas de pulgada.

El tamaño de poro varía desde grandes orificios hasta menos de 1 micrón. Los materiales son producidos por métodos de sinterizado y técnicas de

espumado, teniendo como resultado que la estructura de los orificios individuales sea una fuente más de variaciones. Por ejemplo, en un tipo de espuma, los poros son esencialmente continuos con canales tortuosos rodeándolos a lo largo por paredes de plástico sólido. En contraste con la espuma Scott, las paredes entre los canales adyacentes han formado una estructura con esqueleto, lo cual proporciona al material una gran porosidad.

#### IV.3.3.2 Membranas

El tipo de plástico poroso es especial para usarse en el amplio rango de membranas ahora disponibles en pequeña y gran escala. Una membrana es esencialmente una película muy delgada con poros muy finos, el espesor de los grados comerciales va desde 150 micrones hasta 0.2 micrones. Las membranas de nitrato de celulosa primero fueron hechas para uso en laboratorio a mediados del siglo diecinueve. Actualmente podemos encontrar otros materiales tales como: ésteres de celulosa, cloruro de polivinil, polietileno y fluorocarbón, su uso se ha extendido en operaciones en gran escala como la esterilización de la cerveza. La tabla (IV. 7) nos muestra algunas propiedades de las membranas "Millipore".

#### IV.4 La Estructura del Medio Filtrante

Las consideraciones de la estructura sólo son importantes para medios sólidos en forma rígida o semi-rígida, tales como metales porosos, tejidos y capas de polvos, todos los cuales están cubiertos por la definición común de medio filtrante como una tela o membrana porosa a través de la cual puede pasar un fluido. Implícito en esta definición está la suposición de que el medio está compuesto por una serie de orificios, separados por alguna clase de paredes sólidas y además, que el medio tiene un espesor finito.

De estos factores surgen posibles variaciones en el medio filtrante, las cuales solas o en combinación pueden afectar considerablemente sus características filtrantes. Estas son el tamaño y forma seccional de los orificios, su carácter a través del espesor del medio (si son rectos o tortuosos, o si varían en tamaño y forma a través del medio), el número de orificios por área, y la uniformidad de cada uno de estos aspectos.

Las características de un medio filtrante dependen de las propiedades intrínsecas del material del cual está hecho, y parte en las técnicas de fabricación empleadas. Por eso, en el caso más simple, una hoja de metal perforado es hecha por orificios circulares o rectangulares, perforando o cortando una hoja sólida, de tal forma que el tamaño, forma y espaciamiento de los orificios serán uniformes dentro de los límites de las técnicas de Ingeniería.

El panorama cambia conforme las fibras del tejido se vuelven más pesadas, la naturaleza de los orificios es más complicada y no puede ser

descrita por la simple medición a vista.

Los géneros tejidos ofrecen mayor complicación, ya que la naturaleza más flexible de los hilados dificulta el tejido en comparación con el alambre. Materiales porosos como cerámica, metal sinterizado y plásticos frecuentemente son muy variables en cuanto a la forma de los orificios, los cuales dependen de los procesos de manufactura.

Por la misma razón el camino de cada orificio es generalmente muy tortuoso.

#### IV.5 El Mecanismo de Filtración

Existen dos tipos de mecanismos: De superficie y de profundidad.

El proceso de tamizado que ocurre en un tejido es ilustrativo de la filtración superficial, con todos los sólidos siendo depositados en la superficie del tejido.

Es importante notar que el sistema manejado puede tener un efecto mayor en el grado de filtración alcanzado con un medio dado. Por ejemplo, mientras que un material removerá partículas de un gas de 0.4 micrones, en el caso de un líquido, el mismo material no será efectivo para 2 micrones.

Las diferencias en funcionamiento ocurren también entre soluciones acuosas y líquidos orgánicos, resultado de las diferencias en las propiedades eléctricas relacionadas con la generación de cargas electrostáticas en el medio.

Es de especial interés el mecanismo que se lleva a cabo en hilados tejidos. En muchos casos un tejido nuevo o limpio, cuando es utilizado para filtrar un gas o líquido, permitirá que crucen algunas partículas-

sólidas por un período de tiempo. No se obtiene un filtrado claro hasta que las características del tejido han sido alteradas por las partículas sólidas que se encuentran entre el hilado.

Una vez que esta "Filtración a profundidad" inicial ha ocurrido comienza la filtración superficial. De una manera similar, las características de cualquier otro medio son alteradas por el depósito inicial de sólidos en la superficie, dando por consiguiente una abertura menor al medio.

#### IV.6 Medición del Poder de Detención del Medio Filtrante

Frecuentemente hay una diferencia entre el tamaño del poro y la partícula más pequeña que un medio puede detener. Sin embargo, obviamente hay una relación entre estas dos dimensiones, de tal forma que sea posible definir el tamaño de poro. Cuando la geometría del medio lo permita, - puede hacerse por medición directa, por ejemplo con un microscopio.

Sin embargo, con la mayoría de los medios, se tienen que utilizar otros métodos.

Una técnica ampliamente utilizada es la "Prueba del punto de Burbuja", - en la cual una muestra del medio es completamente sumergida en líquido, y sujeta a un lento incremento de presión de aire, para encontrar la presión mínima a la cual comienzan las burbujas.

Indudablemente ésta es una prueba para control de calidad en una base comparativa, pero no se considera adecuada para mediciones absolutas.

Es por eso que en la práctica, el poder de detención de un medio filtrante es normalmente medido en base al funcionamiento bajo condiciones de operación.

Se han utilizado muchos métodos para estas determinaciones, pero debido

a las dificultades técnicas encontradas se han generado diferencias de opiniones en cuanto al método realmente adecuado. Sin embargo, todos los métodos se basan en el mismo principio, el cual consiste en el paso de un fluido (gas o líquido) conteniendo una baja concentración de partículas, y medir el tamaño y número de partículas en muestras comparativas de uno y otro lado del filtro.

Para llevar esto a efecto, se consideran varios pasos críticos:

- a) Selección de partículas para prueba, de tal forma que su tamaño, distribución de tamaño, forma, densidad, carga electrostática, y otras propiedades físicas, estén razonablemente relacionadas con aquéllas de los materiales que normalmente se manejan bajo condiciones de operación.
- b) Dispersión de las partículas de prueba en el fluido, para producir una mezcla uniforme de concentración apropiada.
- c) Tomar muestras representativas en ambos lados del filtro.
- d) Análisis de las muestras.

Dentro de este marco hay considerable variación en las técnicas, juicio e interpretación. Los mecanismos para preparación de la mezcla de prueba y toma de las muestras probablemente estén menos sujetas a variación, ya que se han desarrollado procedimientos detallados y que se han convertido en prácticas estándar. De manera contraria, la selección de un material de prueba está menos formalizada, e inevitablemente una gran variedad de materiales son utilizados en muchos campos, como esfuerzo para balancera lo que idealmente se necesita para simular condiciones de operación y lo que exista disponible y más conveniente de analizar. En la prueba de líquidos, hay disponibles algunos polvos estándar, como "Gruesos Arizona" y "Finos Arizona" y B.S.S. 1701 'S.P.20'.

Han sido utilizadas muchas partículas esféricas tales como vidrio, alu-

minio y níquel, aunque se desapruaban estos materiales como verdaderos polvos industriales. De hecho cada industria tiende a utilizar lo más apropiado para sus propias condiciones, como aceite en la industria automotriz, levadura en la industria cervecera y bacterias en campos como la industria farmacéutica donde se necesitan líquidos estériles. Las pruebas con gas están exclusivamente limitadas al aire, ya que es el gas más conveniente para utilizar y que más se utiliza en la práctica.

Existen otros medios de filtración para aire conocidos como de "Alta eficiencia", tales como cloruro de sodio con un rango de  $0.03 - 5.0 \mu$  y una media de  $0.7 \mu$ , o azul de metileno con un rango de  $0.03 - 1.2 \mu$  y una media de  $0.5 \mu$ .

Los métodos analíticos disponibles para la determinación del número de partículas de cada tamaño presentes en la mezcla de prueba alimentada a un filtro y en el gas o líquido limpio en la descarga, pueden ser: Conteo directo en un microscopio, aunque las dificultades de esta técnica son ilustradas por el hecho de que se han encontrado diferencias entre operadores distintos y entre dos conteos separados realizados por la misma persona en ocasiones diferentes. Los instrumentos de conteo automáticos evitan este problema, pero tienen sus propios inconvenientes, ya que no pueden distinguir entre aglomerados y partículas individuales. Otros factores para tomarse en cuenta son la velocidad del fluido y la rigidez de las partículas.

#### IV.7 Permeabilidad del Medio Filtrante

La resistencia a fluir en un medio filtrante depende en la forma indivi

dual de los poros, y en el número de poros por área unitaria. El medio ideal deberá comprender una masa de orificios divididos por paredes lo más finas posibles, por lo consiguiente presentando la máxima área a través de la cual fluya el fluido. En la práctica, los orificios son relativamente una pequeña parte de la superficie, dependiendo la proporción exacta de las propiedades físicas del medio y el método de manufactura.

Esta resistencia es de gran importancia en aplicaciones industriales, ya que afectan directamente el capital y los costos de operación, de tal forma que se requiere gran cuidado al seleccionar el medio preciso a utilizar. Por esta razón se requiere de una escala numérica de resistencia.

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

Existe considerable variación entre utilizar una velocidad de flujo fija y observar la correspondiente caída de presión, y en utilizar una caída de presión fija y observar el tiempo requerido para el flujo de un volumen determinado de fluido.

Se ha establecido como sistema común para reportar la información medida, utilizar como unidad básica el "Darcy" donde un material con una permeabilidad de 1 Darcy pasará en 1 seg., a través de un área de  $1 \text{ cm}^2$  y con un espesor de 1 cm, un volumen de 1 ml. de fluido con una viscosidad de 1 cp, bajo una diferencial de presión de 1 atm. La base de este sistema es la suposición de que un fluido que pase a través del medio estará en estado laminar, de tal forma que la aplicación de la ley de

Darcy permite derivar la siguiente ecuación:

$$\frac{(-\Delta P)}{L} = \frac{Q \mu}{AD} \quad \text{-----} \quad \text{(IV.1)}$$

Donde

$\Delta P$  = Caída de presión en Dinás/cm<sup>2</sup> (1 psi = 6.9\* 10<sup>4</sup> dynas/cm)

L = Espesor del medio filtrante, cm.

Q = Gastos de fluido cm<sup>3</sup>/seg, a presión y temperatura media

A = Area del filtro, cm<sup>2</sup>

$\mu$  = Viscosidad del fluido, poises a temperatura de operación

D = Permeabilidad, cm<sup>2</sup>.

Las unidades son consistentes con el sistema C.G.S., pero es más conveniente utilizar una escala basada en atmósferas para la presión y centipoises para la viscosidad; igualando todos los factores en la ecuación (IV.1) a la unidad:  $D = 10^{-8}$  cm<sup>2</sup>, la cual es definida como un Darcy.

En la mayoría de los filtros existe flujo laminar, en un limitado número de casos se presenta flujo turbulento.

El punto de transición puede relacionarse con el número de Reynolds:

$$Re = \frac{Q}{A} \cdot \frac{\rho_1}{\mu} \cdot \frac{4}{S(1-\epsilon)} \quad \text{-----} \quad \text{(IV.2)}$$

Donde:

$\rho_1$  = Densidad del fluido

$\epsilon$  = Fracción de huecos (Porosidad)

S = Superficie específica /unidad de volumen

Aplicando la ecuación de Carman para superficie específica, el  $Re$  puede expresarse en términos de la permeabilidad:

$$Re = \frac{Q}{A} \cdot \frac{\rho}{\mu} \cdot \frac{4\sqrt{5}}{\epsilon^{3/2}} \cdot D^{\frac{1}{2}} \quad \text{-----} \quad (IV.3)$$

Mientras, el flujo permanece viscoso, el factor de permeabilidad  $D$  será constante, así que una gráfica del  $N^\circ$  de Reynolds vs  $D$  dará una línea recta paralela al eje del  $N^\circ$  de Reynolds, valores críticos del  $N^\circ$  de Reynolds dan un cambio en el patrón de flujo. El efecto práctico de este cambio en el patrón de flujo es que la ecuación (IV.1) puede conducir a una sobre-estimación de la caída de presión o al uso de un filtro más pequeño. Para corregir esto, se introduce el término de "Permeabilidad por inercia",  $\phi$ , para dar la ecuación modificada:

$$\frac{(-\Delta P)}{L} = \frac{Q}{AD} + \frac{Q^2(-\Delta P)}{A^2 \phi} \quad \text{-----} \quad (IV.4)$$

En muchos casos, el segundo término es tan pequeño que puede despreciarse: Esto aplica especialmente a líquidos donde la viscosidad es alta. Se han visto las complicaciones que surgen al aplicar el "Darcy" como unidad en la filtración industrial, lo cual ha conducido a evitar el uso de ésta, y adoptar varias escalas empíricas. Usando pruebas comparativas.

La tabla (IV.8) es un resumen de los métodos utilizados en varios campos, junto con una indicación de la magnitud general de los parámetros utilizados.

Puede notarse, que en muchos casos el régimen de flujo en un medio filtrante es viscoso, y se puede utilizar la ecuación (IV.1) para predecir

el efecto de alteraciones en las principales variables de un sistema da do. Por eso, el flujo por unidad de área es directamente proporcional a la caída de presión, e inversamente proporcional al espesor del medio y a la viscosidad del fluido.

La viscosidad es muy sensible a los cambios de temperatura, pero hay una diferencia significativa en el comportamiento de gases y líquidos. Los gases se vuelven más viscosos conforme aumenta la temperatura. Por el contrario, la viscosidad de los líquidos disminuye con el aumento de temperatura.

TABLA IV.3 EQUIVALENTES GENERICOS DE NOMBRES REGISTRADOS DE FIBRAS SINTETICAS

	ACETATO	ACRILICO	FLUOROCARBONO	MODIFICATIVO	POLIAMIDA	POLIESTER	CLORURO DE POLIVINIL (PVC)	POLIPROPILENO	SABAN
ACRILAN		•							
ARNEL	•								
AVISCO	•								
CAPROLAN					•				
CELANESE	•								
COURLENE							•		
COURTELLE							•		
CRESLAN		•							
DACRON						•			
DRALON		•							
DYNEL				•					
FORTREL						•			
FLUON			•						
HEPLON					•				
KODOL						•			
KOMEX					•				
NYLON					•				
ORLON		•							
PERLON					•				
RHOVYL						•			
ROVANA									
TEFLON			•						
TERYLENE						•			
THERMOVYL						•			
ULSTRON							•		
VEREL				•					
VIRYON						•			
ZEFRAN		•							

TABLA (IV.4) NATURALEZA QUIMICA DE LAS FIBRAS SINTETICAS

NOMBRE	UNIDAD BASICA	OBSERVACIONES
ACETATO	ACETATO DE CELULOSA	DERIVADO DE LA CELULOSA NATURAL
ACRILICO	ACRILONITRIL $\begin{array}{c} -CH_2 - CH_2 \\   \\ CN \end{array}$	AL MENOS 85% EN PESO DE ESTAS UNIDADES
MODACRILICO	ACRILONITRIL $\begin{array}{c} -CH_2 - CH_2 - \\   \\ OH \end{array}$	35 - 85% UNIDADES EN PESO
FLUOROCARBON	TETRAFLUOROETILENO $-CF_2 - CF_2$	
NOVEX	POLIAMIDA AROMATICA $\begin{array}{c} -C-NH- \\    \\ O \end{array}$	ADICION RECIENTE A LA FAMILIA DEL NYLON
NYLON	POLIAMIDA ALIFATICA $\begin{array}{c} -C-NH- \\    \\ O \end{array}$	
POLIESTER	CUALQUIER ALCOHOL DIHIDRICO+ ACIDO TEREFALICO	
POLI-ETILENO	ETILENO ( $CH_2 = CH_2$ )	
POLI-PROPILENO	PROPILENO ( $CH_2 - CH = CH_2$ )	
PVC	CLORURO DE VINIL ( $CH_2 = CHCl$ )	
RAYON	CELULOSA REGENERADA, COM NO MAS DEL 15% DEL GRUPO HIDROXIDO SUBSTITUIDO	
SARAN	CLORURO DE VINILIDENO ( $CH = CCl_2$ )	AL MENOS 80% EN PESO DE ESTAS UNIDADES

TABLA (IV.5) PROPIEDADES FISICAS DE LAS FIBRAS

	TEMPERATURA MAXIMA, °F	DENSIDAD RELATIVA	TENACIDAD A LA RUPTURA HUMEDAD (g/den)	ABSORBENCIA DE AGUA %	ELONGACION DE RUPTURA %	RESISTENCIA AL USO
ACETATO	210	1.30	0.8 - 1.2	9 - 14	30 - 50	POBRE
ACRILICO	275 - 300	1.14 - 1.17	1.8 - 3	3 - 5	25 - 70	BUENA
ALGODON	200	1.55	3.3 - 6.4	16 - 22	5 - 10	MUY POBRE
FLUOROCARBON	400	2.3	1 - 2	-	13 - 27	MUY POBRE
VIDRIO	550 - 600	2.5 - 2.55	3 - 6	Más de 0.3	2 - 5	POBRE
MODACRILICO	160 - 180	1.31	2 - 4	0.04 - 4	14 - 34	MUY POBRE
NOMEX	400 - 450	1.38	4 - 1		14	EXCELENTE
NYLON	225 - 250	1.14	3 - 8	6.5 - 8.3	30 - 70	EXCELENTE
POLIESTER	300	1.38	3 - 8	0.04 - 0.08	10 - 50	EXCELENTE
POLIETILENO (B. DENS.)	150 - 165	0.92	1 - 3	0.01	20 - 80	BUENA
POLIETILENO (A. DENS.)	200 - 230	0.92	3.5 - 7	0.01	10 - 45	BUENA
POLIPROPILENO	250	0.91	4 - 8	0.01 - 0.1	15 - 35	BUENA
PVC	150 - 160	1.38	1 - 3			MUY POBRE
RAYON	210	1.50 - 1.54	0.7 - 4	20 - 27	6 - 40	POBRE
SARAN	160 - 180	1.7	1.2 - 3	0.1 - 1.0	15 - 30	MUY POBRE
LANA	180 - 200	1.3	0.76 - 1.6	16 - 18	25 - 35	MUY POBRE

TABLA 10.6 PROPIEDADES DE LA CERÁMICA POROSA

COMPOSICIÓN	RESISTENCIA QUÍMICA	NOMBRE COMERCIAL	GRADO	PROMEDIO	MAX.	POROSIDAD	ESFUERZO A LA TENSION (lb/cm <sup>2</sup> )	DENSIDAD PROMEDIO (g/cm <sup>3</sup> )	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
									PCN/ft. DE AIRE a 2 pulg. de C.A.	SAL. ft./m <sup>2</sup> a 20 pulg. de C.A.		
Silicatos mezclados, alta concentración de ácido silícico.	En ácidos fríos y calientes (NO en presencia de ácido fluorhídrico o fluoruros ácidos).	Aerolith	5	15	20	50	3,555	1.25	0.4	0.51		
			10	25	35	2,702						
			20	60	90	1,344						
			30	90	110	1,109						
			40	120	160	682						
			50									
		60										
				Ad		4	7	65 - 70	0.66			
		Silicatos de aluminio mezclados.	Líquidos ácidos y neutros calientes (NO en presencia de ácido fluorhídrico o fluoruros ácidos).	Caff y amarilla	20	25	35	47	1,337	1.70	1	0.68
					30	60	90	1,009				
					40	90	100	839				
					50	100	150	810				
60	140				200	810						
		Diapon	0.8 - 1.5	1 - 2	42 - 53	1,849	1.45					
Cuarzo con resina sintética.	Líquidos y gases ácidos fríos y tibios (hasta 160° C) (NO para condiciones oxidantes o sustancias orgánicas calientes, las cuales pueden causar ablandamiento).	Brandol	20	50	70	35	1,849	1.70	3	0.50		
			30	80	100	1,806						
			40	120	150	1,550						
			50	140	170	1,493						
			60	190	280	1,465						
			70	260	400	1,422						
			80	290	400	1,422						
			90	300	360	1,393						
			100	310	410	1,351						
			120	500	800	1,322						
			300	800	1,200	1,280						
			500	1,600	2,500	30						
800												
Carbón puro	Frío y caliente, ácido o alcalino (NO en líquidos altamente oxidantes oxidantes).	Carbo	10	15	50	35	498	1.25-1.50	1	0.01		
			20	50	80	626						
			30	70	140	469						
			40	110	180	212						
			50	130	280	358						
			60	180	300	355						

TABLA (IV.7) PROPIEDADES DE MEMBRANAS "MILLIPORE"

TAMAÑO DE PORO (MICRONES) (a)	AGUA (b)	AIRE (c)	ESPESOR (MICRONES) (d)	POROSIDAD (e)	PUNTO DE BURBUJA (PSI) (f)	TENSION (PSI) (g)
<b>MEMBRANAS ESTAN- DAR DE ESTER DE CELULOSA</b>						
8.0 ± 1.4	950	55	130 ± 10	74	3	175
5.0 ± 1.2	560	35	130 ± 10	84	4	100
3.0 ± 0.9	400	20	150 ± 10	83	6	150
1.2 ± 0.3	300	14	150 ± 10	82	10	300
0.80 ± 0.05	220	9.8	150 ± 10	82	14	350
0.65 ± 0.03	175	8.0	150 ± 10	81	23	400
0.45 ± 0.02	65	4.9	150 ± 10	79	32	450
0.30 ± 0.02	40	3.7	150 ± 10	77	40	500
0.22 ± 0.02	22	2.5	135 ± 10	75	55	600
100m ± 8m	3.0	1.0	130 ± 10	74	100	800
50m ± 3m	1.5	0.7	130 ± 10	72	150	1000
10m ± 2m	0.5	0.3	130 ± 10	70	200	1500
<b>ESTER CELULOSA REFORZADO CON NYLON</b>						
3.0 ± 0.9	200	9.6	150 ± 20	45	9	-
0.45 ± 0.02	55	4.5	150 ± 20	43	35	-
<b>POLIETILENO</b>						
10.0 ± 3.0	500	30	280 ± 25	-	0.6	100
1.5 ± 0.5	70	5.0	127 ± 13	-	2.0	400

Cal (b) Los flujos de agua están dados en ml/min/cm<sup>2</sup> de área de filtro a 20° C con una presión diferencial de 70 cm. de Mercurio (13.5 psi)

Cal (c) Los flujos de aire están dados en lt/min/cm<sup>2</sup> de área de filtro a 25° C con una presión diferencial de 70 cm. de Mercurio (13.5 psi)

Cal (f) El punto de burbuja, expresado en lb/cm<sup>2</sup>, es la presión requerida para forzar al aire a pasar a través de los orificios del filtro.

TABLA (IV.B) SUMARIO DE ESCALAS DE PERMEABILIDAD UTILIZADAS EN VARIOS CAMPOS.

NATURALEZA DEL MEDIO	ESCALA DE PERMEABILIDAD	INFORMACION TIPICA
Metales Sinterizados	g.p.m. de agua o p.c.m. de aire/Pie cuadrado presión en Psi, a través de un espesor definido (generalmente 1/8 pulg.): Generalmente gráficas.	5 Poro, P 1 Psi 25 p.c.m. aire/ft <sup>2</sup> 1.2 g.p.m. agua/ft <sup>2</sup> 20 Poro, P 1 Psi 48 p.c.m. aire/ft <sup>2</sup> 6.5 g.p.m. agua/ft <sup>2</sup>
Cerámica	(a) g.p.m. de agua o p.c.m. de aire, presión en Psi. (b) mm Hg, por ft <sup>2</sup> , o por elemento, generalmente a través de un espesor definido de 1/2 pulg.	(a) 100 p.c.m./ft <sup>2</sup> de aire 10 psig P = 275 mm Hg (b) 5 g.p.m./ft <sup>2</sup> agua P = 75 mm Hg
Metal Entrelazado	g.p.m. de agua/pulg <sup>2</sup> , 1 Psi	Tejido de 100 mallas, 0.0045 Pulg. alambre, 305 área abierta 12.1 g.p.m./Pulg <sup>2</sup> 47 Tela cruzada de 50 x 700 - 3.0 g.p.m./Pulg <sup>2</sup>
Tejidos	p. c.m. de aire/ft <sup>2</sup> , 0.5 Pulg. C.A.	Tejido algodón - 3 - 15 p.c.m./ft <sup>2</sup> nylon monofilamento - 300 - 900 p.c.m./ft <sup>2</sup> . Nylon multifilamento - 5 - 500 CFM/ft <sup>2</sup> . Vidrio - 2 - 20 p.c.m./ft <sup>2</sup>
Géneros No Entrelazados	a) p.c.m. de aire/ft <sup>2</sup> 0.5 pulg. C.A. b) g.p.m. de agua/ft <sup>2</sup> - 1 Psi	a) 0.5 - 230 p.c.m. aire/ft <sup>2</sup> b) 3 - 500 g.p.m. de agua/ft <sup>2</sup>
Papel	a) Tiempo para el flujo de 1000 c.c. de agua, presión de 245 mm Hg. b) Tiempo para el flujo de volumen definido de aire a presión definida c) lt. de aire/min/10 cm <sup>2</sup> , presión de 10 cm C.A. d) Presión necesaria para producir un flujo de 1 p.c.m./cm <sup>2</sup> e) Flujo de aire/unidad de área/ P cc/seg/100 cm <sup>2</sup> dividido por cm C.A.	a) 4 - 100 seg. b) 1 1/2 - 50 seg c) 40 - 400 litros d) 1 - 73 cm C.A. e) 7.5 - 150

TABLA (IV-9) RESISTENCIA QUIMICA DE FIBRAS SINTETICAS Y NATURALES

NOMBRE GENERICO			ACETATO	ACRILICO	ASBESTO	AZOH	ALGODON	FLUORO	VIDRIO	MOHA		
TIPO			AZUL			BLANCO			CARBON	"C"	"E"	ACRILICO
REACTIVO	CONC. %	TEMP. °F										
<b>ACIDOS MINERALES</b>												
AGUA REGIA	100	70	NR	B	-	-	-	NR	A	NR	NR	-
ACIDO ARSENICO	100	70	NR	-	-	-	-	NR	A	-	-	A
ACIDO CROMICO	100	70	NR	A	A	NR	NR	NR	A	A	A	B
ACIDO CLORHIDRICO	1	70	C	A	A	-	B	B	A	A	B	A
	1	160	NR	A	A	-	NR	NR	A	A	B	A
	10	70	NR	A	A	-	B	NR	A	A	B	B
ACIDO FLUORHIDRICO	37	70	NR	B	A	-	NR	NR	A	A	B	B
	10	70	C	B	A	NR	NR	C	A	NR	NR	B
	10	160	NR	NR	A	NR	NR	NR	A	NR	NR	NR
	1	160	NR	A	A	NP	NR	NR	A	A	NP	A
	10	70	NR	A	A	NR	B	C	A	A	NR	A
	37	70	NR	NR	A	NR	NR	NP	A	A	NR	A
ACIDO FOSFORICO	10	70	NR	A	A	NR	B	C	A	NR	NR	A
	85	160	NR	NR	A	NP	NR	NR	A	NR	NR	A
ACIDO SULFURICO	1	70	B	A	A	B	B	B	A	NR	NR	A
	1	160	NR	B	A	B	NR	NR	A	NR	NR	A
	10	70	C	A	A	NR	C	NR	A	NR	NR	A
	70	70	NR	B	A	NR	NR	NR	A	NR	NR	B
	96	70	NR	NR	A	NR	NR	NR	A	NR	NP	NR

TABLA (IV. 9) RESISTENCIA QUIMICA DE FIBRAS SINTETICAS Y NATURALES (Continuación)

NOMBRE GENERICO			NYLON	NITRIL	OLEFINA		POL. ESTER	KATON	SARAN	SEDA	LANA
TIPO					P-ETILENO	P-PROPILENO					
REACTIVO	CONC. %	TEMP. °F									
<b>ACIDOS MINERALES</b>											
AGUA REGIA	100	70	NR	-	A	-	-	NR	B	-	-
ACIDO ARSENICO	100	70	-	-	-	-	-	NR	-	-	-
ACIDO CROMICO	100	70	NR	A	NR	C	-	NR	A	-	-
ACIDO CLORHIDRICO	1	70	C	A	A	A	A	B	A	B	B
	1	160	NR	B	NR	A	B	NR	A	NR	NR
	10	70	NR	A	A	A	A	NR	A	C	B
ACIDO FLUORHIDRICO	37	70	NR	NR	A	A	B	NR	A	NR	NR
	10	70	C	B	A	A	C	C	A	B	NR
	10	160	NR	-	NR	A	NR	NR	A	NR	NR
ACIDO NITRICO	1	70	C	A	A	A	A	C	A	C	C
	1	160	NR	B	NR	C	A	NR	A	NR	NR
	10	70	NR	B	A	A	A	C	A	C	B
ACIDO FOSFORICO	37	70	NR	NR	A	A	B	NR	A	NR	NR
	10	70	B*2	A	A	A	A	C	A	C	B
	85	160	NR*2	A	NR	A	NR	NR	A	NR	NR
ACIDO SULFURICO	1	70	C	A	A	A	A	B	A	B	B
	1	160	NR	A	NR	A	A	NR	A	NR	NR
	10	70	NR	A	A	A	A	NR	A	B	C
	70	70	NR	NR	A	A	NR	NR	B	NR	NR
	96	70	NR	NR	B	A	NR	NR	NR	NR	NR

TABLA (IV-9) RESISTENCIA QUIMICA DE FIBRAS SINTETICAS Y NATURALES (Continuación)

NOMBRE GENERICO			ACETATO	ACRILICO	ASBESTO		AZLEN	ALGODON	FLUORO	VIDRIO		MOGA
REACTIVO	CONC. %	TEMP. °F			AZUL	BLANCO			CARBON	°C	°F	ACRILICO
<b>ACIDOS ORGANICOS</b>												
ACIDO ACETICO	5	70	B	A	A	-	C	A	A	A	A	A
	5	160	C	A	A	-	NR	NR	A	A	A	A
	40	70	NR	A	A	-	C	E	A	A	A	A
ACIDO ADIPICO	100	70	NR	A	A	-	C	D	A	A	A	NR
	25	70	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A
ACIDO BENZOICO	3	160	NR	A	-	-	NR	NR	A	-	-	A
ACIDO CARBONICO	100	70	A	B	-	-	NR	A	A	A	A	A
ACIDO CITRICO	100	70	A	B	A	-	NR	A	A	A	A	B
ACIDO FORMICO	5	160	NR	A	A	NR	NR	NR	A	A	A	A
	40	70	NR	A	A	NR	NR	B	A	A	A	A
	90	70	NR	B	A	NR	NR	B	A	A	A	B
ACIDO LACTICO	3	70	B	B	-	A	-	A	A	A	A	B
	100	70	NR	C	A	-	-	NR	A	A	A	NR
ACIDO OXALICO	5	70	NR	B	A	NR	NR	C	A	A	A	A
	5	160	NR	B	A	NR	NR	NR	A	A	A	A
ACIDO PERACETICO	2	70	C	B	-	-	NR	B	A	A	A	A
	2	160	NR	C	-	-	NR	NR	A	A	A	A
	5	70	NR	A#2	-	A	C	S	A	A	A	NR
	5	160	NR	S#2	-	A	NR	B	A	A	A	NR
ACIDO SALICILICO	100	70	NR	C#2	-	A	NR	NR	A	A	A	NR
	3	160	NR	A	-	-	NR	NR	A	-	-	A

TABLA (IV-9) RESISTENCIA QUIMICA DE FIBRAS SINTETICAS Y NATURALES (Continuación)

NOMBRE GENERICO			NYLON	NITRI:	OLEFIN:		POL. ESTER:	RAYON:	SARAN:	SESA:	LANA:
TIPO					F-ETILENO	P-PROPILENO					
REACTIVO	CONC. %	TEMP. °F									
<u>ACIDOS ORGANICOS</u>											
ACIDO ACETICO	5	70	B*2	A	A	A	A	A	A	B	C
	5	160	NR*2	A	NR	A	A	NR	E	C	NR
	40	70	C*2	A	A	A	B	C	A	B	C
	100	70	NR*2	NR	NR	B	B	B	A	B	C
ACIDO ADIPICO	25	70	NR*2	A	-	-	-	-	-	-	-
ACIDO BENZOICO	3	160	NR*2	A	NR	A	B*2	NR	-	C	NR
ACIDO CARBONICO	100	70	B	-	-	-	-	A	-	-	NR
ACIDO CITRICO	100	70	C	-	A	A	-	B	A	-	NR
ACIDO FORMICO	5	160	C*2	NR	NR	A	A	NR	B	NR	NR
	40	70	C*2	A	A	A	A	C	A	C	NR
	90	70	NR*2	NR	A	A	A	C	C	C	NR
ACIDO LACTICO	3	70	A*2	-	A	A	-	A	-	-	NR
	100	70	NR*2	-	A	A	-	NR	-	-	-
ACIDO MALICO	5	70	C	A	A	A	A	B	A	C	NR
	5	160	NR	B	NR	A	A	NR	B	NR	NR
ACIDO PERACETICO	2	70	C	-	C	B	A	B	-	C	NR
	2	160	NR	-	NR	NR	NR	NR	-	NR	NR
ACIDO SALSOLICO	5	70	NR*2	B	A	A	B*2	B	A	C	C
	5	160	NR*2	NR	NR	A	NR*2	NR	B	NR	NR
	100	70	NR	NR	B	A	NR*2	NR	B	NR	NR
ACIDO SALICILICO	3	160	NR	A	NR	A	B*2	NR	-	NR	NR

TABLA (IV.9): RESISTENCIA QUÍMICA DE FIBRAS SINTÉTICAS Y NATURALES (Continuación)

NOMBRE GENÉRICO			ACETATO	ACRILICO	ASBESTO	AZLON	ALGODON	FLUORO	VIDRIO	MOCA	
REACTIVO	TIPO				AZUL	BLANCO		CARBON	°C	°F	ACRILICO
	CONC. %	TEMP. °F									
<b>ALCALIS</b>											
VAPOR DE AMONIO	100	70	NR	B	-	A	NR	NR	A	NR	NR
HIDROXIDO DE AMONIO	28	70	NR	NR	-	A	C	B	A	B	B
HIDROXIDO COPROSO DE AMONIO	5	70	NR	NR	-	-	NR	NR	A	NR	NR
CARBONATO DE SODIO	1	160	NR	B	-	A	NR	NR	A	-	A
HIDROXIDO DE SODIO	1	70	A	-	-	A	NR	A	A	B	NR
	1	160	A	NR	-	A	NR	A	A	B	NR
	10	70	NR	B	-	A	NR	B	A	B	NR
	10	160	NR	NR	-	A	NR	B	A	B	NR
<b>AGENTES OXIDANTES</b>											
BROMO	SATURADO	70	NR	-	-	NR	NR	-	A	A	C
HIPOCLORITO DE CALCIO	5	70	NR	A	A	-	NR	NR	A	NR	NR
CLORO (H <sub>2</sub> O)	SATURADO	70	NR	A	NR	A	NR	NR	A	A	A
PEROXIDO DE HIDROGENO	3	70	C	A	-	A	C	C	A	A	A
PEROXATO DE SODIO	5	160	NR	A	-	-	NR	-	A	A	A
HIPOCLORITO DE SODIO	0.4	70	C	A	A	-	C	C	A	NR	NR
PERBORATO DE SODIO	1	70	A	A	-	A	C	B	A	A	A
DIOXIDO DE AZUFRE	3	70	C	E	-	A	C	C	A	A	A

TABLA (IV.9) RESISTENCIA QUIMICA DE FIBRAS SINTETICAS Y NATURALES (Continuación)

NOMBRE GENERICO			NYLON	NITRIL	OLEFINA		POLIFESTER	RAYON	SARAY	SEGA	LANA
TIPO					I-ETILENO	P-PROPILENO					
REACTIVO	CONC. %	TEMP. °F									
<u>ALCALIS</u>											
VAPOR DE AMONIA	100	70	B	-	B	A	-	NR	NR	NR	NR
HIDROXIDO DE AMONIO	28	70	B	A	A	A	NR	B	B	NR	C
HIDROXIDO COMPUESTO DE AMONIA	5	70	A	A	A	A	-	NR	B	NR	NR
CARBONATO DE SODIO	1	100	A	A	NR	A	B	B	A	NR	NR
HIDROXIDO DE SODIO	1	70	A	B	A	A	B	C	A	C	NR
	1	160	B	NR	A	A	NR	NR	A	NR	NR
	10	70	A	NR	A	A	NR	NR	A	NR	NR
	10	160	DP2	NR	NR	A	NR	NR	B	NR	NR
<u>AGENTES OXIDANTES</u>											
BROMO	SATURADO	70	NR	-	B	A	-	-	A	NR	NR
HIPOCLORITO DE CALCIO	5	70	NR	A	A	A	-	NR	B	NR	NR
CLORO	SATURADO	70	NR	B	B	A	-	NR	NR	NR	NR
PEROXIDO DE HIDROGENO	3	70	C	A	B	A	A	C	A	C	C
DICROMATO DE SODIO	5	160	-	B	NR	B	-	-	A	-	NR
HIPOCLORITO DE SODIO	0.4	70	B	A	B	A	A	C	A	NR	C
PERBORATO DE SODIO	1	70	A	-	B	A	A	B	A	C	C
DIOXIDO DE AZUFRE	3	70	NR	-	A	A	-	C	A	NR	C

TABLA (IV.9) RESISTENCIA QUÍMICA DE FIBRAS SINTÉTICAS Y NATURALES (Continuación)

NOMBRE GENÉRICO			ACETATO	ACRÍLICO	ASBESTO		AZUL	ALGODÓN	FLUORO	VIDRIO		MOJA
TIPO					AZUL	BLANCO			CARBÓN	"C"	"D"	ACRÍLICO
REACTIVO	CONC. %	TEMP. °F										
<b>SALES</b>												
CLORURO DE AMONIO	5	160	NR	A	A	-	-	-	A	A	A	A
NITRATO DE AMONIO	5	160	NR	A	A	-	-	NR	A	A	A	A
CLORURO DE CALCIO	5	160	C	A	-	A	-	-	A	A	A	A
SULFATO DE COBRE	3	160	C	A	-	-	C	NR	A	A	A	A
CLORURO FÉRRICO	3	160	NR	A	A	-	NR	NR	A	A	A	B
ÍODO EN ALCOHOL	3.5	70	C	NR	-	-	NR	-	A	A	A	A
CLORURO DE NIQUEL	5	160	C	A	A	-	-	NR	A	A	A	B
SULFATO DE NIQUEL	5	160	C	A	A	-	-	NR	A	A	A	B
CIANURO DE POTASIO	5	160	NR	-	-	A	-	-	A	A	A	A
NITRATO DE PLATA	30	160	NR	A	-	A	NR	-	A	A	A	B
CLORURO DE ZINC	3	160	C	A	A	NR	NR	C	A	A	A	A
<b>SOLVENTES</b>												
ACETONA	100	160	NR	A	-	A	C	B	A	A	A	NR
BENCENO	100	160	A	A	-	A	A	A	A	A	A	NR
DISULFURO CARBONO	100	160	A	A	-	A	NR	B	A	A	A	B
TETRACLORURO CARBONO	100	160	A	A	-	A	NR	A	A	A	A	B
CLOROFORMO	100	160	NR	A	-	A	A	C	A	A	A	B
ETER	100	160	C	A	-	A	NR	C	A	A	A	B

TABLA (11-9) RESISTENCIA QUIMICA DE FIBRAS SIMTETICAS Y NATURALES (Continuación)

NOMBRE GENÉRICO		NYLON	NITRIL	OLEFINA		POLIESTER	RAYON	SARAN	SEDA	LANA
TIPO				F-ETILENO	F-PROPILENO					
REACTIVO	CONC. %	TEMP. °F								
<u>SALES</u>										
CLORURO DE AMONIO	5	160	-	-	NR	A	-	NR	C	-
NITRATO DE AMONIO	5	160	C	-	NR	A	-	-	NR	-
CLORURO DE CALCIO	5	160	NR	A	NR	A	-	-	C	-
SULFATO DE COBRE	3	160	C	-	NR	A	-	C	A	B
CLORURO FERRICO	3	160	NR	-	NR	A	A	NR	B	NR
100% EN ALCOHOL	1.5	70	A	-	C	A	A	A	A	NR
CLORURO DE NIQUEL	5	160	NR	-	NR	A	-	NR	A	-
SULFATO DE NIQUEL	5	160	NR	-	NR	A	-	NR	A	-
CIANURO DE POTASIO	5	160	-	-	NR	-	-	-	B	-
NITRATO DE PLATA	30	160	-	-	NR	A	-	-	B	-
CLORURO DE ZINC	3	160	NR*2	A	NR	A	A	B	A	NR
<u>SOVENTES</u>										
ACETONA	100	160	B*2	NR	NR	C	-	B	A	B
BENCENO	100	160	B*2	A	NR*2	B*2	-	B	B	B
DISULFURO DE CARBONO	100	160	A	A	NR	B	-	C	A	B
TETRAFLURO DE CARBONO	100	160	B*2	A	NR*2	B*2	-	B	B	B
CLOROFORMO	100	160	A	A	NR*2	B	-	B	C	B
ETER	100	160	B	A	NR	C	-	C	B	B
ETIL ACETATO	100	160	B	A	NR	C	-	C	B	B
ALCOHOL ETILICO	100	160	B*2	A	B	A	-	B	B	B
ETILENGLICOL	100	160	B*2	A	B	A	-	B	B	B

TABLA (IV.9) RESISTENCIA QUÍMICA DE FIBRAS SINTÉTICAS Y NATURALES (Continuación)

NOMBRE GÉNÉRICO			ACETATO	ACRILICO	ASBESTO		AZLON	ALGODON	FLUORO	VIDRIO		MOF
TIPO					AZUL	BLANCO			CARBON	"C"	"E"	ACRILICO
REACTIVO	CONC. %	TEMP. °F										
<b>SOLVENTES</b>												
ETIL ACETATO	100	160	NR	A	-	A	NR	A	A	A	A	NP
ALCOHOL ETILICO	100	160	NR	A	-	A	NR	B	A	A	A	S
ETILENGLICOL	100	160	A	A	-	A	NR	A	A	A	A	B
METIL ETIL CETONA	100	160	NR	A	-	A	-	A	A	A	A	NR
PERCLORETILENO	100	160	A	A	-	A	A	B	A	A	A	A
TOLUENO	100	160	A	A	-	A	-	A	A	A	A	A
XILOL	100	160	A	A	-	A	-	A	A	A	A	B
<b>MISCELANEOS</b>												
GRASA ANIMAL	100	70	A	A	-	A	A	B	A	A	A	B
FORMALDEHIDO	10	70	A	A	-	A	B	A	A	A	A	-
Glicerina	100	160	C	A	-	A	NR	A	A	A	A	-
ACEITE MINERAL	100	160	B	A	-	A	A	NR	A	A	A	-
ACEITE VEGETABLE	100	70	A	A	-	A	B	A	A	A	A	A
AGUA	100	70	S	A	-	A	B	A	A	A	A	A
	100	210	A	A	-	A	C	A	A	A	A	B
AGUA DESMINERALIZADA	100	70	B	NR	-	A	NR	NR	A	A	A	NR
AGUA POTABLE	100	70	B	NR	-	A	NR	A	A	NR	NR	NR

TABLA (IV.9) RESISTENCIA QUIMICA DE FIBRAS SINTETICAS Y NATURALES (Continuación)

NOMBRE GENERICO			NYLON	NITRIL	OLEFINA		POLIESTER	RAYON	SARAN	SEDA	LANA
TIPO					P-ETILENO	P-PROPILENO					
REACTIVO	CONC. %	TEMP. °F									
<b>SOLOVENTES</b>											
METIL ETIL CETONA	100	160	B	C	NR	C	-	B	C	-	-
PERCLOROETILENO	100	160	A*2	A	NR*2	C*2	A	B	B	NR	A
TOLUENO	100	160	A	A	NR	B	-	B	B	-	-
AL.D.	100	160	NR	-	NR	B	-	B	B	-	-
<b>MISCELANEOS</b>											
GRASA ANIMAL	100	70	NR*2	-	A	A	A	A	A	B	A
FORMALDEHIDO	10	70	A	A	A	A	A	B	A	A	B
GLICERINA	100	160	A*2	-	NR	A	A	B	A	NR	NR
ACEITE MINERAL	100	160	A	-	NR	B	A	B	B	NR	A
ACEITE VEGETAL	100	70	A	-	A	A	A	A	A	A	B
AGUA	100	70	A	A	A	A	A	A	A	A	B
	100	210	A	A	NR	A	A	B	NR	NR	C
AGUA DESMINERALIZADA	100	70	A	A	NR	A	A	B	NR	NR	C
AGUA POTABLE	100	70	NR	-	A	A	-	A	A	-	NR

\*A\* INDICA MENOS DE 10% DE CAMBIO EN LA FIBRA O REACTIVO DESPUES DE AL MENOS 100 HRS. DE EXPOSICION.

\*B\* INDICA MENOS DE 20% DE CAMBIO EN LA FIBRA O REACTIVO DESPUES DE AL MENOS DE 100 HRS. DE EXPOSICION.

\*C\* INDICA MENOS DE 30% DE CAMBIO EN LA FIBRA O REACTIVO DESPUES DE AL MENOS 10 HRS. DE EXPOSICION.

NR NO RECONDEABLE INDICA MAS DE 30% DE DESTRUCCION O SOLUCION EN LA FIBRA O REACTIVO EN 10 HRS. O MENOS.

\*-\* INFORMACION INCOMPLETA.

\*2 EL REACTIVO AMBLANDA LA FIBRA.

#### IV.8 Filtro Ayudas

La filtración desempeña un papel importante en la clarificación y purificación de incontables productos comerciales, pero la remoción de cierto tipo de materia suspendida en los líquidos no puede obtenerse económicamente con sólo usar un medio filtrante corriente. Lo que ocurre en muchos casos es lo siguiente:

Los sólidos más finos pasan con el líquido a través de las aberturas relativamente grandes de la malla o tela del filtro, mientras que las partículas mayores se quedan detrás de la tela para obstruir aberturas y disminuir o paralizar enteramente el flujo a través del filtro. El uso de los filtro ayudas ha desempeñado un papel muy importante en la solución de este difícil y costoso problema de producción, especialmente en los problemas de clarificación, donde las partículas que hay que remover son lodosas, sin rigidez o de tamaño coloidal.

El fenómeno que se presenta se debe a la compresibilidad de las partículas, las cuales tienden a deformarse plásticamente bajo la influencia de un gradiente de presión. Este es un problema serio en filtración porque la permeabilidad se aproxima a cero conforme la porosidad tiende a cero. Aún pequeños cambios en la porosidad tienen un efecto en la permeabilidad de la torta, ésta varía en una relación de porosidad elevada a la cuarta o sexta potencia.

Los filtro ayudas son materiales sólidos que sirven para alterar la distribución del tamaño de partícula de una suspensión, cambiando el estado de agregación de las partículas componentes. Debe ser un material finamente dividido que no se compacte ni se comprima con la presión que ejerce el líquido al pasar a través de él. Este tipo de material es agregado a suspensiones que presentan problemas de compresibilidad en la

filtración y/o dificultad por sólidos de tamaño muy pequeño.

Los filtros ayudan son polvos inertes altamente porosos, los cuales pueden ser adicionados a una suspensión que va a ser filtrada para incrementar la permeabilidad de la torta.

La función del filtro ayuda es atrapar los sólidos y mantener una torta porosa cuando se están filtrando sólidos compresibles y muy finos. El tamaño y cantidad de los poros que el filtro ayuda proporciona, determinan su efectividad para un sistema dado. La figura (IV.2) muestra la distribución de tamaño de poro para grados de filtro ayuda típicos de un sólo fabricante, determinadas por un porosímetro de intrusión de mercurio.

El grado óptimo de filtro ayuda a usar para un sistema dado es usualmente el que tiene un tamaño medio de poro más cercano al tamaño medio de partícula a ser removida.

La adición de filtro ayuda al sistema da como resultado un cambio en la permeabilidad de la torta. Por esta razón las pruebas de filtración se deben realizar con dos o tres dosis diferentes de filtro ayuda, para determinar la dosis óptima para un sistema dado.

El filtro ayuda le incrementa la rigidez a la torta, por lo que podemos considerar una torta incompresible, para un rango limitado de caída de presión en el análisis de datos. Debido a que todas las tortas son compresibles en algún grado, habrá algún error en el análisis de datos, pero para la mayoría de los trabajos ingenieriles, esta aproximación es bastante buena. Sin embargo, errores serios han sido observados en esta aproximación, cuando el tamaño medio de poro del filtro ayuda es considerablemente mayor que el tamaño medio de partícula a ser filtrada.

Cuando esto ocurre, los sólidos pueden emigrar por los poros de la torta, dando una permeabilidad de torta no uniforme. La teoría de filtración previamente desarrollada no puede ser usada si éste es el caso. Para usar seguramente la teoría de filtración, la relación de tamaño de partícula a tamaño de poro de filtro deberá ser uno o mayor.

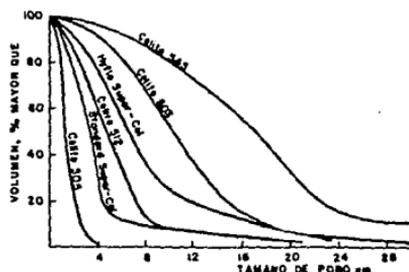


FIGURA IV.2 DISTRIBUCION DE TAMAÑOS DE PORO DE DIFERENTES GRADOS DE FILTRO AYUDA DE DIATOMITA (JOHNS-MANVILLE)

Si todas las partículas fueran sólidas, esferas rígidas del mismo tamaño, la porosidad sería aproximadamente 0.45. En la realidad, las porosidades frecuentemente caen en el rango de 0.2 a 0.3.

#### IV.9 Materiales Disponibles de Filtro Ayudas

Aunque muchos materiales diferentes han sido usados o propuestos como filtro ayudas, solamente cinco han alcanzado importancia comercial.

De éstos, el sílice de diatomeas y perlita son los de mayor importancia, asbesto, celulosa y carbón son usados en aplicaciones especiales cuando los materiales de sílice no pueden ser usados. La tabla (IV.10) indica las propiedades importantes de estos materiales.

TABLA (IV.10) PROPIEDADES DE LOS FILTRO AYUDAS

MATERIAL	COMPOSICION QUIMICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Tierras Diatomáceas	Silicio	Disponible en rango de tamaño amplio, finos reducidos por calcinación Puede usarse para filtración muy fina.	Ligeramente soluble en ácidos diluidos y álcalis.
Perlita Expandida	Silicio y Aluminosilicatos	Disponible en rango de tamaño amplio. Su capacidad de retención no es más fina que las diatoma-	Más solubles que las diatomitas en ácidos y álcalis. Pueden dar tortas altamente <u>com</u> presibles.
Asbesto	Aluminosilicatos	Generalmente se usa en <u>conj</u> unción con diatomitas. Muy buena retención de partí-culas gruesas.	Propiedades químicas similares a la de la perlita.
Celulosa	Celulosa	Usada principalmente como una precapa gruesa Alta pureza Excelente resistencia química Ligeramente soluble en álcalis diluidos y concentrados, no así en ácidos diluidos.	Propiedades químicas similares a la de la perlita.  Costoso
Carbón	Carbón	Puede ser usado para filtrado de soluciones alcalinas muy fuertes.	Disponible en grados gruesos unicamente.  Costoso.

TABLA (IV.11) PROPIEDADES TÍPICAS FILTRO AYUDAS DE DIATOMITA

TIPO	COLOR	FLUJO RELATIVO	RETENIDO SOBRE MALLA 150	P.H.	D E N S I D A D		H <sub>2</sub> O MAX. AL EMBARCAR (%)
					SUELTO (lbs/pte <sup>3</sup> )	HUMEDO (lbs/pte <sup>3</sup> )	
CELITE 545	BLANCO	2160	7.5	9.5	12.0	18.9	1.0
CELITE 535	BLANCO	1350	7.5	9.5	12.0	18.9	1.0
CELITE 503	BLANCO	900	5.0	9.5	9.5	18.4	1.0
CELITE 501	BLANCO	750	5.0	9.5	9.5	18.4	1.0
HYFLO SUPER-CEL	BLANCO	500	3.0	9.5	9.5	18.4	1.0
CELITE 512	ROSADO	300	3.0	7.5	7.5	19.5	1.0
STD. SUPER-CEL	ROSADO	200	3.0	7.0	7.5	17.6	1.0
CELITE 505	ROSADO	135	0.1	7.0	7.5	20.0	1.0
FILTER-CEL	BLANCUZCO	100	0.1	7.0	6.8	17.0	6.0

#### IV.9.1 Sílice de Diatomáceas (tierras diatomáceas)

Este material se localiza en depósitos sedimentarios de diatomeas fosilizadas que se encuentran enterradas en el fondo de mares y lagos prehistóricos sobre lo que ahora es Lompoc California y Gra). Andrés Figueroa Jalisco.

Para considerarse depósitos comercialmente explotables como materiales filtrantes, es necesario que estén libres de contaminación excesiva, como impurezas solubles e insolubles. Los esqueletos de diatomeas exhiben una gran variedad de formas, y es esta propiedad la que permite que ellos sean usados para producir tortas y precapas de alta permeabilidad.

Además de la diatomita natural con la cual la industria de los filtros ayudados inició, desarrollos subsecuentes han producido materiales calcinados con permeabilidades dos o tres órdenes de magnitud más grandes que la diatomita natural. La tabla (IV.11) muestra las propiedades de una línea de filtro ayudado de diatomita, otras líneas son similares.

Como se mencionó anteriormente, los filtros ayudados disponibles de diatomita tienen un rango de permeabilidad de dos a tres órdenes de magnitud, los cuales han sido alcanzados por tres desarrollos diferentes:

- (1) Calcinación directa de la diatomita cruda eliminando más del cincoporciento de la materia orgánica fina, y mejorando la permeabilidad por un factor aproximadamente de cinco;
- (2) Calcinación por fusión del material crudo mejorando la permeabilidad por un factor de 20 o mayor; y
- (3) Clasificación con aire del material calcinado directamente o por fusión, puede mejorar la permeabilidad a otro orden de magnitud mayor.

El efecto de calcinación es reducir el número de partículas muy finas - con un subsecuente mejoramiento en la permeabilidad de la torta. Esta reducción en el rango de tamaños es probablemente alcanzada por una fusión de partículas pequeñas. Una distribución más reducida de tamaños es obtenida de la calcinación por fusión.

#### IV.9.2 Perlita

La perlita es roca ígnea, la cual se formó por el enfriamiento de lavavolcánica en agua. Debido al rápido enfriamiento que ha experimentado, es un material sobreenfriado con una estructura vítrea, la cual encierra pequeñas gotas de agua formando "perlas". Si es triturada, tamizada y después rápidamente calentada a punto de reblandecimiento, el agua encerrada en la perlita se vaporiza y originará que las perlas se expandan a esferas huecas de muchas veces su tamaño original. La pared delgada de las esferas huecas es después triturada y clasificada para dar el producto final.

Las cantidades mayores de  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$  y  $K_2O$  encontradas en la perlita, comparada con la diatomita la hacen aún más soluble, limitando el rango de pH en el cual puede ser usado (de 4 a 9). El costo de la perlita es aproximadamente el mismo que la diatomita, pero debido a su más baja densidad 6 a 10 lb/ft<sup>3</sup> (0.096 a 0.16 g/cm<sup>3</sup>) comparada con 15 a 25 lb/ft<sup>3</sup> (0.24 a 0.352 g/cm<sup>3</sup>) para la diatomita la hace ser más económica.

#### IV.9.3 Celulosa

Los filtros de celulosa son materiales caros, pero pueden ser usados cuando se requiere de pureza y resistencia al ataque de ácidos diluidos. Algún material sólido disponible como el aserrín, puede ser usado como una ayuda, siempre y cuando su presencia no perjudique el producto del proceso de filtración.

El polvo de pulpa de madera como filtro ayuda es preparado generalmente en un molino de bolas hasta el tamaño deseado. Comparado con el sílice de diatomáceas y perlita, la pulpa de madera es mucho más compresible y por lo tanto un filtro ayuda pobre, esto queda manifiesto cuando se usan para la misma operación. Como se estableció previamente, su uso generalmente es especial y se emplea cuando los materiales de sílice no pueden ser usados.

Casi cualquier tipo de pulpa de madera se puede usar como filtro ayuda, pero generalmente el material seleccionado es pulpa de alta calidad química.

#### IV.9.4 Carbón

El carbón es un material caro para uso como filtro ayuda pero es invaluable para la filtración de líquidos fuertemente alcalinos, los cuales

atacan diatomitas, perlitas y otros aluminosilicatos tales como asbestos. Los tamaños de partícula disponible corresponden a la mayoría de tamaños de partícula de los materiales de diatomita y perlita.

#### IV.9.5 Asbesto

El asbesto con la estructura fibrosa puede también ser usado como filtro ayuda, usualmente en conjunción con diatomita o perlita. Estas mezclas son probablemente más usados como precapas que como cuerpo ayudas, a causa de su excelente retención en tamices gruesos.

#### IV.10 Selección de Filtro Ayudas

En general, un material que tenga amplia distribución de tamaño de partícula, producirá un lecho compacto de baja porosidad y baja permeabilidad. Con la adición de un filtro ayuda se pretende modificar el empaque del lecho a punto tal, que tenga lugar un considerable incremento en la porosidad y permeabilidad. La adición de un filtro ayuda teniendo un tamaño de partícula pequeño con respecto al material a ser filtrado, tenderá a bloquear los poros existentes en el empaque, dando lugar a disminución de permeabilidad y porosidad, pero se incrementa la habilidad para retener partículas finas.

Esto puede ser aconsejable en una situación donde sea necesario clarificar un líquido conteniendo partículas finas y gruesas. Sin embargo, esto no es una circunstancia común. Si las partículas de filtro ayuda son mucho más grandes que los sólidos a ser filtrados, ellas tendrán poco efecto en la estructura total del lecho. Para un efecto máximo, un filtro ayuda necesita tener un rango de tamaño de partícula reducido, estando en o cercano al del sólido a ser filtrado. Los fabricantes de

filtro ayudas comunmente citan las permeabilidades del agua y velocidades relativas de flujo a través de lechos empacados de filtro ayuda.

Esta información es útil en la selección de filtro ayudas para uso como precapa pero es de poco valor en la selección de cuerpo ayudas, como lo son las propiedades del sistema completo de sólidos retenidos que se requiere.

Teniendo seleccionado un rango de tamaño adecuado de filtro ayuda, es necesario después determinar la dosis óptima. La figura (IV.3) muestra una gráfica típica de concentración de filtro ayuda, contra velocidad de filtración, en la cual la dosis óptima de filtro ayuda corresponde a la concentración que proporcione la máxima velocidad de filtración.

Para una filtración práctica, la dosis óptima usualmente se encuentra en el rango de 1 a 10% en peso con respecto a los sólidos retenidos.

Como el efecto de los filtro ayudas en incrementar la permeabilidad de la torta, el incremento asociado en porosidad puede llevar a un considerable incremento de volumen de torta, lo cual puede ser indeseable en aquellas operaciones de filtración, donde el volumen de torta es limitado, es decir, en filtros de placa y marco.

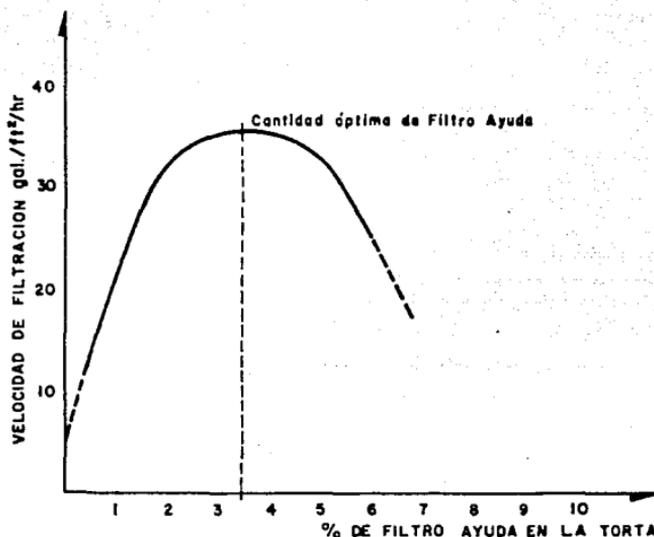


FIGURA IV.3 GRAFICA DE CONCENTRACION DE FILTRO AYUDA CONTRA VELOCIDAD DE FILTRACION

Con el fin de satisfacer prácticamente cualquier requisito de filtración industrial, se producen grados de filtro ayuda en una extensa variedad de tamaños de partícula. Las velocidades de flujo relativas de estos grados se determinan por una prueba de filtración normal, las mismas se exponen en la figura (IV.4) para la línea de filtro ayudas Johns Manville.

Como se puede observar en la fig(IV.4)Filter-Cel, el grado más fino de filtro ayuda, logra la mejor claridad del líquido filtrado y la velocidad más baja de filtración. Es una diatomita natural, secada, molida y clasificada por aire. Para fabricar filtro ayudas más gruesos y de ma-

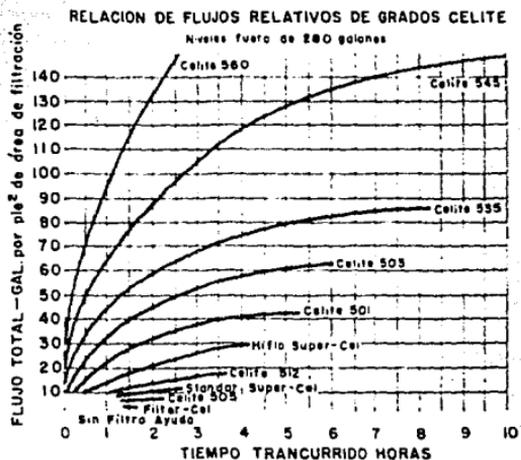
por velocidad de flujo, el Filter-Cel es calcinado clasificándose en clones. Estos grados exactos de calcinación son Celite 505, Standard - Super-Cel y Celite 512. Para obtener partículas aún mayores, se agrega una substancia fundente antes de la calcinación dando por resultado filtro ayudas calcinados por fusión o grados de color blanco, que incluyen desde el Hyflo Super-Cel hasta el Celite 560, que es el más grueso. La distribución del tamaño promedio de partículas se muestra en la figura- (IV.5)

En el uso de filtro ayudas es evidente que a medida que aumenta el tamaño de partícula y por consiguiente la proporción de flujo, disminuye la capacidad del filtro ayuda para eliminar las pequeñas partículas del material suspendido.

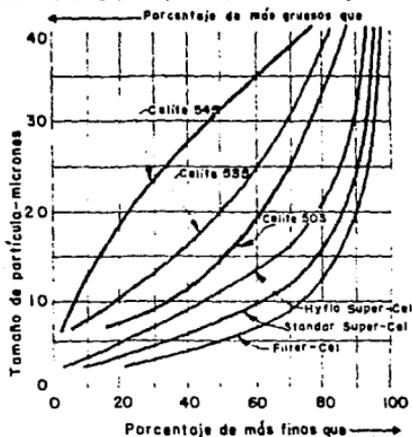
En forma contraria, a medida que disminuye el tamaño de partículas de - filtro ayuda y por consiguiente la velocidad de flujo, aumenta la capa- cidad de filtro ayuda para eliminar las pequeñas partículas del mate--- rial suspendido. Hasta que punto ocurre ésto, depende en gran parte - del tipo y distribución de tamaños de partícula de los sólidos no di-- sultos que se están eliminado.

En la mayoría de los casos es tal la variedad de tamaños de partículas- de los sólidos no disueltos que entre más fino sea el filtro ayuda más- claro será el filtrado. Sin embargo, si un filtro ayuda elimina el - 100% de los sólidos no disueltos, un grado más fino si bien da un flujo menor debido a su fina estructura, no aumentará la claridad.

Por lo tanto, la selección del filtro ayuda de grado apropiado, debe hacerse considerando que proporcione bastante claridad con baja velocidad de flujo y mayor velocidad de flujo con menor claridad. El mejor grado



Distribución de tamaños de partícula de Filtro Ayudas Celite



de filtro ayuda es el que proporciona la mayor velocidad de flujo (o mayor rendimiento de acuerdo con el costo) a una claridad adecuada.

Antes de usar un filtro ayuda se debe determinar y especificar la claridad que desea obtener en la filtración. La claridad, o la cantidad de sólidos no disueltos en el líquido se puede determinar de varias formas.

Algunos métodos son:

- 1.- Examen visual de una muestra de filtrado.
- 2.- Comparación de una muestra de filtrado con un patrón tal como se usa en los tubos de Nessler u otros aparatos ópticos.
- 3.- El uso de instrumentos electrónicos que determinan la turbidez.
- 4.- Filtrando una muestra de líquidos en un papel filtrante fino de color blanco o negro, tal como un filtro de membrana, observando las impurezas sobre el papel.
- 5.- Análisis químico.
- 6.- Análisis gravimétrico.

Es sumamente difícil determinar el tamaño de partículas de sólido que será eliminado por cualquier grado de filtro ayuda. En primer lugar se debe especificar el método para medir el tamaño de partícula. Es por ejemplo, por sedimentación (la cual determina el diámetro pero no la forma de la partícula), o es por examen visual de la partícula a través de un microscopio electrónico.

Además, los sólidos que pueden eliminarse de un líquido no pueden eliminarse de otros, debido a las características de aglomeración en diferentes líquidos.

Si se usan pruebas de sedimentación, se puede asentar una partícula pesada de forma irregular a la misma velocidad que una partícula más ligera

ra en forma de esfera que tiene diámetro real mucho más pequeño. Estas partículas parecerán tener el mismo tamaño mediante sedimentación, pero requieren de un grado de filtro ayuda mucho más fino para eliminarlas. Una partícula filamentosas se eliminaría fácilmente si se aproxima a la torta por un costado, pero si se aproxima en punta, se irá a través de dicha capa. Asimismo, una partícula suave podría introducirse a través de la torta, mientras que una partícula rígida del mismo tamaño no lo haría.

Se puede lograr una aproximación del grado de claridad que se obtiene por medio de cualquier grado de filtro ayuda realizando pruebas de filtración en un embudo Buchner. Estas pruebas no serían exactas, ya que en una filtración real a medida que el ciclo progresa, la capa del filtro tiende a obstruirse o "apretarse" con las partículas de los sólidos suspendidos que estén siendo eliminados. Esta compactación de la torta produce un filtrado de claridad progresivamente mayor.

Por lo tanto, sería conveniente que se considere la claridad promedio, si se mezcla el filtrado de todo el ciclo, y no los grados de claridad aislados. Esto permitiría el uso de un grado más veloz de filtro ayuda. Entonces para un líquido la claridad depende principalmente de:

- 1.- El grado y cantidad de filtro ayuda dosificado.
- 2.- El grado y cantidad de filtro ayuda de precapa.
- 3.- La duración del ciclo.

Ya que una de las funciones de la precapa es proteger el tamiz del filtro para que no se ensucie, no debe haber ninguna penetración de sólidos suspendidos en la misma. Esto es, que debe haber una línea definida que divida la precapa de los sólidos suspendidos y la precapa debe -

ser lo suficientemente fina como para evitar que los sólidos penetren en ella, y lleguen al tamiz con lo que causarían su obstrucción.

#### IV.11 Evaluación

Al seleccionar un grado de filtro ayuda, debe recordarse que la filtración se efectúa con un sólo propósito: eliminar sólidos no disueltos para dar al filtrado una claridad adecuada. Ya que la mayor parte de los sólidos que se han considerado fluctúan en tamaño desde coloidal hasta 10 o más micrones, generalmente no es conveniente eliminarlos totalmente. Queda entonces al criterio del usuario, decidir la cantidad de sólidos (o turbidez) que puede tolerarse en el filtrado.

Se puede obtener una idea general del grado de filtro ayuda que proporciona la mínima claridad deseada con un embudo Buchner. Se debe tener cuidado de no extraer aire a través del embudo hacia la muestra de filtrado, ya que la precapa se movería y ocasionaría que se obtenga una lectura incorrecta de la claridad de la muestra.

Como se explicó anteriormente, el grado de filtro ayuda que da una claridad mínima aceptable, también es el que da la máxima velocidad de flujo. Casi sin excepción este grado proporciona el costo más bajo de filtración.

La siguiente etapa consiste en realizar una serie de pruebas para determinar el nivel más económico de dosificación con diferentes velocidades de flujo.

En general, el costo de filtro ayuda aumenta con la mayor velocidad de flujo, pero también el rendimiento por pie cuadrado de área. El aumento en el costo se vuelve más pequeño. El equilibrio entre los costos de operación y los costos de capital, es también una decisión que debe-

tomar el usuario de filtro ayuda.

Los datos referentes al procedimiento anterior se encuentran representados en las figuras (IV.6) y (IV.7). La figura (IV.6) muestra la caída de presión contra el flujo total para una serie de filtraciones a velocidad constante en diferentes niveles de dosificación. La precapa es la misma para todas las pruebas. Con el propósito de hacer comparaciones, todos los ensayos se hicieron a una presión diferencial final de 50 psi. El flujo total y duración del ciclo (ya que la velocidad es constante) no aumenta en todos los casos en la misma proporción como aumenta el porcentaje de dosificación.

La figura (IV.7) muestra la cantidad necesaria de filtro ayuda por galón de líquido filtrado para la precapa y para la dosificación y la suma de ambas. Las dos primeras curvas se obtuvieron dividiendo las cantidades totales de filtro ayuda empleado en la precapa y la dosificación, entre el total del líquido filtrado al finalizar el ciclo. La curva de precapa tiene un costo fijo y disminuye a medida que aumenta el flujo total.

La curva para la dosificación muestra un consumo máximo de filtro ayuda en libras por galón en el punto A, y un mínimo en el punto B, y después un aumento constante a partir de este punto en adelante.

Hasta el punto A, los efectos para mejorar la porosidad de la torta con adiciones de filtro ayuda son pequeños si se comparan con la cantidad agregada de dosificación. En esta forma, aumenta la resistencia de la torta, y da por resultado ciclos más cortos y mayor consumo de filtro ayuda. Entre los puntos A y B, los aumentos de dosificación muestran sus efectos más considerables, alcanzando un consumo mínimo de filtro

ayuda en el punto B. Después del punto B, el aumento en la resistencia de la torta y la adición de dosificación hacen más que compensar la pérdida de porosidad de la torta, de manera que aún cuando la duración del ciclo continúa aumentando, el consumo de filtro ayuda comienza a aumentar.

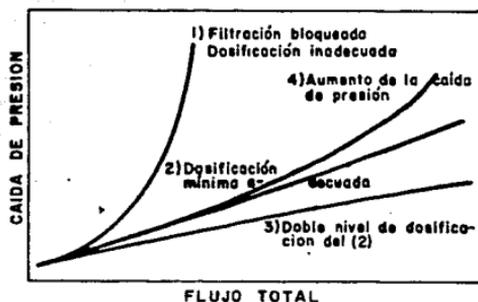


FIGURA IV.6 CAIDA DE PRESION VS. FLUJO

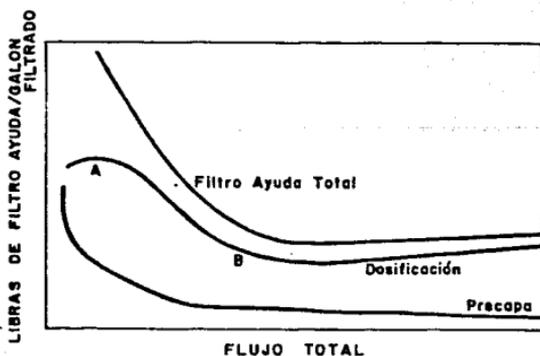


FIGURA IV.7 FILTRO AYUDA USADO POR GALON FILTRADO

En la curva del consumo total de filtro ayuda, es importante notar que el uso mínimo está ligeramente a la derecha de la curva de dosificación. Si se incluyen otros costos tales como energía eléctrica, mano de obra, amortización del capital, limpieza del filtro, y tiempo de la precapa, el uso mínimo total de filtro ayuda y tiempo de la precapa, este uno mínimo total de filtro ayuda estará aún más hacia la derecha.

#### IV.12 Precapa

En la filtración con filtro ayuda, el filtro ayuda tiene otro propósito en adición al ya mencionado. Antes de que se inicie la filtración, una precapa de filtro ayuda es aplicada a la superficie del medio filtrante. La cantidad de precapa generalmente usada es aproximadamente de 0.488 a 0.976 Kg. de filtro ayuda por metro cuadrado de área de filtro (0.1 a 0.2 lb/ft<sup>2</sup>), la cual corresponde a un espesor de aproximadamente 1/16 de pulgada (1.5 mm). Esta precapa tiene dos propósitos.

- 1).- Mejorar la claridad inicial del filtrado por la presencia de una capa de partículas de filtro ayuda, además del medio filtrante; y
- 2).- Proteger el medio filtrante de la obstrucción por las partículas a ser removidas.

Es importante notar aquí el medio filtrante y filtro ayuda siempre serán seleccionados de tal manera que la torta del filtro ayuda retenga partículas más pequeñas que el medio filtrante. De otra forma las partículas que pasen a través del filtro ayuda serán retenidas por el medio filtrante, disminuyendo el tiempo de vida del medio filtrante, tal vez por obstrucción irreversible, causando éstos ciclos cortos de filtración innecesarias y costosas.

Frecuentemente ocurre que el uso de la técnica de precapa es combinada con la de cuerpo ayuda. La optimización de las condiciones de operación demanda la atención de ambos aspectos, y pueden resultar diferentes grados de material a ser usados para las dos funciones. Generalmente el material de precapa será relativamente fino, seleccionado de tal manera que dé la claridad deseada.

El mismo material es frecuentemente usado como cuerpo ayuda, pero mejores resultados son alcanzados usando un grado más grueso, aunque bajo circunstancias especiales un grado más fino puede ser preferido.

La velocidad con que se forme la precapa dependerá principalmente de la viscosidad del líquido tratado, ésta debe ser suficiente como para mantener el filtro ayuda en suspensión pero no debe ser alta velocidad por que tirarfa la torta en el interior del filtro. Con agua, esta proporción debe ser de 1 a 2 galones por pie cuadrado por minuto (3.8 a 7.5 - 1/min/pie<sup>2</sup>). Para líquidos viscosos puede ser hasta de 5 galones por pie cuadrado por hora. Una regla general para formar la precapa es mantener un flujo que garantice una presión diferencial de aproximadamente de 2 libras por pulgada cuadrada (0.15 kg/cm<sup>2</sup>). Con agua se requiere mayor velocidad, cuando menos 4.5 pies por minuto para lograr una suspensión adecuada de filtro ayuda.

El líquido filtrado durante la formación de la precapa debe quedar claro dentro de los 5 a 15 minutos iniciales. La falta de claridad puede ser causada por alguna de las siguientes razones: purga inadecuada del aire del filtro; erosión de la precapa originada por la recirculación de líquido demasiado rápida, obstrucción del tamiz filtrante, precapa insuficiente en la parte superior de las hojas originada por una recir-

culación muy lenta; roturas en la tela; mallas viejas con alambres muy gastados o separados, orificios entre el tamiz y el borde de la hoja, - empaquetaduras inadecuadas entre la boquilla de descarga de la hoja y - el tubo de descarga; arrugas en el tamiz, presión negativa en el tubo - de descarga que origina el escurrimiento de la precapa en la hoja.

#### IV.13 Cuerpo Ayuda

Cuerpo ayuda (algunas veces llamado admix) es el término usado para el filtro ayuda que se adiciona a la suspensión para incrementar la porosidad de la torta. El cuerpo ayuda puede ser adicionado en forma intermitente o contnua, dependiendo de las circunstancias. Un factor de mayor peso a ser optimizado con el cuerpo ayuda es la dosis, la cual únicamente será determinada por prueba.

Como una primera aproximación, es práctica común usar una dosis equivalente de aproximadamente de 5 a 10 por ciento del contenido de sólidos de la suspensión a filtrar, y después experimentar con cantidades mayores y menores para establecer la velocidad de filtración óptima. El patrón típico de variación es ilustrado por la figura (IV.3), la cual muestra que una dosis excesiva es indeseable, debido a que la resistencia al flujo es aumentada debido al espesor de torta producida. Cuando se alimenta cuerpo ayuda, toda la alimentación al filtro debe tener la misma concentración. Sin cuerpo ayuda, dependiendo de las características del sólido a ser removido, rápidamente disminuye la permeabilidad de la torta causando la terminación del ciclo de filtración debido a la pérdida excesiva de presión. Cuando el cuerpo ayuda es adicionado en cantidad suficiente, el filtro ayuda predomina en la matriz de la torta,

aislando las partículas entre una y otra, previniendo la caída de presión excesiva. Es importante hacer notar que el uso de cuerpo ayudas - muy pequeños y en cantidades insuficientes disminuye realmente el ciclo de filtrado por incremento del espesor de torta sin suministrar la abertura deseada a los canales de flujo. Pudiendo disminuir muchísimo el ciclo de filtrado por el descenso de permeabilidad en la torta. Incluso un paro momentáneo en la alimentación de filtro ayuda (Cuando se adiciona continuamente) puede causar una capa impermeable de sólidos en la torta, lo cual termina con el ciclo de filtración. Ninguna cantidad de filtro ayuda adicionada posteriormente puede reparar el daño causado - por la interrupción de la alimentación de filtro ayuda.

Es importante notar que para que esto sea efectivo, el cuerpo ayuda debe ser adicionado en cantidad suficiente para cambiar la matriz de la torta.

Un cálculo rápido mostrará que esta cantidad de filtro ayuda es razonable cuando el material removido es menor de 1000 p.p.m. Cuando los sólidos a ser removidos del líquido exceden un nivel de concentración cercano a 1000 p.p.m., el costo del filtro ayuda puede ser prohibitivo a menos que el producto sea muy caro y pueda absorber el incremento en el costo.

#### IV.14 Sistema de Filtración

La figura (IV.8) muestra un sistema de filtración idealizado. Un sistema alternado de alimentación seca es mostrado en la figura (IV.9).

El tanque de precapa tiene un volumen mayor que el del filtro de manera que cuando el líquido es recirculado del tanque de precapa al filtro y regresa, el área cónica del tanque de precapa se mantiene llena.

Al iniciar la operación, el filtro ayuda para la precapa es preparando en el tanque de cuerpo ayuda. Debido a las dificultades en el manejo y bombeo, la concentración en la suspensión es usualmente mantenida en un 10% de sólidos (aproximadamente  $0.1 \text{ g/cm}^3$  (1 lb/gal) o menor.

Con las válvulas A y B arregladas para recirculación del tanque de precapa al filtro y regreso, la bomba de alimentación es arrancada, tan pronto como la inclinación del líquido aparece en el tanque de precapa (usualmente de 5 a 10 minutos), la adición de cuerpo ayuda es iniciada y la válvula A es puesta para conducir la alimentación del filtro. Posteriormente el tanque de precapa es llenado para la próxima corrida, la válvula B es puesta para desviar el filtrado al tanque de recepción de filtrado.

Es importante notar que la alimentación se introducirá al filtro antes de que toda la precapa haya sido depositada para evitar una capa de baja permeabilidad en la superficie de la precapa. Si la etapa de formación de la precapa es llevada a cabo hasta que el líquido en el filtro se limpia completamente, las últimas partículas depositadas tienden a formar una capa de baja permeabilidad.

Otro punto importante a ser tomado en cuenta en operación de un sistema de filtración con precapa es que una vez aplicada la precapa, el flujo de líquido a través del sistema debe ser continuo sin interrupción, hasta el final del ciclo. Mientras las partículas de precapa y torta son depositadas, forman una estructura de puente abierto que es estable, mientras el flujo es continuo. Si el flujo es parado aún momentáneamente, la torta cae del medio filtrante o cambia a una configuración estrechamente empacada de más baja permeabilidad.

En cualquiera de los casos, el ciclo efectivo de filtración finaliza, y se debe aplicar precapa nuevamente e iniciar la operación.

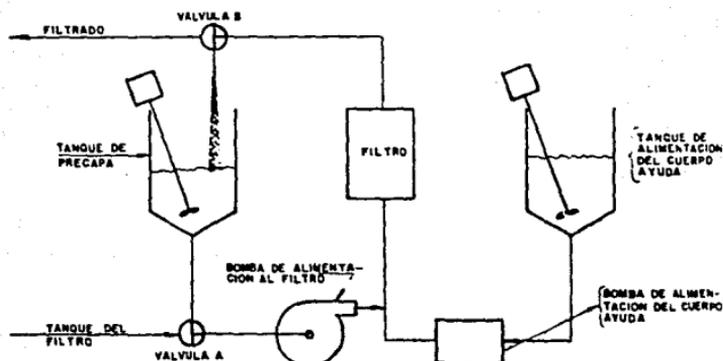


FIGURA IV.8 SISTEMA DE FILTRACION-SUSPENSION DE CUERPO AYUDA ALIMENTADO POR ADICION

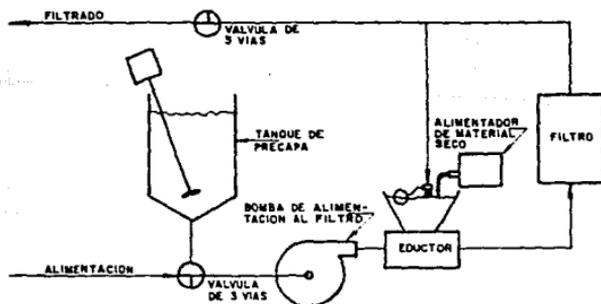


FIGURA IV.9 SISTEMA DE FILTRACION-ALIMENTACION DE CUERPO AYUDA SECO POR ADICION

#### IV.14 Filtro Rotatorio con Precapa

La figura (IV.10) muestra un diagrama idealizado de un sistema para un filtro rotatorio al vacío con precapa. Cuando se trabaja con suspensiones conteniendo una alta concentración de partículas sólidas (mayores - de 1000 ppm), el filtro rotatorio con precapa puede dar una filtración económica. Una precapa de filtro ayuda de 50 a 125 mm. (2 a 5 pulgadas) de espesor es aplicada al tambor del filtro. La torta es removida por una cuchilla que avanza para exponer una superficie cilíndrica de filtro ayuda limpio. La suspensión a ser filtrada es bombeada a la tina y filtrada a través de la capa de precapa, causando que las partículas sólidas sean depositadas en la cara limpia de filtro ayuda.

Como el tambor del filtro gira a través de la suspensión alimentada en la tina del filtro, más y más partículas sólidas son depositadas hasta que una capa relativamente impermeable es formada sobre la cara de la superficie del filtro.

Finalmente, la capa de sólidos depositados emerge de la tina del filtro, escurrida y removida por la cuchilla.

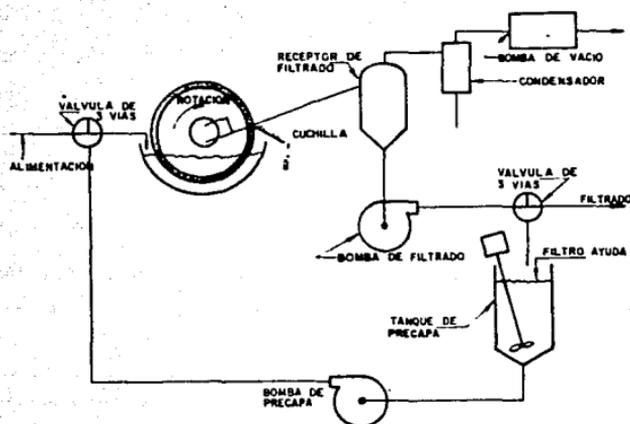


FIGURA IV.10 SISTEMA DE FILTRO ROTATORIO CON PRECAPA

La cuchilla remueve los sólidos depositados más un corte muy pequeño en la torta limpia. En esta forma, una cara limpia de torta es otra vez sumergida en la suspensión de la tina mientras el tambor continúe girando. La inmersión continua de una torta limpia en la suspensión mantiene una velocidad de flujo relativamente alta. Cuando la cuchilla ha removido casi toda la precapa [queda 12.7 mm. (0.5 pulgadas)], el tambor del filtro debe ser lavado, y aplicarle una nueva precapa.

Las variables más importantes de controlar en este tipo de filtración son: la velocidad de avance de la cuchilla y el grado de filtro ayuda a ser usado. Un filtro ayuda teniendo poros relativamente mayores a -

las partículas sólidas a ser removidas darán un funcionamiento pobre de filtración debido a la penetración profunda de las partículas sólidas en la precapa. La cuchilla no removerá el total de los sólidos depositados, teniendo como resultado una disminución continua de la velocidad de filtración. La velocidad de avance de la cuchilla será determinada primeramente por la naturaleza de los sólidos a remover. Un avance de la cuchilla suficientemente rápido debe ser mantenido para tener velocidad de filtración a un nivel aceptable, sin quitar demasiada precapa y causando uso excesivo de filtro ayuda. El grado óptimo de filtro ayuda y avance de cuchilla a ser usados para una filtración dada pueden ser usados experimentalmente usando un prototipo pequeño de filtro.

Generalmente hablando un filtro ayuda puede ser usado para mejorar la economía de cualquier filtración, siempre que el líquido sea la parte valiosa. Cuando es necesario recuperar un producto sólido puro, el uso de filtro ayuda generalmente debe ser excluído.

#### IV.15 Equipo Auxiliar

##### IV.15.1 Telas del Filtro

La función principal de la tela, tamiz o malla es sostener el filtro ayuda, el cual como ya se ha visto, efectúa la filtración. Por lo tanto no es necesario un tamiz muy pesado, excepto cuando hay inestabilidad en la torta debido a fluctuaciones en la presión u otras influencias externas. Si la torta se descarga en seco y es densa o pesada debe usarse un tamiz fuerte.

Generalmente cualquier tamiz con una abertura de menos de 0.005 pulgadas es adecuado para los filtro ayudas de flujo regular. En las telas

metálicas el tejido más comunmente usado es el de 29 x 110 holandés sencillo, con alambre de 0.016 pulgadas y 0.011 pulgadas. También es adecuada la tela del tipo torcido de 60 x 60 con alambre de 0.011 pulgadas y la de 70 x 80 con alambre de 0.007 pulgadas.

Con las fibras sintéticas y naturales, desde las de tejido sencillo hasta las de torcido o de satén, se retiene más la torta, y se logra un mejor desprendimiento de la misma, así como resistencia a la obstrucción y disminución de la velocidad de flujo en este orden. Estas mismas ventajas se obtienen cuando se usan tejidos de mono o multifilamento, o hilados de estas fibras.

#### IV.15.2 Bombas de Alimentación del Filtro

Las bombas centrífugas casi se usan universalmente, ya que no producen pulsaciones que alteren la torta del filtro. Sin embargo, estas bombas tienen dos desventajas: su alta velocidad, que tiende a romper grandes sólidos acumulados, haciéndolos más difíciles de filtrar; y su reducción de flujo de salida a medida que aumenta la presión. Para reducir al mínimo la degradación de impurezas, deben usarse bombas de baja velocidad (1800 rpm) con impulsores abiertos. Cuando los sólidos son grandes y grumosos, es conveniente usar una bomba centrífuga con impulsor cóncavo, o bien una bomba de pistón de etapas múltiples provista de cámaras de aire de suficiente capacidad. Las bombas aspirantes e impelentes, deben tener válvulas de bola. Las bombas de engranes pueden usarse cuando los sólidos no son abrasivos y no esté presente el filtro ayuda. Comparadas con las bombas centrífugas, éstas últimas rinden un flujo constante bajo una carga hidrostática variable.

Todas las bombas de alimentación al filtro deben operar bajo carga hidrostática positiva para impedir la succión de aire dentro del líquido de alimentación del filtro.

#### IV.15.3 Precapa y Tanques Dosificadores

Estos tanques deben equiparse con agitadores de aspas que giran aproximadamente a 50 rpm, o con agitadores del tipo de propulsión con cuchillas grandes de baja velocidad. El filtro ayuda una vez suspendido es fácil mantenerlo en suspensión. Los tanques deben tener fondos cóncavos, cónicos o inclinados de modo que el líquido pueda descargarse del tanque y para que la operación de precapa requiera una cantidad menor de líquido durante la recirculación entre el tanque de precapa y el filtro.

Los tanques de precapa deben tener un 125% del volumen del filtro (incluyendo bomba y tuberías de conexión), de manera que una pequeña cantidad residual permanezca en el tanque después de que se ha llenado el filtro con la suspensión de precapa. La línea de retorno del filtro al tanque de precapa debe quedar en el fondo del tanque para impedir que entre aire al líquido. Si es necesario, deben instalarse deflectores para impedir que se formen remolinos y para que se introduzca aire en el filtro. El tanque debe quedar lo suficientemente alto sobre la bomba de circulación de precapa, y la línea que va hacia la bomba debe ser lo suficientemente larga como para proporcionar una presión positiva en el lado de succión de la bomba.

#### IV.15.4 Sistemas de Dosificación de Filtro Ayuda

La dosificación de filtro ayuda debe hacerse en forma seca o en suspensión.

Las concentraciones de la suspensión pueden llegar hasta un 10% pero se recomienda mantenerla en un 5%.

Sea cual fuere el sistema usado, debe reunir las siguientes características:

1. Bajo costo de mantenimiento
2. Régimen de alimentación constante minuto a minuto
3. Debe tener un elemento para regular la velocidad de alimentación de la dosificación mientras el sistema está funcionando. El régimen de alimentación debe ser constante en cada ajuste.
4. No debe degradar la estructura de partícula del filtro ayuda (los sistemas que requieren de circulación constante de la suspensión, durante largos períodos de tiempo, suscitan este problema, por lo cual no se recomiendan).

Las bombas dosificadoras trabajan mejor operando continuamente, se sugiere recircular la suspensión hacia el tanque de dosificación cuando el filtro se está lavando. Las bombas de pistón deben llevar pistones de cerámica y puede ser conveniente hacer conexiones sobre empaquetaduras para facilitar su limpieza.

Las salidas sencillas de las bombas de diafragma deben quedar en el fondo de la cámara de diafragma para impedir la acumulación de filtro ayuda en la misma.

#### IV.15.5 Adición de la Dosificación

Los efectos que se causan al variar la cantidad de dosificación se ilustran en la gráfica de la figura (IV.11), la cual muestra el rendimiento total en el eje de abscisas. Como se puede apreciar, al agregar una cantidad demasiado pequeña de dosificación, simplemente se reduce el rendimiento total, ya que la partícula de filtro ayuda está completamente rodeada de sólidos no porosos. Esto aumenta únicamente el espesor de la torta sin hacerla realmente permeable.

A partir de este punto, a medida que aumenta la dosificación, el rendimiento total aumenta lentamente, después por breve período de tiempo aumenta más rápido. La proporción de aumento decrece hasta alcanzar un punto, después del cual ya no aumenta.

Al agregar grandes cantidades de dosificación, disminuye el rendimiento, lo cual se debe a que las partículas de turbidez se pierden en la misma. En tales casos, las cantidades adicionales de dosificación simplemente aumentan el espesor de la torta. La cantidad de dosificación también dependerá de la velocidad a la que se filtre el líquido. Es decir, que los mismos líquidos, filtrados a velocidades más altas generalmente requieren una menor dosificación para obtener el mismo rendimiento o duración de ciclos como se muestra en la gráfica de la figura (IV.12).

Un filtro ayuda eficiente y económico debe:

- 1.- Tener partículas individuales, fuertes, porosas, formadas integralmente.
- 2.- Formar una torta de filtración incompresible, rígida y altamente permeable.
- 3.- Eliminar los sólidos más finos a altas velocidades de flujo.

#### 4.- Ser químicamente inerte e insoluble

La distribución de partícula de un filtro ayuda debe ser cuidadosamente controlada para dar la combinación correcta de velocidad de flujo y claridad.

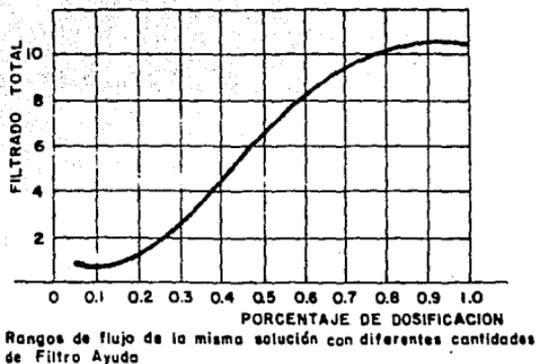
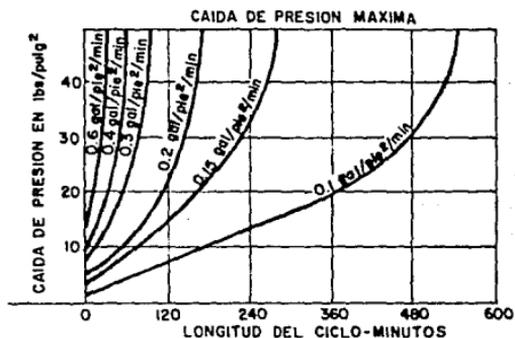


FIGURA IV.11 PORCENTAJE DE DOSIFICACION



Cuando la caída de presión alcanza un máximo de 50 libras por pulgada cuadrada, el ciclo termina.

FIGURA IV.12 LONGITUD DEL CICLO-MINUTOS

A continuación se muestra en la tabla (IV.12) los problemas y causas en contrados cuando se usa en la filtración, filtro ayudas.

P R O B L E M A

C A U S A S

CLARIDAD

- DURANTE LA FORMACION DE LA PRECAPA
- Cantidad insuficiente de filtro ayuda
  - Filtro insipientemente cargado
  - Flujo demasiado lento durante la formación de la precapa - lavado
  - Flujo demasiado rápido durante la formación de la precapa - lavado
  - Deflectores deficientes - lavado de la torta (1)
  - Paso del filtro ayuda a través del tamiz del filtro - tela demasiado abierta
  - Fugas de aire mecánico - tamices/empaques/tubo colector principal, telas sucias
  - Concentración de suspensión de precapa demasiado diluida.

DURANTE LA FILTRACION

- Filtro ayuda demasiado grueso
- Paso de filtro ayuda, hojas o tamices torcidos, hoja demasiado flexible, tela del filtro demasiado abierta, fugas de gran tamiz, tamiz/empaques/tubo colector principal
- Cambio incorrecto de válvulas entre la formación de la precapa y la filtración
- Fluctuaciones de presión
- Lavado de la torta - deflectores deficientes (1)
- Lavado de la torta - flujo demasiado rápido
- Presión negativa en la salida (2)
- Aire dentro del filtro
- Cambios en el líquido que se está filtrando
- Tamices sucios

CICLOS CORTOS

ALTA PRESION

FLUJO LENTO

- DURANTE LA FORMACION DE LA PRECAPA
- Aire en la bomba debido al bajo nivel o remolinos que se forman en el tanque de precapa.
  - Aire en el filtro
  - El tamiz de tubería parcialmente obstruido
  - Sólidos insolubles en el líquido de precapa

DURANTE LA FILTRACION

- Presión diferencial demasiado bajo debido a:
  - Bomba de alimentación desgastada
  - Bomba demasiado pequeña
  - Contrapresión demasiado alta (3)
  - Grado incorrecto de filtro ayuda
  - Tamices sucios
  - Dosificación demasiado rápida o lenta
  - Diámetro de líneas demasiado pequeño (4)
  - Drenaje insuficiente de las hojas
  - Dosificación irregular
  - Degradación del filtro ayuda, bombas y mezcladores
  - Línea de dosificación obstruida (5)
  - Obstrucción en la línea de salida
  - Succión de aire en la bomba
- Cambios en el líquido que se está filtrando
- Combinación incorrecta de precapa y dosificación
- Extensa variación de velocidades de flujo
- Ciclos cortos, debido a recirculación excesiva durante la formación de la precapa (6)
- Tamices obstruidos por formar la precapa con líquido no filtrado o sucio

(1) Si no existen sistemas deflectores o están mal diseñados se puede provocar una turbulencia excesiva en ciertas áreas de la tela, que impiden la formación de la precapa en esas zonas.

(2) El escurrimiento es debido a la formación de burbujas en la superficie de contacto entre el tamiz y la precapa, destruyendo continuamente lo que se por resultado que el filtro ayuda se escurre a través de la misma. Este escurrimiento puede ser debido a equilibrio o casos aislados.

(3) La contrapresión excesiva disminuye la presión de que debería disponerse para la filtración, lo que reduce considerablemente la duración del ciclo. La contrapresión de elevada se puede evitar mediante el uso de bombas de extracción a la salida del filtro. Sin embargo, se debe tener cuidado de que la bomba de extracción no esté sobrecargada.

(4) Si las líneas de entrada son demasiado pequeñas, las pérdidas por fricción en estas líneas reducen la efectividad de la bomba de alimentación. Si las líneas de salida son demasiado pequeñas, las mismas pérdidas por fricción crean una contrapresión excesiva.

(5) Se debe tener cuidado particularmente cuando se filtran soluciones acuosas enfriadas, debido a que se puede formar hielo, o el producto se puede solidificar en las líneas de salida.

(6) Durante cualquier filtración nunca se puede eliminar el 100% de los sólidos en la primera etapa. Si la recirculación continúa por un período excesivo después de haber establecido la precapa, se llegan a extraer del líquido más y más partículas. Estos sólidos se acumulan en la superficie de la precapa y pueden formar con el tiempo una capa impermeable que impide el flujo y aumenta la presión.

#### IV.16 Métodos de Recuperación

Numerosos esquemas han sido probados para la regeneración o reuso de filtro ayudas: recuperación térmica, hidrociclones, reuso directo, tamizado, sedimentación y decantación con productos químicos y solventes.

##### IV.16.1 Recuperación Térmica

En un sistema típico, la torta que ha sido lavada en un filtro de hoja a presión es escurrida en un filtro de tambor rotatorio. La torta escurrida es posteriormente mezclada con filtro ayuda recuperada hasta el punto que pueda ser manejada y transportada a un horno rotatorio donde es calentada a aproximadamente 1600° F (870° C). El filtro ayuda regenerado es posteriormente colectado en ciclones y separador de bolsas, el material del separador de bolsas siendo recombinado, el cual se obtiene en la corriente inferior del ciclón. El filtro ayuda recuperado es considerablemente de menor calidad que el filtro ayuda fresco.

En escala relativa de velocidades de flujo, si el filtro ayuda sin usar tiene una velocidad de flujo nominal de 500 y una densidad de torta de 18 lb/ft<sup>3</sup>, el filtro ayuda regenerado tendrá una velocidad de flujo del orden de 300 a 350 con una densidad de torta húmeda de 25 a 35 lb/ft<sup>3</sup>. Aunque se usa menos cantidad de filtro ayuda nuevo por unidad de volumen de alimentación, sin embargo, la cantidad total de filtro ayuda, nuevo y regenerado es mucho mayor.

Así por ejemplo, en la refinación de azúcar, el consumo de filtro ayuda nuevo puede ser del orden de 12 a 13 libras por tonelada de azúcar sin refinar.

Cuando se usa filtro ayuda regenerado, la cantidad de filtro ayuda nuevo puede ser reducido a 6 ó 7 libras por tonelada de azúcar sin refinar,

pero el consumo total de filtro ayuda, nuevo y regenerado, será aproximadamente de 60 a 80 libras por tonelada de azúcar sin refinar. Esto nos trae como consecuencia el uso de un espacio mayor de torta, el uso de tiempo mayor para la extracción de azúcar de la torta, así como costo mayor debido al manejo de cantidades mayores de filtro ayuda.

#### IV.16.2 Hidrociclones

En este sistema, hidrociclones de 1 pulgada de diámetro han sido usados en una operación de tres etapas. Los hidrociclones son operados a aproximadamente 40 lb/in<sup>2</sup>, y son diseñados de tal manera que aproximadamente el 80% del flujo de entrada salga por la parte superior del ciclón y cerca del 20% por la parte inferior.

Bajo estas condiciones de operación, la separación de tamaño de partícula es aproximadamente 11 micrones. Dado que el tamaño juega una parte muy importante en esta separación, es posible separar sólidos suspendidos, con densidades relativas muy cercanas a la del filtro ayuda.

En el sistema anterior, una suspensión hecha con la torta, conteniendo de 3 a 5% de sólidos es bombeada a la primer etapa de ciclones. El producto de la primer etapa, o flujo inferior, contendrá de 12 a 15% de sólidos; esta suspensión debe posteriormente ser diluida de un 3 a 5% de sólidos antes de ser bombeada a la segunda etapa de ciclones. El producto de la segunda etapa, flujo inferior, tiene de un 15 a 20% de sólidos, y éste debe posteriormente ser diluido antes de llevarlo a la tercera etapa de separación.

El producto de la tercer etapa, es una suspensión de aproximadamente 16% de sólidos, posteriormente puede ser bombeada directamente a la estación de filtración para su reuso.

Hay una separación, debida a la acción del ciclón, y una purificación - debida a la dilución. Así en una separación ideal con 100 partes de im purezas y 100 partes de filtro ayuda entrando a la primer etapa de ci- clones, el flujo inferior de esta etapa contiene 20 partes de impurezas y 80 partes de filtro ayuda.

El flujo inferior es posteriormente diluido a una suspensión al 5% de - sólidos para que el flujo inferior de la segunda etapa contenga solamen te cuatro partes de las impurezas originales y 64 partes del filtro ayu da original.

Usando el mismo razonamiento, el flujo inferior de la tercer etapa con- tendrá 0.8 partes de la turbidez original y 51 partes del filtro ayuda- original. Bajo condiciones ideales, el filtro ayuda recuperado tendrá- una pureza superior al 99% y será mejor en velocidad de flujo, pero ten drá menor claridad.

En la práctica real, la pureza del filtro ayuda, depende del tipo de só lidos ha ser removidos y el grado de separación de la torta. Del líqui do alimentado a la primer etapa, el 10% se retiene en la tercer etapa - de suspensión cuando se usa para resuspender agua fresca.

La densidad del filtro ayuda recuperado será de 15 a 30% mayor que el - del filtro ayuda sin usar, y las claridades serán menores en proporción - al incremento de la velocidad de flujo. Por lo tanto, la composición - del filtro ayuda tendrá que ser de un grado más fino si la claridad del filtro se desea mantener.

El problema principal de este sistema es que el flujo superior contiene turbidez y filtro ayuda fino en una suspensión con una concentración de 1 a 2% dependiendo del sistema de bombeo. Así, si el agua de dilución-

no es usada en contra corriente, la concentración de sólidos en el flujo superior será menor del 1% y el uso de agua será aproximadamente de 6 gal/lb de filtro ayuda recuperado ó 33000 gal. de agua/día para un usuario de 1000 ton/año. En el otro extremo, si agua de lavado es usada en contra corriente puede ser reducida a 2 gal/lb de filtro ayuda.

#### IV.16.3 Reuso Directo

El reuso directo de filtro ayuda es el reciclado de toda o parte de la torta para usarse en filtración sin ningún intento de regeneración o separación de impurezas.

Tiene mucho de conocerse que la torta resuspendida tiene algún valor como filtro ayuda. Sin embargo, uno de los problemas ha sido que cuando este material es reaplicado al filtro sin una precapa de filtro ayuda fresca, las impurezas entran en contacto con el medio filtrante. Estas impurezas causan taponamiento del medio filtrante.

#### IV.16.4 Tamizado

Se han hecho pruebas en laboratorio en tamices vibratorios para recuperar el filtro ayuda de una torta. En estas pruebas, una suspensión de torta consistiendo de 1.5 partes de filtro ayuda y una parte de levadura fueron usadas.

Un sólo tamiz de 165 x 1400 mallas ( $17 \mu$ ) fué primeramente probado.

Se encontró que fué muy difícil humedecer este tamiz aunque el uso de detergentes temporalmente alivió este problema.

Para incrementar el paso, un tamiz de  $41 \mu$  fué usado solo en combinación con uno de  $17 \mu$ . En todos los casos, aproximadamente el 10% de los sólidos totales penetraron el tamiz superior. En adición, la sepa-

ración de las levaduras no fué muy efectiva; muchas de las levaduras permanecieron en el filtro ayuda en el tamiz de la parte superior. Este método hasta la fecha no es considerado un método práctico de recuperación de filtro ayuda.

#### IV.16.5 Sedimentación y Decantación

Ha sido usado experimentalmente para la remoción de algas, usando un filtro reversible de tierras diatomáceas. En este filtro el flujo hacia adelante e inverso puede tomar lugar en cualquier dirección. Así, al final del ciclo de filtración el flujo a través del filtro es invertido, lavando la torta que sale de un lado del medio filtrante y aplicando precapa del lado contrario.

Durante este tiempo, el flujo del filtro, conteniendo torta retrolavada, es desviado para desecho o recuperación de filtro ayuda.

## CAPITULO V

### I N D I C E

V.	ANALISIS PARA LA SELECCION DEL FILTRO . . . . .	175
V.1	CARACTERIZACION DE LA SUSPENSION . . . . .	176
V.2	PRUEBAS DE FILTRACION A NIVEL LABORATORIO . . . . .	181
V.3	ANALISIS DE DATOS . . . . .	190
V.4	DETERMINACION DE PARAMETROS PARA LA FILTRACION . . . . .	191
V.4.1	ECUACION EMPIRICA PARA LA RESISTENCIA DE TORTA . . . . .	196
V.5	SELECCION DEL MEDIO FILTRANTE . . . . .	201
V.6	SELECCION DEL FILTRO . . . . .	202
V.7	PRUEBAS DE FILTRACION A NIVEL PLANTA PILOTO . . . . .	204

## V. ANALISIS PARA LA SELECCION DEL FILTRO

En este capítulo analizaremos el problema presentado por los efluentes de una planta industrial, ya que éstos contienen sólidos en suspensión y compuestos químicos disueltos, los cuales ocasionan problemas de contaminación ambiental.

Por tal motivo, se plantea para resolver este problema, la separación de los sólidos, ya que éstos tienen propiedades que hacen interesante su industrialización, así como el líquido, el cual principalmente es agua que se recirculará al proceso principal.

Para lograr esto la "Compañía" que arroja estos efluentes solicitó el diseño de un sistema de separación sólido-líquido por medio de un filtro rotatorio al vacío.

Los datos proporcionados por dicha "Compañía" acerca de los efluentes a la salida, son los siguientes:

Gasto del efluente	8.5 m /hr
Temperatura	50° C
PH	2.5

Contándose además con la cantidad suficiente de muestras para realizar la caracterización, pruebas a nivel laboratorio y planta piloto.

El objetivo es alcanzar por medio de la experimentación la determinación de los parámetros que nos permitan obtener un filtrado con el mínimo de sólidos en suspensión y un sólido (torta) con el mínimo de humedad posible. Para tal efecto, los puntos a cubrir son los siguientes:

- V.1 Caracterización de la suspensión
- V.2 Pruebas de filtración a nivel laboratorio
- V.3 Análisis de datos
- V.4 Determinación de parámetros para la filtración
- V.5 Selección del medio filtrante
- V.6 Selección del filtro
- V.7 Pruebas de filtración a nivel planta piloto

#### V.1 Caracterización de la Suspensión

Con el propósito de conocer las propiedades de los efluentes a manejar, se realizaron análisis para su caracterización, obteniéndose los siguientes resultados:

a).- Aspecto. La muestra original tiene el aspecto de un lodo color café oscuro. Dicha muestra se tuvo en observación durante un período de 72 horas, observándose a las 48 horas, una ligera separación de fases, siendo el líquido sobrenadante de color café rojizo, así mismo se observó que con la disminución de temperatura se incrementa la viscosidad de dicha muestra.

b).- Las propiedades que se evaluaron fueron:

1. Densidad
2. Viscosidad
3.  $P_H$

Dentro de un intervalo de temperatura de 10 a 90° C.

4. Sólidos totales
5. Sólidos suspendidos
6. Sólidos disueltos

## 7. Granulometría

Los resultados de estas evaluaciones se representan en las tablas (V.1), (V.2), (V.3) y (V.4)

( TABLA V.1 )		( MUESTRA ORIGINAL )	
TEMPERATURA	DENSIDAD	VISCOSIDAD	PH
( °C )	(g/cm <sup>3</sup> )	( CP )	
10	1.0922	900	2.1
20	1.0814	700	1.9
30	1.0772	700	2.0
50	1.0635	497	2.3
70	1.0581	317	2.5
80	1.0404	226	2.1
90	-	142.5	2.2

(TABLA V.2)		(LIQUIDO FILTRADO)	
TEMPERATURA ( ° C )	DENSIDAD ( g/cm <sup>3</sup> )	VISCOSIDAD ( CP )	P <sub>H</sub>
10	1.025	3.7	1.95
20	1.022	3.5	1.95
30	1.021	3.1	1.95
50	1.018	3.0	2.00
70	1.000	2.5	2.30
80	0.997	2.0	2.40
90	-	2.0	2.40
Acidez como H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> % Peso		2.5	

(TABLA V.3)		(ANALISIS DE SOLIDOS)	
		%	
Sólidos disueltos		2.39	
Sólidos suspendidos		7.00	
Sólidos totales		9.39	
Humedad		90.61	

( TABLA V.4 )	
GRANULOMETRIA DEL SOLIDO EN SUSPENSION	
TAMAÑO DE PARTICULA (MALLAS TYLER)	% RETENIDO
0/40	3.11
40/80	2.34
80/100	1.49
100/150	1.54
150/200	1.56
200/325	2.97
Colector	86.99

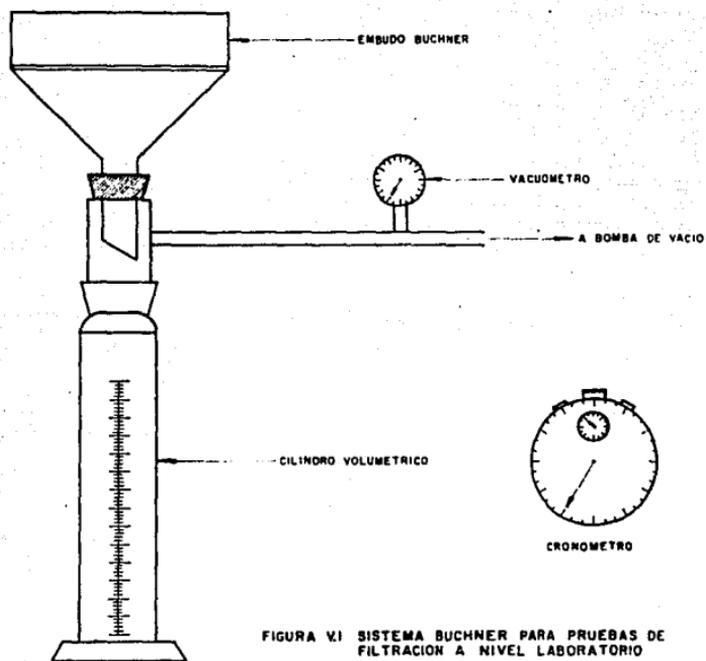


FIGURA VI SISTEMA BUCHNER PARA PRUEBAS DE FILTRACION A NIVEL LABORATORIO

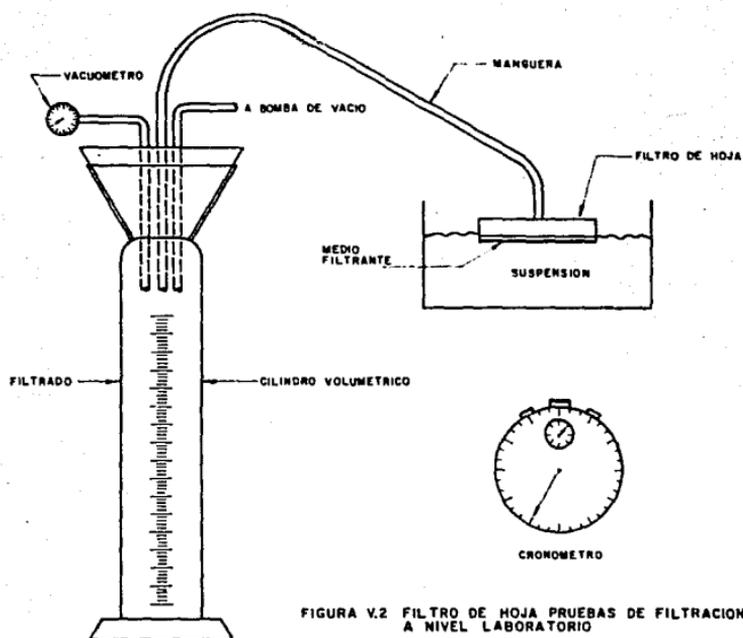


FIGURA V.2 FILTRO DE HOJA PRUEBAS DE FILTRACION A NIVEL LABORATORIO

## V.2 Pruebas de Filtración a Nivel Laboratorio

Se realizaron pruebas en filtro Buchner y filtro de hoja. El propósito de dichas pruebas es la determinación de la resistencia específica de - torta y la resistencia del medio filtrante, así como la abertura adecuada del medio filtrante, los cuales son parámetros fundamentales para el diseño de un filtro.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

### V.2.1 Pruebas en filtro Buchner

En la ejecución de esta experimentación se empleó un sistema como el - que se ilustra en la figura (V.1).

#### V.2.1.1 Selección de la Abertura de Malla apropiada para la Filtración de la Suspensión.

Para cubrir este punto se hizo un primer análisis en un embudo de filtración Buchner con una malla N° 270 de la serie Tyler correspondiente a una abertura de 53 micrones y a una presión de vacío de  $421.5 \text{ g/cm}^2$  - (Pabs = 274.9 mm Hg) observándose que no se realizaba la filtración; - posteriormente se realizó otro ensayo con una malla N° 115 de la serie Tyler que corresponde a una abertura de 124 micrones; en esta ocasión - se observó un gran flujo de sólidos a través de ésta.

Finalmente se trabajó con una malla N° 200 correspondiente a una abertura de 74 micrones; se encontró que al inicio de la operación pasaba una mínima cantidad de sólidos con el filtrado y conforme transcurría la - operación éstos fueron disminuyendo (Ver tabla V.5).

Se preparó un embudo Buchner con un diámetro de 9 cm., utilizando como medio filtrante una malla con abertura de 74 micrones.

Ajuste de la presión de vacío a la cual se realizó la prueba.

Adición de la suspensión a una temperatura de 50° C, ya que esta es la temperatura que se va a manejar industrialmente.

Registro del volumen de filtrado desde el inicio de la operación a diferentes intervalos de tiempo.

( TABLA V.5 )		
RESULTADOS OBTENIDOS CON DIFERENTES ABERTURAS DE MALLA		
Nº DE MALLA (Serie Tyler)	ABERTURA (Micrones)	OBSERVACIONES
270	53	Filtración nula
200	74	Filtración adecuada
115	124	Paso de gran cantidad de sólidos

( TABLA V.6 )

RESULTADO DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN EL FILTRO BUCHNER

PRESION DE VACION = 421.5 g/cm<sup>2</sup> (Pabs = 275 mm Hg)

TIEMPO ( Seg )	VOLUMEN ( ml )
53.75	25.0
96.25	37.5
141.25	50.0
203.75	62.5
266.25	75.0
342.50	87.5
423.75	100.0

HUMEDAD DE TORTA = 83.82%

( TABLA V.6.1 )

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN EL FILTRO BUCHNER

PRESION DE VACIO = 231.1 g/cm<sup>2</sup> (Pabs = 415 mm Hg)

TIEMPO ( Seg )	VOLUMEN ( ml )
0	0
12	5
16	10
21	15
27	20
50	30
64	35
80	40
100	45
140	55
185	65
245	75
275	80
340	90
410	100
490	110
530	115

HUMEDAD DE TORTA = 83.82%

### V.2.2 Pruebas en Filtros de Hoja

Debido a que las pruebas en filtro de hoja son representativas del comportamiento de la filtración al vacío en cuanto al espesor y filtrado, se empleó este tipo de filtro para la determinación de los parámetros de este tipo de filtración.

Las pruebas se efectuaron utilizando un sistema como el que se muestra en la figura (V.2), y con el propósito de conocer el comportamiento de la materia prima a las condiciones de proceso, se manejó a una temperatura de 50° C.

Los vacíos aplicados en un filtro con un diámetro de 12 cm. (113 cm<sup>2</sup> - de área) fueron de: 170, 300 y 420 mm Hg absolutos.

El medio filtrante empleado fué una malla de 74 micrones de abertura. Al igual que en las pruebas de Buchner, la información generada es el volumen de filtrado VS. tiempo. Los resultados de esta actividad se muestran en las tablas (V.7) y (V.7.1), (V.7.2) y (V.8).

( TABLA V.7 )

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN FILTRO DE HOJA  
 PRESION ABSOLUTA DE 231.1 g/cm<sup>2</sup> (170 mm Hg)

T I E M P O ( Seg )	V O L U M E N ( ml )
0	0
18	75
30	100
70	150
90	175
115	200
177.5	250
215	275
300	325

HUMEDAD DE TORTA = 79.0 %

( TABLA V.7.1 )	
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN FILTRO DE HOJA	
PRESION ABSOLUTA = 408 g/cm <sup>2</sup> (300 mm Hg)	
T I E M P O ( Seg )	V O L U M E N ( ml )
0	0
16.0	20
43.5	45
76.0	70
111.0	95
151.0	120
198.5	145
251.0	170
HUMEDAD DE TORTA = 84.1 %	

( TABLA V.7.2 )

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN FILTRO DE HOJA

PRESION ABSOLUTA = 571.2 g/cm (420 mm Hg)

T I E M P O ( Seg )	V O L U M E N ( ml )
0	0
12.8	15
40.3	40
75.3	65
115.3	90
165.3	115
222.8	140

HUMEDAD DE TORTA = 84.84%

( TABLA V.8 )

RESULTADOS DE PRUEBAS EN FILTRO DE HOJA

PRESION ABS. (mm Hg)	ESPESOR DE TORTA (mm)	TIEMPO SUMERGENCIA (seg)	VOLUMEN FILTRADO (ml)
170	6.0	70	140
170	13.0	198	270
300	2.0	90	65
300	4.0	137	90
300	5.0	184	100
420	2.0	119	70
420	3.0	239	95
420	6.0	405	135

### V.3 Análisis de Datos

De la información obtenida acerca de los efluentes podemos decir lo siguiente:

1.- Debido a que los efluentes se manejarán a una temperatura de 50° C y el líquido es principalmente agua, la presión mínima absoluta a que se debe operar es de 93 mm Hg (presión de vapor del agua a 50° C) o mayor para evitar la vaporización del agua.

2.- El  $P_H$  proporcionado por la compañía a una temperatura de 50° C fue de 2.5, y el determinado en la caracterización de la suspensión fue de 2.3 (tabla V.1) a la misma temperatura. Este dato es importante, ya que será el parámetro para la selección de materiales de los equipos de proceso.

3.- Los datos de densidad y viscosidad para los cálculos posteriores serán los reportados en las tablas (V.1) y (V.2) a una temperatura de 50° C.

4.- Los sólidos por separar de la suspensión corresponden a un 7% en peso (tabla V.3) aunque su contenido no es alto, la suspensión presenta características de un lodo, lo cual repercute en su transporte y filtrabilidad.

5.- Con respecto a la granulometría, podemos decir que el 87% de los sólidos tienen un tamaño menor a 44 micrones (malla 325 Tyler, Tabla V.4)

Nota: El análisis no se pudo hacer más fino, ya que no se cuenta con el equipo adecuado.

6.- Con respecto a las pruebas a nivel laboratorio, se observó que la abertura de malla más adecuada para la filtración es de 74 micrones (Ta

bla V.5), y es la que se utilizará en las pruebas posteriores.

7.- De los resultados reportados en las tablas (V.6), (V.6.1), (V.7), - (V.7.1) y (V.7.2), se construyeron las gráficas (V.1), (V.2), (V.3), - (V.4) y (V.5) del anexo V, las cuales tienen un comportamiento igual al de la Figura (II.3), que se rige por la ecuación (II.16).

Dicha ecuación es la base para un análisis posterior.

8.- De las pruebas realizadas con el filtro de hoja, se puede decir que el espesor de torta oscilará entre 2 y 6 mm., según la presión de operación y tiempo de sumergencia (Tabla V.8).

#### V.4 Determinación de Parámetros para la Filtración

Los parámetros de filtración a determinar son los siguientes:

- Resistencia específica de Torta ( $\alpha$ )
- Resistencia del medio filtrante ( $R_m$ )

Para la evaluación de ( $\alpha$ ) y ( $R_m$ ) se usará la metodología presentada en la sección (II.5), utilizando los datos experimentales de Volumen de filtrado y tiempo para las pruebas en filtro Buchner y filtro de hoja. A partir de los datos de las Tablas (V.6) y (V.6.1) se construye la Tabla (V.9), y de las Tablas (V.7), (V.7.1) y (V.7.2) se construye la Tabla (V.10).

Las gráficas (V.6), (V.7), (V.8), (V.9) y (V.10) (Anexo V) nos muestran el ajuste de ( $\Delta t/\Delta V$  vs.  $V$ ), para la determinación de ( $K_p$ ) (Pendiente) y ( $\beta$ ) (ordenada al origen), parámetros fundamentales en la determinación de ( $\alpha$ ) y ( $R_m$ ) a partir de las ecuaciones (II.18) y (II.19).

Cálculo de  $\alpha$ 

A partir de la Ecuación (II.18) tenemos:

$$\alpha = \frac{K_p A^2 (-\Delta P) g_c}{c \mu}$$

Para utilizar la ecuación anterior debemos obtener el valor de (C), el cual calcularemos a partir de la Ecuación (G) del anexo I

$$C = \frac{S_p}{1 - M_0 S}$$

donde:

S = fracción másica de sólidos en la suspensión

$$= 0.07 \frac{\text{masa de sólidos}}{\text{masa total}} \quad (\text{Tabla V.3})$$

$\rho$  = densidad del filtrado

$$= 1.018 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{Tabla V.2})$$

$M_0$  = Relación másica de torta húmeda a seca

Este valor se calculará a partir de los valores de humedad de torta reportados en las Tablas (V.6), (V.6.1), (V.7), (V.7.1) y (V.7.2).

Cálculo de  $R_m$ 

Este parámetro se estimará a partir de la Ecuación (II.19), la cual re-arrglándola nos da la siguiente relación:

$$R_m = \frac{BA (-\Delta P) g_c}{\mu}$$

Todos los cálculos concernientes al estimado ( $\alpha$ ) y ( $R_m$ ) se encuentran en el anexo II y los resultados se reportan en la Tabla (V.11)

TABLA (V.10) PRUEBAS EN FILTRO DE HOJA

$\Delta P$ (g/cm <sup>2</sup> )	FILTRADO, V (ml)	TIEMPO, t (seg)	$\Delta V$ (ml)	$\Delta t$ (seg)	$\Delta t/\Delta V$ (seg/ml)	$\bar{V}$ (ml)	$k_p$ (seg/ml <sup>2</sup> )	B (seg/ml)
564	0	0	0	0			0.00554	0.00924
	75	18	75	18	0.24	37.5		
	100	30	25	12	0.48	87.5		
	150	70	50	40	0.80	125.0		
	175	90	25	20	0.80	162.5		
	200	115	25	25	1.00	187.5		
	250	177.5	50	62.5	1.25	225.0		
	275	215	25	37.5	1.50	262.5		
	325	300	50	85	1.70	300.0		
387.2	0	0	0				0.008368	0.7637
		16.0	20	16	0.8	10.0		
	45	43.5	25	27.5	1.1	32.5		
	70	76.0	25	32.5	1.3	57.5		
	95	111.0	25	35.0	1.4	82.5		
	120	151.0	25	40.0	1.6	107.5		
	145	198.5	25	47.5	1.9	132.5		
170	251.0	25	52.5	2.1	157.5			
224	0	0	0	0			0.0119	0.7554
	15	12.8	15	12.8	0.85	7.5		
	40	40.3	25	27.5	1.1	27.5		
	65	75.3	25	35.0	1.4	52.5		
	90	115.3	25	40.0	1.6	77.5		
	115	165.3	25	50.0	2.0	102.5		
	140	222.8	25	57.5	2.3	127.5		

r = 0.997

TABLA (V.10) PRUEBAS EN FILTRO DE MOJA

$\Delta P$ (g/cm <sup>2</sup> )	FILTRADO, V (ml)	TIEMPO, t (seg)	$\Delta V$ (ml)	$\Delta t$ (seg)	$\Delta t/\Delta V$ (seg/ml)	V (ml)	$K_p$ (seg/ml <sup>2</sup> )	B (seg/ml)
564	0	0	0	0			0.00554	0.00904
	75	18	75	18	0.24	37.5		
	100	30	25	12	0.48	87.5		
	150	70	50	40	0.80	125.0		
	175	90	25	20	0.80	162.5		
	200	115	25	25	1.00	187.5		
	250	177.5	50	62.5	1.25	225.0		
	275	215	25	37.5	1.50	262.5		
	325	300	50	85	1.70	300.0		
387.2	0	0	0				0.008368	0.7637
		16.0	20	16	0.8	10.0		
	45	43.5	25	27.5	1.1	32.5		
	70	76.0	25	32.5	1.3	57.5		
	95	111.0	25	35.0	1.4	82.5		
	120	151.0	25	40.0	1.6	107.5		
	145	198.5	25	47.5	1.9	132.5		
170	251.0	25	52.5	2.1	157.5			
224	0	0	0				0.0119	0.7554
	15	12.8	15	12.8	0.85	7.5		
	40	40.3	25	27.5	1.1	27.5		
	65	75.3	25	35.0	1.4	52.5		
	90	115.3	25	40.0	1.6	77.5		
	115	165.3	25	50.0	2.0	102.5		
	140	222.8	25	57.5	2.3	127.5		

r = 0.997

TABLA (V.5). PRUEBAS EN FILTRO BUCHNER

$\rho$ (g/cm <sup>2</sup> )	FILTRADO, V (ml)	TIEMPO, t (seg)	$\Delta V$	$\Delta t$	$\Delta t / \Delta V$	$\bar{t}$	$\tau_0$	$\tau$
421.4	0.0	0	0	0	0		0.0539	1.5502
	25.0	53.75	25.0	53.75	2.15	12.50		
	37.5	96.25	12.5	42.50	3.4	31.25		
	50.0	141.25	12.5	45.0	3.6	43.75		
	62.5	203.75	12.5	62.50	5.0	56.25		
	75.0	266.25	12.5	62.50	5.0	68.75		
	87.5	342.50	12.5	76.25	6.1	81.25		
	100.0	423.75	12.5	81.25	6.5	93.75		
231.1	0	0	0	0	0		0.0717	0.3870
	5	12	5	12	2.4	2.5		
	10	16	5	4	0.8	7.5		
	15	21	5	5	1.0	12.5		
	20	27	5	6	1.2	17.5		
	30	50	10	23	2.3	25.0		
	35	64	5	14	2.8	32.5		
	40	80	5	16	3.2	37.5		
	45	100	5	20	4.0	42.5		
	55	140	10	40	4.0	50.0		
	65	185	10	45	4.5	60.0		
	75	245	10	60	6.0	70.0		
	80	275	5	30	6.0	77.5		
	90	340	10	65	6.5	85.0		
	100	410	10	75	7.0	95.0		
110	490	13	80	8.0	105.0			
115	530	5	40	8.0	112.5			

TABLA ( V.11 ) RESULTADOS DEL ESTIMADO DE  $\alpha$  Y  $R_m$

FILTRO BUCHNER

Pabs (gf/cm <sup>2</sup> )	$\Delta P$ (gf/cm <sup>2</sup> )	$M_0$	C (g/cm <sup>3</sup> )	$K_p$ (seg/cm <sup>6</sup> )	$\alpha$ (cm/g)	$\beta$ (seg/cm <sup>3</sup> )	$R_m$ (cm <sup>-1</sup> )
373.8	421.34	6.18	0.125	0.0539	2.404 *10 <sup>10</sup>	1.5502	1.358 *10 <sup>9</sup>
564.1	231.13	6.43	0.129	0.0717	1.70 *10 <sup>10</sup>	0.387	1.86 *10 <sup>8</sup>

FILTRO DE HOJA

231.2	563.92	4.76	0.1068	0.00554	1.22 *10 <sup>10</sup>	0.7637	0.1883 *10 <sup>8</sup>
408.0	387.13	6.29	0.127	0.008368	1.065 *10 <sup>10</sup>	0.7637	10.92 *10 <sup>8</sup>
571.2	223.93	6.59	0.132	0.0119	0.843 *10 <sup>10</sup>	0.7554	6.25 *10 <sup>8</sup>

#### V.4.I Ecuación Empírica para la Resistencia de Torta

Como se menciona en la sección (II.5.1), la desviación de la horizontal de la representación gráfica de  $(\alpha)$  vs.  $(-\Delta P)$  nos da una idea de la compresibilidad de la torta (Ver gráficas V.11 y V.12, Anexo V), en éstas se observa la dependencia que existe entre la resistencia específica de torta y la caída de presión, lo cual indica que la torta es compresible.

El comportamiento de la resistencia específica de torta se determinará a través de la ecuación (II.20)

$$\alpha = \alpha (-\Delta P)^s \quad \text{-----} \quad \text{(II.20)}$$

el exponente  $s$  (coeficiente de compresibilidad), se estimará mediante la combinación de las ecuaciones (II.23) y (II.24), de la siguiente manera:

$$K_{P_1} = \frac{C_1 \alpha_0 \mu}{A^2 (-\Delta P)_1^{1-s} g_C} \quad \text{-----} \quad \text{(II.23)}$$

$$K_{P_2} = \frac{C_2 \alpha_0 \mu}{A^2 (-\Delta P)_2^{1-s} g_C} \quad \text{-----} \quad \text{(II.24)}$$

$$\frac{K_{P_1}}{K_{P_2}} = \frac{C_1}{C_2} \left[ \frac{(-\Delta P)_2}{(-\Delta P)_1} \right]^{1-s}$$

Aplicando logaritmos a la ecuación:

$$\log \frac{K_{p1}}{K_{p2}} = \log \frac{C_1}{C_2} + (1 - s) \log \frac{(-\Delta P)_2}{(-\Delta P)_1}$$

rearrreglando:

$$1 - s = \frac{\log (K_{p1}/K_{p2})/(C_1/C_2)}{\log \frac{(-\Delta P)_2}{(-\Delta P)_1}}$$

finalmente obtenemos:

$$s = 1 - \frac{\log (K_{p1}/K_{p2})/(C_1/C_2)}{\log (-\Delta P)_2/(-\Delta P)_1} \quad \text{-----} \quad (\text{II.26A})$$

## Cálculo de "s" para las Pruebas en Filtro Buchner

Datos (Tabla V.11)

$$K_{p1} = 0.0717 \text{ seg/cm}^6$$

$$K_{p2} = 0.0539 \text{ seg/cm}^6$$

$$C_1 = 0.129 \text{ g/cm}^3$$

$$C_2 = 0.125 \text{ g/cm}^3$$

$$(-\Delta P)_2 = 421.34 \text{ gf/cm}^2$$

$$(-\Delta P)_1 = 231.13 \text{ gf/cm}^2$$

Sustituyendo en la ecuación (II.26A)

$$s = 1 - \log \frac{(0.0717/0.0539)/(0.129/0.125)}{\log \frac{421.34}{231.13}}$$

---


$$s = 0.5772$$


---

## Cálculo de "s" para las Pruebas en Filtro de Hoja

Datos (Tabla V.11)

$$K_{p1} = 0.0119 \text{ seg/cm}^6$$

$$K_{p2} = 0.00554 \text{ seg/cm}^6$$

$$C_1 = 0.132 \text{ g/cm}^3$$

$$C_2 = 0.1068 \text{ g/cm}^3$$

$$(-\Delta P)_2 = 563.92 \text{ gf/cm}^2$$

$$(-\Delta P)_1 = 223.93 \text{ gf/cm}^2$$

Sustituyendo en la ecuación (II.26A)

$$s = 1 - \frac{\log(0.0119/0.00554)}{\log(0.132/0.1068)}$$

$$\log \frac{563.92}{223.93}$$

$$s = 0.4015$$

Para determinar  $\alpha_0$  usaremos la ecuación (11.23) y la aplicaremos a las pruebas en filtro Buchner y en filtro de hoja respectivamente:

$$\alpha_0 = \frac{K_{p1} A^2 (-\Delta P)^{1-s} g_c}{C_1 \mu}$$

Datos (Filtro Buchner)

$$K_{p1} = 0.0717 \text{ seg/cm}^6$$

$$A^2 = 63.62 \text{ cm}^2$$

$$(-\Delta P)_1 = 231.13 \text{ gf/cm}^2$$

$$g_c = 981 \text{ gcm/gf seg}^2$$

$$C_1 = 0.129 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg}$$

$$\alpha_0 = \frac{(0.0717)(63.62)^2 (231.13)^{1-0.5772} 981}{(0.129)(0.03)}$$

$$\alpha_0 = 7.34688 * 10^8 \text{ cm/g}$$

Datos (Filtro de Hoja)

$$K_{p1} = 0.0119 \text{ seg/cm}$$

$$\begin{aligned}
 A^2 &= 113 \quad \text{cm}^2 \\
 (-\Delta P)_1 &= 223.93 \quad \text{gf/cm}^2 \\
 g_c &= 981 \quad \text{gcm/gf seg}^2 \\
 C_1 &= 0.132 \quad \text{g/cm}^3 \\
 \mu &= 0.03 \quad \text{g/cm seg}
 \end{aligned}$$

$$\alpha_0 = \frac{(0.0119)(113)^2 (223.93)^{1-0.4015} 981}{(0.132) (0.03)}$$

$$\alpha_0 = 9.59885 * 10^8 \text{ cm/g}$$

Por lo tanto la ecuación que describe el comportamiento de  $\alpha$  para el rango de presión experimental (373.8 - 564.1 gf/cm<sup>2</sup>abs) para las pruebas en filtro Buchner es:

$$\alpha = 7.34688 * 10^8 (-\Delta P)^{0.5772} \quad \text{--- (V.1) } \Delta P = [\text{gf/cm}^2]$$

Para las pruebas en filtro de hoja el rango de presión para el cual es válida la ecuación de  $\alpha$  es:

$$(231.2 - 571.2) \text{ gf/cm}^2 \text{ abs.}$$

y la ecuación es:

$$\alpha = 9.59885 * 10^8 (-\Delta P)^{0.4015} \quad \text{--- (V.2) } \Delta P = [\text{gf/cm}^2]$$

### V.5 Selección del Medio Filtrante

Como se menciona en el capítulo anterior, la parte fundamental de un filtro es el medio filtrante, por tal motivo la selección de éste debe ser lo mejor posible.

En el problema planteado, la distribución de partículas no es del todo conocida, lo cual tiene como consecuencia la determinación de la abertura de poro del medio filtrante en forma experimental; esto se llevó a cabo en las pruebas a nivel laboratorio dando como resultado que el medio filtrante más adecuado es aquél con una abertura de malla de 74 micrones. (Ver tabla (V.5)).

Para la selección del material del medio filtrante a usar, los parámetros determinantes son: la temperatura (50° C) y el PH (2.0). Utilizando la Tabla (IV.7), se observa que los materiales más adecuados para cuando se tienen ácidos minerales, son el Polipropileno y el Saran, de los cuales el seleccionado fué el Polipropileno por presentar ventajas con respecto a la abrasión (Ver secciones (IV.2.1.4) y (IV.2.1.7), y Tabla (IV.3)), la cual hay que tomar en cuenta, ya que la torta se desprenderá en forma continua por medio de una cuchilla.

El tipo de tejido que se utilizará será aquél que no presente problemas con el desprendimiento de la torta, que presente mínima resistencia al flujo, mínima tendencia a bloquearse, y una torta con el mínimo de humedad; por lo antes expuesto el tipo de hilado más adecuado es el de mono filamento y el tipo de tejido es el satín.

Por lo tanto, las especificaciones del medio filtrante serán las si---

guientes:

Abertura de Malla	74 Micrones (Malla 200 Tyler)
Material	Polipropileno
Tipo de Hilado	Monofilamento
Tipo de Tejido	Satín

#### V.6 Selección del Filtro

Para la adecuada selección del filtro es necesario conocer las características de la suspensión (Ver Tabla V.3)

Además de éstas la Tabla (III.1) nos proporciona la siguiente información:

Velocidad de formación de torta	0.05 a 0.25 in/min
Concentración normal	1 a 10%
Velocidad de sedimentación	Lenta
Velocidad en prueba de hoja (lb/hr/ft <sup>2</sup> )	5 a 50
Velocidad de filtrado (gal/min/ft <sup>2</sup> )	0.01 a 0.02

Considerando todos estos factores, se observa que la suspensión es del tipo "C", que es definida de la siguiente manera: Las suspensiones de filtración lenta son aquellas que filtran a la mínima velocidad practicable para filtros contínuos: torta de 0.3175 cm en aproximadamente cinco minutos con vacío.

Estas suspensiones son fácilmente suspendidas con agitación suave. Generalmente, la concentración de la suspensión se encuentra en el ran

go de 1 a 10%. Las tortas son delgadas y difíciles de descargar.

La Tabla (III.2) nos indica que tenemos varias opciones para manejar esta suspensión, pero hay que tomar en cuenta todas las características de la solución que se va a manejar en particular; estas alternativas son las siguientes:

- a).- Filtro continuo de tambor al vacío de múltiple compartimiento
- b).- Filtro continuo de tambor al vacío con un solo compartimiento
- c).- Filtro horizontal continuo de disco (vacío)
- d).- Filtro horizontal continuo de disco (presión)
- e).- Filtro horizontal continuo de tambor (presión)
- f).- Filtro intermitente de hoja al vacío
- g).- Filtro Nutsche
- h).- Filtro de marcos y placas
- i).- Filtro de hoja vertical
- j).- Filtro de elemento tubular
- k).- Filtro de placa horizontal

Consultando las notas que se encuentran en la Tabla (III.2) resulta que las mejores opciones que tenemos para el manejo de nuestra suspensión son la a) y b), pero aquí llegamos al punto en donde hemos coincidido con el Equipo de Filtración que la "Compañía" ha propuesto y que es un Equipo de Filtración Continuo de tambor al vacío con un solo compartimiento, pero lo que la selección de este filtro es la adecuada para el manejo de la suspensión caracterizada.

### V.7 Pruebas de filtración a nivel planta piloto

El equipo de filtración a nivel planta piloto es intermedio en tamaño - entre el laboratorio y la planta de producción, sirve para probar las - teorías y resultados obtenidos en el laboratorio, permite evaluar el - efecto de un gran cambio en la escala de operación y obtener informa--- ción útil para el diseño de la unidad de operación.

Las pruebas de filtración a nivel planta piloto se realizaron en un filtro con las siguientes características:

- a) Tambor rotatorio con un solo compartimiento
- b) Diámetro = 78.3 cm
- c) Area de filtración = 1 m<sup>2</sup>
- d) Presión mínima = 285 mm Hg
- e) Velocidad de giro del tambor = 0.43 - 1.2 rev/min

Las condiciones de alimentación de la suspensión a la tina del filtro - fueron a una temperatura de 50° C y una concentración del 7% en sólidos suspendidos (Ver sección V.1).

De las pruebas realizadas se obtuvieron los resultados reportados en la Tabla (V.12).

Con estos datos se calculan las resistencias específicas de torta utilizando la siguiente fórmula (II.36), la cual rearmplándola nos da:

$$\alpha = \frac{2(-\Delta P) g_c f}{\left(\frac{V}{At_c}\right)^2 C u t_c}$$

Los cálculos efectuados para las pruebas a nivel planta piloto utilizan do esta fórmula se encuentran en el Anexo III.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

N° Prueba	Resistencia Especifica a Nivel Planta Piloto ( $\alpha = [\text{cm/g}]$ )
1	0.9784 * 10 <sup>10</sup>
2	1.026 * 10 <sup>10</sup>
3	0.9833 * 10 <sup>10</sup>
4	0.9921 * 10 <sup>10</sup>

TABLA (V.12) DATOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE FILTRACION A NIVEL PLANTA PILOTO

Nº PRUEBA	VELOCIDAD DEL TAMBOR (rpm)	CAIDA DE PRESION $\Delta P$ mm Hg	FRACCION SUMERGIDA DEL TAMBOR f	TIEMPO DE OPERACION (seg)	VOLUMEN DE FILTRADO (ℓ)	ESPOSOR DE TORTA (mm)	HUMEDAD DE TORTA (% B.H)	SUSPENDIDOS EN FILTRADO (mg/ℓ)
1	0.43	300	0.35	498	42	9	73	160.4
2	0.43	300	0.5	600	59	11	73.2	147.7
3	1.2	205	0.35	900	95	4.5	82	182.4
4	1.2	205	0.5	600	74.5	6.5	82.6	171.8



$$\alpha_1 = 1.21\alpha_{\text{LAB}} \text{ - - - - - (V.5)}$$

Cabe señalar que durante las pruebas a nivel planta piloto el problema de sedimentación en la tina del filtro es mínimo, lo cual se puede evitar con una ligera agitación. Por otra parte se observa que el tanque de recepción de suspensión debe contar con agitación continua.

El desprendimiento de la torta se llevó a cabo con una cuchilla no observándose ningún problema.

TABLA (V.13) TABLA COMPARATIVA DE RESISTENCIAS ESPECIFICAS

Nº PRUEBA	PRESION (mm Hg)	RESISTENCIA ESPECIFICA( $\alpha$ ) FILTRO BUCHNER (LABORATORIO)	RESISTENCIA ESPECIFICA( $\alpha$ ) FILTRO DE HOJA (LABORATORIO)	RESISTENCIA ESPECIFICA PLANTA PILOTO ( $\alpha$ )	% DE DIFERENCIA EN FILTRO BUCHNER	RESISTENCIA ESPECIFICA FILTRO DE HOJA
1	390	$2.360 * 10^{10}$	$1.0725 * 10^{10}$	$0.9784 * 10^{10}$	58.54	8.77
2	300	$2.360 * 10^{10}$	$1.0725 * 10^{10}$	$1.026 * 10^{10}$	56.62	4.33
3	205	$1.894 * 10^{10}$	$0.9205 * 10^{10}$	$0.9833 * 10^{10}$	48.08	-6.82
4	205	$1.894 * 10^{10}$	$0.9205 * 10^{10}$	$0.9921 * 10^{10}$	47.62	-7.78

## CAPITULO VI

### I N D I C E

VI. DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO . . . . .	211
---	-----

## VI. DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO

En esta parte se determinará el área y caída de presión a la que operará el filtro a nivel industrial, bajo las siguientes condiciones:

Gasto	8.5 m <sup>3</sup> /hr
Contenido de sólidos en suspensión % en peso	7.0
Temperatura	50.0° C

Las propiedades necesarias para los cálculos posteriores han sido determinadas en el capítulo anterior.

Para la determinación del área se usará la siguiente fórmula:

$$\frac{V}{At_c} = \left[ \frac{2 (-\Delta P)^{1-s} g_c f}{C \alpha_0 t_c} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11.37)$$

Reordenando se tiene:

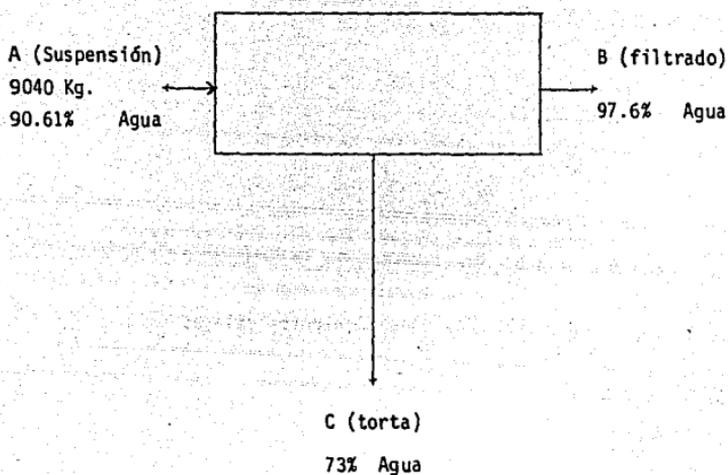
$$A = \frac{V}{\left[ \frac{2 (-\Delta P)^{1-s} t_c g_c f}{C \alpha_0 \mu} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

La fórmula anterior se utilizará para simular el comportamiento del filtro a nivel industrial, para lo cual será necesario definir las variables y constantes involucradas en esta fórmula.

El volumen de filtrado por revolución (V) será aquél que se obtendría si la torta tuviera una humedad del 73%, para lo cual, primero se necesita conocer el volumen total de filtrado para 8.5 m<sup>3</sup>/hr de suspensión.

Por lo tanto para  $8.5 \text{ m}^3$  de suspensión con un 90.61% de agua y una densidad de  $1.0635 \text{ g/cm}^3$ , se tiene una masa de 9040 Kg. Se sabe que el filtrado tiene un 97.6% de agua y densidad de  $1.018 \text{ g/cm}^3$ . La humedad de la torta es del 73%; esquemáticamente lo anterior representaremos con el siguiente balance de materiales.

BASE DE CALCULO: 1 HR DE OPERACION



Balance Total

$$A = B + C \text{ ----- (a)}$$

Balance de Agua

$$X_A A = X_B B + X_C C \text{ ----- (b)}$$

donde  $X$  fracción en peso de agua en cada corriente

Los valores de  $B$  y  $C$  son desconocidos.

Como se tienen dos incógnitas ( $B$  y  $C$ ) y dos ecuaciones (a) y (b) el sistema está determinado y se pueden conocer los valores  $B$  y  $C$ .

De la ecuación (a) se tiene que

$$C = A - B \text{ ----- (c)}$$

Sustituyendo la ecuación (c) en (b) se tiene

$$X_A A = X_B B + X_C (A - B) \text{ ----- (d)}$$

rearrreglando se tiene

$$B = \frac{A (X_A - X_C)}{(X_B - X_C)} \text{ ----- (e)}$$

Sustituyendo en la ecuación (e) los siguientes valores

$$X_A = 0.9061$$

$$X_B = 0.976$$

$$X_C = 0.73$$

$$A = 9040 \text{ kg de suspensión}$$

Se tiene

$$B = 6472 \text{ kg. de filtrado}$$

Sustituyendo los valores de A y B en la ecuación (c) se tiene que

$$C = 2560 \text{ kg. de torta}$$

Para reconocer el volumen de filtrado que corresponde a una hora de operación, se divide el valor de B entre la densidad del filtrado teniendo en cuenta el

$$\text{Volumen de filtrado} = \frac{B}{\rho_{\text{filtrado}}}$$

datos:

$$B = 6472 \text{ kg.}$$

$$\rho \text{ filtrado} = 1.018 \text{ kg/l}$$

Sustituyendo se tiene

$$\text{Volumen de filtrado} = \frac{6472 \text{ kg}}{1.018 \text{ kg/l}}$$

$$\text{Volumen de filtrado} = 6358 \text{ l}$$

Por lo tanto, el volumen de filtrado para una hora de operación es igual a 6358 litros; por segundo es de 1.766 litros, de aquí que para un ciclo de operación el volumen de filtrado ( $V$ ) es igual a:

$$V = 1766 \text{ (cm}^3\text{/seg)} * t_c \text{ (seg)}$$

La caída de presión ( $-\Delta P$ ) se variará en un rango de 200 a 350 mm Hg - (272 a 476, gf/cm<sup>2</sup>) por ser el rango de operación para filtración al vacío más común.

El tiempo del ciclo ( $t_c$ ) se variará en un rango de 120 a 300 seg.

La fracción de área sumergida ( $f$ ) se variará en un rango de 35 a 60%.

El valor de ( $g_c$ ) es igual a 981 g-cm/gf - seg<sup>2</sup>

El valor de los sólidos depositados en el filtro por unidad de volumen de filtrado ( $c$ ) permanece constante para un 73% de humedad y es igual a 0.962 g/cm<sup>3</sup>.

La viscosidad del filtrado ( $\mu$ ) a una temperatura de 50° C es de 0.03 - g/cm seg.

Los valores de ( $S$ ) y ( $\alpha_0$ ), son los determinados en el capítulo anterior por medio de las ecuaciones (V.2) y (V.5)



Rearreglando (II.48) tenemos

$$\rho_t = \frac{C V_R}{l A} \quad \text{--- (II.48a)}$$

Donde:  $C = 0.0962 \text{ g/cm}^3$

$A = 10\,000 \text{ cm}^2$

$l = 0.7 \text{ cm}$

$V_R = 11765 \text{ cm}^3$

Sustituyendo los valores en la ecuación (II.48a) se tiene el siguiente resultado

$$\rho_t = 0.161 \text{ g/cm}^3$$

Ahora los espesores serán calculados a partir de los siguientes datos:

$V_R =$  Volumen de filtrado que se debe obtener por revolución para procesar  $8.5 \text{ m}^3/\text{hr}$  de suspensión y obtener una torta con un 73% de humedad =  $1766 \text{ cm}^3/\text{seg} * t_c \text{ (seg)}$ .

$C = 0.962 \text{ g/cm}^3$

$\rho_t = 0.161 \text{ g/cm}^3$

$A =$  Área correspondiente a  $t_c$  y fracción de área sumergida ( $f$ ) de tabla de resultados de la simulación ( $\text{cm}^2$ )

$l =$  Espesor en  $\text{cm}$

Los resultados del cálculo del espesor de torta aproximado, que se obtendrán en el filtro a nivel industrial se listan en las tablas de resultados de la simulación en la calculadora HP 41 CV (tablas (VI.1), (VI.2), (VI.3), (VI.4) Ver anexo (VI)).

De las tablas de resultados, reportadas en el anexo (V), el área de fil

tro seleccionada es la de  $295887 \text{ cm}^2 = 30 \text{ m}^2$ , con una caída de presión ( $-\Delta P$ ) igual a  $408 \text{ gf/cm}^2$  (300 mm Hg), tiempo del ciclo, 300 seg. y una fracción de área sumergida ( $f$ ) de 0.5.

Bajos estas condiciones la torta producida tendrá una humedad del 73% y un espesor de 10.6 mm.

La selección se hizo en base a la experiencia en planta piloto, ya que una fracción de área sumergida del 50% y  $\Delta P = 300 \text{ mm Hg}$  nos dió una torta con una humedad del 73.1%.

A continuación se presenta la tabla (VI.5), la cual representa el comportamiento del filtro.

TABLA VI.5

Caída de presión ( $\text{gf/cm}^2$ )		408		
Area sumergida %	30	40	50	60
Area Total ( $\text{cm}^2$ )		30 0000		
Tiempo de ciclo (seg)	180	240	300	360
Espesor de torta (mm)	6.4	8.5	10.6	12.8
Humedad de torta %	73	73	73	73

La tabla anterior indica la relación entre la fracción de área sumergida y el tiempo del ciclo de filtración, así como el espesor de torta obtenido de esta relación.

Para nuestro caso particular, se tiene un filtro con un área de 300,000  $\text{cm}^2$  y una caída de presión de 408  $\text{gf/cm}^2$ , lo cual garantiza una torta con un 73% de humedad.

Este análisis tiene la intención de mostrar los diferentes efectos de las variables en caso de que se trate de adaptar este diseño a condiciones diferentes de operación.

## C A P I T U L O   V I I

### I N D I C E

VII.	EQUIPO AUXILIAR . . . . .	221
VII.1	DISEÑO DEL TANQUE DE ALIMENTACION . . . . .	222
VII.2	DISEÑO DEL AGITADOR DEL TANQUE DE ALIMENTACION . . . . .	227
VII.3	DISEÑO DE LA BOMBA DE VACIO . . . . .	229
VII.4	DISEÑO DE LA BOMBA DE RECIRCULACION . . . . .	232
VII.5	DIMENSIONAMIENTO DE LA LINEA DE ALIMENTACION DE SUSPEN- SION AL FILTRO . . . . .	241
VII.6	DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE RECEPCION DE FILTRADO . . . . .	242
VII.7	CALCULO DEL DIAMETRO DE TUBERIA ENTRE EL FILTRO Y EL TAN- QUE DE RECEPCION DE FILTRADO . . . . .	254
VII.8	CALCULO DE LA ELEVACION DEL TANQUE DE ALIMENTACION DE SUSPENSION AL FILTRO . . . . .	257
VII.9	CALCULO DE LA $C_v$ DE LA VALVULA DE CONTROL DE FILTRADO . . . . .	259
VII.10	SELECCION DE LA VALVULA EN LA LINEA DE ALIMENTACION DE SUSPENSION AL FILTRO . . . . .	261

### VII.1 Diseño del tanque de alimentación

El recipiente de alimentación de suspensión al filtro está diseñado para operar a una capacidad normal de 8.5 m<sup>3</sup>, se le dió un sobrediseño para operar 15 minutos más, según criterio de referencia bibliográfica No. 1, con lo cual tendrá un volumen máximo de operación de 10.7 m<sup>3</sup>.

Para el cálculo del volumen ocupado por el cuerpo del cilindro ( $V_c$ ) se utilizó la siguiente fórmula:

$$V_c = \frac{1}{4} \pi D^2 L \quad \text{-----} \quad \text{(VII.1)}$$

Por otra parte el volumen que ocupa el fondo cónico ( $V_{fc}$ ) del recipiente, se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$V_{fc} = \frac{\pi}{3} r^2 h \quad \text{-----} \quad \text{(VII.2)}$$

Por lo tanto el volumen total de recipiente ( $V_{total}$ ) será:  
(Ver figura (VII.2)).

$$V_{total} = V_c + V_{fc} \quad \text{-----} \quad \text{(VII.3)}$$

## VII. EQUIPO AUXILIAR

Las pruebas a nivel planta piloto se realizaron en un sistema de filtración al vacío como el que se ilustra en la figura (VII.1)

El tanque de alimentación al filtro (FV-1) es un tanque vertical abierto a la atmósfera con fondo cónico y con un ángulo de inclinación de  $15^\circ$ ; en relación de L/D es igual a 1.28, con un diámetro de 86 cm.

Este recipiente está colocado en un nivel superior al del filtro para que la alimentación de la suspensión al filtro sea por gravedad y controlada por una válvula de pinza.

La suspensión se mantiene en agitación por medio de un agitador de turbina de 6 paletas.

El tanque de vacío (FV-2) es un tanque vertical con una relación de L/D = 2.5 con un diámetro de 60 cm. y con un indicador de nivel.

Por último la bomba de vacío utilizada tiene las siguientes características:

Marca: Nash

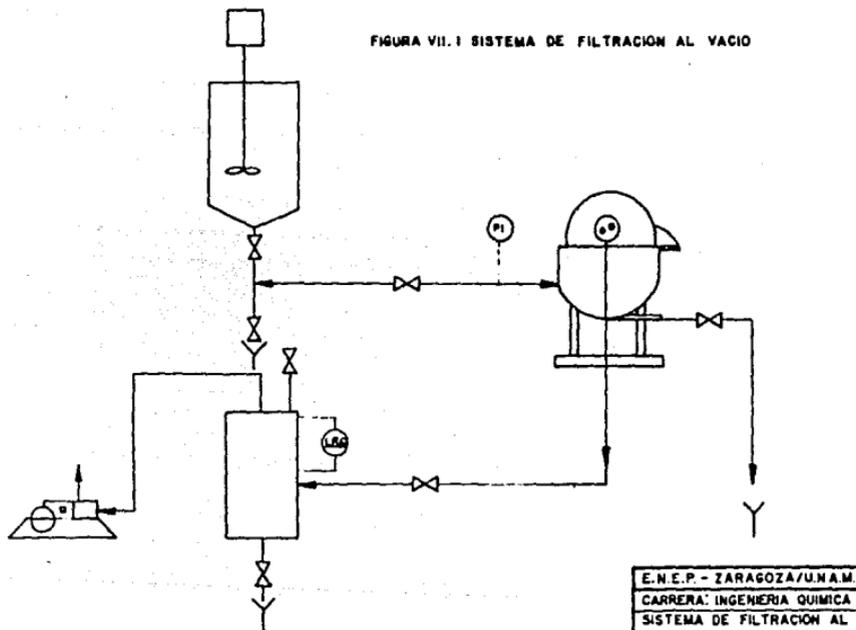
rpm: 1750

Presión succión: 250 mm. Hg. abs.

Volumen de aire a la presión de succión:  $4.8 \text{ m}^3/\text{min}$ .

El equipo auxiliar a nivel industrial es aquel equipo periférico al filtro rotatorio encargado de la alimentación de suspensión, recepción de filtrado, vacío, recirculación del líquido al proceso e instrumentación.

FIGURA VII.1 SISTEMA DE FILTRACION AL VACIO



E.N.E.P. - ZARAGOZA/U.N.A.M.		
CARRERA: INGENIERIA QUIMICA		
SISTEMA DE FILTRACION AL VACIO POR PILOTO		
ELABORO	APROBO	FECHA
FEAM	OAS	NOV 1980

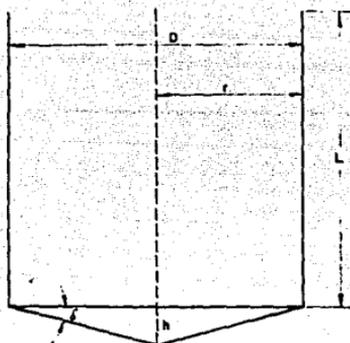


FIG. VII.2.- REPRESENTACION GRAFICA DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE DE ALIMENTACION AL FILTRO

Cálculos:

Datos

$$\frac{L}{D} = 1.28$$

$$\delta = 15^\circ$$

Volumen máximo  
de operación = 10.7 m

$$\pi = 3.1416$$

Utilizando la ecuación (VII.1) y  $L = 1.28 D$  se tiene:

$$V_c = \frac{\pi D^2 L}{4}$$

$$V_C = D^2 (1.28D)$$

$$V_C = \frac{1.28 \pi D^3}{4}$$

Suponiendo  $D = 2.20$  m, se obtiene  $V_C = 10.7$  m<sup>3</sup> por lo que el valor supuesto de  $D$  es correcto

Para el cálculo del fondo cónico se utiliza la ecuación (VII.2);

$$V_{FC} = \frac{\pi r^2 h}{3}$$

Para el cálculo de  $h$  se sabe que  $\delta = 15^\circ$  y  $r = 1.10$  m

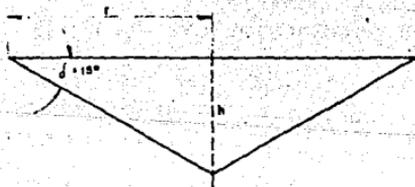


FIG. VII.3.- REPRESENTACION PLANA DE LA SECCION CONICA DEL RECIPIENTE PARA EL CALCULO DE  $h$

Por lo tanto (Ver fig. VII.3)

$$h = r \tan \delta \quad \text{--- -- -- -- --} \quad \text{(VII.4)}$$

Sustituyendo:

$$h = 1.1 \text{ ton } 15^\circ$$

$$h = 0.3 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación (VII.2) se tiene:

$$V_{fc} = \frac{\pi (1.1)^2 (0.3)}{3}$$

$$V_{fc} = 0.380 \text{ m}^3$$

El cual se considera como parte del sobrediseño

Utilizando la ecuación (VII.3):

$$V_{total} = V_c + V_{fc}$$

$$V_{total} = 10.7 + 0.380$$

$$V_{total} = 11.08 \text{ m}^3$$

Las dimensiones del recipiente son (Ver fig. VII.2)

$$D = 220 \text{ cm}$$

$$L = 282 \text{ cm}$$

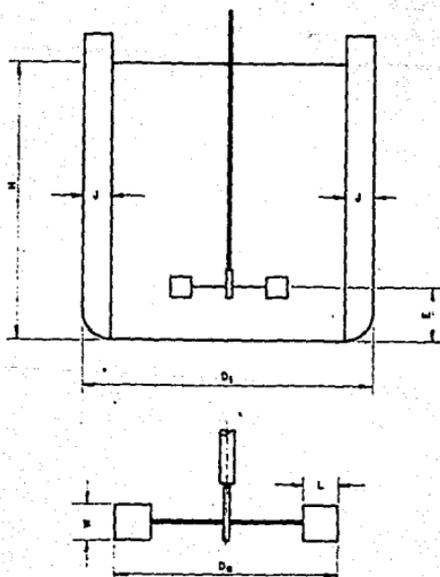
$$h = 30 \text{ cm}$$

$$\delta = 15^\circ$$

## VII.2 Diseño del Agitador del Tanque de Alimentación

El agitador del recipiente de recepción de suspensión o de alimentación al filtro es del tipo turbina y un diseño se hará tomando en cuenta los criterios de "Horse power Tables for Agitator Impellers" L.T Adraki, - Galf Publishing Company).

Las proporciones típicas de un agitador basadas en la fig. (VII.4) son los siguientes:



$$\frac{D_s}{D_t} = \frac{1}{3}; \quad \frac{E}{D_e} = 1; \quad \frac{H}{D_t} = 1; \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{10}; \quad \frac{W}{D_e} = \frac{1}{3}$$

FIGURA VII.4 PROPORCIONES TÍPICAS PARA UN RECIPIENTE CON AGITACION

El grado de agitación puede ser dividido en bajo, medio y alto. Los rangos de velocidad para estos tres niveles son:

Agitación Baja = 500 - 650 fpm

Agitación Media = 650 - 800 fpm

Agitación Alta = 800 - 1100 fpm

Diámetro de la turbina

$$D_a = D_t (1/3) \text{ --- (VII.5)}$$

$$D_a = 74 \text{ cm aprox. } 76.2 \text{ cm} = 30 \text{ pulgadas (Comercial)}$$

$$\begin{aligned} \text{Perímetro de la turbina} &= \pi D_a \\ &= 239.4 \text{ cm} \end{aligned}$$

En la sección (V.6) se determinó que la suspensión es del tipo "C" y que por lo tanto es fácilmente suspendido con agitación suave, por lo cual se seleccionó la velocidad más lenta de agitación que es de 500 - 650 fpm que equivale a 15240 - 19812 cm pm.

Las revoluciones (rpm) para la turbina seleccionada son las siguientes:

$$19812 \text{ cm pm} * \left( \frac{1 \text{ rev}}{239.4 \text{ cm}} \right) = 83 \text{ rpm}$$

Con los siguientes datos:

Diámetro de la turbina = 30 pulg.

Tipo de turbina = Abierta de paletas planas (6 paletas)

Velocidad = 83 rpm

Viscosidad del líquido = 497 cp

Densidad relativa: 1.0635

y siguiendo la metodología de la bibliografía citada, se determinó la potencia, la cual fué la siguiente: 3.8 HP el motor comercial más próximo es de 5 HP.

### VII.3 Diseño de la Bomba de Vacío

Para el cálculo de la bomba de vacío a nivel industrial, se usó la ecuación (II.66), en la cual es necesario conocer el flujo volumétrico de aire a las condiciones de entrada de la bomba; para poder terminarlo es necesario conocer la relación  $\alpha/\beta$ , la cual se puede calcular a partir de la ecuación (II.65)

$$\frac{\text{Volumen de aire por unidad de tiempo}}{\text{Peso de torta seca por unidad de tiempo}} = \frac{f_a}{f} \frac{\mu}{\mu_a} \frac{\alpha}{2c\beta} \quad \text{--- (II.65)}$$

De la ecuación anterior se conocen los siguientes datos:

Volumen de aire por unidad de tiempo = 4.8 m<sup>3</sup>/min

Peso de la torta seca por unidad de tiempo = 52.1 Kg/hr

Fracción superficie total disponible para la succión de aire ( $f_a$ ) = 0.4

Fracción del ciclo disponible para formación de torta ( $f$ ) = 0.5

Viscosidad del aire ( $\mu_a$ ) = 0.01908 cp

Viscosidad del líquido ( $\mu$ ) = 3.0 cp

Sólidos secos por unidad de filtrado ( $c$ ) = 0.1471 Kg/l

Despejando  $\alpha/\beta$  de (II.65):

$$\frac{\alpha}{\beta} = \left( \frac{\text{Volumen de aire por unidad de tiempo}}{\text{Peso de torta seca por unidad de tiempo}} \right)$$

$$\left( \frac{\mu_a}{\mu} \frac{f}{f_a} 2c \right) \text{-----} \quad \text{(II.65a)}$$

Poniendo todos los datos en unidades consistentes, tenemos:

Volumen de aire por unidad de tiempo	=	288	m <sup>3</sup> /hr
Peso de la torta seca por unidad de tiempo	=	52.1	Kg/hr
$f_a$	=	0.4	
$f$	=	0.5	
$\mu_a$	=	0.06868	Kg/hr m
$\mu$	=	10.8	Kg/hr m
$c$	=	147.1	Kg sólido seco/m <sup>3</sup>

Sustituyendo en (II.65a):

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{288 \text{ m/hr}}{52.1 \text{ Kg/hr}} \frac{0.06868 \text{ Kg/hr m}}{10.8 \text{ Kg/hr m}} \frac{0.5}{0.4} 2(147.1) \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{\alpha}{\beta} = 12.92$$

Una vez obtenida la relación  $\alpha/\beta$ , se calcula el volumen de aire por unidad de tiempo para el filtro a nivel industrial, para lo cual es necesario determinar el peso de la torta seca por unidad de tiempo y los kilogramos de sólido seco por m<sup>3</sup> de filtrado.

Del balance de materia realizado en el capítulo VI, se tiene que para -  
1 hora de operación se recuperan 693.4 Kg de sólido seco por hora y -  
6,355 litros de filtrado por hora.

De la fórmula (II.65) para el cálculo del volumen de aire por unidad de tiempo, se tiene:

$$\text{Volumen de aire por unidad de tiempo} = \frac{f_a \mu \alpha}{f \mu_a 2c\beta} \quad \begin{array}{l} \text{(Peso de torta seca -} \\ \text{por unidad de tiempo)} \end{array}$$

----- (II.65b)

Datos:

Peso de la torta seca por unidad de tiempo	=	693.4	Kg/hr
$f_a$	=	0.4	
$f$	=	0.5	
$\mu_a$	=	0.06868	Kg/hr m
$\mu$	=	10.8	Kg/hr m
$c$	=	109.06	Kg sólido seco/m <sup>3</sup>

Sustituyendo en (II.65b)

$$\text{Volumen de aire por unidad de tiempo} = \frac{(0.4) \left( \frac{10.8 \text{ Kg/hr m}}{0.5} \right) (12.92)}{0.06868 \text{ Kg/hr m}}$$

$$\left( \frac{1}{2(109.06 \text{ Kg/m}^3)} \right) (693.4 \text{ Kg/hr})$$

$$\text{Volumen de aire por unidad de tiempo} = 5,166.95 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Para el cálculo de la potencia de la bomba de vacío se considerará Compresión Isoentrópica en una etapa y se usará la siguiente fórmula:

$$\text{HP} = \frac{3.03 \times 10^{-5} \text{ K}}{\eta (K - 1)} P_1 q_{fm_1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(K-1)/K} - 1 \right] \quad \text{----- (II.66)}$$

Datos:

$$\begin{aligned}
 K &= 1.4 \\
 P_1 &= 794.16 \text{ lb/ft}^2 \\
 P_2 &= 1,629.36 \text{ lb/ft}^2 \\
 q_{f_{m1}} &= 3,040.60 \text{ ft}^3/\text{min} \\
 \eta &= 0.6
 \end{aligned}$$

Sustituyendo en (II.66)

$$\text{HP} = \frac{(3.03) \times (10^{-5}) (1.4)}{0.6 (1.4-1)} (794.16) (3,040.6) \left[ \left( \frac{1,629.36}{794.16} \right)^{(1.4-1)} / 1.4 - 1 \right]$$

$$\text{HP} = 97.28$$

Comercial más próximo es de 100 HP

#### VII.4 Diseño de la Bomba de Recirculación

Para el cálculo de la bomba de recirculación se determinó el diámetro de tubería mediante el nomograma de velocidad de líquidos en tuberías del CRANE (Technical paper No. 410), requiriéndose como datos el flujo volumétrico ( $Q$ ) y la velocidad recomendada ( $V$ ), los cuales son:

$$Q = 6,358 \text{ l/hr} = 23.33 \text{ Gal/min}$$

$$V(\text{succión}) = 1 - 2 \text{ ft/seg}$$

$$V(\text{descarga}) = 2 - 4 \text{ ft/seg}$$

Obteniéndose los siguientes resultados:

Diámetro de succión = 2 pulgadas

Diámetro de descarga = 1.5 pulgadas

La fig. (VII.5) nos muestra un arreglo típico del sistema que se utilizó para el cálculo de la potencia de la bomba.

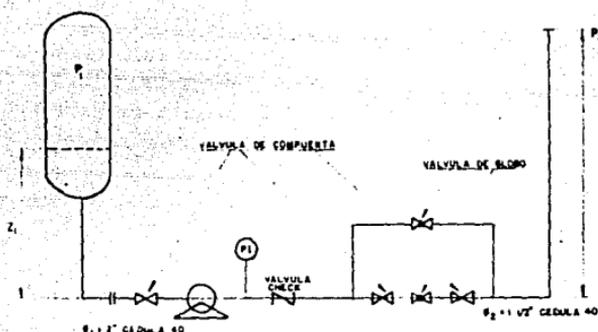


FIG. VII.5.- SISTEMA PARA LA BOMBA DE RECIRCULACION DE FILTRADO

La potencia de la bomba se calculará por medio de la siguiente ecuación:

$$HP = \frac{QHc}{247,000 \zeta p}$$

Donde:  $Q$  = Gasto en galones por minuto

$H$  = Cabeza de la bomba en pies

$\rho$  = Densidad del fluido en libras por pie cúbico

$\zeta_p$  = Eficiencia de la bomba

Para lo cual es necesario conocer el valor de  $H$  que se calcula por medio de la ecuación de Bernoulli:

$$Z_1 + \frac{144 P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2g} + H = Z_2 + \frac{144 P_2}{2} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad \text{--- (VII.7)}$$

Como  $\rho_1 = \rho_2$ , reorganizándose se tiene:

$$H = \frac{144}{\rho} (P_2 - P_1) + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} + (Z_2 - Z_1) + h_L \quad \text{--- (VII.7a)}$$

Donde:

$h_L$  = Pérdidas por fricción en pies

$(Z_2 - Z_1)$  = Diferencia de alturas en pies

$\frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g}$  = Incremento de cabeza de velocidad en pies

$\frac{144}{\rho} (P_2 - P_1)$  = Incremento de cabeza de presión de pies

El cálculo de  $h_L$  se hará con la fórmula siguiente:

$$h_L = \frac{0.00259 KQ}{d} \quad \text{--- (VII.8)}$$

donde:

$K$  = Coeficiente de resistencia

$d$  = Diámetro interno en pulgadas

El cálculo de velocidad se hará con la siguiente fórmula:

$$v = \frac{0.408 Q}{d^2} \quad \text{--- (VII.9)}$$

para el cálculo del factor de fricción usaremos la siguiente ecuación -  
para el número de Reynolds:

$$Re = 123.9 \frac{d v \rho}{\mu} \quad \text{--- (VII.10)}$$

Los coeficientes de Resistencia están dados por:

$K = 30 \text{ ft}$	Codo de $90^\circ$
$K_1 = 8 \text{ ft}$	Válvula de compuerta
$K_1 = 340 \text{ ft}$	Válvula de globo
$K = 100 \text{ ft}$	Válvula check
$K = f \frac{L}{D}$	Tubo recto
$K = 1.0$	Descarga
$K = 0.78$	Entrada
$d = 1.610$	$1\frac{1}{2}$ " Ced. 40
$d = 2.067$	2.0" Ced. 40
$\mu = 3.0 \text{ cp}$	
$f_T = 0.021$	Para $1\frac{1}{2}$ " de diámetro
$f_T = 0.019$	Para 2" de diámetro
$\rho = 63.55$	

Sustituyendo en la ec. (VII.9)

$$V_1 = \frac{0.408 \times 23.33}{2.0672} = 2.22 \quad \text{Para 2" de diámetro}$$

$$V_2 = \frac{0.408 \times 23.33}{(1.610)} = 3.67 \quad \text{Para 1\frac{1}{2}" de diámetro}$$

Sustituyendo en la ec. (VII.10)

$$Re_1 = \frac{123.9 \times 2.067 \times 2.22 \times 63.55}{3.0} = 12,044$$

$$Re_2 = \frac{123.9 \times 1.610 \times 3.67 \times 63.55}{3.0} = 15,508$$

$$f = 0.031$$

$$f = 0.030$$

$$K = 30 \times 0.019 = 0.57 \quad \text{Codo de 90° de 2"}$$

$$K = 30 \times 0.021 \times 2 = 1.26 \quad \text{Codo de 90° de 1\frac{1}{2}"}$$

$$K = 8 \times 0.019 = 0.152 \quad \text{Válvula de compuerta de 2"}$$

$$K = 8 \times 0.021 \times 2 = 0.336 \quad \text{Válvula de compuerta de 1\frac{1}{2}"}$$

$$K = 100 \times 0.021 = 2.1 \quad \text{Válvula check}$$

$$K = 1.0 \quad \text{Descarga}$$

$$K = 0.78 \quad \text{Entrada}$$

$$K = \frac{0.031 \times 15 \times 12}{2.063} = 2.7 \quad \text{Suponemos 15 pies de la línea de succión de 2"}$$

$$K = 0.031 \times \frac{200 \times 12}{1.610} = 46.2 \quad \text{Suponemos 200 pies de la línea de descarga de 12"}$$

$$K_{\text{TOTAL}_1} = 4.2$$

$$K_{\text{TOTAL}_2} = 50.9$$

$$(Z_2 - Z_1) = 15 \text{ pies}$$

Suponemos una diferencia de alturas de 15 pies

$$\frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} = \frac{[(3.67)^2 - (2.22)^2]}{2 \times 32.2} = 0.132 \text{ ft}$$

$$\frac{144}{63.55} (11.31 - 5.51) = 13.14 \text{ ft}$$

Sustituyendo en la ec. (VII.8)

$$h_{L1} = \frac{0.00250 \times 4.2 \times (23.33)^2}{(2.067)^4} = 0.313$$

$$h_{L2} = \frac{0.00250 \times 50.9 \times (23.33)^2}{(1.61)^4} = 10.3$$

$$h_{L \text{ TOTAL}} = h_{L1} + h_{L2}$$

$$h_{L \text{ TOTAL}} = 10.613 \text{ ft}$$

$$H = 10.613 + 13.14 + 0.132 + 15$$

$$H = 38.885 \text{ ft}$$

Sustituyendo en la ec. (VII.6) y considerando una eficiencia ( $\zeta_p$ ) de -

60 %

$$\text{BHP} = \frac{23.33 \times 38.89 \times 63.55}{247,000 \times 0.6}$$

$$\text{BHP} = 0.389$$

La bomba comercial más cercana es de 0.5 HP

NOTA: Todos los cálculos se hicieron en base a "Flow of fluids, Crane-  
Technical paper No. 410", considerando tubería de acero comer---  
cial.

El  $NPSH_D$  se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$NPSH_D = (P_1 - P_v^o) \frac{2.31}{Sg} + Z_1 - (\Delta P_{fs}) \frac{2.31}{Sg} \quad \text{--- (VII.11)}$$

donde

$NPSH_D$  = Cabeza neta positiva de succión en pies

Es la altura neta positiva arriba de la presión de vapor del fluido manejado, disponible en la brida de succión de la bomba y referida a su línea de centro.

$P_1$  = Presión en el tanque de succión en lb/pulg<sup>2</sup>

$P_v^o$  = Presión de vapor del fluido manejado en lbs/pulg<sup>2</sup> absolutas

$Sg$  = densidad relativa del fluido manejado

$Z_1$  = Altura del tanque de succión, a la succión de la bomba en pies

$\Delta P_{fs}$  = Caída de presión por fricción en la línea de succión en lb/pulg<sup>2</sup>

$P_1$  = 5.51 lb/pulg<sup>2</sup>

$P_v^o (50^\circ\text{C})$  = 1.79 lb/pulg<sup>2</sup>

$Sg$  = 1.018

$Z_1$  = 6.6 pies

$$\Delta P_{fs} = h_f \times \rho = 0.313 \text{ pie} \times 62.43 \text{ lb/pie}^3 \times 1/144 = 0.136 \text{ lb/pulg}^2$$

Sustituyendo en la ecuación (VII:4);

$$NPSH_D = (5.51 - 1.79) \frac{2.31}{1.018} + 6.6 - 0.136 \times \frac{2.31}{1.018}$$

$$NPSH_D = 8.44 + 6.6 - 0.313$$

$$NPSH_D = 14.7 \text{ pies}$$

Para evitar problemas y mal funcionamiento de la bomba, es necesario - siempre que el NPSH disponible esté por lo menos 2 pies arriba del - NPSH requerido (NPSH req). Con esto se evitará la cavitación.

Por lo tanto el NPSH req máximo será:

$$NPSH \text{ req máx} = (14.7 - 2.0) = 12.7 \text{ ft}$$

### VII.5 Dimensionamiento de la Línea de Alimentación de Suspensión al filtro.

Para el dimensionamiento de esta línea usaremos la ecuación (16) del capítulo 13 del libro "Plant design and economics for chemical engineers" de Peters and Timmerhaus y que es la siguiente:

$$D_i = 3.0 q_f^{0.36} \mu_c^{0.18} \quad \text{-----} \quad \text{(VII.12)}$$

Donde:

- $D_i$  = Diámetro interno del tubo en pulgadas
- $q_f$  = Gasto del fluido en pies cúbicos por segundo
- $\mu_c$  = Viscosidad del fluido en centipoises

Datos:

- $q_f = 8.5 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.08755 \text{ pies}^3/\text{s}$
- $\mu_c = 497 \text{ cp}$

Sustituyendo en la ec. (VII.12)

$$D_i = 3.0 (0.08755)^{0.36} (497)^{0.18}$$

$$D_i = 3.82 \text{ pulgadas}$$

Siendo el diámetro nominal comercial más próximo de 4 pulgadas, al cual corresponde una velocidad de 1 pie/s.

(pág. B-14 Crane)

### VII.6 Dimensionamiento del Tanque de recepción de Filtrado

El diseño de este recipiente se hará de acuerdo a los criterios de Arriga, R.R., "Diseño y especificación de recipientes de proceso".

- La posición del recipiente será vertical
- Servicio: separar mezcla con alta relación de flujo de masa gas/líquido
- Aplicación: tanque de recepción de filtrado y recirculación a otra área de la planta
- Area de flujo de vapor: está basada en la sección total transversal y una velocidad permisible calculada por:

$$v_a = K [(\rho_L - \rho_V) / \rho_V]^{0.5} \quad \text{--- (VII.13)}$$

Donde:

K = 0.2 sin malla

K = 0.35 con malla

$\rho_L$  = densidad del líquido [lb/pie<sup>3</sup>]

$\rho_V$  = densidad del aire [lb/pie<sup>3</sup>]

$v_a$  = Velocidad del aire en la sección transversal [pies/s]

Se recomienda una velocidad de diseño ( $v_d$ ) dada por:

$$v_d = 0.75 v_a \quad \text{--- (VII.14)}$$

Para el cálculo del área del recipiente se utilizará la siguiente ecuación:

$$\text{Area} = \frac{Q}{v_d} \quad \text{--- (VII.15)}$$

Donde:

Area = Area de la sección transversal del recipiente en [pie<sup>2</sup>]

Q = Flujo de aire [pie<sup>3</sup>/s]

V<sub>d</sub> = Velocidad de diseño en la sección transversal del recipiente [pie/s]

Con el área determinada por medio de la ecuación (VII.15) se calcula el diámetro del recipiente:

$$D = \sqrt{\text{Area}/0.785} \quad \text{--- -- -- -- -- (VII.16)}$$

El tiempo de residencia entre nivel máximo y nivel mínimo de líquido oscila entre 5 y 10 minutos.

Los valores altos se usarán cuando el control sea por temperatura, los valores bajos cuando el control es por flujo; se pueden usar valores intermedios si se instala control de nivel.

Para este caso se usará control de nivel, por lo tanto el tiempo seleccionado será de 7 minutos.

El tiempo de residencia se verá incrementado por un factor dependiendo del personal o la instrumentación con que opere la unidad.

Personal	Factor	Instrumentación	Factor
Experimentado	1.0	Bien instrumentado	1.0
Bien entrenado	1.2	Instrumentación normal	1.2
Sin experiencia	1.5	Pobrementemente instrumentado	1.5
Tiempo de residencia de diseño [min]	=	Tiempo de residencia X Factor seleccionado	-- (VII.17)

$$\text{Volumen entre nivel máximo y mínimo [pie}^3\text{]} = \frac{\text{Gasto de filtrado [pie}^3\text{/min]} \times \text{Tiempo de residencia de diseño [min]}}{\text{---}} \quad \text{--- (VII.18)}$$

La longitud del recipiente ( $L_0$ ) que corresponde al volumen ocupado entre nivel máximo y mínimo se calcula mediante:

$$L_0 = \text{Volumen entre nivel máximo y mínimo} \quad \text{--- (VII.19)}$$

La velocidad máxima en la boquilla de entrada ( $V_{\text{máx}}$ ) está dada por la siguiente ecuación:

$$V_{\text{máx}} = 26 / (\rho_v)^{0.5} \quad (\text{pie/s}) \quad \text{--- (VII.20)}$$

Las dimensiones completas del recipiente se harán de acuerdo a la fig. (VII.6)



FIGURA VII.6 DIMENSIONES TÍPICAS DEL RECIPIENTE DE RECEPCIÓN DE FILTRADO

Donde:

H1 = ALTURA DEL DOMO DE ALIMENTACIÓN DE LA MIELLA - 0.6001190

H2 = ALTURA DEL CILINDRO DE LA FASE GASEOSA

H3 = ALTURA DEL FONDO DE LA FASE GASEOSA

R = RADIO DEL CILINDRO DE ALIMENTACIÓN EN PULGADAS

H = ALTURA TOTAL DEL RECIPIENTE

H = ALTURA TOTAL DEL RECIPIENTE

Para el cálculo del diámetro del tanque, primero se calcula la velocidad del aire en la sección transversal ( $v_a$ ) con la ecuación (VII.13).

Datos:

$$\rho_L = 63.42 \text{ lb/pie}^3 \quad v_a = K[(\rho_L - \rho_v)/\rho_v]^{0.5} \quad \text{--- (VII.13)}$$

$$\rho_v = 0.0558 \text{ lb/pie}^3$$

$$K = 0.2$$

Sustituyendo

$$v_a = 0.2 [ (63.42 - 0.0558) / (0.0558) ]^{0.5}$$

$$v_a = 6.74 \text{ pie/s}$$

Para el cálculo de la velocidad de diseño se hará por medio de la ecuación (VII.14)

$$v_d = 0.75 v_a \quad \text{--- (VII.14)}$$

Sustituyendo

$$v_d = 0.75 (6.74)$$

$$v_d = 5.055 \text{ Pie/s}$$

Utilizando la ecuación (VII.15) calcularemos el área de la sección transversal del tanque (AREA)

$$\text{AREA} = \frac{Q}{v_d} \quad \text{--- (VII.15)}$$

## Datos

$$Q = 50.68 \text{ Pie}^3/\text{s} \quad (\text{Sección VII.3})$$

$$V_d = 5.055 \text{ Pie}/\text{s}$$

## Sustituyendo

$$\text{AREA} = \frac{50.68}{5.055}$$

$$\text{AREA} = 10.03 \text{ Pie}^2$$

Sustituyendo en la ecuación (VII.16) se calculará el diámetro del recipiente.

$$D = \sqrt{\text{AREA}/0.785} \quad \text{-----} \quad (\text{VII.16})$$

$$D = \sqrt{10.03/0.785}$$

$$D = 3.57 \text{ Pie} = 43 \text{ pulg.} = 109 \text{ cm.}$$

Se considera que el recipiente operará con una instrumentación normal - por lo que el factor seleccionado es de 1.2, sustituyendo en la ecuación (VII.17) se tiene:

## Datos

tiempo de

residencia = 7 min

seleccionado

Tiempo de

residencia = 7 (1.2)

de diseño

$$\text{Factor} = 1.2$$

Tiempo de  
residencia = 8.4 min  
de diseño

El cálculo del volumen entre nivel máximo y mínimo, se calculará mediante la ecuación (VII.18)

Datos

$$\text{Gasto de filtrado} = 3.74 \text{ Pie}^3/\text{min.}$$

Sustituyendo

Volumen entre  
nivel máximo =  $3.74 \times 8.4$   
y mínimo

Volumen entre  
nivel máximo =  $31.44 \text{ Pie}^3 = 890.4 \text{ litros}$   
y mínimo

el cual ocupa una longitud en el recipiente ( $L_0$ ) calculado mediante la ecuación (VII.19), sustituyendo se tiene:

$$L_0 = \frac{31.44}{0.785(3.57)}$$

$$L_0 = 3.14 \text{ Pie} = 95.78 \text{ cm}$$

La velocidad máxima en la boquilla de entrada se calculará de la siguiente

guiente manera:

$$V_{\text{m}\ddot{a}\text{x}} \leq 26/(\rho_v)^{0.5} \text{ ----- (VII.20)}$$

Sustituyendo

$$V_{\text{m}\ddot{a}\text{x}} \leq \frac{26}{(0.0558)}$$

$$V_{\text{m}\ddot{a}\text{s}} \leq 110 \text{ Pie/s}$$

## Cálculo del diámetro de las boquillas

De alimentación

Tomaremos como velocidad de diseño un 80% de la velocidad máxima;  
(110 ft/seg).

$$V_{\text{diseño}} = 110 (0.8)$$

$$V_{\text{diseño}} = .88 \text{ ft/seg}$$

$$\text{Gasto total} = \text{Gasto Gas} + \text{Gasto líquido} [\text{ft}^3/\text{seg}]$$

$$\text{Gasto total} = 50.68 + 0.062$$

$$\text{Gasto total} = 50.74 \text{ ft}^3/\text{seg}$$

$$\text{Area} = \frac{50.74 \text{ ft}^3/\text{seg}}{88 \text{ ft/seg}}$$

$$\text{Area} = 0.5766 \text{ ft}^2$$

$$\text{Diámetro} = \left( \frac{0.5766}{0.785} \right)^{0.5}$$

$$\text{Diámetro} = 0.857 \text{ ft} = 10.28'' \text{ Comercial próximo} = 12''$$

De salida de la fase gaseosa

$$V_{\text{máxima}} = \frac{100}{(\rho_v)^{0.5}} \text{ --- (VII.21)}$$

donde

$$\rho_v = \text{densidad del aire (lb/Pie}^3\text{)}$$

Sustituyendo

$$V_{\text{máxima}} = \frac{100}{(0.0558)^{0.5}}$$

$$V_{\text{máxima}} = 423.3 \text{ ft/seg}$$

$$V_{\text{mínima}} = \frac{60}{(\rho_v)^{0.5}} \text{ ----- (VII.22)}$$

$$V_{\text{mínima}} = \frac{60}{(0.558)^{0.5}}$$

$$V_{\text{mínima}} = 254 \text{ ft/seg}$$

$$V_{\text{promedio}} = \frac{\text{máxima} + \text{mínima}}{2} \text{ ----- (VII.23)}$$

Sustituyendo

$$V_{\text{promedio}} = \frac{423 + 254}{2}$$

$$V_{\text{promedio}} = 338 \text{ ft/seg}$$

$$\text{Area} = \frac{\text{Gasto Gas [ft}^3\text{/seg]} \text{ [ft}^2\text{]}}{\text{promedio [ft/seg]}} \text{ ----- (VII.24)}$$

$$\text{Area} = \frac{50.68 \text{ ft}^3\text{/seg}}{338 \text{ ft/seg}}$$

$$\text{Area} = 0.15 \text{ ft}^2$$

$$\text{Diámetro} = \sqrt{0.15/0.785}$$

$$\text{Diámetro} = 0.44 \text{ ft} = 5.28 \text{ pulgadas Comercial} = 6''$$

#### Boquilla de la salida de la fase líquida

Esta boquilla será de 2 pulgadas de diámetro y está determinada por el diámetro de la tubería de succión de la bomba.

Registro de hombre de 18" de diámetro.

#### Altura del Recipiente de tangente a tangente

Distancia de tangente interior al nivel mínimo = 0.5 ft

Distancia entre nivel mínimo y máximo = 3.14 ft

Distancia entre nivel máximo y centro de línea de la boquilla de alimentación = 2.50 ft

Distancia entre el centro de línea y la tangente superior = 2.14 ft

Altura de tangente a tangente = 8.28 ft.

$$\frac{L}{D} = 2.32$$

La relación L/D es razonable, ya que se encuentra en el rango de recipientes a presiones menores de 100 psig y oscila entre 1 y 3.

### Volumen total del Recipiente

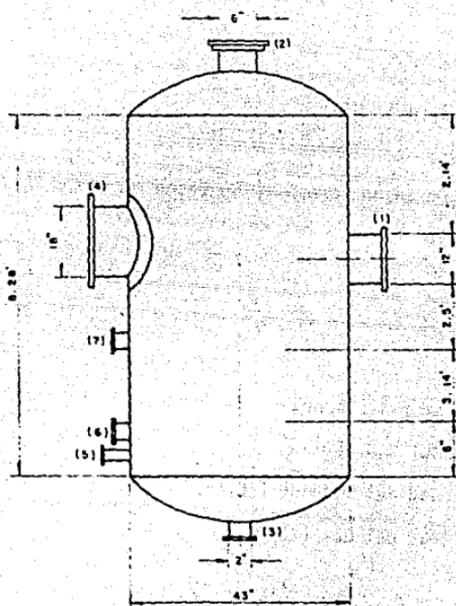
Volumen total = Volumen del Cilindro + Volumen de las cabezas

$$\begin{aligned} \text{Volumen total} &= 0.785 (3.57)^2(8.28) + 2 (0.0809)(3.57)^3 \\ &= 82.84 + 7.36 \end{aligned}$$

Volumen total = 90.2 ft<sup>3</sup>

- La boquilla de venteo es de 1 pulgada y va instalada sobre la tubería de alimentación
- Conexión de servicio en la parte interior lateral de 2 pulgadas de diámetro
- Boquilla de drenaje de 1½ pulgada en tubería
- Boquillas de control de nivel; conexiones bridadas de 1½ pulgada
- Boquilla de nivel mínimo, se instalará a la misma altura de dicho nivel (0.5 ft)
- Boquilla de nivel máximo, se instalará a 6" sobre la altura de dicho nivel
- La presión de diseño del recipiente será de 2 Kg/cm<sup>2</sup>
- La temperatura de diseño será de 65° C

Las dimensiones completas del tanque de recepción de filtrado, incluyendo las boquillas se muestran en la fig. (VII.7).



Nº BOQUILLA	SERVICIO	DIAMETRO
1	Alimentación	12"
2	Salida Gas	6"
3	Salida Líquido	2"
4	Entrada hombre	18"
5	Conexión de Servicio	2"
6 y 7	Control de nivel	1 1/2"

FIGURA VII.7 DIMENSIONES DEL TANQUE DE RECEPCION DE FILTRADO

### VII.7 Cálculo del diámetro de tubería entre el filtro y el tanque de recepción de filtrado

Para esta línea el flujo es a dos fases y se hacen las siguientes suposiciones:

- flujo Anular
- línea horizontal

Los cálculos se hacen según Kern R. y se basan en el uso de los parámetros Baker  $B_x$  y  $B_y$

$$B_y = 2.16 W_V/A \sqrt{\rho_L \rho_V} \text{ ----- (VII.25)}$$

donde

- $W_V$  = Masa de Gas [lb/hr]
- $A$  = Area del tubo [Pie<sup>2</sup>]
- $\rho_L$  = densidad del líquido [lb/Pie<sup>3</sup>]
- $\rho_V$  = densidad del Gas [lb/Pie<sup>3</sup>]

$$B_x = 531 (W_L/W_V) (\sqrt{\rho_L \rho_V / \rho_L^{2/3}}) (\mu_L^{1/3} / \tau_L) \text{ ----- (VII.26)}$$

donde

- $W_L$  = Masa de líquido [lb/hr]
- $\tau_L$  = tensión superficial del líquido [dinas/cm]

Una vez evaluado  $B_x$  se va a la Fig. 1 de Kern en la zona correspondiente a flujo anular y se determina  $B_y$  de donde podemos conocer el área (A)



$$D = \sqrt{0.347/0.785}$$

$$D = 0.665 \text{ Pie} = 7.98 \text{ pulgs.}$$

El diámetro nominal comercial más próximo es de 8 pulgs.

### VII.8 Cálculo de la elevación del tanque de alimentación de suspensión al filtro

Se utilizará la ec. (1.5) del Crane para calcular la caída de presión para flujo viscoso

$$\Delta P = \frac{0.000668 \mu_{\text{susp}} L v}{d^2} \quad \text{--- (VII.27)}$$

Donde

$\mu_{\text{susp}}$  = Viscosidad de la suspensión en Cp

L = Longitud de la tubería [pies]

v = Velocidad de la suspensión en la tubería [pies]

d = diámetro de la tubería en pulgadas

Datos:

$$L = 20 \text{ m} = 65.6 \text{ pies (Supuesto)}$$

$$\mu_{\text{susp}} = 497 \text{ Cp}$$

$$v = 1 \text{ ft/seg (Sección VII.5)}$$

Sustituyendo en la ec. (VII.27)

$$\Delta P = \frac{0.000668 (497)(65.6)(1)}{4^2}$$

$$\Delta P = 1.36 \text{ lb/pulg} = 196 \text{ lb/pie}^2$$

Además sabemos que:

$$\Delta P = \rho_{\text{susp}} \Delta h \quad \text{-----} \quad \text{(VII.28)}$$

Donde:

$$\rho_{\text{susp}} = \text{Densidad de la suspensión [lb/pie}^3\text{]}$$

$\Delta h$  = Diferencia de la altura entre el tanque y la tina del filtro en pies

$$\Delta h = \frac{196}{66.25}$$

$$\Delta h = 3 \text{ pies}$$

$$\text{Diferencia de altura de operación} = 3 \times 1.5 = 4.5 \text{ pies} = 140 \text{ cm}$$

### VII.9 Cálculo del $C_v$ de la válvula de control de filtrado

Ha sido encontrado conveniente en la Industria de las Válvulas, particularmente en las válvulas de control, expresar la capacidad de la válvula y características de flujo en términos del coeficiente  $C_v$ .

El coeficiente  $C_v$  de una válvula, es definido como el flujo de agua a 60° F, en galones por minuto, a una caída de presión de una libra por pulgada cuadrada a través de la válvula.

Crane recomienda para el cálculo de  $C_v$  la siguiente fórmula:

$$C_v = \frac{29.9 d^2}{\sqrt{K}} \quad \text{-----} \quad \text{(VII.29)}$$

De esta fórmula se conoce (d) diámetro interno de la tubería (pulgadas) y de la página (A-26 Crane) se obtiene el factor de fricción para dicho diámetro. Como se está considerando una válvula de globo, se obtiene de la página (A-27 Crane) el factor de resistencia (K) para este tipo de válvulas y se obtiene lo siguiente:

$$d = 1.55 \text{ pulgadas}$$

$$f = 0.02$$

$$K = 340 \times 0.021 = 7.14$$

Sustituyendo en la Ec. (VII.29) se tiene:

$$C_v = \frac{29.9 \times (1.55)^2}{\sqrt{7.14}}$$

$$C_v = 27$$

Por lo tanto, la válvula recomendada tiene las siguientes especificaciones:

- Válvula de globo
- Con recubrimiento interno de PVC
- Con un sólo asiento
- De igual porcentaje
- Accionada neumáticamente
- Diámetro nominal 1.5 pulgadas
- Bridada

#### VII.10 Selección de válvula en la línea de alimentación de suspensión al filtro

Para el control en tuberías de líquidos con sólidos en suspensión las válvulas recomendadas son las de pellisco, ya que no presentan resistencia en su parte interna. La válvula seleccionada para este caso es:

- Diámetro nominal 4 pulgadas
- Material: neopreno
- Bridada
- Un sólo pistón (Vástago)
- Accionada neumáticamente

## CAPITULO VIII

### I N D I C E

VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	203
VIII.1	CONCLUSIONES . . . . .	263
VIII.2	RECOMENDACIONES . . . . .	266

## VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### VIII.1 Conclusiones

El trabajo desarrollado a nivel Laboratorio y Planta Piloto dió la pauta para el escalamiento a Nivel Industrial, ya que se determinó la Ecuación para la Evaluación de la resistencia específica de torta para una variación del área de Filtración en una Escala de 1-88.5 y es la siguiente:

$$\alpha_{\text{ind}} = 1.16146 * 10^{-9} (-\Delta P)^{0.4015} \text{ --- (V.5.1)}$$

Para un rango de presión de 251.2 - 571.2 g<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup> abs.

La cual es fundamental para la determinación del Area de Filtración.

El diagrama de flujo así como el balance de materiales para el sistema completo se presenta en la Fig. (VIII.1).

El filtro a nivel Industrial (FV-1) es un filtro de tambor rotatorio de un sólo compartimiento con un Area de 30 m<sup>2</sup>, el cual contará con zona de formación de torta; y de descarga de torta, no contará con zona de lavado, ya que las caracterfsticas con que se requiere la torta no lo hace necesario. Asimismo no contará con aire para desprendimiento de torta debido a que en las pruebas a nivel Planta Piloto no fué necesario su utilización por el fácil desprendimiento de torta con la cuchilla.

Deberá contar con sistema de agitación mecánica para evitar la sedimentación de sólidos. Operará a un 50% de área sumergida y un vacío de 408

gf/cm<sup>2</sup> (300 mm Hg).

La torta que se espera obtener en este equipo tendrá un espesor de 10.6-mm. y un 73% de humedad

El medio filtrante será de tela de polipropileno con una abertura de malla de 74 micrones (Malla 200 Tyler). El tipo de hilado será de monofilamento y el tipo de tejido será de satén.

El vacío será provocado por una bomba de vacío (BV-1) de 100 HP, con un vacío en la succión de 300 mm Hg y un volumen de succión de aire de 5,167 m<sup>3</sup>/hr., el sello será de agua.

El tanque de alimentación de suspensión (TA-1) al filtro será un tanqueabierto a la atmósfera con 4 baffles, fondo cónico, 15° de inclinación, volumen total de 11.08 m<sup>3</sup> con una relación de L/D de 1.28, la descarga de este tanque tendrá una elevación de 1.4 m arriba del punto de alimentación a la tina del filtro.

El agitador de suspensión (M) es un agitador de turbina de 6 paletas, el cual es accionado por un motor de 5 HP contando con un motoreductor para un rango de velocidad de agitación que abarque 83 rev/min.

El tanque de recepción de filtrado (TP-1) es un recipiente cilíndrico vertical con tapas torriesféricas, teniendo un volumen total de 2.55 m<sup>3</sup>, diámetro de 1.08 m y longitud entre tangentes de 2.5 m.

La bomba de descarga de filtrado (B-1) es una bomba centrífuga de 2 HP.

El diámetro de las líneas es el siguiente:

L I N E A	DIAMETRO NOMINAL (in)
1	4
2	8
3	6
4	2
5	1 1/2

El flujo de alimentación de suspensión a la tina del filtro (TA-1) a (FV-1) es controlado por medio de una válvula de pellisco, la cual será accionada para mantener un flujo constante. El flujo de filtrado ((TP-1) a proceso) será controlado por medio de una válvula de globo, la cual se rá accionada para mantener un nivel normal dentro del tanque de recep---ción de filtrado.

Los detalles de los diseños se encuentran en el capítulo VII.

De este trabajo se puede concluir que las pruebas en filtro de hoja son más representativas para la filtración al vacío continua, ya que en este filtro se simula mejor el comportamiento de un ciclo de filtración.

Con la implementación del sistema antes planteado el problema de contaminación será eliminado, ya que el sólido será comercializado y el líquido será recirculado al proceso.

## VIII.2 Recomendaciones

Una vez instalado el sistema se recomienda hacer pruebas para optimizar su funcionamiento con lo que respecta a la superficie sumergida, tiempo del ciclo, tomando como variable respuesta la humedad de la torta.

Se sugiere hacer pruebas en el filtro a nivel industrial para hacer las correcciones necesarias en cuanto a resistencia específica de torta y diseño del sistema de filtración, lo cual permitirá una retroalimentación de información para realizar la evaluación del grado de error en el escalamiento que será de gran importancia en el diseño de sistemas de filtración posteriores en cuanto a la forma de disminuir el error en el escalamiento.

La selección de material de equipo, tuberías y accesorios será tomando en cuenta la presión, temperatura y grado de acidez de ácido sulfúrico.

Las condiciones del proceso son las siguientes:

$$\begin{aligned}T_D &= 60^\circ \text{ C} \\P_{\text{máx}} &= 2 \text{ Kg}_f/\text{cm}^2 \\Conc &= 2.5\% \text{ H}_2 \text{ SO}_4\end{aligned}$$

En base a la bibliografía consultada con lo que respecta a selección de materiales, se encontró que hay materiales plásticos y metálicos que soportan las condiciones antes mencionadas.

## M E T A L I C O S

Acero inoxidable 316 AISI

CHLORIMET 2

HASTELLOY C

## PLASTICOS REFORZADOS:

Policarbonato

Polietileno alta Densidad

Polipropileno

Poliestireno

PVC

Considerando estos materiales se plantean 3 posibles alternativas

1. Que todo el sistema sea de acero inoxidable 316
2. Filtro de acero inoxidable 316, recipientes de acero al carbón, re  
cubiertos con policloruro de vinilo (PVC), tuberías y accesorios tam  
bién de PVC.
3. Todo el sistema de plástico reforzado

La decisión final dependerá de un análisis técnico-económico.



## NOMENCLATURA

A	Area de filtración, $\text{ft}^2$
$A_f$	Area efectiva de la superficie de filtrado
B	Constante en la ecuación a presión constante definida por la ecuación (II.19)
$C_a$	Constante de filtración definida por la ecuación (II.6S) (ft)
$C_t$	Constante de filtración definida por la ecuación (II.68) (s)
c	Masa de sólidos depositada en el filtro por unidad de volumen de filtrado, $\text{lb}/\text{ft}^3$
D	Permeabilidad de la torta, $\text{ft}^3/\text{s}^2$
$d_p$	Diámetro de partícula, ft
f	Fracción de la superficie disponible en una revolución o giro para la formación de la torta, adimensional
$f_a$	Fracción de superficie total disponible para la succión de aire en un filtro rotatorio al vacío, adimensional
g	Constante de gravitación, $32.17 \text{ ft}/\text{S}^2$
$g_c$	Factor de proporcionalidad en la Ley de Newton, $32.17 \text{ (ft) (lb)}/\text{S}^2$
HP	Potencia teórica para la compresión en una sola etapa, hp
k	Relación de Capacidad Calorífica o presión constante a Capacidad Calorífica a volumen constante, $C_p/C_v \approx 1.4$
$K_1$	Constante de proporcionalidad para flujos con preponderancia de fuerzas viscosas (laminar)
$K_2$	Constante de proporcionalidad para flujos con preponderancia de fuerzas inerciales (turbulento) $(\text{lb}_f)(\text{S}^2)/(\text{lb})(\text{ft})$
$K_p$	Constante en la ecuación a presión constante definida por la ecuación (II.18)
L	Distancia en la torta medida desde el medio filtrante, ft

$l$	Espesor de la torta, ft
$l_m$	Espesor de la torta ficticio para flujo de líquido con resistencia igual a la del medio filtrante, ft
$l'_m$	Espesor ficticio para flujo de aire con resistencia igual a la del medio filtrante, ft
$m$	Masa de sólidos en la capa de torta, lb
$m_t$	Masa de sólidos en la torta, lb
$N_R$	Número de revoluciones por unidad de tiempo, en filtro de tambor rotatorio al vacío, rev/s
$P_{ent}$	Presión a la entrada $lb_f/ft^2$
$P_{sal}$	Presión a la salida $lb_f/ft^2$
$P_1$	Presión de entrada a la bomba de vacío, $lb_f/ft^2$
$P_2$	Presión de salida de la bomba de vacío, $lb_f/ft^2$
$P'$	Presión en el límite entre la torta y el medio filtrante, $lb_f/ft^2$
$-\Delta P$	Caída de presión total, $lb_f/ft^2$
$-\Delta P_m$	Caída de presión en el medio filtrante, $lb_f/ft^2$
$-\Delta P_t$	Caída de presión en la torta, $lb_f/ft^2$
$q_{fm1}$	Flujo volumétrico de aire a las condiciones de entrada a la bomba de vacío, $ft^3/min$
$R_m$	Resistencia del medio filtrante al paso del líquido, $ft^{-1}$
$R_t$	Resistencia de la torta al paso del líquido, $ft^{-1}$
$R'_m$	Resistencia del medio filtrante al paso del aire, $ft^{-1}$
$R'_t$	Resistencia de la torta al paso del aire, $gt^{-1}$
$S$	Relación volumétrica de filtrado a espacios vacíos (saturación)
$s$	Coefficiente de compresibilidad en la ecuación (II.20)
$S_p$	Superficie de una partícula, $ft^2$

$S_r$	Relación volumétrica de filtrado retenido por fuerzas capilares a espacios vacíos (saturación residual)
$s'$	Constante definida por la ecuación (II.61a)
$t_c$	Tiempo total del ciclo en filtros continuos, s
$U$	Velocidad del líquido antes de llegar a la torta, ft/s
$V$	Volumen de filtración hasta el tiempo $t$ , ft <sup>3</sup>
$v$	Velocidad basada en el área total, definida por la ecuación (II.39) ecuación de Darcy, ft <sup>3</sup> /ft <sup>2</sup> S
$V_a$	Volumen de aire a temperatura y presión de los alrededores, saliendo a través de la torta en un tiempo $t$ , en un filtro rotatorio al vacío, ft <sup>3</sup>
$V_L$	Velocidad del líquido de lavado con flujo de aire, ft <sup>3</sup> /ft <sup>2</sup> S
$V_m$	Volumen ficticio de filtrado por unidad de área filtrante, ft <sup>3</sup> /ft <sup>2</sup>
$V_R$	Volumen de filtrado liberado por revolución en un filtro de tambor rotatorio, ft <sup>3</sup>
$\psi_p$	Volumen de una partícula, ft <sup>3</sup>
$V'_a$	Velocidad de flujo de aire durante el lavado, ft <sup>3</sup> /ft <sup>2</sup> S
$V'_L$	Velocidad del líquido de lavado con flujo de aire, ft <sup>3</sup> /ft <sup>2</sup> S
$V'_m$	Volumen ficticio de filtrado por unidad de área de succión de aire para formar una torta de espesor, $l'_m$ , ft <sup>3</sup>
$\bar{V}$	Volumen de filtrado promedio (acumulativo) en el incremento de tiempo, $t$ , ft <sup>3</sup>
$V_{aR}$	Volumen de aire por revolución, ft <sup>3</sup>
$V_{TS}$	Velocidad de flujo de aire a través de la torta seca, ft <sup>3</sup> /ft <sup>2</sup> S
$Z$	Constante de proporcionalidad relacionando espesor de torta con la resistencia al líquido, ft <sup>-2</sup>
$Z'$	Constante de proporcionalidad relacionando espesor de torta con la resistencia al aire, ft <sup>-2</sup>
$\alpha_0$ $\alpha'_0$ $\beta$ $s'$	Constantes en las ecuaciones (II.20) y (II.21)

$\alpha$	Resistencia específica de torta ft/lb
$\beta$	Resistencia específica de torta a la succión de aire, ft/lb
$\beta'$	Constante definida por la ecuación (II.61a)
$\gamma$	Tensión superficial del filtrado lb/ft
$\delta$	Factor de corrección, para cuantificar la ineffectividad de lavado por canalización
$\theta$	Factor de corrección, para cuando difiere la viscosidad de líquido de lavado y filtrado
$\epsilon$	Porosidad del lecho o torta adimensional
$\rho$	Densidad del filtrado, lb/ft <sup>3</sup>
$\rho_p$	Densidad de la partícula, lb/ft <sup>3</sup>
$\rho_t$	Densidad de la torta, lb de sólidos/ft <sup>3</sup> de torta húmeda
$\mu$	Viscosidad del líquido (filtrado) lb/ft <sup>5</sup>
$\mu_a$	Viscosidad del aire a temperatura y presión de los alrededores lb/ft <sup>5</sup>
$\mu_w$	Viscosidad del líquido de lavado, lb/ft <sup>5</sup>

**A N E X O   I**  
**D E D U C C I O N**

Durante una filtración es más fácil medir el volumen de filtrado en lugar de la cantidad de sólidos presentes. La relación entre el volumen de filtrado y los sólidos que se depositan en la torta se puede evaluar como sigue:

$$M = VC \text{ ----- (A)}$$

Donde:

M = masa de sólidos en la torta

V = volumen de filtrado

C = masa de partículas depositadas en el filtro por unidad de volumen de filtrado

El valor de C se deduce de un balance de materia a saber.

En un tiempo t definido

$$M_s = M_f + M + M_a \text{ ----- (B)}$$

Donde:

M<sub>s</sub> = Masa de suspensión alimentada

M<sub>f</sub> = Masa de filtrado

M = Masa de sólidos que retiene el filtro

M<sub>a</sub> = Masa de filtrado atrapado en la torta

Dividiendo la ec. anterior entre  $M$  y definiendo,

$$S = \frac{M}{M_s} \quad \text{--- (C)}$$

$$\frac{1}{M_o} = \frac{M}{M + M_a} \quad \text{--- (D)}$$

Donde:

$S$  = fracción masa de sólidos en la suspensión

$1/M_o$  = fracción masa de sólidos en la torta húmeda

$M_o$  = relación masa de torta húmeda a seca

Entonces,

$$\left. \begin{aligned} \frac{M_c}{M} &= \frac{M_f}{M} + \frac{M + M_a}{M} \\ \frac{1}{S} &= \frac{M_f}{M} + M_o \\ \frac{1 - M_o S}{S} &= \frac{M_f}{M} \\ M &= M_f \frac{S}{1 - M_o S} \end{aligned} \right\} \text{(E)}$$



## ANEXO II

Cálculo de  $M_0$ 

Filtro Buchner

A presión absoluta de 373.8 gf/cm<sup>2</sup>

$$M_0 = \frac{100}{100 - \text{Humedad de torta}}$$

$$M_0 = \frac{100}{100-83.82} \quad (\text{Tabla V.6})$$

$$M_0 = 6.18$$

A presión absoluta de 564.0 gf/cm<sup>2</sup>

$$M_0 = \frac{100}{100-84.45} \quad (\text{Tabla V.6})$$

$$M_0 = 6.43$$

Filtro de Hoja

A presión absoluta de 231.2 gf/cm<sup>2</sup>

$$M_0 = \frac{100}{100-79} \quad (\text{Tabla V.7})$$

$$M_0 = 4.76$$

A presión absoluta de 408 gf/cm<sup>2</sup>

$$M_0 = \frac{100}{100-84.1} \quad (\text{Tabla V.7})$$

$$M_0 = 6.29$$

A presión absoluta de 571.2 gf/cm<sup>2</sup>

$$M_0 = \frac{100}{100-84.84}$$

$$M_0 = 6.59$$

## CALCULO DE C

$$C = \frac{S \rho}{1 - M_0 S}$$

$$S = 0.07$$

$$\rho = 1.018 \text{ g/cm}^3$$

Filtro Buchner

Para una presión absoluta de 373.8 gf/cm<sup>2</sup>

$$C = \frac{(0.07) (1.018)}{1 - (6.18)(0.07)} = 0.125$$

$$C = 0.125 \text{ g/cm}^3$$

Para una presión absoluta de 564 gf/cm<sup>2</sup>

$$C = \frac{(0.07) (1.018)}{1 - (6.43) (0.07)} = 0.129$$

$$C = 0.129 \text{ g/cm}^3$$

Filtro de Hoja

Para una presión absoluta de 231.2 gf/cm<sup>2</sup>

$$C = \frac{(0.07) (1.018)}{1 - (4.76) (0.07)} = 0.1069$$

$$C = 0.1069 \text{ g/cm}^3$$

Para una presión absoluta de 408 gf/cm<sup>2</sup>

$$C = \frac{(0.07)(1.018)}{1 - (6.29)(0.07)} = 0.127$$

$$C = 0.127 \text{ g/cm}^3$$

Para una presión absoluta de 571.2 gf/cm<sup>2</sup>

$$C = \frac{(0.07)(1.018)}{1 - (6.59)(0.07)} = 0.132$$

$$C = 0.132 \text{ g/cm}^3$$

CALCULO DE  $\alpha$ 

## Filtro Buchner

Para una presión absoluta de 373.8 gf/cm<sup>2</sup>

$$\alpha = \frac{K_p A^2 (-\Delta P) g_c}{C \mu}$$

## Datos

$$K_p = 0.0539 \text{ seg/cm}^6 \quad (\text{Tabla V.9})$$

$$A = 63.62 \text{ cm}^2$$

$$(-\Delta P) = 795.13 - 373.8 = 421.34 \text{ gf/cm}^2 \quad (\text{Tabla V.9})$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$C = 0.125 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 3.0 \text{ cp} = 0.03 \text{ g/cm seg} \quad (\text{Tabla V.2})$$

Sustituyendo

$$\alpha = \frac{(0.0539) (63.62)^2 (421.34) (981)}{(0.125) (0.03)}$$

$$\alpha = 2.404 \cdot 10^{10} \text{ cm/g}$$

Para una presión absoluta de 564 gf/cm<sup>2</sup>

## Datos

$$K_p = 0.0717 \text{ seg/cm}^6$$

$$A = 63.62 \text{ cm}^2$$

$$(-\Delta P) = 795.13 - 564.0 = 231.13 \text{ gf/cm}^2 \quad (\text{Tabla V.9})$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$C = 0.129 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg}$$

Sustituyendo

$$\alpha = \frac{(0.0717) (63.62)^2 (231.13) (981)}{(0.129) (0.03)}$$

$$\alpha = 1.70 * 10^{10} \text{ cm/g}$$

### Filtro de Hoja

A una presión absoluta de 231.2 gf/cm<sup>2</sup>

Datos

$$K_p = 0.00554 \text{ seg/cm}^6 \quad (\text{Tabla V.10})$$

$$A = 113 \text{ cm}^2$$

$$(-\Delta P) = 795.13 - 231.2 = 563.92 \text{ gf/cm}^2 \quad (\text{Tabla V.10})$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$C = 0.1135 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg} \quad (\text{Tabla V.2})$$

Sustituyendo

$$\alpha = \frac{(0.00554) (113)^2 (563.92) (981)}{(0.1068) (0.03)}$$

$$\alpha = 1.22 * 10^{10} \text{ cm/g}$$

A una presión absoluta de 408 gf/cm<sup>2</sup>

Datos

$$K_p = 0.008368 \text{ seg/cm}^6 \quad (\text{Tabla V.10})$$

$$A = 113 \text{ cm}^2$$

$$(-\Delta P) = 795.13 - 408 - 387.13 \text{ gf/cm}^2 \quad (\text{Tabla V.10})$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$C = 0.127 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg} \quad (\text{Tabla V.2})$$

Sustituyendo

$$\alpha = \frac{(0.008368) (113)^2 (387.13) (981)}{(0.127) (0.03)}$$

$$\alpha = 1.065 * 10^{10} \text{ cm/g}$$

A una presión absoluta de 571.2 gf/cm<sup>2</sup>

Datos

$$K_p = 0.0119 \text{ seg/cm}^6 \quad (\text{Tabla V.10})$$

$$A = 113 \text{ cm}^2$$

$$(-\Delta P) = 795.13 - 571.2 = 223.93 \text{ gf/cm}^2 \quad (\text{Tabla V.10})$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$C = 0.132 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg} \quad (\text{Tabla V.2})$$

Sustituyendo

$$\alpha = \frac{(0.0119) (113)^2 (223.93) (981)}{(0.132) (0.03)}$$

$$\alpha = 0.843 * 10^{10}$$

CALCULO DE  $R_m$ 

## Filtro Buchner

A una presión de 373.8 gf/cm<sup>2</sup>

$$R_m = \frac{\beta A (-\Delta P) g_c}{\mu}$$

## Datos

$$\beta = 1.5502 \text{ seg/cm}^3 \quad (\text{Tabla V.9})$$

$$A = 63.62 \text{ cm}^2$$

$$(-\Delta P) = 421.34 \text{ gf/cm}^2 \quad (\text{Tabla V.9})$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg} \quad (\text{Tabla V.2})$$

$$R_m = \frac{(1.5502) (63.62) (421.34) (981)}{0.03}$$

$$R_m = 1.358 * 10^9 \text{ cm}^{-1}$$

A una presión absoluta de 564 gf/cm<sup>2</sup>

## Datos

$$\beta = 0.387 \text{ seg/cm}^3 \quad (\text{Tabla V.9})$$

$$A = 63.62 \text{ cm}^2$$

$$(-\Delta P) = 231.13 \text{ gf/cm}^2 \quad (\text{Tabla V.9})$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg} \quad (\text{Tabla V.2})$$

$$R_m = \frac{(0.387) (63.62) (231.13) (981)}{0.03}$$

$$R_m = 1.86 * 10^8 \text{ cm}^{-1}$$

### Filtro de Hoja

A una presión absoluta de 231.2 gf/cm<sup>2</sup>

#### Datos

$$\beta = 0.00904 \text{ seg/cm}^3 \quad (\text{Tabla V.10})$$

$$A = 113 \text{ cm}^2$$

$$(-\Delta P) = 563.92 \text{ gf/cm}^2 \quad (\text{Tabla V.10})$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg} \quad (\text{Tabla V.2})$$

$$R_m = \frac{(0.00904) (113) (563.92) (981)}{0.03}$$

$$R_m = 0.1883 * 10^8 \text{ cm}^{-1}$$

A una presión absoluta de 408 gf/cm<sup>2</sup>

#### Datos

$$\beta = 0.7637 \text{ seg/cm}^3 \quad (\text{Tabla V.10})$$

$$A = 113 \text{ cm}^2$$

$$(-\Delta P) = 387.13 \text{ gf/cm}^2 \quad (\text{Tabla V.10})$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg} \quad (\text{Tabla V.2})$$

$$R_m = \frac{(0.7637) (113) (387.13) (981)}{0.03}$$

$$R_m = 10.92 * 10^8 \text{ cm}^{-1}$$

A una presión absoluta de 571.2 gf/cm<sup>2</sup>

Datos

$$\beta = 0.7554 \text{ seg/cm}^3 \quad (\text{Tabla V.10})$$

$$A = 113 \text{ cm}^2$$

$$(-\Delta P) = 223.93 \text{ gf/cm}^2 \quad (\text{Tabla V.10})$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg} \quad (\text{Tabla V.2})$$

$$R_m = \frac{(0.7554) (113) (223.93) (981)}{0.03}$$

$$R_m = 6.25 * 10^8 \text{ cm}^{-1}$$

## ANEXO I I I

De la ecuación 11.36

$$\frac{V}{A t_c} = \left[ \frac{2 (-\Delta P) g_c f}{C \mu t_c} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Reordenando

$$\alpha = \frac{2 (-\Delta P) g_c f}{\left( \frac{V}{A t_c} \right)^2 C \mu t_c}$$

Prueba N° 1

Datos

$$-\Delta P = 408 \text{ gf/cm}^2$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$f = 0.35$$

$$\rho = 1.018 \text{ g/cm}^3$$

$$V = 11765.06 \text{ cm}^3$$

$$S = 0.07$$

$$A = 10\,000 \text{ cm}^2$$

$$t_c = 139.5 \text{ seg}$$

$$C = 0.0962 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg}$$

$$\text{Humedad de torta} = 73\%$$

Sustituyendo

$$\alpha = \frac{2(408)(981)(0.35)}{\left(\frac{11765.06}{(10000)(139.5)}\right)^2(0.0962)(139.5)(0.03)}$$

$$\alpha = 7.813 * 10^{10} \text{ cm/g}$$

Cálculo de C

$$M_0 = \frac{100}{100-73}$$

$$M_0 = 3.7$$

$$C = \frac{S\rho}{1 - M_0 S}$$

$$C = \frac{(0.07)(1.018)}{1 - (3.7)(0.07)} = 0.0962 \text{ g/cm}^3$$

Prueba N° 2

Datos

$$-\Delta P = 408 \text{ gf/cm}^2$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$f = 0.5$$

$$\rho = 1.018 \text{ g/cm}^3$$

$$V = 13717.5 \text{ cm}^3$$

$$S = 0.07$$

$$A = 10\,000 \text{ cm}^2$$

$$t_c = 139.5 \text{ seg}$$

$$C = 0.0964 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg}$$

$$\text{Humedad de torta} = 73.2\%$$

Sustituyendo

$$\alpha = \frac{2(408)(981)(0.05)}{\left(\frac{13717.5}{(10\ 000)(139.5)}\right)^2 (0.0964)(0.03)(139.5)}$$

$$\alpha = 1.026 * 10^{10} \text{ cm/g}$$

Cálculo de C

$$M_0 = \frac{100}{100-73.2}$$

$$M_0 = 3.73$$

$$C = \frac{(0.07)(1.018)}{1-(3.73)(0.07)}$$

$$C = 0.0964 \text{ g/cm}^3$$

Prueba N° 3

Datos

$$-\Delta P = 278.8 \text{ gf/cm}^2$$

$$g_c = 981.9 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$f = 0.35$$

$$\rho = 1.018 \text{ g/cm}^3$$

$$V = 5277.8 \text{ cm}^3$$

$$S = 0.07$$

$$A = 10\ 000$$

$$t_c = 50 \text{ seg}$$

$$C = 0.1165 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 0.03 \text{ g/cm seg}$$

$$\text{Humedad de torta} = 82\%$$

Sustituyendo

$$\alpha = \frac{2(278.8)(981)(0.35)}{\left(\frac{5277.8}{10\ 000}\right)^2 (0.1165)(0.03)(50)}$$

$$\alpha = 9.833 * 10^9 \text{ cm/g}$$

Cálculo de C

$$M_0 = \frac{100}{100-82}$$

$$M_0 = 5.55$$

$$C = \frac{(0.07)(1.018)}{1-(5.55)(0.07)}$$

$$C = 0.1165 \text{ g/cm}^3$$

Prueba N° 4

Datos

$$-\Delta P = 278.8 \text{ gf/cm}^2$$

$$g_c = 981 \text{ g cm/gf seg}^2$$

$$f = 0.05$$

$$\rho = 1.018 \text{ g/cm}^3$$

$$V = 6208.3 \text{ cm}^3$$

$$S = 0.07$$

$$A = 10\,000 \text{ cm}^2$$

$$t_c = 50 \text{ seg}$$

$$C = 0.1192 \text{ g/cm}^3$$

$$u = 0.03 \text{ g/cm seg}$$

$$\text{Humedad de torta} = 82.6\%$$

Sustituyendo

$$\alpha = \frac{2(278.8)(981)(0.5)}{\left(\frac{6208.3}{(10\,000)(50)}\right)^2(0.1192)(0.03)(50)}$$

$$\alpha = 9.921 * 10^5 \text{ cm/g}$$

Cálculo de C

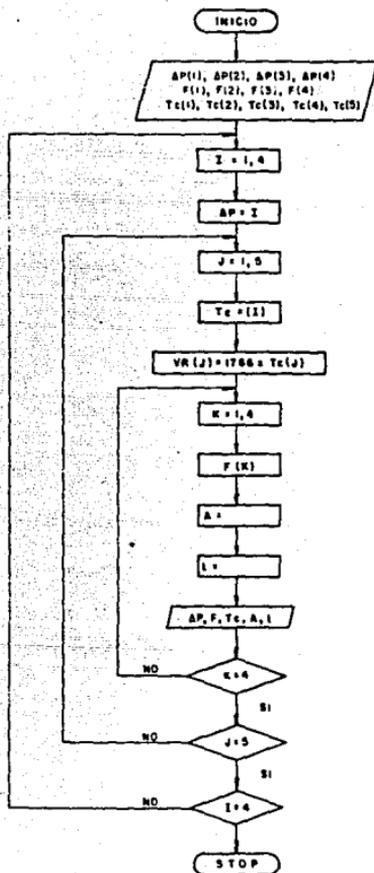
$$M_0 = \frac{100}{100-826}$$

$$M_0 = 5.747$$

$$C = \frac{(0.07)(1-018)}{1-(5.747)(0.07)}$$

$$C = 0.1192 \text{ g/cm}^3$$

ANEXO IV  
 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CALCULO DE AREA  
 Y ESPESOR DE TORTA



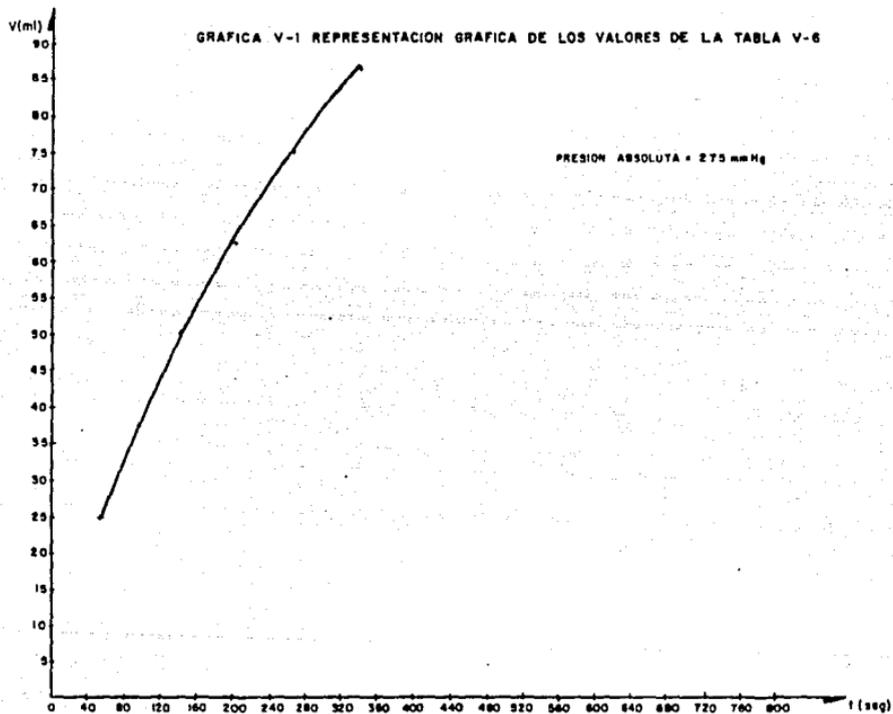
01	LBL <sup>T</sup> AREA	20 <sup>T</sup>	Tc3 ?
02 <sup>T</sup>	-dP1 ?	21	PROMPT
03	PROMPT	22	STO 22
04	STO 10	23 <sup>T</sup>	Tc4 ?
05 <sup>T</sup>	-dP2 ?	24	PROMPT
06	PROMPT	25	STO 23
07	STO 11	26 <sup>T</sup>	Tc5 ?
08 <sup>T</sup>	-dP3 ?	27	PROMPT
09	PROMPT	28	STO 24
10	STO 12	29 <sup>T</sup>	F1 ?
11 <sup>T</sup>	-dP4 ?	30	PROMPT
12	PROMPT	31	STO 30
13	STO 13	32 <sup>T</sup>	F2 ?
14 <sup>T</sup>	Tc1 ?	33	PROMPT
15	PROMPT	34	STO 31
16	STO 20	35 <sup>T</sup>	F3 ?
17 <sup>T</sup>	Tc2 ?	36	PROMPT
18	PROMPT	37	STO 32
19	STO 21	38 <sup>T</sup>	F4 ?

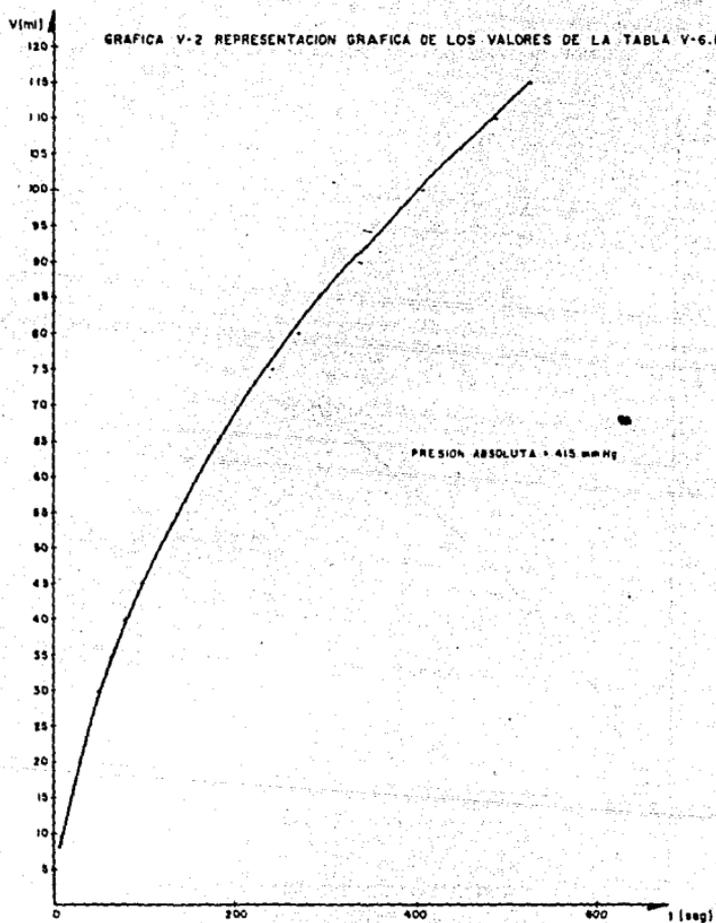
39	PROMPT	57	30
40	STO 33	58	STO 35
41 <sup>T</sup>	Gc ?	59	LBL B
42	PROMPT	60	RCL IND 15
43	STO 26	61	STO 14
44 <sup>T</sup>	C ?	62	RCL IND 25
45	PROMPT	63	STO 16
46	STO 27	64	RCL IND 35
47 <sup>T</sup>	MU ?	65	STO 34
48	PROMPT	66	XEQ A
49	STO 28	67	1
50 <sup>T</sup>	V/SEG ?	68	ST + 35
51	PROMPT	69	RCL 35
52	STO 29	70	34
53	10	71	X = Y ?
54	STO 15	72	GTO C
55	20	73	GTO B
56	STO 25	74	LBL C

75	1	93	$X = Y ?$
76	ST + 25	94	GTO 00
77	30	95	GTO B
78	STO 35	96	LBL A
79	RCL 25	97	RCL 14
80	25	98	0.5985
81	$X = Y ?$	99	$Y + X$
82	GTO D	100	2
83	GTO B	101	*
84	LBL D	102	RCL 16
85	1	103	*
86	ST + 15	104	RCL 34
87	30	105	*
88	STO 35	106	RCL 26
89	20	107	*
90	STO 25	108	RCL 27
91	RCL 15	109	/
92	14	110	RCL 28

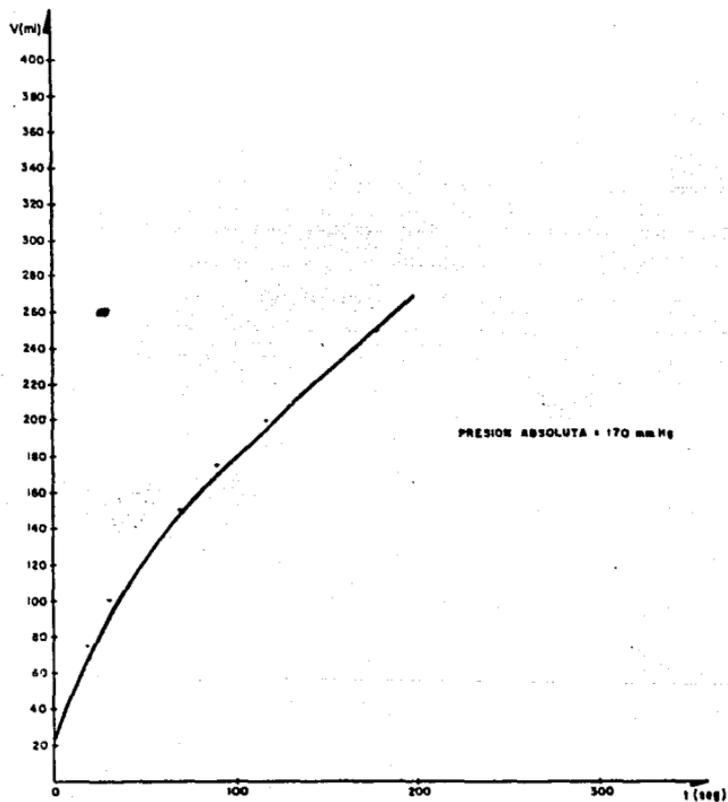
111	/	127	AVIEW
112	1161454800	128	PSE
113	/	129 <sup>T</sup>	F =
114	SQRT	130	ARCL 34
115	RCL 29	131	AVIEW
116	RCL 16	132	PSE
117	*	133 <sup>T</sup>	EL AREA ES
118	/	134	ARCL 36
119	1 / X	135	AVIEW
120	STD 36	136	STOP
121 <sup>T</sup>	CON - dP =	137	RTN
122	ARCL 14	138	LBL 00
123	AVIEW	139 <sup>T</sup>	FIN
124	PSE	140	AVIEW
125 <sup>T</sup>	Tc =	141	END
126	ARCL 16		

**ANEXO V**  
**GRAFICAS DEL CAPITULO V**



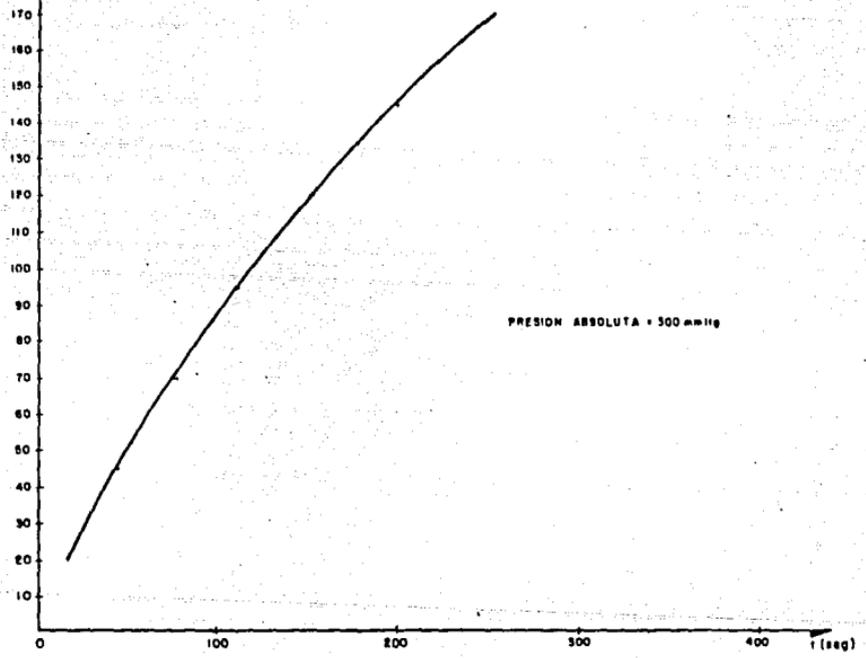


GRAFICA V.3 REPRESENTACION GRAFICA DE LOS VALORES DE LA TABLA V.7



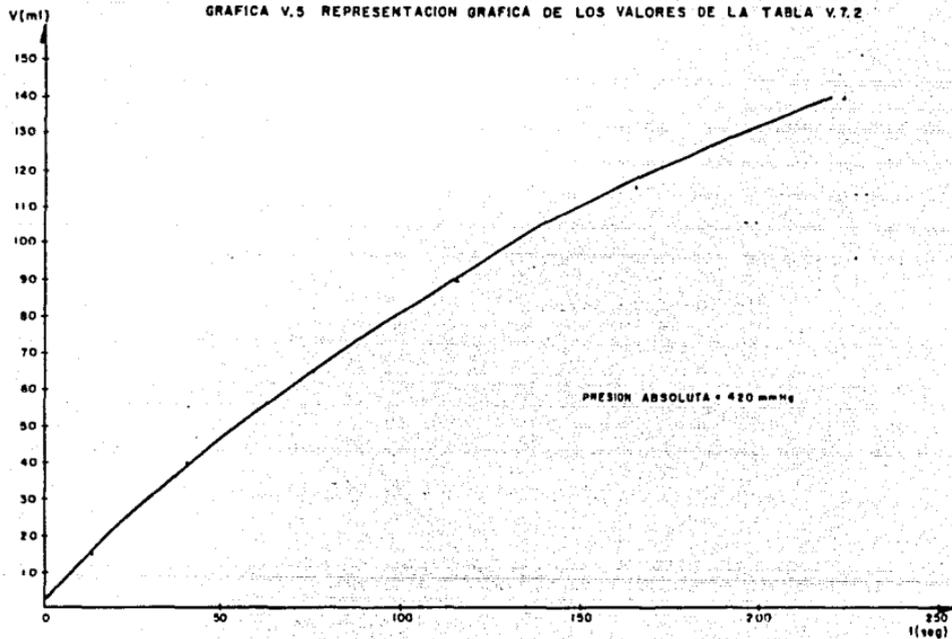
V(m)

GRAFICA V.4 REPRESENTACION GRAFICA DE LOS VALORES DE LA TABLA V.7

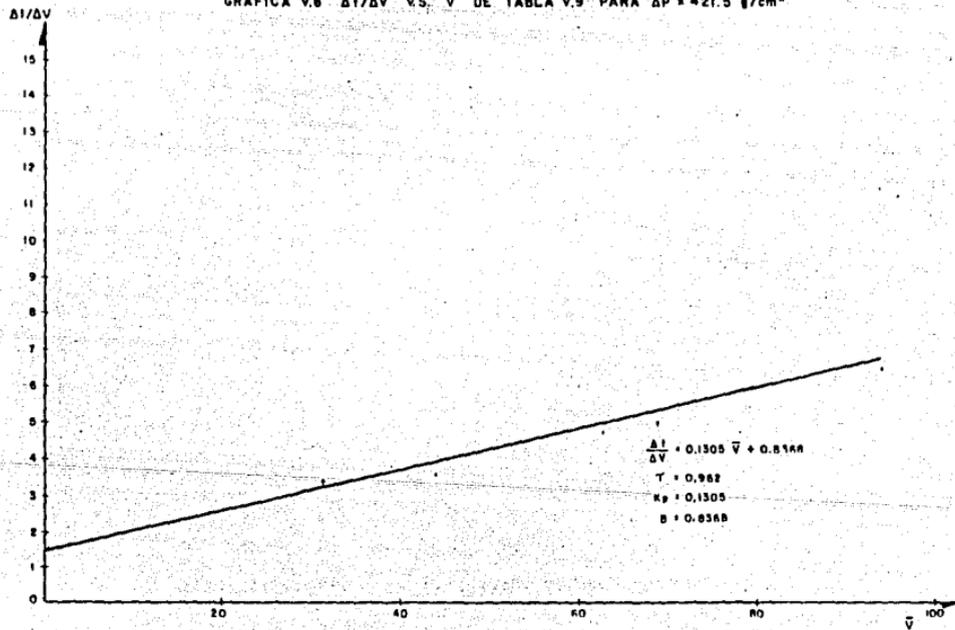


PRESION ABSOLUTA = 500 mmHg

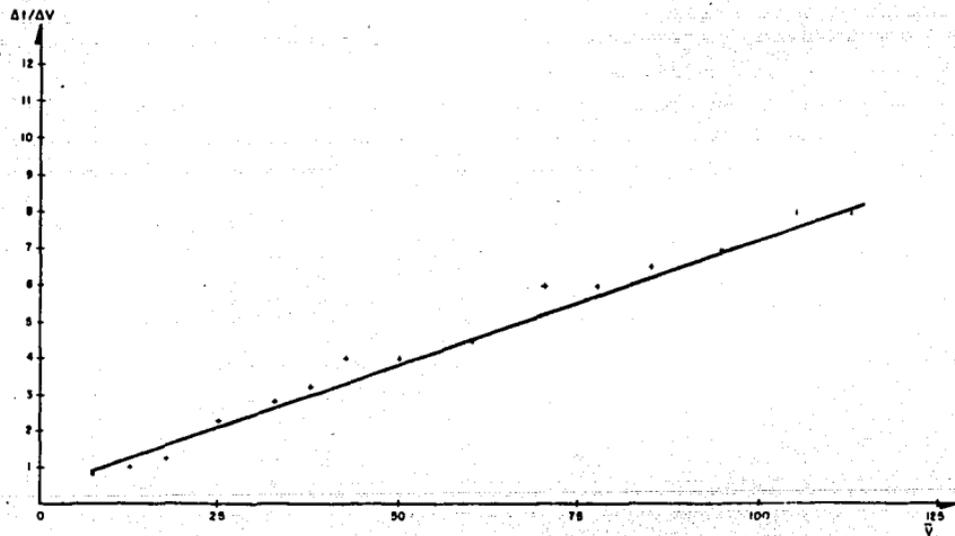
GRAFICA V.5 REPRESENTACION GRAFICA DE LOS VALORES DE LA TABLA V.7.2

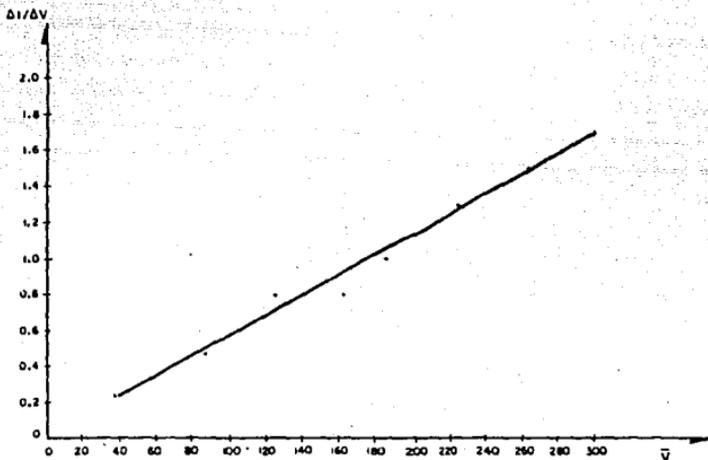


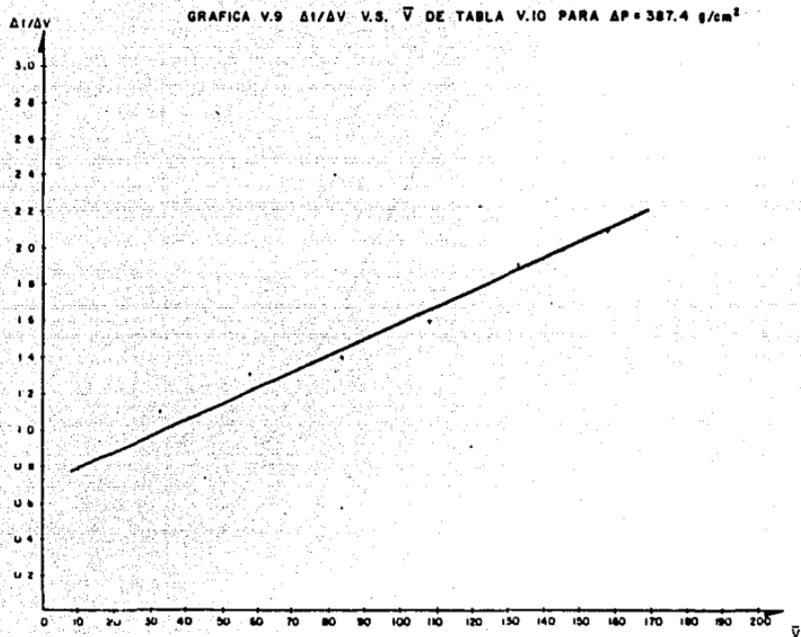
GRAFICA V.6  $\Delta t/\Delta V$  V.S.  $\bar{V}$  DE TABLA V.9 PARA  $\Delta P = 421.5 \text{ g/cm}^2$



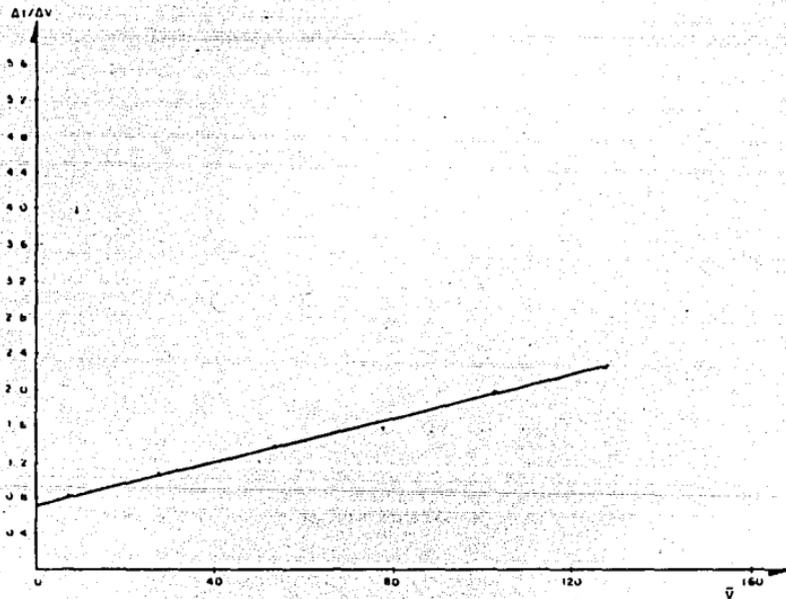
GRAFICA V.7  $\Delta l/\Delta V$  V.S.  $\bar{V}$  DE TABLA V.9 PARA  $\Delta P = 231.1 \text{ g/cm}^2$



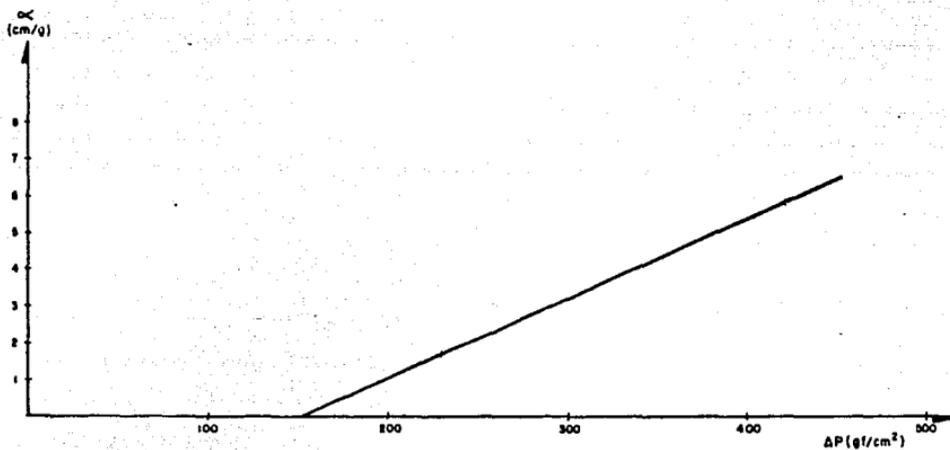
GRAFICA V.B.  $\Delta l/\Delta V$  V.S.  $\bar{V}$  DE TABLA V.10 PARA  $\Delta P = 564 \text{ g/cm}^2$ 



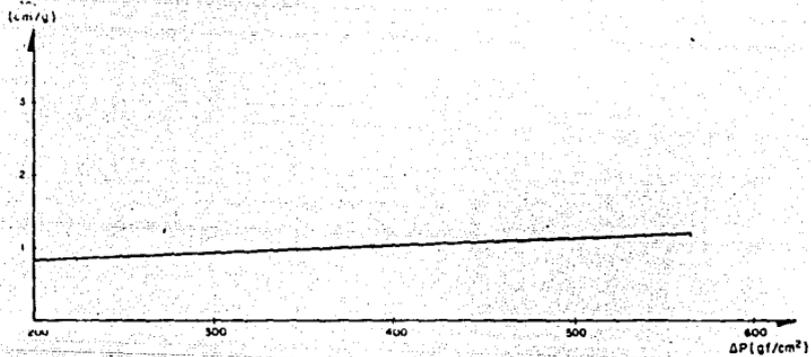
GRAFICA V.10  $\Delta l/\Delta V$  V.S.  $\bar{V}$  DE LA TABLA V.10 PARA  $\Delta P = 224.3 \text{ g/cm}^2$



GRAFICA V.II  $\alpha$  V.S.  $\Delta P$  PARA PRUEBAS EN FILTRO BUCHNER



GRAFICA V.12  $Q \propto V.S. \Delta P$  PARA PRUEBAS EN FILTRO DE HOJA



## ANEXO VI

TABLA VI.1

$-\Delta P_1 = dP_1$ ( $g_f/cm^2$ )	f	$t_c$ (seg)	A ( $cm^2$ )	l (cm)
272	0.3	120	272 757	0.46
272	0.4	120	236 214	0.53
272	0.5	120	211 277	0.60
272	0.6	120	192 868	0.65
272	0.3	150	304 952	0.51
272	0.4	150	264 096	0.60
272	0.5	150	236 214	0.67
272	0.6	150	215 633	0.73
272	0.3	180	334 058	0.57
272	0.4	180	289 302	0.65
272	0.5	180	258 760	0.73
272	0.6	180	236 214	0.80
272	0.3	240	385 737	0.65
272	0.4	240	334 058	0.75
272	0.5	240	298 790	0.84
272	0.6	240	272 757	0.92
272	0.3	300	431 267	0.73
272	0.4	300	373 488	0.84
272	0.5	300	334 058	0.94
272	0.6	300	304 952	1.03

TABLA VI.2

$-\Delta P_2 = dP_2$ ( $g_f/cm^2$ )	f	$t_c$ (seg)	A ( $cm^2$ )	 (cm)
340	0.3	120	255 138	0.49
340	0.4	120	220 956	0.57
340	0.5	120	197 629	0.64
340	0.6	120	180 410	0.70
340	0.3	150	285 253	0.55
340	0.4	150	247 036	0.64
340	0.5	150	220 956	0.71
340	0.6	150	201 704	0.78
340	0.3	180	312 479	0.60
340	0.4	180	270 615	0.70
340	0.5	180	242 045	0.78
340	0.6	180	220 956	0.85
340	0.3	240	360 820	0.70
340	0.4	240	312 479	0.81
340	0.5	240	279 490	0.90
340	0.6	240	255 138	0.99
340	0.3	300	403 409	0.78
340	0.4	300	349 362	0.90
340	0.5	300	312 479	1.00
340	0.6	300	285 253	1.10

TABLA VI.3

$-\Delta P_3 = dP_3$ ( $g_f/cm^2$ )	f	$t_c$ (seg)	A ( $cm^2$ )	 (cm)
408	0.3	120	241 591	0.52
408	0.4	120	209 224	0.60
408	0.5	120	187 135	0.67
408	0.6	120	170 831	0.74
408	0.3	150	270 107	0.58
408	0.4	150	233 919	0.67
408	0.5	150	209 224	0.75
408	0.6	150	190 994	0.82
408	0.3	180	295 887	0.64
408	0.4	180	256 246	0.74
408	0.5	180	229 193	0.82
408	0.6	180	209 224	0.90
408	0.3	240	341 661	0.74
408	0.4	240	295 887	0.85
408	0.5	240	264 650	0.95
408	0.6	240	241 591	1.04
408	0.3	300	381 989	0.82
408	0.4	300	330 812	0.95
408	0.5	300	295 887	1.06
408	0.6	300	270 107	1.16

TABLA VI.4

$-\Delta P_4 = dP_4$ ( $g_f/cm^2$ )	f	$t_c$ (seg)	A ( $cm^2$ )	$\lambda$ (cm)
476	0.3	120	230 699	0.55
476	0.4	120	199 792	0.63
476	0.5	120	178 699	0.70
476	0.6	120	163 129	0.77
476	0.3	150	257 930	0.61
476	0.4	150	223 374	0.70
476	0.5	150	199 792	0.79
476	0.6	150	182 384	0.86
476	0.3	180	282 548	0.67
476	0.4	180	244 694	0.77
476	0.5	180	218 861	0.86
476	0.6	180	199 792	0.94
476	0.3	240	326 258	0.77
476	0.4	240	282 548	0.89
476	0.5	240	252 719	1.00
476	0.6	240	230 699	1.09
476	0.3	300	364 768	0.86
476	0.4	300	315 898	1.00
476	0.5	300	282 548	1.11
476	0.6	300	257 930	1.22

B I B L I O G R A F I A

1. Arriaga, R. Rafael  
"Diseño y especificación de  
recipientes de proceso"  
Apuntes del Autor  
México, 1977.
2. Badger y Banchemo  
Introducción a la Ingeniería Química  
Mc. Graw-Hill de México, S.A. de C.V.  
México  
1978
3. Brown, George G.  
Operaciones Básicas de la Ingeniería Química  
Ed. Marin, S. A.  
España  
1965
4. Crane  
Flow of fluids through valves, fittings, and pipe  
Technical paper No. 410  
Twentieth printing  
U. S. A. 1981.
5. Dahlstrom & Davis  
Plastics in continuous filtration equipment  
Chem. Eng. Progr. Vol. 65 No. 10 1969  
p.p. 80 - 85
6. Dollinger Jr., Lewis L.  
How to specify filters  
Hydrocarbon Processing Vol. 76, October 1969
7. Eckenfelder & Ford  
Water pollution control  
The pemberton press  
Jenkins publishing Co.  
U. S. A. 1970.
8. I.P.N. E.S.I.Q.I.E.  
Introducción a la filtración  
Laboratorio de Operaciones Unitarias II  
Práctica No. 1  
México.
9. Jahreis, Carl A  
Filtration: 1. Recent Development in  
pressure Filtration  
Chem. Eng. Vol. 78  
Feb. 16, 1976.

10. Ludwig, Ernest E.  
Applied process design for chemical  
and petrochemical plants  
Volume 1  
Second Edition  
Gulf publishing Co.  
U. S. A.
11. Mais, L. G.  
Filter media  
Chem. Eng. Vol. 78  
Feb. 15, 1971
12. Manville Mexicana, S.A. de C.V.  
Filtración con Celite  
Catálogo de Productos
13. Mc. Cabe & Semith  
Unit operations of Chemical Engineering  
Mc Graw-Hill, Kogakusha, LTD  
Tokyo, Japan
14. Nash  
Bombas de Vacío  
Catálogo de equipo
15. Pávlov, Romankov; Noskov  
Problemas y ejemplos para el curso de  
operaciones básicas y aparatos en la  
tecnología química  
Ed. Mir  
Moscú, 1981
16. Perry & Chilton  
Chemical Engineers Handbook  
5th Edition  
Mc Graw-Hill Book Co.  
U. S. A. 1974
17. Peters & Timmerhaus  
Plant Design and Economics for Chemical  
Engineers  
Third edition  
Mc Graw-Hill  
U. S. A. 1980
18. Porter & Rennie  
Filter Selection  
Chem. Eng. Vol. 19  
Feb. 15, 1971

19. Purchas, Derek B.  
Guide to Trouble - Free Plant  
operation "Filtration"  
Chem. Eng. Vol. 79  
June 26, 1972
20. Purchas, Derek B.  
Industrial Filtration of Liquids  
Leonard Hill Books  
London, 1967
21. Silverblatt, Risbud & Tiller  
Batch, Continuous Processes for  
Cake Filtration  
Chem. Eng. Vol. 81  
April 29, 1984
22. Svarovsky, Ladislav  
Advances in Solid - Liquid separation - I  
Filtration and allied operations  
Chem. Eng. Vol. 81  
July 2, 1979
23. Tillet, Frank M.  
How to select solid - liquid separation  
equipment  
Chem. Eng. Vol. 81  
April 29, 1979
24. Wells Shoemaker  
What the filterman needs to know about  
filtration  
AIChE symposium series  
Vol. 73, No. 171  
1977
25. Kern Robert  
How to size process piping for  
two - phase flow  
Hydrocarbon Processing  
October 1969,  
p.p. 105 - 116