

300618



UNIVERSIDAD LA SALLE 19
29

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

DISEÑO DE PRACTICAS DE FILTRACION EN
FILTROS PRENSA PARA EL LABORATORIO
DE INGENIERIA QUIMICA DE LA
UNIVERSIDAD LA SALLE

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
HECTOR MIRANDA URIBE

DIRECTOR DE TESIS:
MC ANTONIO VALIENTE BARDERAS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1993



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.

II

I N D I C E

1	INTRODUCCION	1
2	GENERALIDADES DE FILTRACION	3
2.1	Definición	4
2.2	Clasificación de los Procesos de Filtración	4
2.3	Teoría de Filtración	7
	2.3.1 Desarrollo Teórico	9
	2.3.2 Filtración a Presión Constante	15
	2.3.3 Filtración a Velocidad Constante	16
	2.3.4 Lavado de la Torta	18
	2.3.5 Capacidad de Filtración	20
	2.3.6 Optimización del ciclo de Filtración	20
2.4	El Proceso de Filtración en la Práctica	28
	2.4.1 Efecto de la presión	28
	2.4.2 Efecto del espesor de la torta	29
	2.4.3 Efecto de la viscosidad	29
	2.4.4 Efecto de la temperatura	29
	2.4.5 Efecto del tamaño de partícula	30
	2.4.6 Efecto del tipo de medio filtrante	30
	2.4.7 Aplicación Práctica de la Teoría de Filtración	31
3	EL PROCESO DE FILTRACION EN LA INDUSTRIA	32
3.1	Análisis de las Operaciones de Filtración	34
3.2	Especificación del Producto	36
3.3	Propiedades de la lechada y la torta	36
3.4	Elección inicial del tipo de equipo	37
3.5	Modificación de las propiedades de la lechada	37
	3.5.1 Filtro-ayudas	38
	3.5.2 Coagulación y Floculación	40
	3.5.3 Sedimentación	40
	3.5.4 Otros	41
3.6	Lavado y Eliminación del exceso de humedad	41
3.7	Descripción del Equipo de Filtración	43
	3.7.1 Filtros por Lotes	45
	3.7.2 Filtros Semi-continuos	56
	3.7.3 Filtros Continuos	62
	3.7.4 Otros	67
	3.7.5 Equipo Auxiliar	71
	3.7.6 Medios Filtrantes	73
	3.7.6.1 Medios Filtrantes de Superficie	73
	3.7.6.2 Medios Filtrantes de Profundidad	77
	3.7.6.3 Selección del medio filtrante	78

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

3.7.7 Obtención de datos a nivel laboratorio y planta piloto	79
3.7.7.1 Pruebas a vacío	80
3.7.7.2 Pruebas a presión	81
3.7.7.3 Pruebas de compresión-permeabilidad	81
3.7.7.4 Escalación de los resultados	81
4 DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE FILTRACION	83
4.1 Criterios de Diseño	84
4.1.1 Definición del Problema de Filtración	84
4.1.2 Selección del tipo apropiado de filtro	85
4.1.3 Selección del medio filtrante	86
4.1.4 Selección del equipo auxiliar	87
4.1.5 Control de las condiciones de operación	88
4.2 Construcción del Sistema de Filtración	91
4.2.1 Objetivo de la Filtración	91
4.2.2 Filtro Prensa	91
4.2.3 Medio Filtrante	92
4.2.4 Equipo Auxiliar. MATERIALES DE CONSTRUCCION	93
4.2.5 Hoja de Datos	95
4.2.6 Diagrama del Sistema	97
4.2.7 Manual de Operación y Mantenimiento	102
5 EXPERIMENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS	109
5.1 Pruebas de Filtración a Presión Constante	110
5.2 Análisis de Resultados	115
5.3 Lavado de la Torta	127
5.4 Optimización del ciclo de Filtración	128
6 CONCLUSIONES	131
7 BIBLIOGRAFIA	132
APENDICE	135
INDICE DE FIGURAS	111
INDICE DE TABLAS	IV
INDICE DE GRAFICAS	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	3.1A	FILTRO PRENSA DE PLACAS Y MARCOS	46
	3.1B	FILTRO PRENSA DE PLATOS INTERMEDIOS	48
	3.2	FILTRO DE HOJAS	51
	3.3	FILTRO DE PLATOS HORIZONTALES	53
	3.4	FILTRO DE CHAROLAS	54
	3.5	FILTRO DE PISCINAS O TANQUES	57
	3.6A	FILTRO PRENSA AUTOMATICO	59
	3.6B	FILTRO PRENSA DE PLATOS INTERMEDIOS CON MEDIO FILTRANTE FIJO	60
	3.6C	FILTRO PRENSA VERTICAL DE PLATOS INTERMEDIOS CON MEDIO FILTRANTE MOVIL	61
	3.7A	FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO	63
	3.7B	FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO CON CINTURON PARA DESCARGA	64
	3.8	FILTRO DE DISCO	66
	3.9	FILTRO DE BANDA HORIZONTAL	68
	3.10	FILTRO DINAMICO	69
	3.11	PRUEBAS A VACIO	APENDICE
	4.1	DIAGRAMA DEL SISTEMA DE FILTRACION DEL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD LA SALLE	78
	4.2	VISTA LATERAL Y SUPERIOR DEL SISTEMA	79
	4.3	FILTRO PRENSA VISTA LATERAL	APENDICE
	4.4	FILTRO PRENSA VISTA FRONTAL	APENDICE
	4.5	CAMARAS FILTRANTES	APENDICE
	4.6	MOTO-BOMBA	APENDICE
	4.7	VALVULA DE BOLA	APENDICE
	4.8	COLOCACION MEDIOS FILTRANTES	APENDICE

INDICE DE TABLAS

TABLA 1	GUIA PARA LA SELECCION DE FILTROS	APENDICE
2	USOS TIPICOS DE FILTRO-AYUDAS	APENDICE
3	CAMPO DE APLICACION DEL EQUIPO DE FILTRACION	APENDICE
4	PROPIEDADES DE MATERIALES FILTRANTES	APENDICE
5	CUESTIONARIO DE FILTRACION	APENDICE
6	SELECCION DE FILTROS DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICAS DE LA LECHADA	APENDICE
7	SELECCION DE FILTROS SEGUN EL TAMAÑO Y CONTENIDO DE SÓLIDOS	APENDICE
8	CLASIFICACION DE MEDIOS FILTRANTES	APENDICE
9	EFEECTO DEL TIPO DE HILADO EN EL MEDIO FILTRANTE	APENDICE
10	EFEECTO DE LA ESTRUCTURA DE LA TELA	APENDICE
11	EFEECTO DEL PATRON DE TEJIDO	APENDICE
12	SIMBOLOGIA	100
13	DIMENSIONES DEL FILTRO PRENSA	APENDICE
14	PRUEBAS A PRESION CONSTANTE PARA CaCO_3	111
15	PRUEBAS A PRESION CONSTANTE PARA CAOLIN	112
16	PROPIEDADES FISICAS DEL CaCO_3 Y CAOLIN	113
17	DATOS DE LAVADO DE TORTA PARA CaCO_3	114
18	DATOS DE LAVADO DE TORTA PARA CAOLIN	114
19	AJUSTE DE DATOS DE VOLUMEN, TIEMPO Y PRESION PARA CaCO_3	117
20	AJUSTE DE DATOS DE VOLUMEN, TIEMPO Y PRESION PARA CAOLIN	118
21	DATOS DE PENDIENTE Y ORDENADA AL ORIGEN PARA CaCO_3	121
22	DATOS DE PENDIENTE Y ORDENADA AL ORIGEN PARA CaCO_3	121
23	DATOS DE PENDIENTE Y ORDENADA AL ORIGEN PARA CAOLIN	122
24	DATOS DE PENDIENTE Y ORDENADA AL ORIGEN PARA CAOLIN	122

TABLA 25 DETERMINACION DE LAS CONSTANTES DE FILTRACION.CaCO ₃	124
26 DETERMINACION DE LAS CONSTANTES DE FILTRACION.CAOLIN	124
27 DETERMINACION DE LAS CONSTANTES DE FILTRACION.CaCO ₃	126
28 DETERMINACION DE LAS CONSTANTES DE FILTRACION.CAOLIN	126

I N D I C E D E G R A F I C A S

GRAFICA 2.3 COSTO TOTAL vs. TIEMPO,AREA Y VOLUMEN OPTIMO	26
3.5 FERMEABILIDAD vs. % DE FILTRO-AYUDA	39
4.1 MONITOREO EN EQUIPOS INTERMITENTES	90
5.2A RESULTADOS PRUEBAS DE FILTRACION A P CONSTANTE	119
5.2B RESULTADOS PRUEBAS DE FILTRACION A P CONSTANTE	120

1. INTRODUCCION

ESIS CON
LA DE ORIGEN

1. INTRODUCCION.

Siendo la filtración uno de los procesos de separaciones mecánicas más comunes en la industria química, farmacéutica y de alimentos el presente trabajo tiene como finalidad:

- Presentar la información teórica necesaria desarrollada hasta este momento para realizar el cálculo y diseño de equipos de filtración a presión con formación de torta de procesos intermitentes en sistemas sólido-líquido.

- Dar una guía general de las diferentes clases de equipo que existe para llevar a cabo una filtración y el criterio para la selección de dicho equipo en base a las condiciones y requerimientos de operación de cada proceso en particular.

- Construcción de un equipo de laboratorio que permita llevar a cabo pruebas experimentales para confirmar los aspectos teóricos presentados.

2. GENERALIDADES DE FILTRACION

2. GENERALIDADES DE FILTRACION

2.1 Definición

La operación de filtración dentro del proceso de las separaciones mecánicas referida a sistemas sólido-líquido consiste en la separación de los sólidos suspendidos en el líquido haciendo pasar la suspensión o " lechada " a través de un medio poroso, el cual permite el paso del líquido y retiene las partículas de sólidos.

Este proceso se lleva a cabo gracias al gradiente de presión que existe a través del medio poroso o " Medio filtrante ". Este gradiente de presión puede ser debido a la fuerza de gravedad (carga hidrostática), el vacío formado después del medio filtrante o a la presión aplicada antes del medio filtrante.

El filtro es el dispositivo en el que está contenido el medio filtrante y por el que pasa la suspensión y en el que se acumulan los sólidos.

2.2 Clasificación de los Procesos de Filtración

1) Por el mecanismo de filtración

a) Filtración de Medio Filtrante

Es el tipo de filtración en el que las partículas de sólidos son detenidas por el medio filtrante. En este sentido, se puede considerar que el filtro está actuando como un tamiz en el que las partículas mayores que el tamaño de poro del tamiz quedan atrapadas en él y las menores pasan a través de él. Este mecanismo relativamente poco común es usualmente relacionado con el cribado de partículas grandes, sin embargo aplica a la retención de partículas muy finas en filtros de membrana (ultrafiltración) y en filtros de telas metálicas.

b) Filtración de Profundidad

El proceso de separación ocurre en el interior del medio filtrante, y no solo en la superficie como el caso anterior, y existe la retención de partículas mucho más pequeñas que el tamaño de los poros del medio filtrante.

Un filtro de profundidad se construye tomando en cuenta que debe existir un incremento en la retención de partículas conforme el flujo va de la parte superior del filtro hacia la parte inferior del filtro, en base a esto existen diferentes tamaños de poro a lo largo del filtro en donde los poros más finos se encuentran en la parte inferior del filtro. De esta manera las partículas más grandes son retenidas primero, después partículas de menor tamaño y así sucesivamente hasta la retención de las partículas más finas en las partes más profundas del filtro.

Conforme el filtro se carga con partículas de sólidos, la resistencia a la filtración se incrementa hasta que eventualmente el proceso de filtración se detiene y el filtro tiene que ser reemplazado o limpiado.

La filtración de profundidad puede ser llevada a cabo en un lecho de material granuloso o a través de un sólido poroso, como ejemplos tenemos los filtros de arena, los filtros de precapa formados por una capa de tierra de diatoméas o material similar montados sobre un soporte.

Debido a la carga de sólidos que pueden tolerar antes de que ocurra, un bloqueo, los filtros de medio y los filtros de profundidad son adecuados solo para la remoción de bajas cantidades de sólidos suspendidos.

c) Filtración de torta

En este tipo de filtración el material sólido se acumula sobre la superficie del medio filtrante, y después de un periodo inicial corto, la filtración es a través de la cama de sólidos depositados o torta. Este proceso continua hasta que la caída de presión a través de la torta excede el máximo permitida por razones de tipo económico o técnico o hasta que se agote el espacio disponible en el filtro. Este método de filtración es el más usado en la industria de proceso y es muy adecuado para la filtración de suspensiones concentradas en las que se necesita separar una gran cantidad de sólidos. El factor más importante en la filtración de torta es la permeabilidad o resistencia de la torta a la filtración y este factor puede ser controlado en mayor o menor grado, alterando la distribución del tamaño de partículas del material, adicionando otro sólido al material o alterando el estado de agregación de los sólidos.

Puede hacerse otra clasificación del proceso de filtración tomando en cuenta:

2) La relación a la fuerza directriz:

- a) Filtración por gravedad.- Es cuando el filtrado fluye a través del medio filtrante como consecuencia de la atracción gravitacional sobre éste.
- b) Filtración a Presión.- Fluye el filtrado al aplicar una presión superior a la atmosférica antes del medio filtrante.
- c) Filtración a vacío.- Fluye el filtrado al aplicar una presión menor a la atmosférica después del medio filtrante.
- d) Filtración centrífuga.- El filtrado pasa a través del medio filtrante al actuar una fuerza centrífuga a través del medio.

3) En relación al ciclo operacional

- a) Filtración intermitente (Batch o por lotes)
- b) Filtración continua

4) De acuerdo a la función, se considera la importancia de los productos de la filtración.

- a) Filtración de recuperación de torta
- b) Filtración de recuperación de filtrado
- c) Filtración de recuperación de ambos productos

5) De acuerdo a la naturaleza de los sólidos

- a) Filtración de torta compresible (sólidos deformables)
- b) Filtración de torta incompresible (sólidos rígidos)

Estas formas de clasificar los distintos mecanismos con los que se puede llevar a cabo una filtración no se excluyen mutuamente, sino que por el contrario, pueden presentarse en forma simultánea o sucesiva. Así por ejemplo, se puede considerar primeramente si la filtración será de torta o de profundidad, a continuación que tipo de fuerza impulsora se empleará y por último si se efectuará una filtración por lotes o continua. También puede darse el caso de que antes de que ocurra una filtración de torta primeramente ocurra una filtración de medio filtrante o que ocurra primero una filtración de profundidad hasta que el tamaño de poros se reduzca tanto que de lugar a una filtración de medio filtrante y subsecuentemente filtración de torta.

2.3 Teoría de Filtración

El presente trabajo desarrolla la teoría correspondiente a la filtración a presión con formación de torta en procesos intermitentes en sistemas sólido-líquido.

A pesar de que en años recientes ha habido considerables avances en el desarrollo de la teoría de filtración, no se ha alcanzado a tener el conocimiento suficiente para diseñar un filtro a partir de una ecuación básica, sino que primero se tienen que realizar experimentos a nivel laboratorio o planta piloto con el fin de determinar ciertas constantes relacionadas con el proceso de filtración (área total de filtración, resistencia o permeabilidad de la torta, resistencia del medio filtrante, coeficiente de compresibilidad, resistividad de la torta) que junto con la teoría de filtración permiten el diseño del sistema de filtrado y además buscar las condiciones óptimas de operación, así como predecir el efecto de los cambios en las condiciones de operación.

Los experimentos en filtración están diseñados, por lo dicho anteriormente, para obtener, las constantes de filtración tanto del material a ser filtrado como del material utilizado para filtrar. Y así utilizar estas constantes para calcular factores de diseño tales como: 1) El área de filtración requerida para una capacidad dada de operación a una determinada caída de presión 2) El tiempo requerido de lavado 3) El espesor óptimo de la torta para una capacidad máxima global tomando en cuenta el tiempo requerido para la filtración, el lavado y limpiado del filtro y 4) El espesor óptimo de la torta para un costo total mínimo de filtración.

Las constantes de filtración pueden ser determinadas por 1) Filtración a presión constante 2) Filtración a flujo constante de filtrado 3) Pasando agua a través de un

lecho o torta de sólidos 4) Filtración a presión constante-gradiente de tiempo, en la cual la presión es aumentada en iguales y pequeños incrementos a iguales intervalos de tiempo y 5) Filtración a presión constante-gradiente de volumen, en la cual la presión es aumentada en forma proporcional al haber incrementos iguales de volumen y 6) Filtración a volumen constante-gradiente de tiempo.

Los métodos más usados utilizados para determinar constantes de filtración son la filtración a presión y velocidad constante, y el paso de agua a través de la torta o medio filtrante. Los métodos restantes son más difíciles de controlar y por lo mismo han encontrado poco uso.

En el siguiente apartado se desarrolla la teoría correspondiente a la filtración a presión y velocidad constante, en un proceso intermitente.

2.3.1 Desarrollo Teórico

Historicamente la teoría de la filtración toma un papel importante con los trabajos de Poiseuille, que describen el flujo de fluidos a través de vasos capilares con la ecuación

$$V = P \pi r^4 / 8 \mu l$$

en donde:

(V) volumen de líquido, (P) caída de presión en los capilares, (r) radio de los capilares, (μ) coeficiente de viscosidad y (l) longitud del capilar.

Sin embargo esta ecuación no funciona para relacionar los datos de los procesos de filtración, pero tiene importancia real al predecir el efecto que la disminución del tamaño de los capilares, o tamaño de poro, podría tener en la resistencia a la filtración. En tanto que d'Arcy propone la relación adecuada de las variables en el proceso de filtración de agua a través de lechos porosos

$$u = k P / L$$

en donde:

(u) velocidad superficial, (k) constante que depende de la permeabilidad del lecho y (L) grosor del lecho.

Introduciendo el efecto que se produce en el flujo provocado por el coeficiente de viscosidad, anteriormente presentado por Poiseuille, se obtiene la ecuación de d'Arcy modificada

$$q = dV/d\theta = k' A P / \mu L$$

en donde:

(q) relación de flujo $dV/d\theta$, (θ) tiempo de filtración, (A) sección transversal al flujo, (k') coeficiente de permeabilidad en d'Arcies y (L) grosor de la torta.

k' es definido como la facilidad con la cual un líquido pasa a través de un lecho poroso y definiendo la resistencia a la filtración, $R = 1 / k'$, como la dificultad con la que pasa el líquido a través del lecho poroso.

A los trabajos de Poiseuille y d'Arcy la mayor parte del trabajo relacionado con la teoría de filtración fue de naturaleza empírica y junto con las investigaciones realizadas por Sperry se llega a la ecuación básica del flujo de fluidos a través de un medio filtrante y de la torta de sólidos formada como resultado del proceso de filtración (filtración de torta):

$$\frac{dV}{A d\theta} = \frac{P}{\mu(R_T + R_m)} = \frac{P}{\mu R} \quad (1)$$

en donde:

(P) caída de presión, (A) área transversal de flujo, (dV/dθ) relación de flujo, (θ) tiempo de filtración, (μ) coef. de viscosidad, (R_T) resistencia al flujo ofrecida por la torta de sólidos y (R_m) resistencia al flujo ofrecida por el medio filtrante.

La expresión anterior es del tipo empírica y para determinar las constantes involucradas se necesita partir de datos experimentales. Sin embargo, existe una expresión conocida como la ecuación de Kozeny-Carman, que se utiliza cuando no existen datos experimentales.

Esta ecuación parte del hecho de que el flujo a través de un lecho poroso está gobernado por las fuerzas de fricción presentadas por las superficies de las partículas con el líquido. El lecho es considerado como un pasaje simple cuya medida corresponde al volumen y superficie de los espacios vacíos en el lecho. La superficie por unidad de volumen de espacio de poro es

$$S / \epsilon = S_0 (1 - \epsilon) / \epsilon$$

en donde:

(S) superficie por unidad de volumen de lecho, (ε) porosidad o fracción vacía y (S₀) superficie específica de las partículas, donde S/ε se relaciona con dV/dθ de la siguiente manera

$$\text{Ec. de Kozeny-Carman} \quad u = \frac{dV}{A d\theta} = \frac{\epsilon^3 P g}{(1-\epsilon)^2 k S_0^2 \mu L}$$

donde k es la constante de Kozeny.

Y comparando esta ecuación con la ecuación (1)

$$\text{donde} \quad 1 / R = K / L = \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2 k S_0^2} \quad (2)$$

$$dV / A d\theta = K P g / \mu L$$

en donde:

(dV/dθ) velocidad de flujo, (θ) tiempo de filtración, (A) área transversal de flujo, (V) volumen de filtrado, (K) coeficiente de permeabilidad, (P) caída de presión, (μ) coef. de viscosidad, (L) espesor del lecho y (R) resistencia ofrecida por el lecho (torta y medio filtrante) al flujo.

Si hacemos $k/L = 1/R$

la ecuación (2) se iguala a la ecuación (1):

$$\frac{dV}{A d\theta} = \frac{P}{\mu R} = \frac{P}{\mu (R_T + R_m)}$$

La ecuación desarrollada por Kozeny-Carman define la resistencia a la filtración en términos de las propiedades de las partículas mismas, independientemente de cualquier experimento de filtración, por lo mismo esta ecuación en la práctica no es muy usada. La ecuación de mayor aplicación en ingeniería química para predecir y monitorear el proceso de filtración en la planta y para dar un estudio preliminar de diseño es la ecuación de origen empírico, con base a esto las ecuaciones aquí desarrolladas tendrán como punto de partida la ecuación (1)

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A P}{\mu (R_T + R_m)} \quad (1)$$

en donde:

$dV/d\theta$	Velocidad de flujo
θ	Tiempo de filtración
A	Area transversal de flujo
P	Caída de presión
R_T	Resistencia de la torta
R_m	Resistencia del medio
μ	Coefficiente de viscosidad

Partiendo de la ecuación (1), como medida de la resistencia a la filtración se utiliza el volumen o peso de filtrado formado. Sin embargo, no se debe olvidar que la resistencia depende fundamentalmente del volumen de espacios vacíos o porosidad (ϵ) y del grueso de la capa de material depositado sobre el medio filtrante. La justificación para utilizar el volumen o peso de filtrado como medida de la resistencia al flujo parte del hecho de que, aunque el volumen de espacios vacíos varía grandemente a lo largo del lecho poroso, el volumen de espacios vacíos promedio

permanece casi constante e independiente del grosor de la torta depositada. Debido a esto la resistencia total del lecho deberá mantener una relación constante del grosor de la torta y del peso de sólidos depositados. Sin embargo, resulta difícil medir el grosor de la torta con exactitud y aun en muchos casos resulta imposible observar su velocidad de formación, por lo que se asume que iguales volúmenes de lechada depositan igual cantidad de sólidos o que iguales volúmenes de filtrado depositaron igual cantidad de sólidos en el lecho poroso. A pesar de que el volumen de filtrado no es una medida directa de la resistencia, la determinación de la cantidad de filtrado es relativamente sencilla y su relación con la resistencia al flujo ha dado resultados satisfactorios.

De lo anterior, si expresamos la resistencia de la torta como

$$R_T = c l \quad (3)$$

donde c es una constante de proporcionalidad y l el grosor de la torta de sólidos depositados al tiempo θ . Y expresando la resistencia del medio filtrante R_m en términos de un grosor ficticio de torta formado con una resistencia igual a la del medio filtrante. De este modo

$$R_m = c l_f \quad (4)$$

Designando ω como los gramos de sólidos de torta seca por unidad de volumen de filtrado, ρ_c como la densidad de la torta expresada en gramos de sólidos de torta seca por unidad de volumen de torta húmeda y V_f como el volumen ficticio de filtrado por unidad de área de filtración necesaria para almacenar una torta de espesor l_f , de donde el grosor de torta total es

$$l + l_f = \frac{\omega(V + A V_f)}{\rho_c A} \quad (5)$$

sustituyendo las ecuaciones (3) y (4) en la ecuación (1):

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A P}{c \mu (l + l_f)} \quad (6)$$

Sustituyendo la ecuación (5) en la ecuación anterior

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A P}{\frac{\omega c}{\rho_c A} (V + A V_f) \mu} \quad (7)$$

definiendo $c/\rho c$ como α , la resistencia específica de la torta, tenemos:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A^2 P}{\alpha \omega (V + A V F) \mu} \quad (8)$$

Puesto que la resistencia ofrecida por la torta de sólidos depende de los espacios vacíos, del grosor de la torta y, según la ecuación de Kozeny-Carman, de la superficie específica de las partículas, y a su vez estos factores dependen de la diferencia de presión en el filtro, la resistencia específica de la torta es también una función de ésta diferencia de presiones. Sin embargo no es conveniente, ni práctico medir la caída de presión a lo largo de la torta de sólidos, por lo que para los cálculos se considera la caída total de presión a través del filtro, debido a esto se habla de una resistencia específica promedio.

Se ha encontrado una ecuación del tipo empírico que relaciona la resistencia específica con la caída total de presión de la siguiente manera:

$$\alpha = \alpha_0 + \gamma P^n$$

donde α_0 , γ y n son constantes y P la caída total de presión a lo largo del filtro. Para poder predecir de forma óptima el proceso de filtración a nivel industrial se debe trabajar en el laboratorio o planta piloto con la misma lechada con la que se va a trabajar a nivel industrial.

Ahora hay que distinguir entre lechos de partículas compresibles e incompresibles. Aquellos lechos de partículas en los que α_0 y c no se ven afectados por la presión, α permanece constante y se dice que son lechos de partículas incompresibles, pero cuando α es altamente dependiente de la presión se dice que es un lecho de partículas compresibles.

α_0 se aproxima a cero para partículas compresibles por lo que la expresión para α se transforma en

$$\alpha = \gamma P^n \quad (9)$$

donde (n) es el coeficiente de compresibilidad y (γ) es la resistividad de la torta.

Si se trata de partículas incompresibles se tiene que usar la expresión completa de α , pero en la práctica se ha visto que no existen dichos materiales incompresibles y que el uso de la ecuación (9), a parte de simplificar los cálculos ha dado buenos resultados. Para materiales altamente compresibles el valor de n está cerca de 0.80, para materiales de mediana compresibilidad n tiene un valor cerca de 0.50 y conforme el grado de compresibilidad disminuye n tiende a cero.

Sustituyendo la ecuación (9) en la ecuación (8) tenemos:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A^2 (P - \rho c)^{1-n}}{\gamma \omega \mu (V + A V_f)} \quad (10)$$

en donde:

A	area de filtración, m ²
P	caída de presión en el filtro, kg/m ²
dV/dθ	velocidad de filtración, m ³ /s
α	resistencia específica de la torta
γ	resistividad de la torta
n	coeficiente de compresibilidad
ω	peso de torta seca por volumen de filtrado, kg/m ³
μ	coeficiente de viscosidad, kg/m s
V	volumen de filtrado, m ³
Vf	volumen ficticio de filtrado por unidad de área filtrante, m ³ /m ²
gc	9.8 kg m/kg s ²

A partir de la ecuación (10) se deducen las ecuaciones para filtración a presión y velocidad constante.

2.3.2 Filtración a Presión Constante

Partiendo de la ecuación (10) y considerando que en la filtración a presión constante $\gamma, \omega, \mu, V_f, A$ y P permanecen constantes con el cambio de volumen de filtrado V , la ecuación anterior se puede integrar de $\theta=0$ y $V=0$ a $\theta=\theta$ y $V=V$

$$\frac{A^2(P \text{ gc})^{1-n}}{\gamma \omega \mu} \int_0^\theta d\theta = \int_0^V (V+AV_f) dV$$

resolviendo la integral

$$\frac{A^2(P \text{ gc})^{1-n}\theta}{\gamma \omega \mu} = \frac{V^2}{2} + AV_fV \quad (11)$$

rearrreglando la ecuación (11) para dar

$$\frac{\theta P \text{ gc}}{V / A} = \frac{\gamma \omega \mu (P \text{ gc})^n V}{2} + \gamma \omega \mu V_f (P \text{ gc})^n \quad (12)$$

en donde la ecuación (12) es la ecuación básica de filtración a presión constante.

Grificando $P\theta/(V/A)$ vs. V/A se obtiene una línea recta con una pendiente igual a $\gamma \omega \mu (P \text{ gc})^n/2$ y una ordenada al origen de $\gamma \omega \mu V_f (P \text{ gc})^n$.

Para la determinación de γ, n y V_f se tienen que realizar pruebas a tres o más caídas de presión y resolver las ecuaciones (11) y (12) simultáneamente.

También se pueden determinar graficando la expresión para la pendiente y para la ordenada al origen en forma logarítmica como función de la caída de presión de la siguiente forma

$$\log m = n \log P + \log \gamma \omega \mu / 2 \quad (13)$$

$$\log b = n \log P + \log \gamma \omega \mu V_f \quad (14)$$

donde m es la pendiente y b es la ordenada al origen.

Bustituyendo estos valores de γ , n y V_f en la ecuación (11) o (12) se cuenta con una ecuación que relaciona la caída de presión, el tiempo de filtración, el volumen de filtrado y el área de filtración para un proceso a presión constante.

La determinación de las constantes debe hacerse en el rango de presiones en el que se piensa operar el proceso a nivel industrial.

2.3.3 Filtración a Velocidad Constante

Partiendo de la ecuación (10), en una filtración a velocidad constante $dV/d\theta$ es una relación constante e igual a V/θ y la ecuación (10) se puede escribir de la siguiente manera

$$v = \frac{V}{\theta} = \frac{A^2 (P_{gc})^{1-n}}{\gamma \omega \mu (V + A V_f)} \quad (15)$$

rearrreglando la ecuación (15) para dar

$$P_{gc} = \frac{v \gamma \omega \mu (P_{gc})^n}{A^2} V + \frac{v \gamma \omega \mu (P_{gc})^n}{A} V_f \quad (16)$$

Para determinar las constantes de filtración se recomienda hacer varias pruebas para simplificar el procedimiento de cálculo y obtener una mayor exactitud en los valores de las constantes. Para varias corridas se propone la siguiente secuencia de cálculo:

Para cada prueba se grafica P vs V en la ecuación (16) y cuando $V=0$ tenemos

$$\frac{P_e \gamma \omega \mu A}{\mu v} = \gamma \omega V_f (P_{gc})^n \quad (17)$$

donde P_e es el valor de la caída de presión cuando $V=0$.

Rearreglando la ecuación (16) en la forma de

$$\gamma \omega (P_{gc})^n = \left[\frac{A (P_{gc})}{\mu v} - \gamma \omega V_f (P_{gc})^n \right] \frac{A}{V} \quad (18)$$

Para cada prueba se calcula $\gamma \omega V_f (P_{gc})^n$ en $V=0$ con la ecuación (17) y se grafica contra P_e en forma logarítmica de la siguiente manera

$$\log \gamma \omega V_f + n \log P_e = \log P_e \quad (19)$$

dando una línea recta de pendiente igual a n y con ordenada en $P_e=1$ de $\log \gamma \omega V_f$.

Para cada prueba se calcula $\gamma \omega (P_{gc})^n$ de la ecuación (18) y estos valores se grafican contra la caída de presión P en forma logarítmica, que da una línea recta de pendiente n y ordenada en $P=1$ de $\log \gamma \omega$.

$$\log \gamma \omega + n \log P_{gc} = \log \left[\left(\frac{A P_{gc}}{\mu v} - \gamma \omega V_f (P_{gc})^n \right) \frac{A}{V} \right] \quad (20)$$

Con la ecuación (19) y la ecuación (20) se determina γ y V_f .

Con las constantes así determinadas sustituidas en la ecuación (16) tenemos una ecuación que relaciona la caída de presión, tiempo de filtración, volumen de filtrado y área de filtración para un proceso de filtración a velocidad constante.

2.3.4 Lavado de la Torta

El lavado de la torta se hace, por lo general, en el mismo filtro, haciendo pasar el líquido de lavado a través de la torta obtenida. El lavado se realiza a presión y velocidad constante. Dependiendo del tipo de filtro el líquido de lavado puede pasar a través de la torta siguiendo el mismo camino que ha seguido el filtrado o seguir un camino diferente. Para el caso de los filtros de platos y marcos, el líquido no sigue el mismo camino a través de la torta que seguía el líquido filtrado en el periodo de filtración.

El líquido de lavado pasa a través del espesor total de la torta, mientras que el filtrado final ha atravesado solo la mitad de la torta. Para estos filtros el líquido de lavado pasa a través de la mitad del área de filtración utilizada, bajo estas condiciones la velocidad de lavado es la cuarta parte de la velocidad final de filtración.

La velocidad de lavado se expresa en función de la velocidad final de filtración, considerando que las propiedades físicas del líquido de lavado sean las mismas que las del filtrado.

Para los filtros en los que el líquido de lavado sigue el mismo camino que ha seguido el filtrado y sabiendo que la velocidad final de filtración viene dada por la ecuación (10), tenemos:

$$\left(\frac{dV}{d\theta} \right)_{\text{lavado}} = \left(\frac{dV}{d\theta} \right)_{\text{final}} = \frac{A^2 (P_{gc})^{1-n}}{\gamma \omega \mu (V + A V_f)} \quad (21)$$

y para filtros de placas y marcos:

$$\left(\frac{dV}{d\theta} \right)_{\text{lavado}} = \frac{1}{4} \left(\frac{dV}{d\theta} \right)_{\text{final}} \quad (22)$$

Haciendo general las ecuaciones (21) y (22):

$$\left(\frac{dV}{d\theta} \right)_{\text{lavado}} = \left(\frac{dV}{d\theta} \right)_{\text{final}} * \frac{1}{m} \quad (23)$$

donde $m = 1$ para otros filtros
 $m = 4$ para filtros de placas y marcos

Tiempo de lavado

$$\theta_{\text{lavado}} = V_{\text{lavado}} / (dV/d\theta)_{\text{lavado}}$$

Puesto que el lavado se realiza a presión y velocidad constante, podemos fijar una velocidad de lavado y obtener una caída de presión constante o fijar una caída de presión de lavado y obtener una velocidad de lavado constante.

Tiempo de lavado a velocidad constante.

Si fijamos la velocidad de lavado como $(dV/d\theta)_{\text{lavado}} = v_j^V$ el tiempo de lavado será

$$\theta_{\text{lavado}} = \frac{V_{\text{lavado}}}{v_j^V} \quad (24)$$

Y la correspondiente caída estará dada por la ecuación (23).

Tiempo de lavado a presión constante

Si fijamos la presión de lavado, la velocidad de lavado vendrá dada por la integración de la ecuación (23)

$$\left(\frac{v}{\theta} \right)_{\text{lavado}} = v_j^P = \frac{A^2 (P \text{ gc})^{1-n}}{m \gamma \omega \mu (V + A V^2)} \quad (25)$$

y el tiempo de lavado vendrá dado por

$$\theta_{\text{lavado}} = \frac{V_{\text{lavado}}}{v_f^p} \quad (26)$$

Para poder encontrar el tiempo en las ecuaciones (24) y (26) necesitamos fijar el volumen de lavado. El volumen de lavado generalmente es igual al volumen de filtrado colectado o igual a una fracción de éste.

2.3.5 Capacidad de filtración

Es la relación que existe entre la cantidad de volumen a filtrar y el tiempo total del ciclo de filtración

$$C = \frac{V}{\theta_{\text{ciclo}}} \quad (27)$$

en donde el tiempo total del ciclo de filtración θ es la suma del tiempo de filtrado, del tiempo de lavado y del tiempo necesario para cargar, descargar y limpiar el filtro.

2.3.6 Optimización del Ciclo de Filtración

Producción Máxima

Se entiende por producción máxima la obtención de la mayor cantidad de volumen de filtrado en el menor tiempo posible. La producción máxima se obtiene al diferenciar la ecuación (27) con respecto a V e igualando a cero.

$$\text{Producción Máxima} \quad \frac{dC}{dV} = 0 \quad (28)$$

el tiempo total del ciclo es

$$\theta_t = \theta_f + \theta_l + \theta_m \quad (29)$$

- θ_f tiempo de filtración
- θ_l tiempo de lavado
- θ_a tiempo muerto necesario para cargar, descargar y limpiar el filtro

El tiempo de filtración θ_f :

-cuando la filtración se realiza a velocidad constante, $dV/d\theta$ de la ecuación (10) es igual a $v = V/\theta$ de donde el tiempo necesario para filtrar un volumen total de filtrado es:

$$\theta_f^v = \frac{V}{v} \quad (30)$$

-cuando la filtración se realiza a presión constante, la ecuación (11) se puede escribir en la siguiente forma

$$\theta_f^p = \frac{\gamma \omega \mu}{2 A^2 (P \text{ gc})^{1-n}} V^2 + \frac{\gamma \omega \mu V_f}{A (P \text{ gc})^{1-n}} V \quad (31)$$

$$K_1^p = \gamma \omega \mu / 2 A^2 (P \text{ gc})^{1-n} \quad (32)$$

$$\gamma \quad K_2^p = \gamma \omega \mu V_f / A (P \text{ gc})^{1-n} \quad (33)$$

$$\theta_f^p = K_1^p V^2 + K_2^p V \quad (34)$$

El tiempo de lavado

-si el lavado se realiza a velocidad constante el tiempo de lavado lo da la ecuación (24) y si el lavado se realiza a presión constante el tiempo de lavado lo da la ecuación (26).

Rearreglando la ecuación (26) en la forma de la ecuación (34), tenemos

$$\theta_l = v_{\text{lavado}} m (K_3^p V + K_2^p) \quad (35)$$

m es un constante que depende del tipo de filtro

$$K_3^p = \gamma \omega \mu / A^2 (P \text{ gc})^{1-n}$$

$$K_2^P = \gamma \omega \mu V_f / A(P_{gc})^{1-n}$$

Si la presión de lavado es igual a la presión de filtración entonces

$$K_3^P = 2 K_1^F$$

Como ya se dijo el volumen de lavado puede ser igual al volumen de filtrado o a una fracción de este

$$V_1 = b V \quad \text{o} \quad V_1 = V \quad \text{donde } b \text{ es una fracción}$$

De lo anterior podemos decir que el proceso de filtración puede llevarse a cabo de las siguientes formas:

a) Filtración a presión constante con lavado a presión y velocidad constante con volumen de líquido de lavado V .

b) Filtración a presión constante y lavado a presión y velocidad constante con volumen de líquido de lavado igual a una fracción del volumen total del filtrado, bV .

c) Filtración a velocidad constante con lavado a presión y velocidad constante y volumen de líquido de lavado V .

d) Filtración a velocidad constante con lavado a presión y velocidad constante y volumen de líquido de lavado igual a una fracción del volumen total de filtrado, bV .

Para hacer el análisis de máxima producción se consideran los casos a y b mencionados en los párrafos anteriores.

Para el caso a, considerando que

$$P_{\text{filt}} = P_{\text{lavado}}$$

y sustituyendo las ecuaciones (29), (34) y (35) en la ecuación (27) tenemos:

$$C = \frac{V}{K_1^P V^2 + (K_2^P + V_1 m 2K_1^P)V + V_1 K_2^P m + \theta_m} \quad (36)$$

La máxima producción se obtiene diferenciando la ecuación (36) con respecto a V e igualando a cero, lo que da como resultado

$$V_{op} = \sqrt{(V_1 m K_2^P + \theta_m) / K_1^P} \quad (37)$$

donde V_{op} es el volumen óptimo o máximo de filtrado obtenido. Si sustituimos el volumen óptimo de filtrado en la ecuación (34) obtenemos el tiempo óptimo de filtrado

$$\theta_{fop} = K_1^P V_{op}^2 + K_2^P V_{op} \quad (38)$$

Y el tiempo óptimo del ciclo de filtración es

$$\theta_{top} = K_1^P V_{op}^2 + K_2^P V_{op} + V_1 m (2K_1^P V_{op} + K_2^P) + \theta_m \quad (39)$$

Para el caso b considerando

$$P_{filt} = P_{lavado} \quad \text{Y} \quad V_{lavado} = b V$$

la ecuación (35) se transforma en

$$\theta_1 = 2 b m K_1^P V^2 + b m K_2^P V \quad (40)$$

Sustituyendo la ecuación (29), (34) y (40) en la ecuación (27) y diferenciando esta con respecto a V e igualando a cero, tenemos

$$V_{op} = \sqrt{\theta_m / K_1^P (1+2bm)} \quad (41)$$

en donde θ_{fop} viene dado al sustituir la ecuación (41) en la ecuación (34) y el θ_{top} al sustituir la ecuación anterior resultante para θ_{fop} y la ecuación (40) en la ecuación (29).

Costo total mínimo anual

Generalmente en el proceso de filtración se fija el volumen de filtrado que se desea obtener por año, en base a esto el costo total mínimo por año es función de determinar el área óptima de filtración para obtener el volumen deseado con el mínimo costo.

Para este análisis se considera el caso b tomando en cuenta que el costo total anual de filtración es la suma del costo fijo del filtro y el costo de operación del ciclo de operación.

$$C_T = C_{fijo} + C_{Ope}$$

$$C_{fijo} = A C_A K_F$$

A = área requerida de filtración

C_A = costo unitario de filtro por unidad de área

K_F = fracc. del costo inicial por depreciación

$$C_{ope} = \frac{V_A}{V} \left[(\theta_f + \theta_1) C_o + C_m \theta_m \right]$$

$$\frac{V_A}{V}$$

= Número de ciclos de filtración por año

V_A = volumen de filtrado por año

V = volumen de filtrado por ciclo

C_o = costo unitario de operación durante el periodo de operación y lavado en \$/h

C_m = costo unitario durante el periodo de lavado, cargado y descargado del filtro en \$/h

De lo anterior

$$C_T = C_A K_F A + \frac{V_A}{V} \left[(\theta_f + \theta_1) C_0 + C_m \theta_m \right] \quad (42)$$

Puesto que necesitamos determinar el área óptima de filtración, el tiempo de filtración en función del área lo obtenemos de la ecuación (11)

$$\theta_f = K_1^* (V/A)^2 + K_2^* (V/A) \quad (43)$$

$$K_1^* = K_1^P A^2 \quad \text{y} \quad K_2^* = K_2^P A$$

diferenciando y reorganizando la ecuación (43)

$$\frac{dV}{d\theta_f} = \frac{A^2}{2K_1^* V + K_2^* A}$$

y la velocidad de lavado a partir de la ecuación (23) es

$$v_1 = \frac{dV}{m d\theta_f} = \frac{A^2}{m(2K_1^* V + K_2^* A)}$$

y el tiempo de lavado a partir de la ecuación (26)

$$\theta_1 = \frac{b V m (2K_1^* V + K_2^* A)}{A^2} \quad (44)$$

con las ecuaciones (43) y (44) sustituidas en la ecuación (29), despejamos el área de filtración:

$$A^2 - \frac{K_2' V(1+bm)}{\theta_t - \theta_m} A - \frac{K_1' V^2(1-2bm)}{\theta_t - \theta_m} = 0 \quad (45)$$

Estando fijas las horas/año de operación del ciclo, en donde H =horas/año, el número de ciclos por año también estará dado por

$$N = \frac{H}{\theta_t} = \frac{V_A}{V}$$

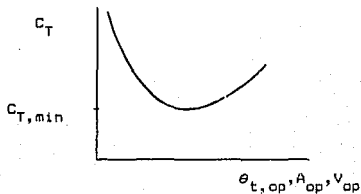
de donde

$$V = V_A \theta_t / H \quad (46)$$

y así para determinar el área óptima de filtración, dar un volumen óptimo de filtrado por ciclo y costo total mínimo anual se sigue el siguiente método gráfico:

- 1) Asumir un valor de θ_t y calcular V de la ecuación (46)
- 2) Calcular A de la ecuación (45)
- 3) Calcular θ_f de la ecuación (43)
- 4) Calcular θ_1 de la ecuación (44)
- 5) Calcular C_T de la ecuación (42)

Para cada valor de θ_t se tiene un valor de C_T en donde



GRAFICA 2.3

Para el caso en el que la resistencia del medio es despreciable, $K_2' = 0$ y se puede obtener el C_T mínimo anual en forma analítica.

Considerando de nuevo el caso b:

$$\theta_f = K_1' V^2 / A^2 \quad (47)$$

$$\theta_1 = b V m (2K_1' V) / A^2 \quad (48)$$

$$\theta_t = K_1' V^2 (1 + 2mb) / A^2 + \theta_m \quad (49)$$

$$A = \frac{V_A \theta_t}{H} \sqrt{K_1' (1 + 2mb) / (\theta_t - \theta_m)} \quad (50)$$

el costo total lo da la ecuación (42)

$$C_T = \frac{H}{\theta_t} \left[(\theta_t - \theta_m) C_o + C_m \theta_m \right] + C_A K_F V_A \theta_t \sqrt{K_1' (1 + 2mb) / H^2 (\theta_t - \theta_m)} \quad (51)$$

diferenciando la ecuación (51) con respecto al tiempo total de filtración e igualando a cero y simplificando, tenemos

$$\frac{\theta_m (C_m - C_o) H}{\theta_{top}^2} = C_A K_F V_A (0.5 \theta_{top} - \theta_m) \sqrt{K_1' (1 + 2mb) / [H^2 (\theta_{top} - \theta_m)^3]} \quad (52)$$

en donde por ensayo y error se puede determinar el tiempo óptimo del ciclo.

2.4. El proceso de Filtración en la práctica.

Apartir de la ecuación básica del proceso de filtración, ecuación (10), se pueden estudiar los efectos mutuos que tienen las variables operacionales, dentro de los cuales podemos considerar como los más importantes los efectos de la presión, del espesor de la torta, de la viscosidad, la temperatura, del tamaño de las partículas, del medio filtrante, de la concentración de la lechada.

Del adecuado manejo de estas variables depende el diseño del sistema de filtración.

El proceso de filtración se ha estudiado ampliamente, por lo que los apartados siguientes son resultado de todos estos estudios.

2.4.1 Efecto de la presión

Partiendo de la ecuación (9) se ha observado que para la mayoría de las filtraciones industriales la compresibilidad de la torta n varía entre 0.1 para tortas incompresibles y 0.8 para tortas compresibles.

Se ha visto que en la filtración de sólidos granulares o cristalinos un aumento en la presión provoca un aumento casi proporcional de la velocidad de flujo. Por otro lado, los precipitadores floculentos o limosos tienen velocidades de filtración que solo aumentan ligeramente al aumentar la presión. Algunos materiales tienen una presión crítica por encima de la cual un incremento adicional en la presión produce una disminución en la velocidad de flujo. También se ha observado que la filtración de todas las lechadas, con excepción de las más incompresibles, es más satisfactoria cuando se hace a una presión baja en la etapa inicial de la operación, esto resulta importante cuando se filtran lechadas de bajo contenido de sólidos.

La mayoría de los filtros a presión se alimentan por medio de bombas centrifugas, y según las características de la bomba, generalmente el proceso de filtración presenta una filtración a velocidad constante en las etapas iniciales y una filtración a presión constante durante las etapas finales.

Existen bombas que presentan una descarga de presión excesiva y no funcionan ni a velocidad constante, ni a presión constante durante ninguna parte del ciclo, sino que lo hacen siempre bajo condiciones intermedias de

incrementos de presión y disminución de la velocidad de flujo.

2.4.2 Efecto del espesor de la torta

La capacidad, diseño y ciclo de operación de un filtro dependen del espesor de la torta y se ha observado en la práctica, que la elección más económica es tener un espesor apreciable de torta.

La teoría de filtración nos dice que, despreciando la resistencia del medio filtrante, la velocidad de flujo es inversamente proporcional a la cantidad de torta depositada y directamente proporcional al cuadrado del área de filtración y como consecuencia de estas relaciones se ve que la velocidad de flujo es inversamente proporcional al cuadrado del espesor de la torta, al final de la filtración.

Cuando se lava la torta, la velocidad de lavado es igual a la velocidad final de filtración, para algunos filtros es igual a una fracción de la velocidad final de filtración, si la presión de lavado es igual que la de filtración final. si el líquido de lavado tiene las mismas propiedades mecánicas que el filtrado y no interactúa con este y si no hay una redistribución de la torta. Por lo tanto, cuando se desprecia la resistencia del medio, la velocidad de lavado es inversamente proporcional al espesor de la torta. La eficiencia del lavado, expresada como la razón de líquido de lavado a los sólidos de la torta que se necesita para dar un contenido de sólidos estipulado, suele ser por lo general independiente del espesor de la torta, a condición de que el espesor sea estable.

2.4.3 Efecto de la viscosidad

El efecto de la viscosidad está dado por las ecuaciones de velocidad en donde la velocidad de flujo es inversamente proporcional a la viscosidad del filtrado en cualquier instante del proceso de filtración. Cuando se manejan fluidos muy viscosos se puede reducir la viscosidad del material prefiltrado diluyéndolo con disolventes de baja viscosidad a veces con una ganancia neta de la velocidad de filtración a pesar del mayor volumen de filtrado.

2.4.4 Efecto de la temperatura

La viscosidad de la mayoría de los líquidos disminuye al aumentar la temperatura, por esto, a mayor temperatura mayor velocidad de filtración. Los materiales

compresibles serán afectados en formas más complejas por el aumento de temperatura, pero el efecto general, es casi siempre una mayor velocidad de filtración. El costo del calentamiento y en el caso de filtración a vacío, la presión de vapor del filtrado son los límites que nos permiten saber hasta que punto se puede calentar el material prefiltrado.

2.4.5 Efecto del tamaño de partículas.

Cuando existen cambios pequeños en el tamaño de las partículas se ve afectado el coeficiente gamma de la ecuación para la resistencia de la torta, ecuación (9), y cambios mayores afectan la compresibilidad n . Cuando se trabaja con partículas muy pequeñas se tienen velocidades bajas de filtración y contenidos altos de humedad en la torta, sin embargo, a veces existe una mayor eficiencia en el lavado.

Por lo anterior es importante controlar el tamaño de la partícula en la alimentación al filtro.

Anteriormente se habló de tortas compresibles e incompresibles. Las tortas compresibles son aquellas en las que las partículas son deformadas o su estructura es rearmada por los efectos de la presión. Y las tortas en las que las partículas no son deformadas fácilmente son llamadas semicompresibles y aquellas tortas que son deformadas en un grado muy pequeño son llamadas incompresibles.

2.4.6 Efecto del tipo de medio filtrante

La importancia de este factor estriba en la capacidad del medio para retener las partículas y dejar pasar el líquido sin que exista un atascamiento que afecta la velocidad de flujo.

Las telas (medio filtrante) gruesas y rígidas tienden a atascarse con mayor facilidad que las delgadas y flexibles.

El efecto del atascamiento de la tela sobre la velocidad de filtración es tan apreciable que será con frecuencia, la causa del reemplazamiento de la tela, de lo anterior que exista la necesidad de utilizar un factor de seguridad en la predicción de las capacidades de filtración.

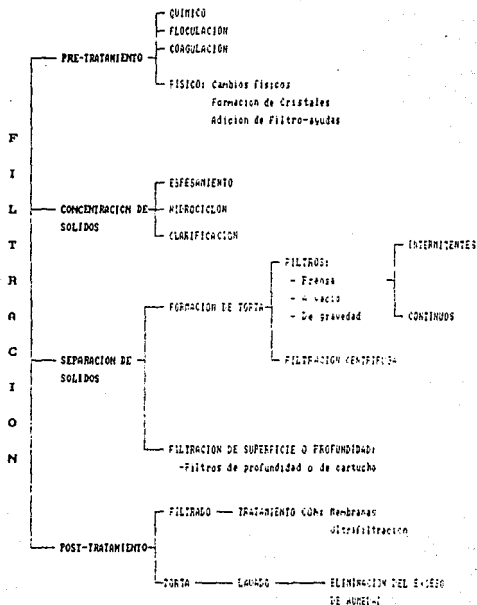
2.4.7 Aplicación práctica de la teoría de filtración

La ecuación (10) y las derivadas a partir de ella son aplicables al diseño y verificación de sistemas intermitentes de filtrado, en donde las constantes involucradas son determinadas experimentalmente. Apartir de las ecuaciones podemos estudiar las relaciones mutuas de las variables tales como A , P , V , θ , W y μ , del sistema particular de filtración de que se trate.

Para que las ecuaciones obtenidas experimentalmente, en los casos más usuales en un laboratorio o en un filtro en planta piloto, sean aplicables para predecir el comportamiento de un filtro de mayores dimensiones y capacidades, las constantes se deben determinar experimentalmente con la misma lechada, el mismo medio filtrante, las mismas filtro-ayudas, la misma caída de presión o el intervalo más aproximado de caída de presión en el que se vaya a operar el filtro y así efectuar un diseño o una predicción de las características de operación del filtro lo más exacta posible.

3. EL PROCESO DE FILTRACION EN LA INDUSTRIA

3. EL PROCESO DE FILTRACION EN LA INDUSTRIA



Cualquier diseño de un sistema de separación debe tener todas las etapas de pretratamiento, concentración de sólidos, separación de sólidos y pos-tratamiento. El pretratamiento se utiliza para alterar las propiedades de la lechada y así facilitar la filtración. En lo que toca a la concentración de sólidos, parte del líquido puede ser removido por ESPESAMIENTO o con un hidrociclón y así disminuir la carga del filtro. También es común agregar filtro-ayudas como tierra de diatomeas o perlita a la lechada y así incrementar la permeabilidad de la torta. Para remover impurezas de la torta o incrementar la recuperación de filtrado se realiza un lavado de la torta. La eliminación de líquido de la torta se realiza pasando aire a través de la torta o comprimiendo la torta de filtrado. La compresión mecánica es más adecuada para incrementar el grado de drenado en la torta.

3.1 Análisis de las operaciones de Filtración

En algunas ocasiones no es posible encontrar información en la literatura para diseñar un sistema de filtrado en procesos de separación líq-sól y es necesario recurrir a experiencias pasadas o sistemáticamente investigar las propiedades de la lechada de la cual se separará un líquido de un sólido.

A continuación se presenta una guía que permite realizar el diseño de un sistema de filtración que involucra la formación de una torta.

1. Especificación del producto
 - a) claridad del filtrado, tamaño de partícula permitido y cantidad (%) en el filtrado.
 - b) Sólidos solubles en la torta y cantidad de líquido en la torta.
 - c) Contaminación de la torta o filtrado.
2. Propiedades de la lechada y la Torta
 - a) Distribución de tamaño de partícula: estimación semicuantitativa en ausencia de datos precisos.
 - b) Fracción en volumen y peso de sólidos en la lechada y la torta.
 - c) Velocidad de crecimiento de la torta en función de la presión y velocidad de filtración.

- d) Propiedades físicas y químicas: presión de vapor, densidades, caracter corrosivo, e interacción con las filtro-ayudas.
3. Modificación de las Propiedades de la lechada
- a) Pretratamiento químico coagulación, floculación
 - b) Fragilidad de la partícula y posible degradación de las originales ó floculadas partículas por el bombeo, agitación o tratamiento mecánico.
 - c) Espesamiento
 - (1) Sedimentación
 - (2) Hidrociclón
 - d) Adición de filtro-ayudas
4. Lavado
- a) Desplazamiento
5. Eliminación del exceso de humedad
- a) Efecto de la presión de filtración en la porosidad de la torta
 - b) Efecto de la presión mecánica en la porosidad
 - c) Cambio en la dirección del flujo para afectar la disminución de la porosidad.
6. Selección del Equipo
- a) velocidades de producción
 - b) Limitaciones de las propiedades físicas o químicas
 - c) Filtros
 - d) Bombas
 - e) Medio filtrante o medio y pre-capa
 - f) Métodos de descarga
7. Análisis del ciclo de filtración
- a) Capacidad como función de variables externas: duración del ciclo, velocidad rotacional de los tambores o velocidad de la bomba, etc.
 - b) Costos como función de las variables que afectan la capacidad y la duración del ciclo.
8. Diseño y Optimización

3.2 Especificación del Producto

Como primer paso en el diseño de un sistema de filtrado está el determinar las especificaciones (tamaño de partícula) que se requieren en los productos finales. Es necesario saber que tamaño de partícula y que cantidad están permitidos en el filtrado final. Con esta información se especifica el medio filtrante o el material de precapa y se sabe si se necesita o no una etapa de pulido (purificado) con una membrana para el filtrado final.

Como ejemplos de especificaciones típicas usadas en la industria química de procesos están:

- El filtrado deberá tener determinadas unidades de turbidez (Jackson o Tyndall).
- El filtrado deberá ser puro a simple vista.
- El filtrado deberá tener una cantidad fija de sólidos suspendidos expresados como ppm.
- El filtrado deberá ser puro a temperatura ambiente a un tiempo especificado después de la filtración.

El especificar determinadas características de los productos depende en gran medida de las cuestiones económicas relacionadas con el equipo y sus características, así como de las propiedades físicas y químicas de los materiales.

3.3 Propiedades de la Lechada y la Torta

Es importante conocer la distribución del tamaño de partícula ya que el método de separación está íntimamente relacionado con las características de la partícula.

Si no se tiene un análisis preciso de la partícula, es posible obtener una noción cualitativa por medio de una prueba de sedimentación.

Un detalle importante a considerar para el diseño de un sistema de filtración es la velocidad de formación de la torta.

Si las condiciones del proceso son muy comunes, los datos principales pueden ser obtenidos a partir de un proveedor de equipo o filtro-ayudas. Si el proceso es único, la información se debe obtener a partir de muestras representativas tomadas para realizar pruebas en laboratorio y determinar la velocidad de formación de la torta junto con otros datos.

El siguiente punto a considerar es la porosidad promedio o el contenido de líquidos de la torta. Una estimación preliminar puede ser hecha en la prueba de sedimentación. Cuando las partículas se asientan la porosidad de la torta formada en el fondo del recipiente se aproxima al arreglo de las partículas obtenido en una filtración a presión muy baja. Un estimado más preciso se obtiene de una torta formada bajo presión.

3.4 Elección Inicial del Tipo de Equipo

En la primera etapa de la investigación, la elección inicial del tipo general de equipo se debe hacer en base a la velocidad de crecimiento de la torta. La selección de equipo adaptado, por un lado, a filtrar materiales rápidamente, y por otro lado, a tortas resistentes puede ser hecha por consideración de la rapidez promedio de formación. Los tipos específicos de equipos están relacionados con la velocidad de formación de torta en la tabla I. (ver apéndice)

3.5 Modificación de las propiedades de la Lechada

Las alteraciones de la lechada, tanto físicas como químicas, tienen como finalidad el mejoramiento de las características de filtración de la misma. Las alteraciones deben de ser económicas en costo y en tiempo requerido para su aplicación y relativamente simples en cuanto a la técnica empleada para su uso, todo esto sin que se deterioren las características del producto final.

Al inspeccionar la ecuación de Kozeny-Carman, la permeabilidad de la torta puede ser cambiada alterando la superficie específica de las partículas, esto depende del tamaño de la partícula, de la distribución del tamaño de partícula y de la forma de la partícula. La distribución del tamaño de partícula puede ser alterada agregando otro sólido con diferente distribución de tamaño a la suspensión a ser filtrada. Estos materiales se conocen como filtro-ayudas.

Las filtro-ayudas también se pueden utilizar para formar lo que se conoce como "Precapa" para dar la permeabilidad deseada, ya que algunas veces el medio filtrante se tapa o por el contrario deja pasar sólidos. La filtración de precapa involucra la deposición de una capa de filtro-ayuda sobre el medio filtrante antes de empezar la filtración. Los tipos de materiales usados en la formación de la precapa son similares a los usados como filtro-ayudas.

3.5.1 Filtro-ayudas

Las filtro-ayudas deben tener un tamaño y forma característica adecuados para obtener la permeabilidad deseada de la torta, debe ser químicamente inerte bajo las condiciones de operación, y debe ser económica.

- Tierra de Diatoméas

Es una de las filtro-ayudas más usadas, es producida a partir de los esqueletos de plantas acuáticas unicelulares, llamadas diatoméas, formadas en lagos y océanos hace millones de años. La gran variedad de formas que presentan los esqueletos de diatoméas es lo que permite usarlos ya sea agregándolos a la lechada o para utilizarlos como precepa y dar un alto grado de permeabilidad. La tierra de diatoméas es refinada para su uso por una combinación de trituración, cribado, secado y frecuentemente por una calcinación. La tierra de diatoméas está formada principalmente por sílice, de 85 a más de 90%, es soluble a los ácidos fuertes, y particularmente a los álcalis fuertes.

- Perlita

La perlita es una roca ígnea formada por el enfriamiento repentino de lava (o roca volcánica incandescente) por el agua. El enfriamiento repentino con agua provoca la formación de perlas que contienen agua, si la roca es triturada, cribada y calentada rápidamente hasta cierto punto el agua se vaporiza provocando la expansión de las rocas, esto es debido a que en el enfriamiento rápido que las formó adquirieron características parecidas a las del vidrio, obteniéndose unas perlas de mayores tamaños, a este material también se le da el nombre de "perlita expandida". Posteriormente la perlita expandida es triturada y clasificada en distintos tamaños para su uso posterior.

La gran cantidad de Al_2O_3 , Na_2O y K_2O encontrados en la perlita la hacen más soluble y los límites en el rango de pH en los cuales puede ser usada son de 4 a 9. Aunque su costo es similar al de las diatoméas, la perlita es más económica en su uso debido a su menor densidad con respecto a la tierra de diatoméas.

- Carbón, Celulosa y otros materiales

A pesar de que el carbón es, un material caro para utilizarlo como filtro-ayuda es de gran utilidad cuando se trata de filtración de líquidos fuertemente alcalinos, los cuales atacan la tierra de diatomáceas, la perlita y otros minerales de aluminosilicatos.

Uno de los mayores materiales usados ya sea como filtro-ayuda o como medio filtrante es el asbesto, pero su uso ha sido discontinuado porque presenta ciertos riesgos para la salud.

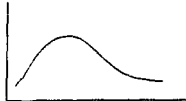
La celulosa es ampliamente usada en filtración de productos que no toleran la sílica, siendo también resistente al ataque de ácidos débiles. Es un filtro-ayuda fibroso que puede ser usado como pre-capa o puede ser mezclado con materiales minerales.

Cualquier material sólido disponible puede ser usado como una ayuda contal de que su presencia no perjudique los productos de la filtración.

Selección de Filtro-ayudas

La adición de filtro-ayudas con un tamaño menor de partículas con respecto al material a ser filtrado tenderá a bloquear los poros existentes con lo que aumentará la resistencia de la torta pero habrá un incremento en la retención de partículas más finas. Si la filtro-ayuda tiene un tamaño mucho mayor que el material a ser filtrado tendrá un efecto muy pequeño sobre la estructura de la torta. Para que la filtro-ayuda sea útil debe tener un tamaño de partícula muy parecido al del material sólido a ser filtrado. Una vez determinado el tamaño de filtro-ayuda a ser utilizado hay que determinar la cantidad a utilizar.

PERMEABILIDAD
DE LA
TORTA



GRAFICA 3.5

% FILTRO-AYUDA

Generalmente el % de filtro-ayudas con respecto a los sólidos a ser filtrados es 1 a 10%. (ver tabla 2 en el apéndice).

3.5.2 Coagulación y Floculación

Otra forma de modificar la permeabilidad de la torta es alterando el estado de agregación de las partículas, las cuales están presentes formando lo que se conoce como floculos, cada floculo consta de miles de partículas, que presentan una forma muy irregular, que al momento de formar la torta le dan una gran porosidad.

Se habla de floculación y coagulación, el término de coagulación se reserva para el fenómeno por el cual se reduce la repulsión eléctrica entre las partículas suspendidas en una solución de los iones presentes; y el término floculación es el proceso en el cual ciertos tipos de polímeros de cadenas larga, o polielectrolitos, provoca la agregación de las partículas formando puentes entre ellas.

3.5.3 Sedimentación

El proceso de sedimentación como pretratamiento para facilitar la filtración, tiene como finalidad eliminar líquido y formar una lechada con cierta cantidad de líquido que permita efectuar una filtración de torta adecuada.

La ley de Stokes muestra que la velocidad de sedimentación de las partículas es proporcional al cuadrado del radio de la partícula. Sin embargo en muchos procesos de sedimentación las partículas no se comportan en la forma descrita por Stokes, pero la fuerte dependencia de la velocidad de sedimentación con el radio de la partícula aplica y el proceso puede ser acelerado significativamente formando agregados de partículas, ya sea por coagulación o floculación, aunque, estos agregados tendrán una densidad promedio más baja que la de las partículas originales ya que los agregados de partículas sedimentan como envolturas que contienen partículas y líquido atrapado en los espacios entre ellas.

La sedimentación se utiliza cuando se trata de sólidos finos. Cuando se quiere separar sólidos relativamente muy grandes se utiliza lo que se conoce como "Clasificador".

El equipo utilizado en la sedimentación se denomina "Espesador". Para partículas con velocidades de sedimentación elevadas se utiliza un tanque sedimentador por cargas, o un cono de sedimentación continua. Por lo general se utiliza un espesador con agitación mecánica. Existen también equipos que se llaman clarificadores-

separadores, los cuales separan partículas de diferentes densidades.

También se puede aumentar la velocidad de sedimentación empleando equipos de sedimentación centrífuga, los cuales han sustituido a los sedimentadores gravitacionales por su mayor eficacia y su menor tamaño para una capacidad dada.

La determinación de las características de sedimentación de un sistema sol-liq. para poder diseñar un sistema de sedimentación a escala industrial se basa en datos obtenidos experimentalmente.

- 3.5.4 Otros.** Según lo mencionado en los apartados 2.4.3 y 2.4.4 el control de la viscosidad puede ser una manera de hacer más fácil el proceso de filtración. La velocidad de filtración es inversamente proporcional a la viscosidad del filtrado y esta a su vez es inversamente proporcional a la temperatura, entonces, ya sea aumentando la temperatura o diluyendo el material prefiltrado con solventes de menor viscosidad se puede obtener una mayor velocidad de filtración, siempre tomando en cuenta las limitaciones impuestas por las características de los materiales y las cuestiones económicas.

El pH también puede ser un factor de control en las características de la lechada ya que afecta sensiblemente a la floculación natural. También el envejecimiento de la lechada puede afectar el estado de agregación de las partículas, el tamaño de los floculos o la naturaleza misma de la lechada.

Cualquier acción cortante o friccionante sobre los sólidos floculados o sólidos blandos puede romper los floculos o las partículas y alterar la filterabilidad de la lechada. Esta acción dañina puede ser originada al bombear la lechada, o provocarse en el tanque de almacenamiento o en el filtro mismo.

3.6 Lavado y Eliminación de Exceso de Humedad

La realización del lavado, eliminación del exceso de humedad y en algunos casos la eliminación de partículas de sólidos del filtrado dependen de las características de pureza y de manejo de los productos de la filtración.

El lavado de la torta es el proceso de remoción del líquido que se encuentra en los poros de la torta haciendo fluir otro líquido a través de la torta. Se asume que la torta se encuentra saturada con el líquido de alimentación, por lo

que para eliminar este líquido únicamente por desplazamiento se necesitaría un volumen de líquido de lavado igual al volumen de poro de la torta, generalmente se necesitan 2 veces el volumen de poro de la torta para remover el 85-95% de la solución original.

Existen tres etapas en el proceso de lavado:

- 1) Desplazamiento Hidráulico: Es el simple desplazamiento del líquido residual por el líquido de lavado. Esta es la etapa de mayor eficiencia de lavado. Sin embargo, debido a la distribución de los canales de flujo dentro de la torta, al fluir más rápido el líquido de lavado en los canales grandes, existen rupturas en canales en los cuales todavía no circula líquido de lavado.
- 2) Etapa intermedia: El desplazamiento hidráulico continúa, y el líquido contenido en los canales que se taparon al haber rupturas se incorpora al líquido de lavado por mecanismos difusionales. Entonces, desplazamiento hidráulico y difusional son los que operan en esta etapa.
- 3) Etapa de Transferencia de Masa. No es posible remover todo el líquido original por desplazamiento hidráulico, algo de líquido permanece ya sea formando una película sobre las partículas sólidas o atrapado en poros, estancado. Este líquido es transferido a las corrientes de lavado por mecanismos difusionales. Esta etapa es la menos eficiente en el proceso de lavado.

Una vez efectuado el lavado se puede proceder a remover el líquido residual para disminuir el contenido de humedad de la torta. En algunos casos un simple aumento en la presión de filtración al final del ciclo del filtro es suficiente. Donde el líquido tenga que ser removido posteriormente, soplar aire, exprimir o comprimir mecánicamente puede ser muy efectivo para eliminar el líquido de la torta.

La eliminación del líquido residual tiene como propósito:

- 1) Eliminar un proceso de secado posterior o minimizar los costos de secado.
- 2) Reducir los materiales solubles o reducir el volumen de compuestos peligrosos.
- 3) Bajar los costos de transporte.
- 4) Para maximizar las utilidades de producción.

5) Facilidad en el descargado de la torta.

A continuación se presenta una clasificación de los distintos métodos para eliminar la humedad en exceso de la torta después del lavado:

1. Drenado
 - a. Soplado con aire o gas
 - b. Vacío
 - c. Centrifugación
 - d. Cinturón capilar para succión del líquido de la Torta.
 - e. Vibración
 - f. Electroosmosis
2. Métodos Hidráulicos
 - a. Filtros prensa
 - b. Lavado a contracorriente
 - c. Saturación con líquidos de alta viscosidad de la torta
3. Exprimir o comprimir mecánicamente
 - a. Frenas Hidráulicas
 - b. Membranas de compresión accionadas neumática o hidráulicamente
 - c. Compresión por rodillos o de banda
 - d. Tornillo de compresión

Hasta ahora no se tiene una relación teórica general completa para explicar el comportamiento del lavado y de los procesos de eliminación del líquido excedente, por lo que para determinar el comportamiento de estos procesos se deben hacer experimentos con los sistemas particulares en cuestión. Para el caso del lavado de la torta en filtración intermitente se sigue el procedimiento descrito en la sección 2.3.4

3.7 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo para la filtración puede ser clasificado de acuerdo a:

1. Forma en la que se deposita la partícula:
 - a) Filtros de Profundidad
 - b) Filtros de Torta
 - c) Filtros Espesadores

2. De acuerdo a la fuerza directriz:
 - a) Filtros de Gravedad
 - b) Filtros de Vacío
 - c) Filtros a Presión ya sea bomba centrífuga o de desplazamiento positivo
3. Por la continuidad de la Operación:
 - a) Continuo
 - b) Semicontinuo
 - c) Por lotes
4. Por la superficie filtrante
 - a) Móvil o estacionaria
 - b) Forma Geométrica: extendida, cilíndrica, en hojas, platos
 - c) Medio para retener torta o pre-capa.
5. Recipiente que contiene la torta y la lechada
 - a) Tanques cerrados a presión
 - b) Tanques abiertos: alimentación por el fondo a tambores y discos
 - c) Marcos
 - d) De platos intermedios
6. Post-tratamiento
 - a) Filtros para lavado
 - b) Filtros para la eliminación de líquido residual por presión hidráulica (EXPRIMIR)
7. Descarga de la torta
 - a) Descarga húmeda
 - b) Descarga seca
 - c) Filtros con descarga continua

Otros factores relacionados con las características mecánicas, tales como, canales de flujo y automatización son también utilizados para clasificar el equipo. En términos de la continuidad de operación, los filtros FVC (Presión, vacío, gravedad) pueden ser agrupados como sigue:

A. Filtros por lotes:

1. Prensa, Platos y marcos, Platos intermedios
2. De hojas, horizontal o vertical
3. Platos

4. Charolas
5. Tubular
6. Nutsche
7. De hojas a vacío

B. Filtros semicontinuos

1. De Piscina
2. De banda intermitente
3. Filtros prensa automáticos de Platos y Marcos y Platos intermedios

C. Filtros continuos

1. De tambor
2. De disco
3. De banda
4. Filtro dinámico o de torta fina.

3.7.1 Filtros por lotes

1) Filtros Prensa. (Fig. 3.1A)

Son filtros a presión, y existen dos tipos de filtros. Uno es el filtro prensa de platos y marcos que consiste de un armazón hecho de dos soportes o bases conectados por barras paralelas horizontales. Sobre las barras son ensambladas cámaras filtrantes que consisten de platos cubiertos con el medio filtrante alternados con marcos que proporcionan el espacio para la formación de la torta. Las caras de los platos tienen estrías o ranuras que permiten que el filtrado fluya más fácilmente hacia los conductos de salida.

Las cámaras filtrantes son cerradas y apretadas por un tornillo o un ariete hidráulico, el cual mantiene a los platos y marcos juntos, haciendo una empaquetadura con el medio filtrante. La lechada entra al filtro con cierta presión y llena cada cámara casi simultáneamente. La lechada pasa a través del medio filtrante, el cual retiene los sólidos. El filtrado claro es removido a través de una descarga del filtro. La torta crece hasta que los marcos están llenos y es cuando se detiene la filtración. Observar el crecimiento de la torta no es sencillo en la mayoría de los filtros, por lo que el tiempo de filtración, la disminución en la velocidad de

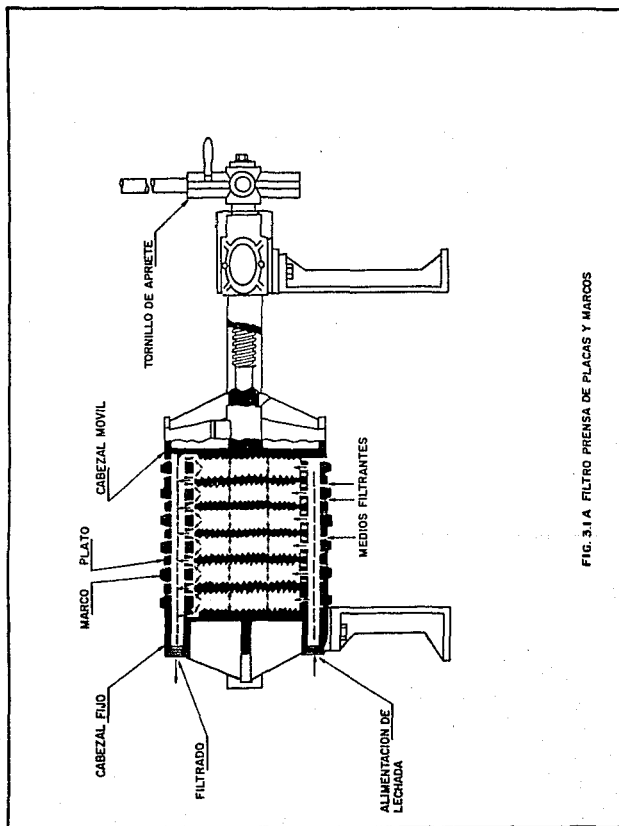


FIG. 3.1 A FILTRO PRENSA DE PLACAS Y MARCOS

alimentación o el aumento a la caída de presión dan la pauta para detener la filtración.

Una vez que los marcos están llenos se detiene la filtración y si es necesario se efectúa el lavado y la eliminación del líquido excedente de la torta de sólidos.

El otro tipo de filtro es el de "platos intermedios", Fig. 3.1B, el cual no tiene marcos, sino que cada plato hace las veces de marco y plato. La lechada entra por un conducto al centro y a lo largo de todos los platos, y la torta se forma en el hueco en cada lado del plato. Para minimizar la tensión sobre el medio filtrante la profundidad de los huecos generalmente es de 16 mm., dando un espesor máximo de torta de 32 mm. Normalmente alrededor del conducto de alimentación se forma una torta de consistencia suave, no uniforme difícil de lavar, y el medio filtrante debe ser asegurado en las entradas de la alimentación de cada plato. A pesar de estas desventajas comparado con el filtro de platos y marcos, el filtro de platos intermedios alimenta directamente a la cámara del filtro, las aberturas de alimentación no se atascan con lechadas espesas, como sucede con los filtros de platos y marcos, además tiene la mitad de puntos de unión para mantenerlo apretado y tiene un menor costo inicial.

CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES

Capacidad del Filtro Prensa

La capacidad del filtro esta determinada por el tamaño de los platos, el espesor de los marcos o la profundidad de la cámara en el filtro de platos intermedios, siendo esta última junto con el espesor de los marcos los factores más importantes a considerar para poder realizar un ciclo de filtrado económico. Si los marcos son muy delgados, la torta llenará rápido el filtro y éste tendrá que ser abierto continuamente para limpiarlo. Si los marcos son muy gruesos no se podrá obtener una torta firme dando como resultado una torta suave imposible de lavar adecuadamente. En la selección del número de cámaras, es preferible irse a la siguiente medida más grande del filtro que tener el mismo filtro con muchas cámaras.

Derrames

Ya que los derrames peligrosos debidos a altas presiones, superficies gastadas y empaquetaduras de medios filtrantes que manejan fluidos muy ligeros, se

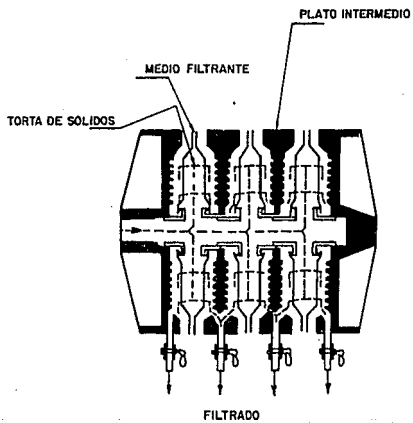


FIG. 3.1 B FILTRO PRENSA DE PLATOS INTERMEDIOS

ofrecen diseños con dispositivos especiales anti-derrames.

Operación del Filtro

El ciclo de filtrado consta de los siguientes pasos: 1) formación de la torta (período de clarificación); 2) lavado de la torta para eliminar el líquido original residual o lavar para recuperar materiales valiosos solubles y 3) limpieza del sistema para el siguiente ciclo.

Primeramente el filtro es cerrado y asegurado con el medio filtrante cuidadosamente colocado en su lugar. Para cerrar y asegurar el filtro normalmente se utiliza un tornillo largo de acero colocado en un extremo del filtro el cual mueve un cabezal hacia los platos y los mantiene juntos presionandolos contra otro cabezal que puede ser móvil o fijo. El tornillo puede ser operado manual o automáticamente. Las válvulas o grifos del filtro son abiertas y la lechada pasa a través de los medios filtrantes. La caída de presión es baja en el inicio del proceso y se incrementa al aumentar el espesor de la torta y continua el proceso hasta obtener un límite máximo en la presión o una velocidad de flujo mínima siendo este el momento en el que se detiene la filtración. Después se efectúa el lavado, el cual puede ser total o parcial en cuanto a la remoción de los materiales solubles. La torta también puede ser soplada por aire o vapor para eliminar líquido residual y posteriormente efectuar el descargado y lavado del filtro. El lavado puede ser efectuado a co-corriente o a contra-corriente dependiendo de las características del equipo.

Superficie de los Platos

La superficie de los platos es una superficie de drenaje y además de soporte del medio filtrante por lo que su diseño es de gran importancia en la operación del filtro. Normalmente se utilizan platos con superficies piramidales con ranuras en la superficie en forma radial o circular.

Características Generales

El filtro prensa ha encontrado más amplia aplicación que cualquier tipo de filtro. Su estructura simple al igual que sus accesorios resultan en un bajo costo

inicial, bajos costos de instalación y bajos requerimientos de energía. Proporciona grandes áreas de filtración en un espacio pequeño. Se puede operar a presiones relativamente altas y la capacidad del filtro se puede variar fácilmente.

La desventaja del filtro prensa es su operación intermitente y por consiguiente el trabajo laboral que involucra su operación. Además el inevitable deterioro del medio filtrante a consecuencia de la presión y de la fricción producida al raspar el medio para su limpieza. Otra desventaja está en la descarga manual de la torta y pérdida de solventes volátiles al momento de abrir el filtro al final de ciclo.

El implementar un sistema mecanizado para mover los platos y cerrar el filtro al inicio y final del ciclo de operación puede reducir los requerimientos de mano de obra.

Los materiales de construcción del filtro prensa incluyen hierro fundido, madera, acero inoxidable o aluminio. Los platos y los marcos pueden ser metálicos recubiertos con alguna resina de caucho o fenólica o pueden ser enteramente sintéticos.

2) Filtro de hojas. (Fig. 3.2)

El filtro a presión de hojas presenta un número de hojas suspendidas dentro de un recipiente cerrado. Variaciones en el arreglo del tanque y las hojas dan varias combinaciones de filtros verticales y horizontales.

Normalmente los tanques verticales contienen hojas verticales, mientras que los tanques horizontales pueden tener un arreglo de hojas horizontales o verticales. Las hojas son armazones huecos cubiertos con el medio filtrante, pueden ser estacionarios o rotar y pueden ser cuadrados, rectangulares, trapezoidales, circulares, ser un segmento de círculo o de forma elíptica. El espaciamiento entre las hojas varía de 50-150 mm de centro a centro, pero raramente es menos de 75 mm. Las salidas para descarga o drenado del filtro pueden ser localizadas en el fondo, en el domo, en el centro o en varias combinaciones de estas. El diseño de las hojas depende del tipo de descarga. Para descarga húmeda, los elementos pueden ser limpiados por una esclusa o canal estacionario, rotatorio oscilante o móvil, o los elementos pueden ser rotados pasando por un canal fijo. La acción del canal puede ser acompañada por rocio o acción

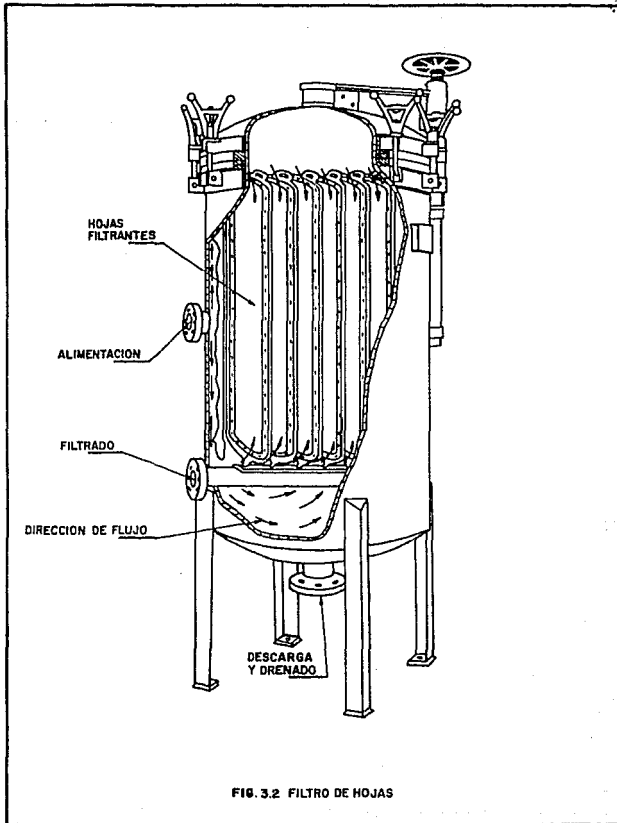


FIG. 3.2 FILTRO DE HOJAS

La descarga seca puede ser lograda manual o mecanicamente por medio de una sacudida repentina, vibración, aire o centrifugación. Con algunos filtros las hojas son rotadas lentamente contra un cepillo que ayuda a retirar la torta. En otros el tanque o las hojas están rotados 90° despues de la filtración y antes de la descarga. La filtración es llevada a cabo con las hojas en posición horizontal, y la descarga con las hojas en posición vertical aprovechando la fuerza de gravedad.

3) Filtro de Platos Horizontales. (Fig. 3.3)

Este filtro es un tanque vertical a presión con un cartucho de platos horizontales. El flujo es hacia abajo, la torta se forma sobre el medio filtrante colocado sobre los platos. Esto permite un servicio ininterrumpido sin que haya peligro de que la torta se desprenda. Un plato limpiador (scavenger) permite una recuperación más completa. Con una pre-capas o medio de papel se consigue una buena filtración. Otra ventaja es que el filtro es adecuado para filtración a pequeña escala y bueno para filtración intermitente. Como desventajas están su alto costo de operación y las limitaciones de su tamaño. El material para su construcción es hierro dulce y aceros inoxidables. Los platos son diseñados para una presión máxima de 0.25 MPa. Se utiliza para la filtración de lechadas con un bajo contenido de sólidos. Por las características del filtro también se presta para realizar una filtración de precapa.

4) Filtros de Charola. (Fig. 3.4)

Este filtro consiste de una serie de charolas o bandejas dentro de un tanque horizontal con una salida en uno de los extremos. Cada bandeja es drenada a través de una salida individual hacia un recolector y este saca el drenado de todas las bandejas del tanque. Tiene un arreglo de tuberías que permite llevar el líquido desde el fondo del tanque hacia la charola superior y hacia las otras charolas por flujo excesivo. El filtro de charolas al tener un tanque cerrado realiza un excelente ciclo de secado. Esto permite una recuperación casi completa de los sólido y el filtrado líquido. Por la forma horizontal en que están colocadas las charolas, el filtro puede operar intermitentemente sin que sea necesario desprender la torta. Los ciclos pueden ser operados hasta alcanzar la capacidad máxima de las

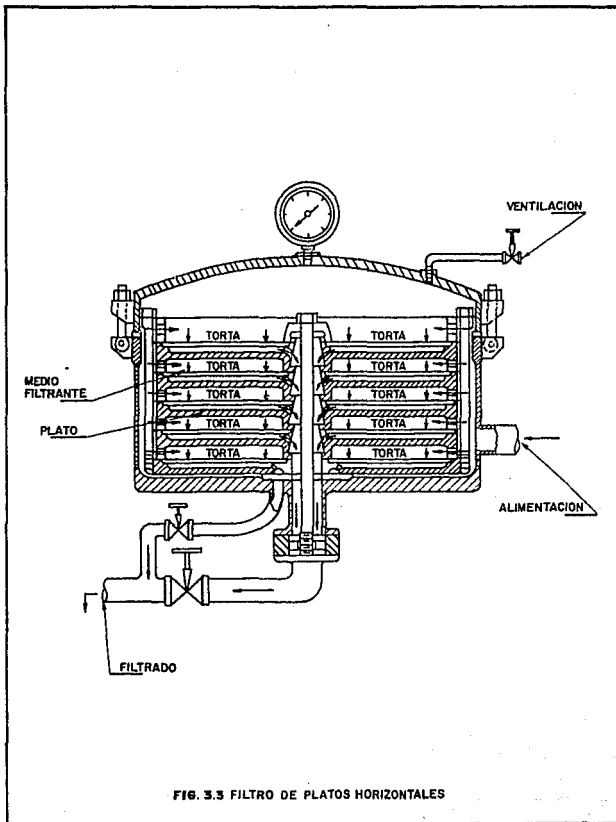


FIG. 3.3 FILTRO DE PLATOS HORIZONTALES

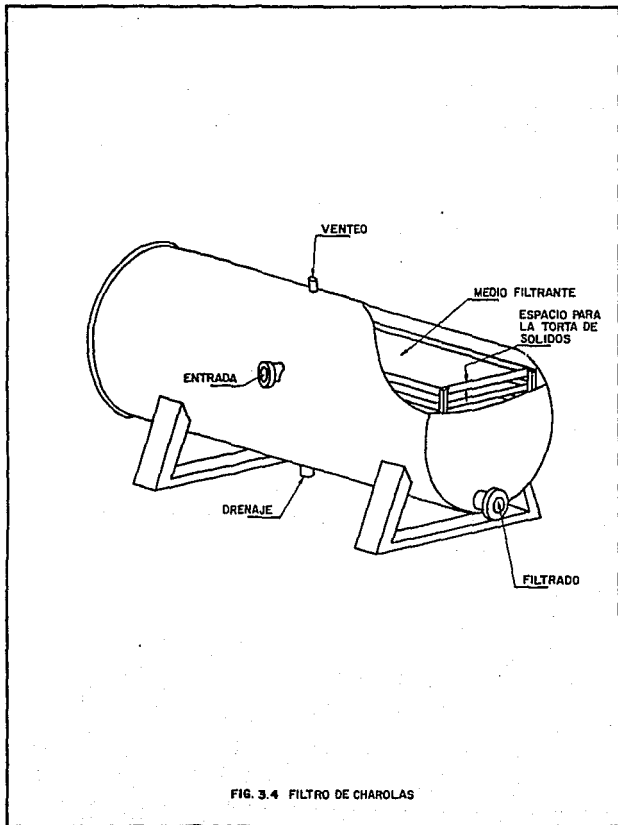


FIG. 3.4 FILTRO DE CHAROLAS

charolas. Si se requiere, los sólidos pueden ser disueltos o fundidos en las charolas.

La principal ventaja de este filtro es que hay una recuperación prácticamente completa de sólido y líquido. Las desventajas surgen en el hecho de que la filtración sólo se lleva a cabo en la parte superior de cada charola, el espacio limitado y tiene costos de operación altos. Materiales para su construcción: hierro dulce y acero inoxidable 316 y 304.

5) Filtros de Tubos Porosos

Este filtro es en esencia un filtro a presión de hojas verticales, excepto que cuenta con elementos tubulares huecos dentro de un tanque a presión. Este filtro puede ser competitivo con el filtro de hojas verticales cuando no se requiere de una descarga seca de la torta. El filtrado fluye a través de los tubos hacia un cabezal de descarga, mientras que los sólidos se depositan en las paredes exteriores de los tubos. Los tubos pueden ser hechos de carbón poroso, cerámica porosa, plásticos o cualquier material poroso. Una ventaja de este filtro sobre el filtro de hojas verticales es que se puede usar una relativa alta presión en lavado a contra-corriente para descargar la torta y limpiar el medio. La desventaja está en que el lavado de los tubos debe ser uniforme para evitar problemas de obstrucción, la descarga en seco no es factible a excepción de algunos diseños. La construcción de los tubos debe permitir la acción repetida de lavados a contracorriente. Los materiales de construcción utilizados en este filtro son similares a los de los otros filtros.

6) Filtro Nutsche

La operación de este filtro es similar a la de un embudo buchner, el filtro Nutsche es un tanque cilíndrico dividido en dos partes por un filtro de plato horizontal cubierto por un medio filtrante. La lechada es colocada en la parte superior de la cámara, y la filtración es realizada por la acción de la gravedad, vacío o presión. Cuenta con la ventaja de la simplicidad en la construcción y la operación, eficiencia de lavado, es apropiado para procedimientos de prueba y estudios en planta piloto, adecuado para la filtración de materiales cristalinos y materiales corrosivos. Su operación requiere de un alto costo de mano de obra y ocupa mucho espacio por unidad de área filtrante. Puede ser construido de muchos materiales incluyendo plástico

reforzado o cerámica. En la actualidad ha sufrido numerosas modificaciones con el fin de automatizar su producción y hacer un proceso continuo y más costeable.

7) Filtro de Hojas a Vacío

Es un filtro abierto de hojas operando bajo succión. La versión más reciente, el filtro Moor, consiste de un número de hojas rectangulares, agrupadas y transportadas por una grúa. Las hojas son sumergidas sucesivamente en un tanque donde se encuentra la lechada, en donde tiene lugar la filtración a vacío; en otro tanque para efectuar el lavado de la torta y por último en un tanque donde se descarga la torta. Si la lechada es agitada lo suficiente para prevenir la formación de torta, este filtro puede ser usado como espesador. Los elementos pueden ser tubulares para realizar una operación de clarificación. Su ventaja es la amplia variedad de materiales con los que se puede construir, bajo costo en el caso de unidades grandes, bajo costo de mano de obra gracias a la facilidad con la que se descarga la torta y fácil inspección y revisión de los elementos, medios filtrantes y formación de torta. Las desventajas están en la limitación en cuanto al manejo de líquidos volátiles, control de temperatura, ya que se trata de tanques abiertos, así como las limitaciones en la diferencia de presiones que implica el uso de vacío.

3.7.2 Filtros Semi-continuos

1) Filtro de Piscina o Tanques. (Fig. 3.5)

Consiste de una serie de tanques abiertos colocados en posición horizontal y que pueden rotar sobre un eje.

Todos los tanques están conectados entre sí por una válvula común. La alimentación se hace por medio de una tubería y un distribuidor-vertedero sobre la unidad. La torta se puede lavar con espreadores después de haber eliminado el exceso de agua en las etapas iniciales. Es posible realizar un lavado en contra-corriente. La descarga de la torta se hace por medio de rodillos o paletas o simplemente se inclina cada tanque de la unidad para completar la filtración. El filtro es adecuado para dar un producto granular con o sin lavado y para cargas con gran contenido de sólidos y altos requerimientos hidráulicos. Las desventajas son que utiliza un lado del elemento para la filtración, requiere

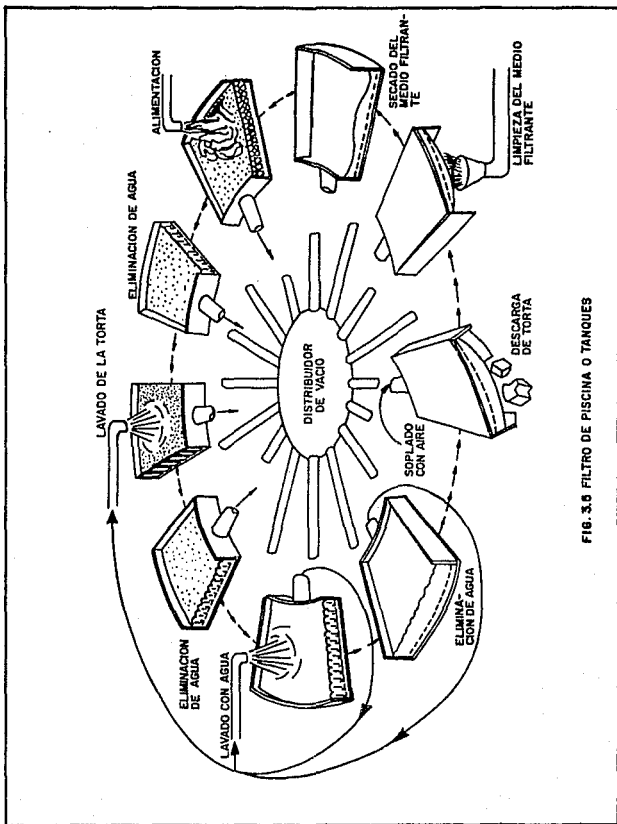


FIG. 3.6 FILTRO DE PISCINA O TANQUES

un gran espacio, no es adecuado cuando el medio filtrante se tapa fácilmente y su costo es relativamente alto. ...

2) Filtro Prensa Automático. (Fig. 3.6A)

Se trata de un filtro prensa con un sistema no manual de la torta. Con el filtro prensa convencional se necesita horas de trabajo manual para prepararlo, especialmente en la descarga de la torta. Para minimizar estos inconvenientes y así mantener y desarrollar más las ventajas, la automatización del filtro se lleva a cabo por los siguientes medios:

a) Descarga automática de la torta por medio del diseño de platos móviles automáticos y un mecanismo vibrador o neumático en el medio filtrante.

b) Lavado automático del medio filtrante para evitar atascamientos.

c) Incremento en la capacidad de filtración reduciendo el tiempo de proceso empleado en labores distintas a la filtración en sí.

Actualmente la clasificación de los filtros prensa automáticos es como sigue: filtro de platos intermedios, filtro de platos y marcos, filtro prensa de tipo lateral y vertical, filtro con medio filtrante fijo y filtro con medio filtrante móvil.

La mayoría de los filtros prensa automáticos son del tipo de platos intermedios por su estructura simple y amplio intervalo de presiones.

El filtro de tipo lateral tiene dispuestas las cámaras perpendicularmente en dirección horizontal.

El filtro con medio filtrante fijo, Fig. 3.6B, tiene un trozo de medio filtrante colgado en forma de V invertida entre los platos y cuando los platos del filtro se abren el medio filtrante se inclina provocando la remoción de la torta.

El filtro con medio filtrante móvil, Fig. 3.6, hace pasar entre los platos una banda sin fin de medio filtrante provocando el desprendimiento de la torta.

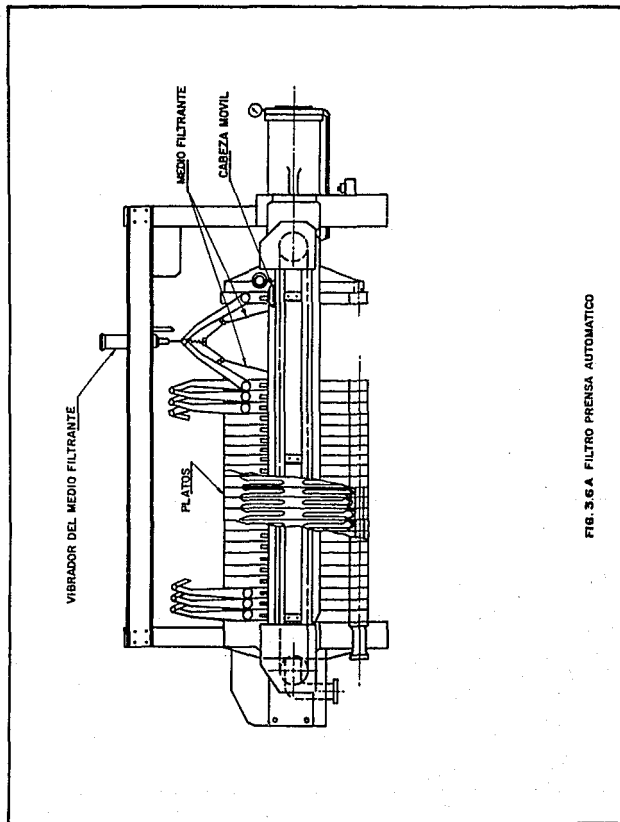


FIG. 3.6A FILTRO PRESA AUTOMATICO

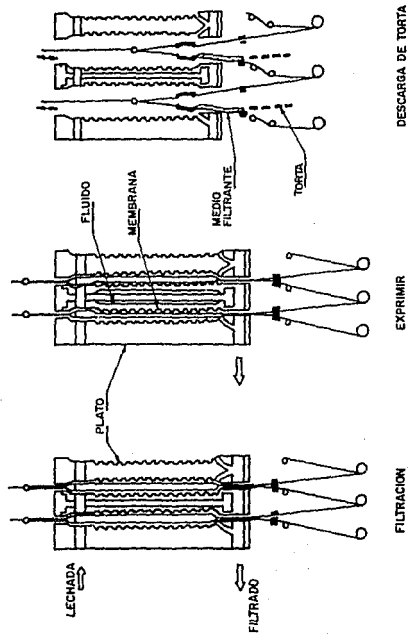
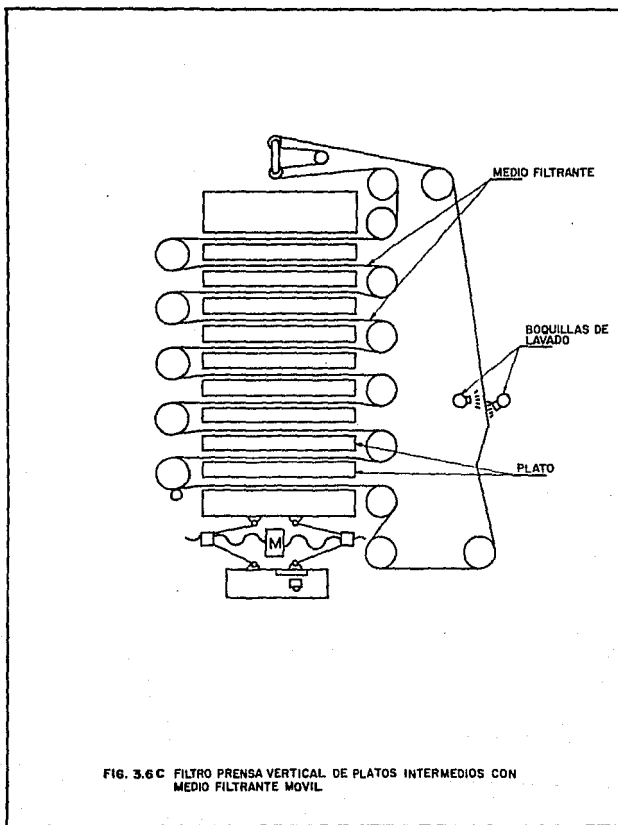


FIG. 3.6 B FILTRO PRENSA DE PLATOS INTERMEDIOS CON MEDIO FILTRANTE FIJO DE ALIMENTACION LATERAL



3.7.3 FILTROS CONTINUOS

1) Filtros de tambor. (Fig. 3.7A)

Un filtro de tambor estándar consiste de tres partes principales: un tambor con una válvula automática; un depósito para la lechada con agitador y un raspador o rasurador para la descarga de la torta.

El tambor, o cilindro, tiene una pared porosa que se cubre con el medio filtrante, rota alrededor de un eje horizontal con una porción del mismo sumergida en la lechada. El filtro opera continuamente a través de las etapas de formación de la torta, lavado, secado y descarga. Normalmente la fuerza directora en este tipo de filtros es el vacío, sin embargo, en algunas ocasiones se construyen filtros de tambor a presión. Generalmente el tambor es subdividido en varios compartimientos para llevar a cabo las distintas etapas del filtrado, lavado, secado con aire o vapor, y descargado con aire. La velocidad de rotación normalmente varía entre 0.25 y 3.0 RPM.

Existen en uso varios sistemas de remoción de la torta, los cuales pueden ser ayudados por el soplador de aire. En adición a la descarga de la torta con un raspador o rasurador, se emplean métodos como los de cuerda, de banda o de rodillos. Los filtros que emplean un sistema de cuerdas, tienen un devanado de cuerda sin-fin sobre el medio para levantar y remover la torta.

En los filtros con cinturón para descarga de la torta, fig. 3.7B, el medio filtrante pasa como banda sin-fin sobre el tambor para filtrar y después sobre un pequeño rodillo para desalojar la torta.

El medio es limpiado conforme regresa a cubrir el tambor. Cuando se trata de una descarga con rodillos, un rodillo es rotado cerca de la superficie del tambor. La torta pasa cerca del rodillo en el punto de descarga y es suspendido el vacío en ese compartimiento originando el desprendimiento de la torta.

La descarga por medio de cuerda o hilo remueve algunas tortas muy bien, sin embargo, tortas muy delgadas no se pueden descargar por este método. La descarga por medio de un cinturón permite un buen limpiado del medio filtrante, aunque es relativamente cara y requiere cuidado en mantener alineado el medio. La descarga por

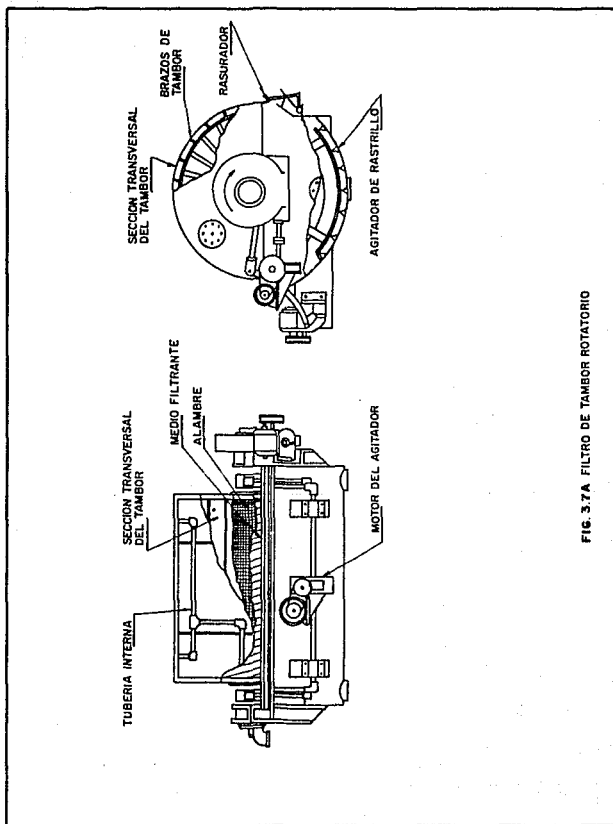
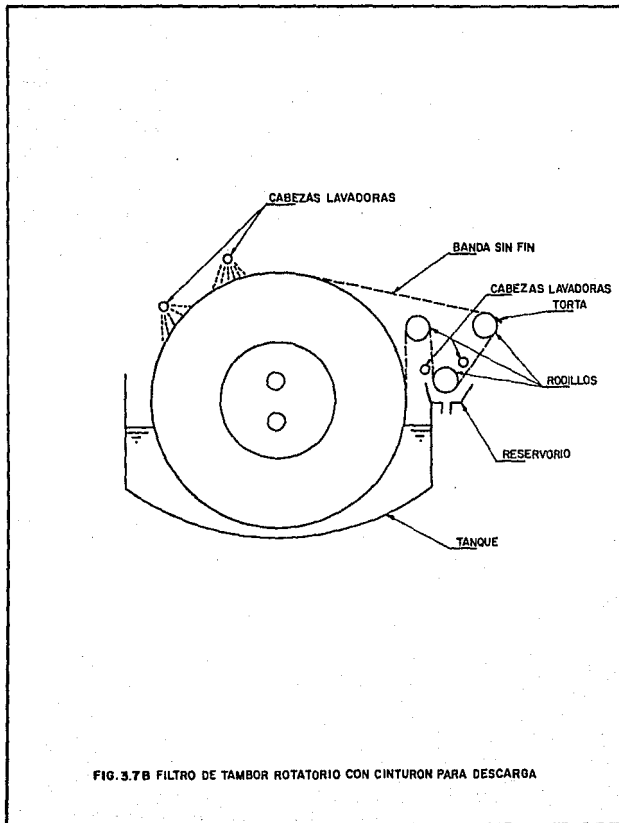


FIG. 3.7A. FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO



medio de rodillos se utiliza con sustancias que no se adhieran al rodillo, es simple y barata.

Ya que los filtros de tambor se utilizan en materiales de moderada o baja resistencia, pueden ser usados como filtros de precapa para lechadas de mayor resistencia. Una gruesa capa de varios centímetros de filtro-ayuda es depositada en el tambor antes de empezar a filtrar. La pre-capa es gradualmente reducida conforme los sólidos se depositan, de ese modo teniendo una menor resistencia global al flujo.

Las ventajas de los filtros de tambor, en general son, la capacidad de una filtración, lavado y secado parcial continuos. Con partículas relativamente grandes es posible producir tortas casi secas con el uso de vapor, que permite una amplia libertad en las condiciones de operación, como son el control de vacío, de la velocidad de rotación y el control del hundimiento del tambor. Como desventajas están su relativamente alto costo, estos filtros no son aplicables a tortas de formado lento, el tipo de pre-capa puede tener un alto costo en lo referente al filtro-ayuda para formar la pre-capa y las unidades a presión están normalmente limitadas en tamaño por el costo.

2) Filtros de Disco. (Fig. 3.B)

Los filtros de disco son filtros a vacío que consisten de una serie de elementos circulares montados a intervalos regulares a una flecha o eje hueco horizontal rotatoria. Cada elemento, o disco, es dividido en secciones con soportes a ambos lados para sostener el medio filtrante. Se aplica vacío a cada hilera de secciones por medio de una válvula automática. El filtrado y el aire son removidos a través de una tubería radial conectada a un cabezal, el cual pasa a través del eje hueco hacia la válvula. La operación de este filtro es muy similar a la del filtro de tambor. El filtro de disco ofrece mucho mayor área filtrante para un espacio determinado y un menor costo por unidad de área.

Sin embargo este filtro presenta ciertas limitaciones, una deficiente eliminación del exceso de humedad de la torta, un deficiente descargo de la torta y es inadecuado para la filtración de pre-capa. El lavado del medio filtrante es prácticamente imposible.

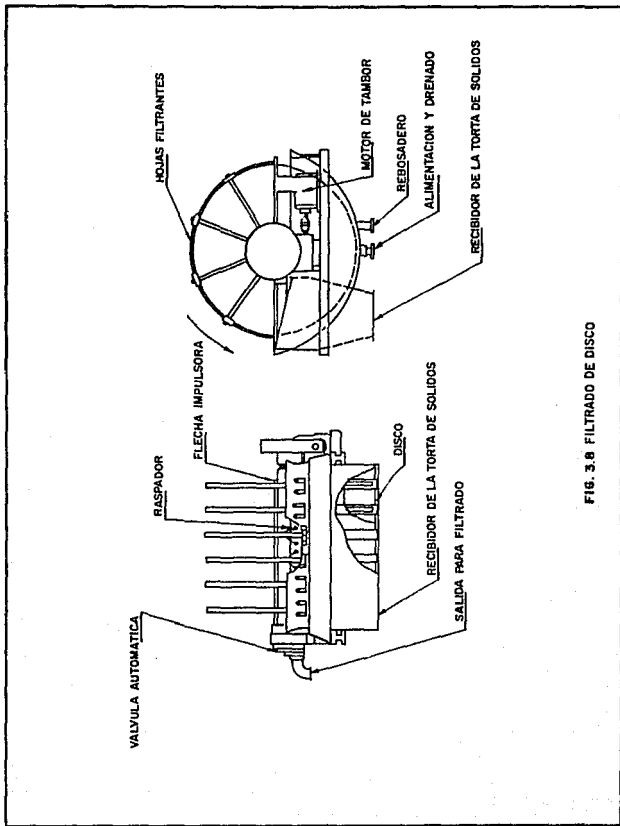


FIG. 3.8 FILTRADO DE DISCO

3) Filtros de banda horizontal. (Fig. 3.9)

Estos filtros consisten de una banda sin-fin reforzada cubierta con el medio filtrante, la banda pasa sobre caja de succión entre poleas. La lechada se alimenta por la parte superior de la banda en un lado de la unidad. El vacío se aplica llevándose a cabo la filtración, la eliminación de humedad, el lavado y la descarga de la torta en la última polea a otro extremo del filtro. La velocidad de la banda es ajustable para poder obtener un grosor adecuado de la torta.

El medio filtrante se lava conforme regresa al punto inicial del ciclo de filtración. Como desventajas presenta un alto costo inicial y ocupa mucho espacio por unidad de área de filtración.

4) Filtro Dinámico. (Fig. 3.10)

Es un filtro continuo a presión, es del tipo filtro espesador, consiste de platos fijos alternados con discos más delgados llamados discos agitadores. Los platos filtrantes cubiertos con el medio filtrante por los dos lados y los discos agitadores son rotados a una velocidad lo suficientemente alta para prevenir el crecimiento de la torta en el medio filtrante. A la lechada se le va quitando el líquido conforme avanza en el filtro y sale continuamente de una válvula de descarga como un lodo espeso con relativamente bajo contenido de líquido.

3.7.4. Otros Filtros

A pesar de la gran variedad de filtros en el mercado, continuamente se hacen innovaciones. Dentro de estos filtros se encuentran los filtros de torta con dispositivos exprimidores o prensadores con el fin de eliminar toda o casi toda la humedad de la torta, filtros dinámicos o filtros magnéticos.

Es importante mencionar filtros representativos, como lo son los filtros de arena, filtros de cartucho y filtros de pre-capa.

Filtros de Cartucho

Estos filtros se presentan en dos tipos, con medio filtrante permanente y con medio filtrante

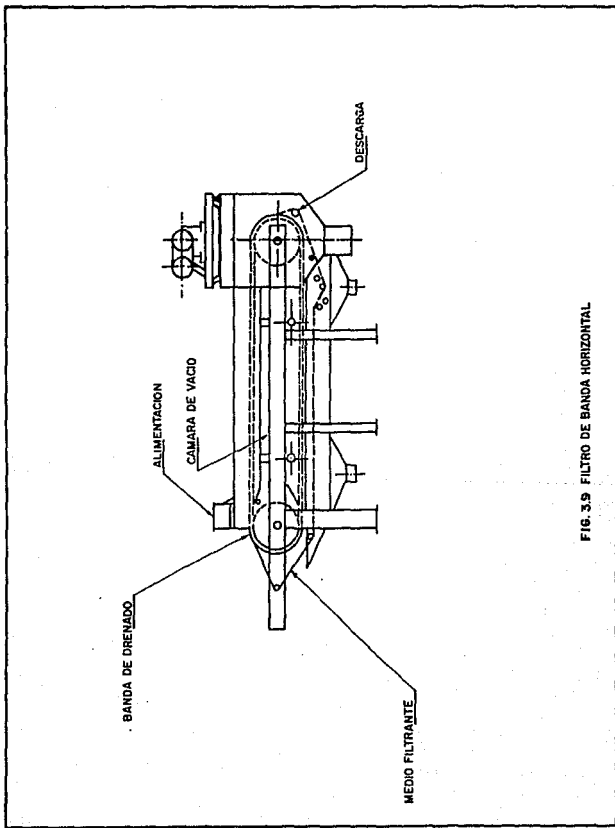


FIG. 3.9 FILTRO DE BANDA HORIZONTAL

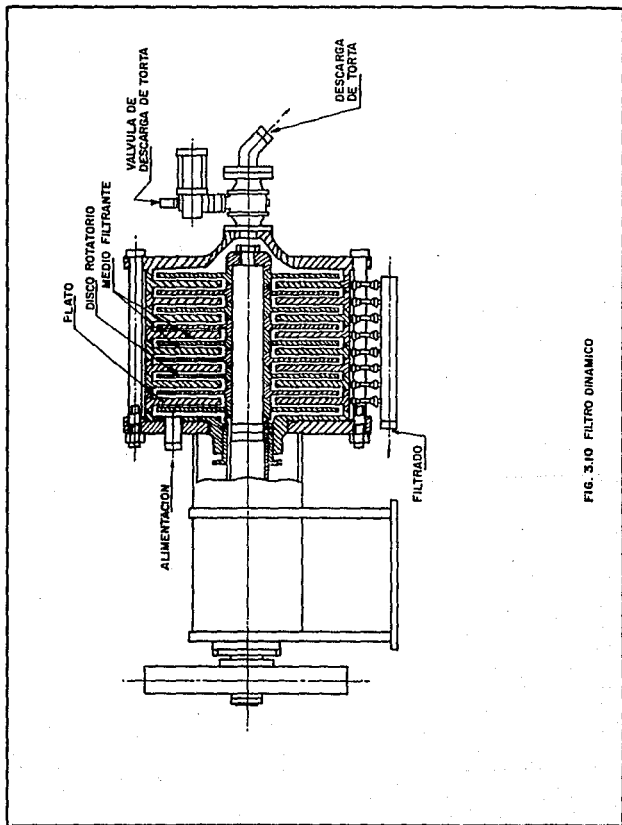


FIG. 3.10. FILTRO DINAMICO

desechable. Ambos se utilizan para lechadas con bajo contenido de sólidos. El filtro con medio permanente utiliza distintos métodos de limpieza que van desde un simple lavado a contracorriente a tratamientos químicos. Cuando se trata del tipo desechable, son económicos cuando se manejan lechadas con bajo contenido de sólidos. Estos filtros clarifican corrientes supuestamente limpias y garantizan claridad de las mismas.

Las velocidades de flujo van de 1 a 5 gpm/ft², sin embargo velocidades menores dan un servicio más económico, particularmente con filtros de cartuchos para sólidos muy finos.

Filtros de Arena

El flujo de filtrado es el resultado de la presión hidrostática de una columna de pre-filtrado sobre la superficie del medio filtrante o torta, siendo esta presión relativamente baja. Por lo que estos filtros se usan para filtrar materiales fáciles de filtrar y en casos donde no se requieren altas velocidades de filtración. Ocupan mucho espacio por unidad de área de filtración, sin embargo, son de muy fácil construcción y bajo costo.

Estos filtros consisten de varias capas de piedra, grava y arena sostenidas por una rejilla, la cual funciona como recolectora y el fluido pasa en flujo laminar variando la velocidad entre 0.08 y 0.2 m³/m²*min. El lavado se hace en flujo a contracorriente a una velocidad aproximada de 0.6 m³/m²*min.

Estos filtros tienen especial aplicación en el tratamiento de aguas en el que se utiliza como medio arena de cuarzo de tamaño uniforme.

Filtros de Pre-capa

Como ya se mencionó, la pre-capa es el proceso de formar una capa, sobre un soporte o sobre el medio filtrante, de un material poroso que sirve para filtrar o mejorar el proceso de filtración. Normalmente para la formación de esta capa se utiliza algún tipo de filtro ayuda. La formación de pre-capa se puede efectuar en la mayoría de los equipos de filtración comercial y depende de las características de la lechada, condiciones de operación y de cuestiones económicas el utilizar filtración de pre-capa.

Por la gran variedad de modelos y por las constantes modificaciones que se hacen sobre los equipos, lo más recomendable para hacer una correcta selección de los equipos de filtración es recurrir a gente experimentada, ya sea en la venta o construcción de equipos, con información lo más completa posible en lo que respecta a características físicas y químicas de la lechada, condiciones de operación y características del producto con el fin de seleccionar el equipo óptimo, (ver tabla 3 en el apéndice).

3.7.5 EQUIPO AUXILIAR EN EL PROCESO DE FILTRACION

1) Recibidores de Filtrado

Los recibidores de filtrado son realmente separadores. Separan el gas del filtrado, para el caso de filtros a vacío y en algunos casos para filtros a presión. Todos los filtros a vacío, con excepción del filtro de compartimiento sencillo, requieren de separadores. Con lechadas de rápida filtración todos los filtros requieren recibidores por la gran cantidad de volumen que deben manejar.

Para operaciones normales, puede ser de diseño simple: tanque con una boquilla por la que entra el gas y el líquido y una boquilla superior por la que se descarga el gas.

2) Bombas de Vacío

Existen dos tipos de bombas de vacío: de operación en húmedo y de operación en seco. En las de operación en húmedo se maneja al mismo tiempo gas y líquido, los cuales son separados después, no son de uso común.

Con las bombas de operación en seco los gases son separados antes de llegar a la bomba y después se comprimen para su remoción.

Cuando se operan adecuadamente las bombas, los costos de mantenimiento son bajos. Pero no se recomienda su uso con materiales corrosivos, en tales casos se recomienda el uso de eyectores de vapor. Puesto que los eyectores

no tienen partes móviles se pueden construir casi de cualquier material. Si se pueden usar bombas mecánicas, los eyectores no son económicamente favorables, a pesar de que el costo del vapor sea bajo.

3) Sopladores

Cuando no se cuente con un compresor de aire, pequeños sopladores rotatorios suministran aire a baja presión para descargar la torta de los filtros rotatorios a vacío. Si se tienen bombas rotatorias o reciprocantes, la descarga de la bomba de vacío puede suministrar aire a baja presión.

4) Bombas para alimentar el filtro

Los filtros a presión son generalmente alimentados con bombas centrífugas que cumplen con los requerimientos de presión. Las bombas de embolo y diafragma proporcionan volumen constante. Las bombas de alimentación de filtros a vacío no presentan ningún problema a menos que la fractura de las partículas o cristales sea una limitante. Las bombas centrífugas para las lechadas deben tener impulsores abiertos y grandes espacios libres y girar a bajas o medianas velocidades. Si la degradación de las partículas es un problema, bombas especiales como las de diafragma y embolos pudieran necesitarse.

5) Bombas para la remoción de filtrado

El filtrado puede ser removido satisfactoriamente con una boma centrífuga estándar de un tanque a vacío.

Si se presentan fallas en la capacidad de la bomba, éstas pueden ser reducidas conectando una pequeña línea desde la parte superior de la cubierta al receptor en un punto arriba del nivel normal del líquido. Algunos receptores tienen incluido varias centrífugas con auto-recuperación, que aunque son más costosas dan un servicio sin presentar problemas de funcionamiento.

Un controlador de nivel en el receptor soluciona también el problema de fallas en la capacidad de la bomba.

6) Tanques de Alimentación al Filtro

Los tanques que contienen la lechada antes de que ésta se alimente al filtro, son justificados cuando mejoran

las operaciones o para mantener una continuidad del proceso.

7) Agitadores

Los agitadores son normalmente requeridos y existen variedades en los modelos empleados. Se prefieren usar tanques cilíndricos teniendo una relación de altura a diámetro de 1.5 a 3.0.

La agitación debe mantener en suspensión la lechada sin alcanzar en cualquier momento una agitación violenta. Baja velocidad y un diámetro grande del impulsor dan el mejor resultado.

La agitación con aire o con recirculación no es recomendable.

3.7.6 MEDIO FILTRANTE

Basicamente existen dos tipos de medios filtrantes: los de superficie y los de profundidad. Los de profundidad retienen los sólidos dentro del cuerpo mismo del medio y en el caso de los medios filtrantes de superficie los sólidos forman una capa en la superficie del medio.

3.7.6.1 Medios filtrantes de Superficie

A este tipo de medios pertenecen los tamices o mallas de plástico y metal, telas, papeles, membranas, fieltros o telas no trenzadas, platos perforados y filtro-ayudas. En el caso de las filtro-ayudas, estas están combinadas en varias capas, una capa superficial que realmente filtra y una o más capas que soportan a la primera y permiten el drenado de filtrado.

En cualquier medio filtrante se deben cumplir dos características muy importantes: 1) los poros deben ser suficientemente pequeños para evitar el paso de los sólidos y 2) el área abierta o libre debe ser lo suficientemente grande para dar un máximo flujo de filtrado.

La información relacionada con las características de los medios filtrantes es: peso, tipo de tejido o trenzado, número de hilos, características de claudrado y

permeabilidad al aire (flujo de aire bajo condiciones estándar).

Sin embargo algunas pruebas que se han hecho a tamices y metales porosos con fines militares y para vehículos espaciales sugieren que se pueden aplicar a los distintos medios filtrantes con el fin de dar una descripción más precisa de la superficie de los medios filtrantes. Algunas de estas pruebas son: flujo de agua y aire para dar una caída de presión especificada y retención de un tamaño conocido de partícula y puntos de burbujeo y tamaño promedio de los poros. Tal información daría datos para comparar los distintos medios filtrantes, o si no hacer posible la especificación de un medio para una aplicación particular sin necesidad de hacer pruebas con la lechada.

Sin embargo la relación que se tiene entre el medio y la lechada es aproximada y la mejor manera de seleccionar un medio sigue siendo de forma empírica.

TAMICES

Se fabrican de una amplia gama de materiales, como pueden ser el acero inoxidable 304 y 316, monel, níquel, nylon, poliéster y poliolefinas. El trenzado o tejido es cuadrado, va desde una abertura de malla de 40 μ m en adelante. Las telas con tejido cruzado tienen un rango más amplio de abertura, principalmente las metálicas.

Los tamices se utilizan para lechadas de rápida filtración y como soporte para las filtro ayudas. Los tamices con mayor abertura de malla sirven como soportes de medio filtrante. En general los tamices soportan altas temperaturas y altas caídas de presión.

TEJIDOS

Las telas o tejidos empleados como medios filtrantes vienen en una gran variedad de materiales y trenzados. Básicamente son cuatro los patrones de trenzado: 1) sencillo (plain), 2) cruzado (twill), 3) cadena (chain), 4) raso (satin).

El tejido sencillo es el más barato, de menor porosidad y gran retención de partículas pero muy susceptible de taparse. El tejido cruzado tiene una mediana retención de partículas y mediana tendencia a taparse, presenta una alta resistencia a la abrasión y de aceptables velocidades de flujo. El tejido de cadena tiene una menor resistencia a la tensión y retención de partículas con respecto al tejido sencillo pero presenta una menor tendencia a taparse. Por último, el tejido raso presenta la menor retención de partículas con respecto a los anteriores tejidos pero ofrece una mayor facilidad para descargar la torta y una menor tendencia a taparse que los anteriores.

Quando se habla de tejidos metálicos se tienen cinco tipos básicos de tejidos: 1) sencillo, 2) cruzado, 3) canasta, 4) holandes sencillo y 5) holandes cruzado doble.



El tejido sencillo presenta orificios rectos y decrece su resistencia conforme los tejidos se hacen de alambres más finos para mallas con menor tamaño de poro. El tejido cruzado forma también orificios rectos y tiene mayor resistencia en cualquier tamaño de malla que el tejido sencillo. El tejido tipo canasta es un tejido cruzado hecho con múltiples alambres que le da más fuerza y resistencia, forma un tejido denso con una superficie lisa. El tejido holandes simple combina pequeños orificios triangulares en ángulo con la superficie con una alta resistencia a la tensión. El tejido holandes doble cruzado usa el doble de alambres que el holandes sencillo, dándole mayor densidad al tejido y una superficie lisa. Los tejidos pueden ser modificados al calandrarlos (pasarlos entre rodillos calientes) reduciendo así el tamaño de poro.

Por la gran variedad de materiales y trenzados que existen en la fabricación de los medios filtrantes y por la dificultad de relacionar las propiedades del tejido con los requerimientos de filtración el ingeniero puede enfrentarse con cientos de denominaciones y medios filtrantes al momento de seleccionar el medio que se

necesita en donde alguno o ninguno de los medios filtrantes puede servir para el trabajo que se requiere. A menos que el ingeniero haya tenido alguna experiencia en la selección de medios filtrantes se recomienda pedir asesoramiento ya sea a los fabricantes de los medios o intermediarios -aquellos que solo dan el acabado- o a los fabricantes de equipo de filtración. Y después de analizar cuestiones tales como la clase y tamaño del filtro y condiciones de proceso lo más seguro y recomendable es hacer pruebas a nivel laboratorio para verificar el diseño propuesto.

Papel y Películas

Cualquier material que pueda ser moldeado a manera de hojas y que tenga una estructura porosa es potencialmente un medio filtrante, incluyendo papel, filtro de todas clases, hojas a base de pulpas, y almohadillas a base de celulosa y asbestos.

Los fieltros son telas hechas entrelazando fibras y que son mantenidas juntas mecánicamente. Pueden ser hechos casi de cualquier material incluyendo las metálicas.

El papel es una hoja hecha a base de fibras. En su elaboración se utilizan aditivos que provocan que las fibras se mantengan unidas entre sí y que le dan resistencia a la humedad. El papel se usa en filtros de platos horizontales y de placas y marcos. Con algunos filtros tubulares, el papel se coloca como envoltura o es colocado en el interior del tubo perforado.

Las almohadillas de celulosa, asbesto o vidrio se usan para la filtración de sólidos muy finos, son utilizados ampliamente en filtros de cartuchos, de platos horizontales y de placas y marcos.

Metal Sinterizado.

Se refiere a la formación de una masa sólida por partículas en este caso, polvos metálicos, por lo tanto es de carácter poroso. Su presentación se hace en forma de hojas o tubos de 1/16 a 1/8 in. de espesor, con un tamaño de poro que va aproximadamente de 2 a 60 μ m.

Los metales sinterizados son particularmente útiles cuando se trabaja a altas temperaturas o altas caídas de presión. Se usa también para la clarificación de

corrientes con bajo contenido de sólidos. La desventaja de este tipo de medio es su alto costo.

Membranas.

En años recientes se han logrado obtener materiales porosos que tienen tamaños de poro que van desde 10 a 0.01 μm con una distribución muy uniforme en cuanto al tamaño de poro. Estos filtros tienen una fracción muy grande de espacio vacío que permite, sorprendentemente, grandes velocidades de flujo. Se construyen de gran variedad de materiales, en discos de hasta 12 in de diámetro, y en hojas. Se usan en filtros horizontales de platos que tienen un diseño especial de platos perforados como soporte. También se usan en filtros de cartucho como la membrana que cubre los elementos tubulares del filtro.

No es el objeto de esta sección dar una lista de todos los materiales existentes que se utilizan en la fabricación de los medios filtrantes de superficie ni de dar las características particulares de cada uno. En la tabla 4 del apéndice se da una pequeña lista de algunos de los materiales empleados y algunas de sus propiedades que afectan en la selección de un medio filtrante.

3.7.6.2 Medios Filtrantes de Profundidad

El medio filtrante de profundidad retiene los sólidos en el cuerpo mismo del medio filtrante ya que sus poros generalmente son más grandes que las partículas a separar, y el paso del fluido a través del medio es tortuoso y sinuoso. Las partículas fluyen libremente a través de los poros hasta que chocan con el medio y son retenidas ya sea por atracción física, gravedad o porque llegan a depositarse en alguna hendidura o grieta.

Este tipo de medio filtrante no remueve todas las partículas de un tamaño determinado, y es generalmente diseñado para un 90,95 y 99% de eficiencias en la remoción de partículas. Algunos filtros de profundidad son los que utilizan filtro-ayudas, camas de arena, cartuchos hechos a base de fibras enrolladas o moldeadas y fieltros, como medios filtrantes. El medio filtrante es generalmente desechado después de obstruirse o taparse, sin embargo, en el caso de las camas de arena, estas se pueden utilizar de nuevo limpiándolas por medio de un retrolavado.

El tipo más común de materiales empleados en la construcción de este tipo de medios filtrantes son la

tierra de diatomeas, arena, grava, carbón y otros materiales microporosos.

El método usual para especificar un medio filtrante de profundidad es arbitrario, basado casi por completo en la experiencia o en pruebas realizadas a pequeña escala. Y en general el uso más común de la filtración de profundidad es para la clarificación en los procesos, principalmente, de tratamiento de aguas.

3.7.6.3 Selección del medio filtrante

Como ya se ha mencionado la selección del medio filtrante está basada en la experiencia. Por lo que lo más recomendable es solicitar el asesoramiento de personal que este ya sea en la fabricación o distribución y venta de medios filtrantes.

Para la selección del medio filtrante primero se analiza el tipo de equipo sobre el que se usará el medio. Esta información puede determinar alguna de las siguientes características: (1) La resistencia a la tensión; (2) Resistencia a la abrasión; (3) Resistencia a faltas causadas por flexionar el medio (4) Capacidad del medio para adaptarse a la forma del equipo. En algunos equipos se requiere que el medio mantenga cierta estabilidad en cuanto a su forma, por lo que el pre-encogido es una especificación primordial.

La presión de operación afecta también la resistencia a la rotura del medio, y esta a su vez es función del tipo de fibra de hilado y del tejido o entrelazado de las fibras.

También es importante conocer el pH, temperatura y composición química y concentración de la lechada y con información como la que aparece en la tabla 4, poder determinar si el uso de un material sintético o natural tiene la resistencia química y física para poder realizar el trabajo.

El conocimiento de la distribución del tamaño de partícula y el máximo tamaño de partícula que puede ser permitido que pase a través del medio ayuda a determinar la porosidad del medio. Si los sólidos a retener son de naturaleza cristalina, granular, limosos, gelatinosos esto afectará la porosidad y el entrelazado de las fibras y el darle mayor o menor importancia a alguno de estos factores depende si se quiere una máxima velocidad de flujo o una máxima claridad en el filtrado o una

combinación de estas dos últimas. Una vez determinados estos factores se puede decidir que tan estrecho o abierto se requiere el entrelazado de las fibras.

Después de determinar la porosidad del medio se determina el mejor tipo de hilado y entrelazado de las fibras. En la mayoría de las fibras se tienen 2 o 3 formas de hilado a escoger: 1) monofilamento, 2) multifilamento y 3) presillado (spun-staple).

En cuanto al tipo de tejido y entrelazado de los hilos se debe considerar: la retención de las partículas y retención de la torta de filtrado.

Por último se compara el precio del medio filtrante con la vida útil del mismo. Para verificar la selección, se pueden realizar pruebas en el laboratorio, en una planta piloto o pruebas con el equipo en dimensiones reales. Las pruebas en equipos de planta piloto proporcionan datos que pueden ser escalados a dimensiones reales, sin embargo la prueba más confiable, pero más costosa, es realizarla en equipos de dimensiones reales de producción. Para pruebas de producción, es preferible realizar pruebas con el equipo completo y no con secciones del mismo.

3.7.7 Obtención de datos a nivel Laboratorio y Planta Piloto.

Por lo que se ha mencionado anteriormente la variación de las condiciones de proceso tales como la agitación, el bombeo, el uso de coagulantes y floculantes, el uso de filtro-ayudas, el pH, la temperatura, el tiempo tiene un efecto notorio sobre la resistencia o permeabilidad de la torta, siendo este un factor de suma importancia en el diseño de los filtros.

Por lo que dependiendo del acondicionamiento y variables del proceso las sustancias a manejar presentan características particulares, lo que hace necesaria la evaluación del proceso a nivel laboratorio o planta piloto con el fin de verificar el diseño y tener un sistema de filtrado lo más eficiente y económico posible.

Las ecuaciones de filtración predicen en forma muy exacta un cambio en cualquier variable, siempre que las constantes sean determinadas de los datos obtenidos con la lechada en cuestión. Por lo que las pruebas de laboratorio o planta piloto sean importantes para la obtención de datos como los siguientes:

**ESTA TESIS NO DEBE
SER PRESTADA A
NINGUNA DE LA BIBLIOTECA**

- a) Estimado del area de filtración (tamaño de filtro)
- b) Espesor de la torta
- c) Velocidad de filtración
- d) Velocidad de lavado
- e) Tiempo de operación
- f) Ciclo de operación continuo o intermitente
- g) Peso y volumen de filtrado
- h) Concentración de la lechada
- i) Ph de la lechada
- j) Tipo y concentración optima de filtro-ayudas
- k) Medio filtrante optimo

De antemano se sabe si el proceso se llevará a cabo a presión o a vacío, de lo contrario se deben realizar algunos experimentos para saberlo. A veces se realizan pruebas completas para comparar las dos modalidades.

A continuación se presentan las pruebas más comunes a nivel laboratorio y planta piloto.

3.7.7.1. Pruebas a vacío

Existen pruebas llamadas de hojas y pruebas con embudos. Con las primeras se simula el comportamiento de filtros de disco o tambor giratorio y con las de embudo se simulan filtros continuos a vacío de superficie horizontal (bandas, mesas, bandejas, etc.). Para las pruebas de embudo generalmente se utiliza un embudo Buchner y para las pruebas de hojas se utiliza un equipo como el que se muestra en la Figura 3.11 en el apéndice. En los dos aparatos se utiliza un trozo, u hoja, de medio filtrante para simular el proceso de filtración.

El ciclo continuo más simple consta de tres partes: 1) formación de la torta, 2) desecación y 3) descarga. Comúnmente se realizan varias pruebas a un nivel escogido de vacío y un intervalo aproximado de tiempo para formar tres tortas de distintos espesores. Posteriormente se realizan pruebas explorando las variaciones de temperatura, concentración, pre-acondicionamiento, nivel de vacío, lavado, etc. Con estas pruebas se obtiene el tiempo total de filtración, volumen de filtrado, espesor y uniformidad de la torta, masa de la torta, tanto húmeda como seca y las lecturas de vacío. También se observan la eficiencia y la velocidad de lavado, el comportamiento en la desecación de la torta, si se agrieta o no la torta, las características de la descarga, el pH y la tendencia del filtrado a formar espuma. Todo esto se puede hacer para distintos medios filtrantes. En las pruebas con embudo se debe tener cuidado cuando se vierte la lechada al embudo, procurando

hacerlo en forma rápida para así formar una torta de espesor uniforme y de modo que la torta no se seque durante la filtración y que no sufra daños mecánicos debidos a la cascada de líquido.

3.7.7.2. Pruebas a Presión

Se utilizan equipos parecidos a los usados en las pruebas de hojas a vacío, siendo para las pruebas a presión, una diferencia positiva de presiones. Se recomienda realizar varias pruebas rápidas y sucesivas a la misma presión, pero con duraciones distintas y anotar solo los valores finales del volumen de filtrado, el tiempo y la masa de la torta, haciendo esto a distintas presiones. El lavado y el soplado de la torta pueden intentarse en el caso de que sean apropiados. Con los datos a distintas presiones se puede determinar la compresibilidad de los sólidos de la torta.

Cuando se va a utilizar un filtro prensa, es recomendable realizar pruebas en filtros prensa de laboratorios después de las pruebas preliminares de hojas, a menos que la lechada se filtre con mucha rapidez. El uso de filtro prensa de laboratorio permite observar el asentamiento de los sólidos, la compactación de la torta y el comportamiento de lavado, que pueden ser muy diferentes para un marco que para una hoja.

3.7.7.3. Pruebas de Compresión-Permeabilidad

Se utilizan este tipo de pruebas cuando se manejan sólidos bastante compresibles. Se realizan pruebas simples de filtración a velocidad constante en un equipo que consiste de una celda cilíndrica con un fondo permeable y una parte superior abierta, a la cual se ajusta un pistón hueco y con fondo permeable. Se vierte lechada a la celda y se forma una torta por aplicación de vacío a la línea de descarga de filtrado. Una vez formada la torta se llena la celda con filtrado y se permite que el pistón baje al nivel de la torta. Se aplican incrementos sucesivos de esfuerzos mecánicos a los sólidos y se determina la permeabilidad de la torta en cada uno de ellos, haciendo pasar el filtrado por el pistón, con carga baja.

3.7.7.4. Escalación de los resultados de pruebas.

Los datos así obtenidos se expresan como peso seco de sólidos o volumen de filtrado por unidad de área de filtración por ciclo de filtrado. Esta cantidad multiplica por el número de ciclos por día da el área de filtración requerida para una capacidad diaria o la

capacidad diaria de un filtro específico. Esta área de filtración se incrementa en un 25% ,como factor de incertidumbre.

En el cálculo de la duración del ciclo, se debe tomar en cuenta el tiempo de detención, en el caso de un filtro por lotes o el área muerta en el caso de un filtro continuo, que se refiere al tiempo entre la descarga de la torta y la deposición de la nueva torta.

Todas las pruebas se deberán efectuar bajo condiciones que simulen, tan estrechamente como sea posible, las condiciones que se presentarán en la operación a escala industrial. La lechada deberá ser representativa, en cuanto a sus características físicas y químicas y en cuanto a su tiempo de preparación y almacenamiento.

4. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE FILTRACION

4. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE FILTRACION

No obstante los métodos sofisticados de diseño y control de las operaciones de planta, gran parte de este tipo de trabajo se realiza en base a la experiencia. Ciertos tipos de problemas no pueden ser resueltos siguiendo reglas científicas o matemáticas, sólo pueden ser resueltos por la visión de un ingeniero experto que puede dar una explicación de lo que podría estar pasando bajo ciertas circunstancias.

Tal es el caso de los procesos de filtración, en los que para el diseño de un sistema de filtrado se tiene que recurrir a la experiencia y experimentación para obtener un diseño lo más adecuado posible.

4.1 Diseño del Sistema de Filtración

De lo mencionado en la sección 3.1 se debe poner atención a 5 áreas importantes:

- Definición del problema de filtración
- Selección del tipo apropiado de filtro o filtros
- Selección del medio filtrante
- Selección del equipo auxiliar
- Control de las condiciones de operación

4.1.1. Definición del Problema de Filtración

Debido a los distintos factores que involucra el diseño de un sistema de filtración, cada proveedor de filtros tiene sus propios cuestionarios, en la tabla 5 del apéndice, se presenta un cuestionario típico.

Desafortunadamente, muchos de estos cuestionarios quedan cortos en cuanto a dar una idea clara de las condiciones bajo las cuales el filtro requerirá para funcionar. Sin embargo, puede ser válido algunas veces, por razones comerciales o de seguridad, prevenir que el proveedor de filtros conozca más de una parte del proceso en el cual la filtración toma parte.

Los factores que deben ser considerados y la gran cantidad de tipos de equipo disponibles complican la selección misma para un trabajo en particular. Comúnmente los factores más importantes a considerar son los siguientes:

- Características de la lechada

- Nivel de producción
- Condiciones de proceso
- Requisitos requeridos
- Materiales de construcción
- Pre-acondicionamiento y uso de filtro-ayudas
- Tipo de ciclo (intermitente, continuo, a presión, etc.)
- Requerimientos y capacidad de lavado
- Costo

Algunas de las faltas que se cometen al momento de analizar el problema de filtración es definir el grado de claridad del filtrado que se requiere. Cualquiera que sea el método utilizado para definir la claridad deseada uno debe tener en mente que es relativamente fácil y barato remover la mayoría de los sólidos suspendidos y el costo aumenta rápidamente cuando los sólidos residuales o "cola" deben ser separados. Cuando es deseado recuperar los sólidos en un estado lo más seco posible o lavarlos completamente para remover los residuos solubles en el líquido original, puede ser ventajoso que los sólidos de la cola pasen hacia el filtrado. Otra razón por la que es conveniente dejar pasar la cola es que puede usarse un medio filtrante con un tamaño de poro que es menos propenso a taparse y que permite un mayor flujo por unidad de área del filtro.

Si es necesario remover parte o toda la cola así como la mayor parte de los sólidos, puede ser mejor utilizar dos o hasta tres diferentes tipos de filtros en serie, que hacer que un solo filtro haga todo el trabajo requerido.

4.1.2. Selección del tipo apropiado de filtro

Para la selección del filtro se tiene que tener completamente bien entendido el tipo de trabajo que realizará el filtro y además hay que tener conocimiento de los equipos que hay en el mercado y de sus distintos campos de aplicación. Para este último propósito se cuenta con guías para compradores, libros especializados y artículos y nomogramas publicados en distintas revistas técnicas como los que se presentan en las tablas 6 y 7 del apéndice.

Estas tablas tienen la finalidad de determinar características como las ya mencionadas y relacionarlas con los equipos existentes y sus distintos campos de aplicación.

Sin embargo, la mayoría de estas tablas no incluyen una guía sobre el pre-tratamiento de la lechada y sobre la selección del medio filtrante óptimo.

Como ya se mencionó anteriormente el pre-tratamiento tiene como finalidad mejorar la filterabilidad de la lechada, esto depende de factores tales como la forma, distribución del tamaño y estructura de las partículas sólidas, así como de la viscosidad del líquido y la concentración de los sólidos en la lechada.

La mayoría de las operaciones de pre-tratamiento encaminan a mejorar la separación sólido-líquido intentando incrementar el tamaño de partícula.

Por lo anterior la selección del filtro debe considerar detalladamente las ventajas potenciales debidas a alguna clase de pre-tratamiento.

Las características de formación de la torta indican si se puede realizar una operación continua o no. Otro factor para decidir si se efectúa una filtración continua o no es la velocidad de producción, altas velocidades favorecen la filtración continua. También hay que considerar los requerimientos de lavado, ya que esto puede afectar significativamente la selección del equipo, ya que la capacidad de lavado varía grandemente con el tipo de filtro, como se presenta en la tabla 6 y 7.

Los materiales de construcción influyen en la selección del equipo en cuanto que afectan el precio de compra, el cual depende de las dificultades en su fabricación así como del costo en sí del material.

En años recientes, los plásticos han hecho sistemas más económicos de muchos tipos para procesar materiales corrosivos. Esto es particularmente útil cuando la temperatura y la presión no son excesivamente altas.

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

4.1.3. Selección del medio filtrante

Como complemento a lo dicho en la sección 3.7.6.3, en la práctica la selección del medio filtrante tiende a ser simultánea con la selección del filtro, haciendo necesario que el ingeniero esté bien informado sobre los medios filtrantes disponibles como lo debe estar del equipo de filtración. Aquí también surgen dificultades debido a la gran variedad de medios filtrantes que incluyen

distintas formas de trabajar el metal, membranas, camas de arena y polvos filtrantes o filtro-ayudas.

Se han hecho intentos por hacer una clasificación general de medios filtrantes basada en la rigidez de los materiales, que permitiría conocer cada tipo de medio, un ejemplo de esto se presenta en la tabla 8, del apéndice.

La selección correcta del medio para un trabajo particular debe considerar factores tales como: tamaño de poro comparado con el tamaño de la partícula, resistencia al flujo, estabilidad física y química y costo. En algunos casos la decisión puede hacerse teóricamente, pero a menudo pruebas de laboratorio o planta piloto son necesarias.

Una vez que se han acumulado los sólidos formando una capa sobre el medio el control del proceso de filtración parece depender de la estructura de esta capa de sólidos más que de la estructura del medio filtrante. La selección del medio para filtración de torta depende en muchos casos de la facilidad con la que es removida la torta durante la descarga.

En filtración de torta los medios tejidos (telas) constituyen el más amplio e importante tipo de medio utilizado.

Existen tablas que muestran los efectos sobre la filtración que depende de la estructura con la que se ha confeccionado la tela. La tabla 9 (ver apéndice) muestra lo concerniente al hilado con el que se ha tejido la tela, y enlista los tres tipos básicos de hilado (monofilamento, multifilamento y enganchado) en orden decreciente de preferencia. En forma similar la tabla 10 (ver apéndice) clasifica los efectos de tres parámetros, que son: tamaño del hilado, número de vueltas en el trenzado del hilado y número de hilos o hebras en cada hilado, y la tabla 11 (ver apéndice) relaciona los distintos tipos de tejidos.

Igualmente importante en la selección del medio es la estabilidad química. Existen tablas como la tabla 4 que relaciona el ataque químico hacia los distintos materiales empleados en la fabricación de medios filtrantes.

4.1.4. Selección del equipo auxiliar

El pre-tratamiento debe ser considerado como parte de las características de la lechada, así también el término "equipo auxiliar" abarca todas las piezas que en algún modo interactúan con el filtro.

El grado de sofisticación del equipo tanto para llevar a cabo la filtración como para controlar el proceso no aseguran un funcionamiento óptimo del proceso.

Es probablemente cierto decir que la mayoría de los problemas en una estación de filtración no son debidas a fallas en el equipo básico sino en el equipo auxiliar.

Las bombas de alimentación son una fuente notoria de problemas, ya sea por la erosión de la bomba en sí o por la degradación del tamaño de las partículas sólidas. No es posible advertir sobre el uso de un tipo de bomba para evitar tales problemas ya que cada combinación de condiciones de operación y equipo impone sus propias restricciones; una gran variedad de bombas son justificables y exitosamente usadas en estaciones de filtración. Una regla importante es manejar la alimentación al filtro lo más suave posible, evitando altos flujos de recirculación a menos que sean necesarios por otros factores.

Las bombas de vacío son una fuente bastante común de problemas. Especialmente las de tipo húmedo, debido principalmente a la falta de cuidado en el diseño del sistema de enfriamiento. Otra falla es la sensibilidad de las bombas de vacío a la temperatura del agua, la cual causa una caída brusca en la capacidad volumétrica de la bomba conforme la temperatura del agua aumenta.

Los filtros a vacío son propensos a espumar y sobrecargarse. Estos problemas pueden agudizarse si la alimentación tiene una tendencia a formar espuma o si el tanque receptor/separador entre el filtro y la entrada a la bomba de vacío no es diseñada correctamente.

No importa si se ha seleccionado el tipo de bomba correcto, se tienen que cumplir los requerimientos del cpns (cabeza positiva neta de succión) para evitar problemas de vaporización en la bomba y evitar problemas subsiguientes de cavitación y erosión.

Así como la selección de la bomba es de suma importancia, la selección de las válvulas de control también lo es, así como de la demás instrumentación para la operación y control del proceso.

4.1.5. Control de las Condiciones de Operación

Mantenimiento preventivo y monitoreo del equipo es siempre importante. En un filtro los parámetros más obvios de observar son rendimiento por unidad de área y

la caída de presión. Ambos valores son fácilmente medibles, aunque desviaciones de los valores normales indican algún tipo de falla, ningún parámetro da una clave de cual es la fuente de problemas.

Puede ser que el medio filtrante se este tapando, deterioro de la bomba o que hayan cambiado las características de la lechada en la alimentación.

Existen métodos para monitorear la operación de filtros ya sea continuos o intermitentes. El método para filtros intermitentes permite distinguir entre problemas en la lechada o líquido por un lado y problemas con el equipo por otro. El método para filtros continuos monitorea la velocidad de taponamiento del medio filtrante.

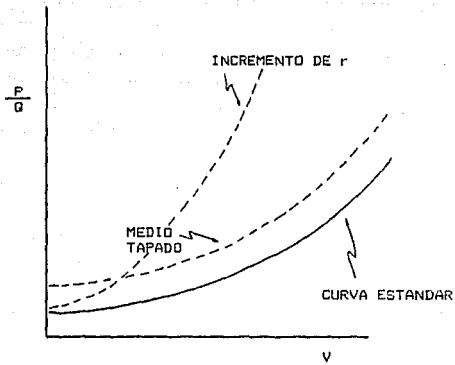
El método para filtros intermitentes esta basado en la siguiente adaptación de la ecuación básica de filtración

$$\frac{P A}{Q \mu} = \frac{r w V}{A} + R$$

donde P es la caída de presión, A es el área del filtro, Q es la velocidad de flujo, μ es la viscosidad del líquido, r es la resistencia específica a la filtración, w la concentración de sólidos en la alimentación, V volumen de filtrado y R resistencia del medio filtrante.

Una gráfica de P/Q vs. V dará una curva de forma característica para un proceso dado, en donde todos los demás factores son constantes. Para tomar ventaja de este hecho los datos de P, V y tiempo (θ) registrados para un ciclo completo con valores de Q obtenidos a partir de las pendientes de una gráfica de V vs θ , en los que una gráfica de Q vs P dará una curva que debe ser idéntica a la curva característica de la bomba dada por el proveedor, suponiendo que la bomba no está desgastada, o que ha sido reducida la velocidad o algún otro factor mecánico.

Sobre una gráfica P/Q vs V estándar, obtenida durante la operación inicial, se podrán observar mediciones posteriores, en la que la presencia de una curva paralela indicará que el medio filtrante está parcialmente tapado, mientras que una deflexión de la curva indica un incremento en la resistencia de la torta r.



GRAFICA 4.1

GRAFICA DE MONITOREO EN EQUIPOS INTERMITENTES

4.2 CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE FILTRACION

4.2.1. Objetivo de la Filtración

El objetivo principal es poder realizar pruebas con suspensiones sólido-líquido para determinar las constantes de filtración de los materiales involucrados así como del medio filtrante.

El presente trabajo propone un diseño en el que se pueden manejar materiales no corrosivos y materiales corrosivos en cierto grado.

De las distintas etapas que se dan en el proceso de filtración mencionadas en el capítulo 3, esto es el pre-tratamiento, concentración de sólidos, separación de sólidos y post-tratamiento solo se consideró la separación de los sólidos y el post-tratamiento para realizar el diseño del sistema.

4.2.2. Filtro Prensa

Se cuenta con un filtro prensa de placas de acero inoxidable e inatacable marca SEITZ (Alemania).

TIPO	PILOT A-20
TAMARO DE LAS PLACAS	20 x 20 cm
SUPERFICIE FILTRANTE	Por placa 2 x 0.0321 m ²
PRESION DE SERVICIO	max. hasta 3 atm.

CONSTRUCCION filtro transportable de placas múltiples con elementos cuadrados de filtro, colocados verticalmente en paralelo. Apriete manual del paquete de placas por medio de un husillo central, cabezal del filtro como elemento de presión, equipado con bandeja colectora, todos los acoplamientos necesarios y manómetro.

MATERIAL Filtro completo con cámaras de filtro, grifería de acero inoxidable e inatacable (Cr-Ni-Mo) material 4401/4571 pulido.

ACOPLAMIENTOS

ENTRADA

- Para acoplamiento de manguera: boquilla para manguera de 13 mm D.I.
- Para acoplamiento de tubo: cople roscar de 25 mm D.I.

SALIDA

- Para acoplamiento de manguera: boquilla para manguera de 13 mm D.I.
- Para acoplamiento de tubo: cople roscar de 25 mm D.I.

PURGA Acoplamiento para manguera de aire de 8 mm D.I.

GRIFERIA

ENTRADA Válvula de asiento
y SALIDA oblicuo
28 x 1/8", 13 mm D.I.

MANOMETRO Manómetro de membrana
1/4"

4.2.3. Medio Filtrante

Para llevar a cabo la filtración se usó como medio filtrante lonas de algodón.

El algodón presenta una excelente resistencia a la tensión mecánica y a la abrasión y presenta una aceptable retención de partículas dependiendo del tipo de hilado de las hebras con las que se hace el tejido. Además el algodón es resistente a la degradación por calor. El algodón no se ve muy afectado por soluciones frías de ácidos diluidos, sin embargo es vulnerable al ataque de soluciones calientes de ácidos débiles y soluciones frías de ácidos concentrados. La exposición a soluciones causticas provoca que la tela se hinche pero no causa daños. La pobre resistencia de la tela al ataque del moho y los hongos puede ser mejorada con tratamientos aplicados a la tela, dentro de los cuales se encuentra un tratamiento con cupraamonio y resinas especiales.

Las hebras con las que estan hechas estas lonas son a base de hilar pequeños trozos de fibra y así formar las hebras con las que se hace la tela, este tipo de hilado

se conoce como spun-staple. El spun-staple tiene la mayor retención de partícula y ofrece mejores propiedades de sellado. El tipo de tejido es del tipo cruzado (twill) que ofrece una retención de partícula aceptable, no es muy propenso a taparse, ofrece una gran resistencia a la abrasión y moderadas velocidades de flujo. La lona es aproximadamente de 800 gr/m.

4.2.4. Equipo auxiliar. Materiales de Construcción

Ya que los materiales plásticos no se corroen en el sentido electroquímico y no se ven afectados por cambios ligeros en pH o contenido de oxígeno y por su bajo costo comparado con los metales, y después de analizar datos de corrosión se decidió utilizar P.V.C., polipropileno, neopreno y polietileno como materiales de construcción para tubería, bomba, empaques y tanques de almacenamiento respectivamente.

En general estos plásticos tienen una excelente resistencia al ataque de ácidos minerales débiles y no son afectados por las soluciones de sales orgánicas.

El caso del P.V.C. utilizado en la construcción de la tubería, tiene una excelente resistencia a los ácidos oxidantes que no estén concentrados y a la mayoría de los ácidos no oxidantes, su resistencia es buena a los materiales alcalinos débiles y fuertes y al igual que el polietileno alta densidad y el polipropileno tiene buena resistencia a la abrasión y a los choques e impactos, siendo el polietileno resistente a la mayoría de los disolventes. El polipropileno tiene una resistencia química aproximadamente igual que la del polietileno.

El neopreno que se utilizó como material de empaque, en este caso forma parte del sello mecánico de la bomba, tiene una buena resistencia al petróleo no aromático, los aceites grasos (excepto los de tipo aromático, clorados o de cetona). Tiene una buena resistencia a los álcalis, siendo de resistencia regular a los ácidos.

En base a lo anterior se cuenta con tubería de P.V.C de tipo industrial con un diámetro de 1 1/4" en la succión de la bomba y de 1" en la descarga con válvulas y accesorios también de P.V.C.

La bomba que se seleccionó, Fig. 4.6 en el apéndice, es del tipo centrífuga inyectada en polipropileno con sello mecánico de neopreno y con impulsor abierto de paletas. Esta bomba es accionada por un motor General Electric de

1 h.p., 3500 r.p.m., 220 volts, trifásico, con brida tipo "C". La bomba proporciona una presión máxima de 2 kg/cm², dando un flujo de 2000 a 3000 lts/hr.

En el caso de que se requiera manejar suspensiones ácidas, cambiar el sello mecánico de neopreno por uno de vitón.

Los tanques de lechada y filtrado son de polietileno alta densidad de 200 lts. de capacidad.

La agitación es del tipo mecánica, aproximadamente de 35-50 r.p.m. con una paleta de aproximadamente de 15 cm de ancho.

Y como instrumentación auxiliar:

-Termómetro:	0 - 100°C
-Cronómetro:	min:seg
-Báscula:	500 - 1000 gr.
-Espátula	
-Horno:	0 - 300°C o balanza de humedad
-Fluoresceína	

4.2.5. HOJA DE DATOS

HOJA DE DATOS		FILTROS		UNIVERSIDAD LA SALLE	
PROYECTO:				HOJA DE	
NOMBRE Y TAG DEL EQUIPO:				FECHA	
SERVICIO:				POR	
No. UNIDADES:		OPERANDO:		RELEVO:	
				REV.	
I. PROPIEDADES DE LA LECHADA					
1. LIQUIDO A SEPARAR:		CORROSIVIDAD:		ALTA MEDIA BAJA	
3. pH FASE LIQ:		DENSIDAD:		g/cc VISC: cm	
4. % SOLIDOS SUSPENDIDOS:		PRESION DE VAPOR @ T:			
5. NOMBRE, ESTRUCTURA Y DISTRIBUCION		OTRAS PROP. A CONSIDERAR:			
6. DE TAMAÑO DE PARTICULA DE LOS					
7. SOLIDOS:					
8.					
9.					
II. CONDICIONES DE OPERACION					
10. CONTINUO:		INTERMITENTE:		FLUJO: min max nor m ³ /h	
11. TEMP: min max norm		*C: SOLIDOS REMOVIDOS:		kg/h	
12. PRESION: min max norm		kg/cm ² : TAMAÑO SOL. REMOVIDO:		µM	
13. DP: min max		kg/cm ² :			
14.					
15. TEMP DE DISEÑO:		*C: PRESION DE DISEÑO:		kg/cm ² : CORR. FERM.	
16.					
IV. INFORMACION DEL PROCESO			V. EQUIPO DE FILTRACION		
17. PRODUCTO A RECUPERAR:					
18. FILTRADO: TORTA:		AMBOS:		PRENSA: CARTUCHOS:	
20. CLARIDAD: BRILLANTE CLARO TURBIO		F. ED TATORIOS A: F. DE HOJAS:			
21. OTRO:		VACIO		VERTICAL	
22. % MAX Y MIN DE HUMEDAD EN LA TORTA:		PRESION		HORIZONTAL	
23.		DE CHAROLA			
24. FLUIDO DE LAVADO: #		m ³ /h: OTRO:			
25. TEMP: *C		PRESION: kg/cm ² :		DESCARGA DE TORTA:	
26. TIEMPO DE LAVADO:				HUMEDA: SECA:	
27. TIPO Y CARACTERISTICAS DE				MEDIO FILTRANTE	
28. PRE-TRATAMIENTO:				TIPO:	
29.				SUPERFICIE:	
30.				POROSIDAD:	
31.				OTRAS:	
32.					
33.					
VI. MATERIALES DE CONSTRUCCION					
34.		CONEXIONES:		No. TAMAÑO TIPO	
35.		ENT/SAL		ENT/SAL ENT/SAL	
36. FILTRO					
37. SOPORTES					
38. MEDIO FILTRANTE					
39. EMPAQUES					
40. CONEXIONES					
41. (OTROS):					
42.					
43.					
44.					
45.					
46.					
47.					
48. CODIGO:					
49.					
50. OBSERVACIONES:					
51.					
52.					
53.					
54.					

4.2.6. DIAGRAMA DEL SISTEMA

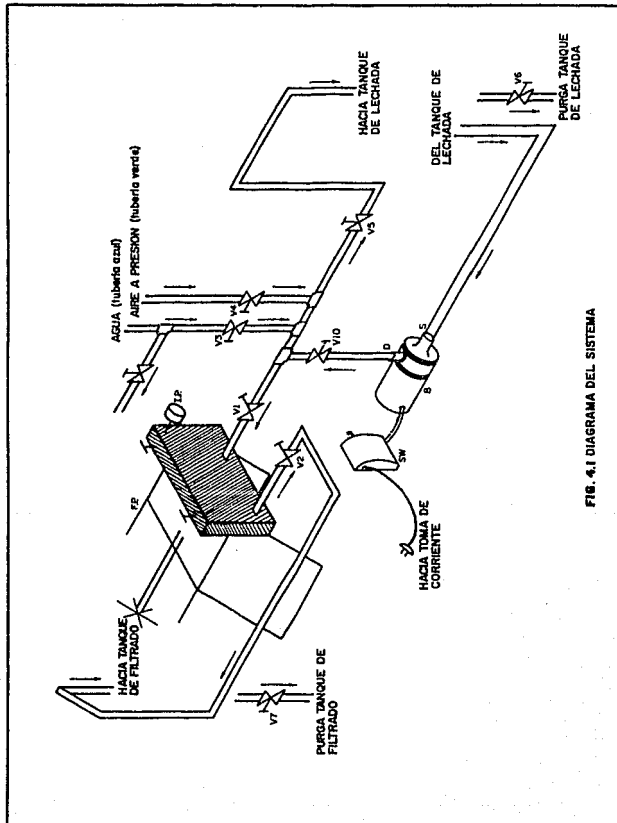


FIG. 4.1 DIAGRAMA DEL SISTEMA

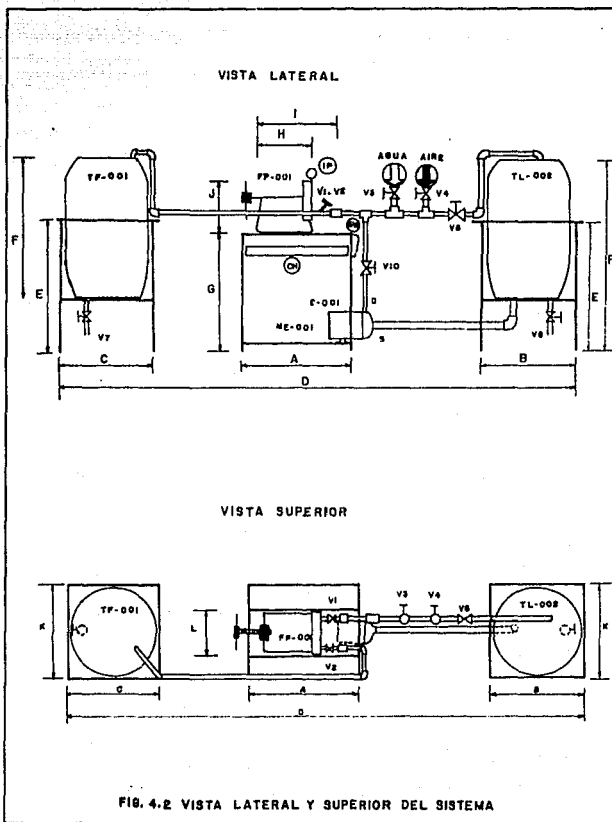


TABLA 12



I. SIMBOLOGIA DEL EQUIPO	
CLAVE	DESCRIPCION
B-001	BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL $\Delta h_b = 2 \text{ Kg/cm}^2$
FP-001	FILTRO PRESA DE ACERO INOXIDABLE
ME-001	MOTOR ELECTRICO TRIFASICO DE 1 hp , 220V/440 V
TF-001	TANQUE DE FILTRADO 200 lts., POLIETILENO ALTA DENSIDAD
TL-002	TANQUE DE LECHADA 200 lts., POLIETILENO ALTA DENSIDAD
D	DESCARGA DE LA BOMBA $\phi = 1 \text{ in} = 25 \text{ mm}$
S	SUCCION DE LA BOMBA $\phi = 1 \frac{1}{4} \text{ in} = 32 \text{ mm}$

II. SIMBOLOGIA DE VALVULAS E INSTRUMENTOS	
CLAVE	DESCRIPCION
IP	INDICADOR DE PRESION 16 BAR
V1	VALVULA DE ASIEN TO OBLICUO, 20 X 1/8", D.I. = 13 mm, ENTRADA
V2	VALVULA DE ASIEN TO OBLICUO, 20 X 1/8", D.I. = 13 mm, SALIDA
V3	VALVULA DE BOLA MANUAL, P.V.C. , 25 mm
V4	" " " " "
V5	" " " " "
V6	" " " " "
V7	" " " " "
V10	" " " " "
SH	INTERRUPTOR DE NAVAJAS 3 POLOS X 10 AMPERES
RU	RUBINADO

TABLA 12

CONTINUACION...

III. DESCRIPCION DE LINEAS				
CLAVE	DESCRIPCION	DIAMETRO NOMINAL		MATERIAL
		cm	in	
	SUCCION DE LA BOMBA	3.2	1 1/4	P.U.C.
	DESCARGA DE LA BOMBA	2.54	1	P.U.C.
	LINEA DE RECIRCULACION	2.54	1	P.U.C.
	LINEA DE FILTRADO	2.54	1	P.U.C.

IV. ACOTACIONES			
CLAVE	DIMENSION	CLAVE	DIMENSION
A	78 cm.	G	75 cm
B	68	H	36
C	60	I	58
D	358	J	34
E	85	K	68
F	69	L	27
	FLUJO DE AGUA AL SISTEMA		FLUJO DE AIRE AL SISTEMA
	FLUJO HACIA EL FILTRO		FLUJO DE RECIRCULACION
	FLUJO DE FILTRADO		

4.2.7. MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

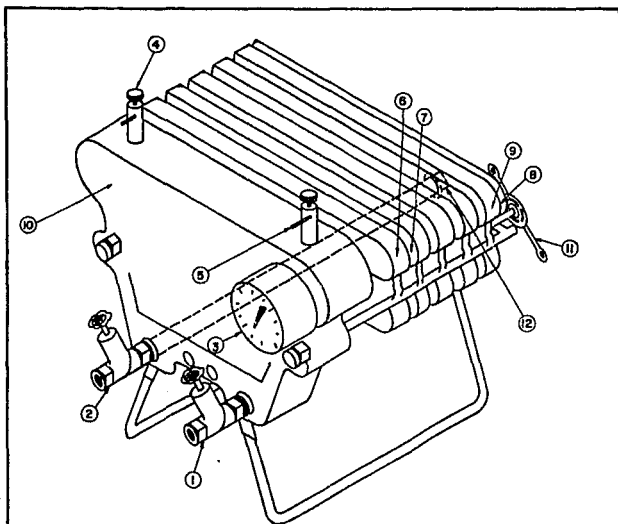


FIG. 4.2.7 MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

- 1- VALVULA DE ENTRADA (V1)
- 2- VALVULA DE SALIDA (V2)
- 3- MANOMETRO (P)
- 4- VALVULA DE PURGA DE AIRE, LADO DE LA SALIDA (VB)
- 5- VALVULA DE PURGA DE AIRE, LADO DE LA ENTRADA (V3)
- 6- CAMARA FINAL CORRESPONDIENTE A CABEZAL FIJO
- 7- CAMARA DE FILTRO
- 8- CABEZA MOVIL
- 9- CAMARA FINAL CORRESPONDIENTE A CABEZAL MOVIL
- 10- CABEZAL DE GRIFERIA (FIJO)
- 11- HUSILLO DE APRIETE
- 12- VALVULA DE VACIADO, LADO DE LA SALIDA

1. Accionamiento de Válvulas de Bola. (Fig. 4.7, ver apéndice).

Los sellos de las válvulas a parte de evitar que existan fugas, también sirven de unión con la tubería a la cual esta conectada y en donde los COPLES DE UNION DE LAS VALVULAS mantienen estos sellos en su lugar.

Para que la válvula tenga un sellado perfecto es necesario que los coples unión estén bien apretados, sin embargo esto impide que la válvula sea accionada con facilidad con lo que se ocasionarían daños al vástago de la válvula quedando esta inservible.

Ya que estas válvulas están normalmente abiertas o cerradas, cada vez que se quiera operar una válvula verificar que los coples unión estén flojos y una vez puesta la válvula en la posición deseada apretar nuevamente los coples.

Lo más recomendable es aflojar los coples unión y dejarlos así si la válvula opera normalmente abierta y mantener los coples apretados si la válvula opera normalmente cerrada.

Esta forma de operar las válvulas es de mucha importancia para que siempre se encuentren en buen estado y presenten el mínimo de fugas.

2. Cámaras de Filtro. (Fig. 4.5, ver apéndice)

Las cámaras del filtro son iguales entre si y pueden ser intercambiadas, solamente las dos finales deben ser siempre colocadas contra el cabezal móvil y el cabezal de grifería respectivamente. Las cámaras de filtro deben colocarse de tal forma que sus ojos formen los canales de entrada o salida. Las cámaras cuyos ojos quedan en lado de la válvula de entrada son cámaras de lechada y las situadas en el lado de la válvula de salida son cámaras de clero o de filtrado.

Las cámaras están formadas por marcos huecos de 13 mm de ancho en los cuales se han encajado por ambas caras chapas perforadas como soportes para las placas o medios filtrantes. Las cámaras finales están equipadas solamente por un lado con una chapa perforada mientras que el otro lado esta perfectamente cerrado. En caso de contener los productos a filtrar cantidades mayores de materiales sólidos, se colocan en el lado de la alimentación al filtro marcos sin chapa perforada.

Carga del filtro con placas o medios filtrantes

Cargar el filtro o vestir el filtro se refiere a la colocación de los medios filtrantes. La correcta elección

de estos es determinante para el éxito de la filtración, con miras al rendimiento del filtro y claridad del filtrado. Si se utilizan medios de tela, hay que humedecerlos primero en el filtrado antes de colocarlos, y si se usan medios de papel hay que colocarlos en seco.

Para colocar los medios filtrantes, ver Fig. 4.8 en el apéndice, se afloja el husillo de apriete (11) y se desplaza el cabezal móvil hacia atrás. Ahora se pueden separar las cámaras lo suficiente para poder colocar los medios filtrantes entre las cámaras. Previamente se coloca una junta de goma, Fig. 4.5 en el apéndice, en cada uno de los ojos anulares de cada cámara de filtro y de los dos cabezales.

Se dispone de juntas de caucho a prueba de vapor o juntas estables de silicona. En la filtración de líquidos que ataquen la goma se deben utilizar las correspondientes juntas resistentes a los disolventes.

Una vez colocados los medios se recorre el cabezal móvil (8) contra el paquete de cámaras filtrantes girando el husillo de apriete (11) y se prensa el filtro fuertemente. Cuando se usan medios filtrantes de papel, al entrar en contacto con el líquido se reblandecen, por lo que hay que prensarlos de nuevo fuertemente. Es importante que al apretar el filtro de nuevo, no debe encontrarse bajo presión alguna de líquido (el manómetro debe marcar cero).

3. Puesta en Marcha

Ya con el filtro vestido (cargado con medios filtrantes), se prepara la lechada. En caso de ser en medio acuoso, se llena el tanque TL-002 con la cantidad deseada de agua manteniendo las válvulas V1, V2, V4, V6, V7 y V10 cerradas y abriendo las válvulas V3 y V5. Se verifica que la bomba este cebada. El cebado se realiza abriendo las válvulas V10 y V5 y manteniendo las válvulas V1, V2, V3, V4, V6 y V7 cerradas y por inspección visual de la carcasa de la bomba se verifica que no exista aire en su interior, de lo contrario hay que agregar más líquido al tanque. Otra forma de cebado podría ser: antes de prensar las cámaras del filtro abrir las válvulas V1 y V10 manteniendo todas las demás cerradas. Una vez cebada la bomba se cierra V1 y se deja abierta V10.

Seguidamente se agrega la cantidad de sólidos necesaria para formar una lechada con una concentración máxima de 5% en peso.

Con V5 semiabierta, V8, V9 y V10 abiertas y todas las demás válvulas cerradas, se enciende la bomba y se mantiene una agitación constante de 35 a 50 r.p.m. Al mismo tiempo que se cierra parcialmente la válvula de recirculación V5, se abre lentamente la válvula de entrada al filtro V1. Cerrar las válvulas de purga de aire V8 y V9 tan pronto salga por ellas líquido exento de aire, hasta entonces abrir la válvula de salida del filtro V2. El rendimiento del filtro se regula con la válvula de entrada V1 de acuerdo con las indicaciones reseñadas a continuación.

4. Ajuste de la Presión de Operación

Es de suma importancia para la correcta forma de trabajo del filtro la adecuada regulación de la presión de filtración.

- a) Para el caso de un proceso a presión constante, una vez alcanzada la presión de operación, regular ésta cerrando la válvula de entrada V1, terminando el proceso cuando la velocidad de filtración disminuya hasta un valor despreciable, que es cuando el filtro está prácticamente lleno.
- b) Para el caso de un proceso a velocidad constante, con la válvula V1 se ajusta una presión de operación lo más baja posible y conforme disminuya el rendimiento del filtro se abre la válvula V1 para mantener una velocidad de filtración uniforme hasta que la presión de operación aumente hasta un valor permitido en cuyo momento se detendrá la filtración, que es cuando el filtro está prácticamente lleno.

Para líquidos con temperatura ambiente no debe sobrepasar el rendimiento del filtro los 1500 lts/hr, con filtro completamente lleno, es decir, con una carga de 25 medios filtrantes. Con menor cantidad de placas, respectivamente menos. Esto se aplica en medios filtrantes de celulosa. Con presiones mayores en el sistema de conducciones y al taparse los medios filtrantes se puede incrementar la presión de forma constante y lenta hasta alcanzar la presión máxima de 10 atm. debiendo ser la diferencia de presión (presión entre la válvula de entrada y de salida) como máximo de 3 atm.

5. Lavado y Secado de la Torta

El filtro utilizado en este trabajo no cuenta con platos de lavado por lo que el fluido de lavado sigue el mismo camino que la suspensión.

Una vez terminada la filtración se detiene la bomba y se cierra la válvula V2. Con las válvulas V2, V4, V5, V6, V7 y V10 cerradas y V8 y V9 abiertas se hace circular agua abriendo la válvula V3, como líquido de lavado, cerrando V8 y V9 cuando salga líquido exento de aire, se abre V2 y se regula la presión o velocidad de lavado con la válvula V1.

Una vez efectuado el lavado de la torta, se hace pasar aire comprimido cerrando V3 y abriendo V4. Cuando ya no pueda desplazarse más líquido se cierra V4 y se procede a descargar la torta, limpiar el filtro y los medios filtrantes. La torta se descarga aflojando el husillo de apriete (11), separando las cámaras filtrantes y con una espátula se desprende de la torta de sólidos del medio filtrante, depositándola en la charola, posteriormente se determina la humedad en ella.

6. Limpieza

Las cámaras y medios filtrantes se lavan por separado y se secan lo mejor posible. Las tuberías y tanques se limpian haciendo circular agua por todo el sistema, y dejándolo perfectamente limpio.

7. Mantenimiento

Se recomienda el siguiente PROGRAMA DE MANTENIMIENTO:

- a) Dejar perfectamente limpio el equipo después de cada práctica.
- b) Monitoreo del comportamiento del medio filtrante de acuerdo con la ecuación propuesta en la sección 4.1.5 para determinar el tiempo en el que se debe cambiar el medio filtrante ya sea porque se ha tapado demasiado o por que presente un desgaste que afecta los requerimientos de operación.
- c) Verificación periódica de las partes principales de la bomba, como pueden ser: el sello mecánico, el impulsor, la flecha y la carcasa. Si se encuentra alguna falla de inmediato reemplazar o reacondicionar las partes afectadas antes de usar de nuevo el equipo. Verificar que la bomba esté cobada.
- d) Verificar el correcto funcionamiento del motor así como de toda la instalación eléctrica.

" POR EL ARREGLO DE EQUIPO QUE EXISTE SE DEBE TENER LA PRECAUCION DE NO MOJAR EL EQUIPO ELECTRICO Y DESCONECTAR LA CORRIENTE ANTES DE HACER LA OPERACION DE LIMPIEZA "

- e) Verificar el buen estado de las tuberías y válvulas replazandolas cuando presenten fugas que así lo ameriten.
- f) Verificar que la resistencia de los materiales de construcción del equipo al ataque químico de las sustancias a filtrar este dentro de los límites permitidos.
- g) Revisión periódica del manómetro y limpiar el mecanismo del mismo cuando sea necesario. Esto deberá hacerse despues de haber efectuado de 20 a 25 pruebas en el equipo. El manómetro siempre debe marcar cero si el equipo no esta operando, de lo contrario tendrá que realizarse una limpieza en su mecanismo.
- h) Se recomienda que exista un programa de mantenimiento preventivo por parte del laboratorio de la Universidad que contemple los puntos antes mencionados para que el equipo este siempre en perfectas condiciones para ser operado.

5 EXPERIMENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

5. EXPERIMENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Pruebas de filtración a presión constante

Se realizaron pruebas con suspensiones de carbonato de calcio y caolín. Después de varias corridas se encontró que las suspensiones entre el 3-5% en peso eran las más adecuadas para obtener datos confiables, ya que a mayores concentraciones el filtro se llena en menor tiempo y al tener menos datos de volumen y tiempo, la construcción de las gráficas para la determinación de las constantes de filtración se hace más inexacta. Por otro lado, a menores concentraciones el proceso de filtración se hace muy lento.

Para cada suspensión se hicieron pruebas a tres presiones distintas. La descarga de filtrado se encuentra a 0.34 mts. por arriba del nivel del filtro.

Se registró el tiempo cada 5 litros de volumen de filtrado obtenido a presión constante de operación.

En las tablas 14 a 16 se reportan los resultados obtenidos.

Corrección de la caída de presión:

$$P_1 = 20 \text{ lb/in}^2 \times 0.0703 \frac{\text{Kg/cm}^2}{\text{lb/in}^2} - 0.034 \text{ Kg/cm}^2 = 1.372 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_2 = 15 \text{ lb/in}^2 \times 0.0703 \quad - \quad 0.034 \quad = \quad 1.0205 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_3 = 10 \text{ lb/in}^2 \times 0.0703 \quad - \quad 0.034 \quad = \quad 0.6690 \text{ Kg/cm}^2$$

TABLA 14

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A P CTE. PARA CaCO₃

VOLUMEN DE FILTRADO V	TIEMPO DE FILTRACION, t, en segundos para una P cte. de		
	1.372×10^6 Kg/m ²	1.8205×10^6 Kg/m ²	0.669×10^6 Kg/m ²
0.005	27	22	24
0.010	58	53	60
0.015	94	92	101
0.020	137	140	155
0.025	184	192	220
0.030	238	256	301
0.035	288	327	398
0.040	367	406	488
0.045	439	491	599
0.050	517	584	719
0.055	603	686	854
0.060	694	796	1003
0.065	800	923	1155
0.070	907	1049	1320
0.075	1028	1186	1513
0.080	1139	1331	1706
0.085	1270	1500	1943
0.090	1421	1681	2190
0.095	1577	1875	2464
0.100	1750	2102	2791
0.105	1970	2359	3165
0.110	2214	2642	3641
0.115	2515	2965	
0.120	2972	3394	
0.125	4200	4146	

CANTIDAD APROXIMADA DE SOLIDOS RECOLECTADOS EN CADA CORRIDA:

m = 4.136 KG

TABLA 15

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A P CTE. PARA CAOLIN

VOLUMEN DE FILTRADO V m ³	TIEMPO DE FILTRACION, f, en segundos para una P cte. de		
	1.372 x 10 ⁴ Kg/m ²	1.0205 x 10 ⁴ Kg/m ²	0.669 x 10 ⁴ Kg/m ²
0.005	59	85	82
0.010	157	186	211
0.015	305	333	398
0.020	485	527	642
0.025	694	778	935
0.030	952	1058	1295
0.035	1254	1424	1705
0.040	1584	1788	2168
0.045	1937	2206	2683
0.050	2328	2694	3254
0.055	2761	3187	3886
0.060	3262	3719	4581
0.065	3809	4415	5379
0.070	4383	5037	6222
0.075	5052	5685	7212
0.080	5937	6728	8268
0.085	6991	7828	9541
0.090	8524	9471	11213
0.095		12223	13446
0.100		17878	16755
0.105			
0.110			
0.115			
0.120			
0.125			

CANTIDAD APROXIMADA DE SOLIDOS RECOLECTADOS EN CADA CORRIDA:

n = 4.588 KG

TABLA 16

SOLIDO	ρ real gr/cc	TAMANO DE PARTICULA No. DE MALLA	VOLUMEN DEL LECHO cc	ρ torta seca gr/cc
CARBONATO DE CALCIO	2.5	200	3713.03	1.11
CAOLIN	2.5	200	3713.03	1.23

VOLUMEN DEL LECHO : CORRESPONDE AL VOLUMEN DE LOS MARCOS EN LOS QUE SE DEPOSITAN LOS
SOLIDOS

$$\rho \text{ torta seca} = \frac{m \text{ solidos depositados}}{V \text{ lecho}}$$

TABLA 17

DATOS DE LAUADO DE TORTA PARA CaCO ₃				
	CORRIDA 1	CORRIDA 2	CORRIDA 3	CORRIDA 4
TEMPERATURA, °C	20	20	20	20
VISCOSIDAD, cp	1	1	1	1
PRESTION, Kg/m ²	2.778×10^4	2.8750×10^4	1.372×10^4	1.8285×10^4
VOLUMEN DE AGUA DE LAUADO, m ³	0.013	0.013	0.013	0.013
VELOCIDAD DE LAUADO, m/s	5.880×10^{-5}	4.150×10^{-5}	2.580×10^{-5}	1.790×10^{-5}

TABLA 18

DATOS DE LAUADO DE TORTA PARA CAOLIN				
	CORRIDA 1	CORRIDA 2	CORRIDA 3	CORRIDA 4
TEMPERATURA, °C	20	20	20	20
VISCOSIDAD, cp	1	1	1	1
PRESTION, Kg/m ²	2.778×10^4	2.8750×10^4	1.372×10^4	1.8285×10^4
VOLUMEN DE AGUA DE LAUADO, m ³	0.017	0.017	0.017	0.017
VELOCIDAD DE LAUADO, m/s	1.450×10^{-5}	1.030×10^{-5}	0.720×10^{-5}	0.590×10^{-5}

5.2 Análisis de Resultados

Para el cálculo de las constantes de filtración se utilizaron las ecuaciones y métodos propuestos en la sección 2.3.2.

Sin embargo, al efectuar las pruebas en el laboratorio la cantidad de filtrado recogido no es igual al filtrado total debido al volumen de filtrado atrapado en las líneas del sistema por lo que la ecuación (12) puede escribirse como

$$\frac{P\theta A}{V+V_c} = \frac{\gamma\omega\mu P^n (V+V_c)}{2 A} + \gamma\omega\mu V_c P^n \quad (56)$$

donde V_c es el volumen de filtrado atrapado en las líneas.

Pero también existe un tiempo necesario antes de que se alcance a mantener una caída de presión constante, lo que influye en la integración de la ecuación (10). Si designamos a V_r como el volumen de filtrado al tiempo θ_r antes de alcanzar el estado de presión constante y V al volumen de filtrado al tiempo θ tenemos que la integración de la ecuación (10):

$$\int_{V_r+V_c}^{V_c+V} \gamma\omega\mu (V+AV_f) dV = \int_{\theta_r}^{\theta} P^{1-n} A^2 d\theta$$

haciendo las mismas consideraciones que en la sección 2.3.2. de que $A, n, \gamma, \omega, V_f$ y μ permanecen constantes para una caída de presión constante y una variación en V , tenemos que la integración da como resultado:

$$\frac{P(\theta-\theta_r)A}{V-V_r} = \frac{\gamma\omega\mu P^n (V+V_r+2V_c)}{2 A} + \gamma\omega\mu P^n V_f \quad (57)$$

Se recomienda recibir las primeras gotas de filtrado en un recipiente diferente al utilizado para el filtrado hasta alcanzar la presión de operación con esto elimina la necesidad de trabajar con la ecuación (57) y por tanto, la ecuación utilizada para el cálculo de las constantes de filtración es la ecuación (56) según el método propuesto en la sección 2.3.2.

Las constantes así determinadas por la ecuación (56) se compararon con las constantes determinadas por la forma tradicional según las ecuaciones siguientes:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{\alpha\omega\mu}{PA^2} V + \frac{\alpha\omega\mu V_e}{PA^2}$$

en donde V_e/A es igual a V_f y α es igual a γP^n

Graficando $\Delta\theta/\Delta V$ vs. V se obtiene una línea recta de pendiente $\alpha\omega\mu/PA^2$ y ordenada al origen $\alpha\omega\mu V_e/PA^2$ y al graficar en forma logarítmica α vs. P se obtienen los valores de las constantes de filtración γ , n y V_f .

Las pruebas se llevaron a cabo con cuatro marcos y la cámara final correspondiente al cabezal móvil y cuatro placas y la cámara final correspondiente al cabezal fijo, de lo anterior:

A, área total de filtración	0.2893 m ²
Vc, volumen de filtrado atrapado en las líneas	0.00145 m ³

Con los datos de las tablas 14 a 16 en donde

$$P [=] \text{Kg/m}^2, \theta [=] \text{seg}, A [=] \text{m}^2 \text{ y } V [=] \text{m}^3$$

el valor de $\Delta\theta$ se calculó para intervalos de 20 litros y dividido por 20 para obtener $\Delta\theta/\Delta V$, este cociente es listado con el valor de V correspondiente al punto medio del intervalo.

TABLA 19

PARA CARBONATO DE CALCIO

U	PARA P DE :							
	1.372 x 10 ³ KG/M2		1.8285 x 10 ⁴		8.6698 x 10 ⁴			
	SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3			
	U + Uc		ΔP	Poc/a	ΔP	Poc/a	ΔP	Poc/a
A		$\frac{\Delta U}{s/m^3}$	$\frac{U+Uc}{Kg/m^2 S}$	$\frac{\Delta U}{s/m^3}$	$\frac{U+Uc}{Kg/m^2 S}$	$\frac{\Delta U}{s/m^3}$	$\frac{U+Uc}{Kg/m^2 S}$	
m ³	m							
0.005	0.022295	-	1.6283 x 10 ⁸	-	0.96686 x 10 ⁸	-	0.70576 x 10 ⁸	
0.010	0.039578	6650	1.9784 x 10 ⁸	7000	1.2392 x 10 ⁸	7750	0.99392 x 10 ⁸	
0.015	0.056861	7650	2.2228 x 10 ⁸	8500	1.6181 x 10 ⁸	9600	1.1646 x 10 ⁸	
0.020	0.074144	9000	2.4934 x 10 ⁸	10000	1.8684 x 10 ⁸	12050	1.3786 x 10 ⁸	
0.025	0.091428	10700	2.7059 x 10 ⁸	11750	2.1002 x 10 ⁸	14450	1.5776 x 10 ⁸	
0.030	0.108711	11500	2.9436 x 10 ⁸	13300	2.3551 x 10 ⁸	16650	1.8153 x 10 ⁸	
0.035	0.125994	12750	3.2015 x 10 ⁸	14950	2.5526 x 10 ⁸	18950	2.0294 x 10 ⁸	
0.040	0.143277	13950	3.4441 x 10 ⁸	16400	2.8359 x 10 ⁸	20900	2.3230 x 10 ⁸	
0.045	0.160560	15150	3.6763 x 10 ⁸	17950	3.0583 x 10 ⁸	23200	2.4459 x 10 ⁸	
0.050	0.177843	16350	3.9087 x 10 ⁸	19500	3.2841 x 10 ⁸	25750	2.6506 x 10 ⁸	
0.055	0.195126	18050	4.1551 x 10 ⁸	21600	3.5160 x 10 ⁸	27800	2.8694 x 10 ⁸	
0.060	0.212409	19500	4.3931 x 10 ⁸	23250	3.7478 x 10 ⁸	30050	3.0359 x 10 ⁸	
0.065	0.229692	20050	4.6030 x 10 ⁸	25000	4.0186 x 10 ⁸	32950	3.2568 x 10 ⁸	
0.070	0.246975	22250	4.9378 x 10 ⁸	26750	4.2478 x 10 ⁸	35150	3.5041 x 10 ⁸	
0.075	0.264259	23500	5.1898 x 10 ⁸	28850	4.4884 x 10 ⁸	39400	3.7537 x 10 ⁸	
0.080	0.281542	25700	5.4395 x 10 ⁸	31600	4.7388 x 10 ⁸	43500	3.9727 x 10 ⁸	
0.085	0.298825	27850	5.7144 x 10 ⁸	34450	5.0201 x 10 ⁸	47550	4.2629 x 10 ⁸	
0.090	0.316109	28950	6.0442 x 10 ⁸	38550	5.3183 x 10 ⁸	54250	4.5421 x 10 ⁸	
0.095	0.333391	31000	6.3680 x 10 ⁸	42950	5.6245 x 10 ⁸	61100	4.8455 x 10 ⁸	
0.100	0.350674	33650	6.5469 x 10 ⁸	48850	5.8225 x 10 ⁸	72550	5.0682 x 10 ⁸	
0.105	0.367957	46900	7.1986 x 10 ⁸	54500	6.4117 x 10 ⁸	-	5.6352 x 10 ⁸	
0.110	0.385240	48700	7.7273 x 10 ⁸	64600	6.8737 x 10 ⁸	-	6.1964	
0.115	0.402522	111500	6.4009 x 10 ⁸	85350	7.3667 x 10 ⁸	-	-	
0.120	0.419806	-	8.5588 x 10 ⁸	-	8.0354 x 10 ⁸	-	-	
0.125	0.437089	-	12.3440 x 10 ⁸	-	9.4863 x 10 ⁸	-	-	

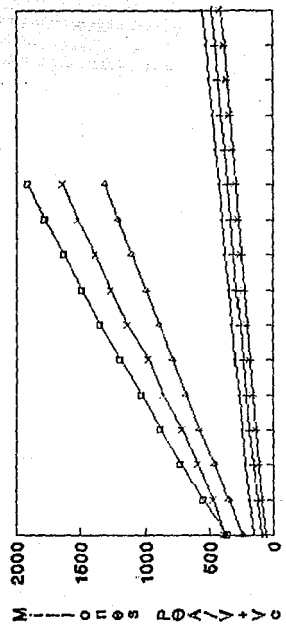
VER GRAFICA 5.2.2 / 5.2.3

TABLA 20

PARA CAOLIN

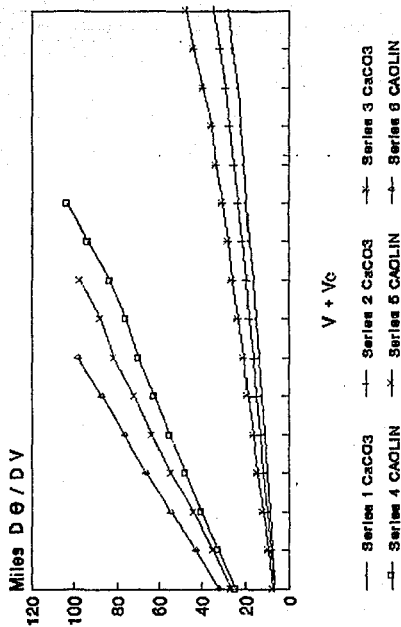
W	PARA P DE 1		1.372 x 10 ³ KG/M2		1.0205 x 10 ³		0.6490 x 10 ³	
	U + Vc		SERIE 4		SERIE 5		SERIE 6	
	Δ		ΔF	FccpA	ΔF	FccpA	ΔF	FccpA
	m ³	n	ΔU	U+Vc	ΔU	U+Vc	ΔU	U+Vc
		s/m ³	Kg/m ² S	s/m ³	Kg/m ² S	s/m ³	Kg/m ² S	
0.005	0.022295	-	3.592 x 10 ⁴	-	3.8129 x 10 ⁴	-	2.413 x 10 ⁴	
0.010	0.039578	24290	5.3337 x 10 ⁴	26350	4.7000 x 10 ⁴	32160	3.4953 x 10 ⁴	
0.015	0.054861	31750	7.2122 x 10 ⁴	34650	5.0569 x 10 ⁴	42650	4.5890 x 10 ⁴	
0.020	0.074144	39750	9.7952 x 10 ⁴	43600	7.1004 x 10 ⁴	54200	5.6769 x 10 ⁴	
0.025	0.091428	47450	10.206 x 10 ⁴	54550	8.5102 x 10 ⁴	65350	6.7046 x 10 ⁴	
0.030	0.100711	54950	11.775 x 10 ⁴	63050	9.7331 x 10 ⁴	76300	7.8100 x 10 ⁴	
0.035	0.125194	62150	13.382 x 10 ⁴	71400	11.3030 x 10 ⁴	87400	8.8721 x 10 ⁴	
0.040	0.143277	69300	14.865 x 10 ⁴	81800	12.4000 x 10 ⁴	97950	9.9520 x 10 ⁴	
0.045	0.160560	75350	16.221 x 10 ⁴	88150	13.7410 x 10 ⁴	109050	10.9560 x 10 ⁴	
0.050	0.177843	83900	17.676 x 10 ⁴	96550	15.1500 x 10 ⁴	120650	11.9960 x 10 ⁴	
0.055	0.195126	93600	19.025 x 10 ⁴	110450	16.3350 x 10 ⁴	134800	13.0370 x 10 ⁴	
0.060	0.212409	102250	20.649 x 10 ⁴	117150	17.5100 x 10 ⁴	148400	14.1400 x 10 ⁴	
0.065	0.229692	116050	22.297 x 10 ⁴	130900	19.2230 x 10 ⁴	166300	15.3540 x 10 ⁴	
0.070	0.246975	133750	23.862 x 10 ⁴	150450	20.3970 x 10 ⁴	184350	16.5170 x 10 ⁴	
0.075	0.264259	153100	25.057 x 10 ⁴	170750	21.9690 x 10 ⁴	208100	17.8930 x 10 ⁴	
0.080	0.281542	207050	28.353 x 10 ⁴	221700	23.8990 x 10 ⁴	249550	19.2530 x 10 ⁴	
0.085	0.298825	-	31.469 x 10 ⁴	320900	26.2050 x 10 ⁴	311700	20.9330 x 10 ⁴	
0.090	0.316108	-	36.257 x 10 ⁴	517500	29.9640 x 10 ⁴	424350	23.2560 x 10 ⁴	
0.095	0.333391	-	-	-	36.660 x 10 ⁴	-	26.4420 x 10 ⁴	
0.100	0.350674	-	-	-	48.7050 x 10 ⁴	-	31.3250 x 10 ⁴	
0.105	0.367957	-	-	-	-	-	-	
0.110	0.385240	-	-	-	-	-	-	
0.115	0.402523	-	-	-	-	-	-	
0.120	0.419806	-	-	-	-	-	-	
0.125	0.437089	-	-	-	-	-	-	

GRAFICA 5.2A
 $P \theta A / (V + Vc)$ vs. $(V + Vc) / A$



- Series 1 CaCO3 — Series 2 CaCO3 — Series 3 CaCO3
- Series 4 CaOLIN — Series 5 CaOLIN — Series 6 CaOLIN

GRAFICA 5.2B
 $D \theta / DV$ vs $V + V_c$



DATOS DE PENDIENTE Y ORDENAMA AL ORIGEN PARA EL CARBONATO DE CALCIO

TABLA 21

P kg/m ²	m1 kg/m ² s	b1 kg/m ² s
1.372 x 10 ⁴	1.504110595 x 10 ⁹	1.213856041 x 10 ⁹
1.0205x 10 ⁴	1.434566898 x 10 ⁹	0.70938654 x 10 ⁹
0.6690x 10 ⁴	1.246209349 x 10 ⁹	0.4463952563x 10 ⁹

$$\frac{P \text{ go } \theta A}{U} = \frac{m_1 U}{A} + b_1$$

TABLA 22

P kg/m ²	m1' s/m ²	b1' s/m ²
1.372 x 10 ⁴	279 285 . 7143	2236 . 1074
1.0205x 10 ⁴	339 285 . 7143	2350 . 09286
0.6690x 10 ⁴	447 989 . 0989	2523 . 71364

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta U} = m_1' U + b_1'$$

DATOS DE PENDIENTE Y ORDENADA AL ORIGEN PARA EL CAOLIN

TABLA 23

P kg/m ²	m ₂ kg/m ² s	b ₂ kg/m ² s
1.372 × 10 ⁴	8.58387 × 10 ³	2.42457 × 10 ³
1.0205 × 10 ⁴	7.5985 × 10 ³	1.5718 × 10 ³
0.6410 × 10 ⁴	6.1596 × 10 ³	1.0744 × 10 ³

$$\frac{P \text{ se. } \rho \cdot R}{U} = m_2 \frac{U}{a} + b_2$$

TABLA 24

P kg/m ²	m ₂ ^a s/m ²	b ₂ ^a s/m ²
1.372 × 10 ⁴	1.327272 × 10 ⁴	6576 . 36364
1.0205 × 10 ⁴	1.741268114 × 10 ⁴	6576 . 70616
0.6410 × 10 ⁴	2.20793 × 10 ⁴	6884 . 07100

$$\frac{U \cdot \rho}{\Delta \rho} = m_2^a U + b_2^a$$

Cálculo de γ, n y Vf en la ecuación (12)

De la tabla 25 y 21: para el carbonato de calcio

$$\log m_1 = n \log Pgc + \log \gamma \omega \mu / 2$$

al graficar $\log m_1$ vs $\log Pgc$ se obtiene una recta de valor n y ordenada al origen de $\log \gamma \omega \mu / 2$.

$$n_1 = 0.2667 \quad \text{y} \quad \log \gamma \omega \mu / 2 = 7.81427$$

con $\omega = 33 \text{ Kg/m}^3$ y $\mu = 1.0013 \times 10^{-3} \text{ Kg/m seg}$ tenemos

$$\gamma_1 = 3.94655 \times 10^9 \text{ m/Kg}$$

de $\gamma \omega \mu Vf (Pgc)^n = 0.70938654 \times 10^8$ en $P = 1.0205 \times 10^4 \text{ Kg/m}^2$

$$Vf_1 = 0.025239 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

De la tabla 26 y 23: para el caolín

con $\omega = 45 \text{ Kg/m}^3$ y $\mu = 1.0013 \times 10^{-3} \text{ Kg/m seg}$ tenemos

$$\gamma_2 = 1.58579 \times 10^9 \text{ m/Kg} \quad \text{y} \quad Vf_2 = 0.010445 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

$$n_2 = 0.46469$$

TABLA 25

PARA CARBONATO DE CALCIO

P kg/m ³	log(m1)	log(T'go)
1.372 x 10 ³	9.17728	5.12850
1.0205 x 10 ³	9.15672	5.00004
0.6690 x 10 ³	9.09559	4.21655

$$\log -t = n \log Pgc + \log \gamma_{av} / 2$$

TABLA 26

PARA CAOLIN

P kg/m ³	log(m2)	log(Pgc)
1.372 x 10 ³	9.93366	5.12850
1.0205 x 10 ³	9.88073	5.00004
0.6690 x 10 ³	9.78940	4.91665

Cálculo de γ, n y Vf en la ecuación:

$$\frac{d\theta}{dV} = \frac{\alpha' \mu \omega V}{PgcA^2} + \frac{\alpha' \mu \omega V_e}{PgcA^2}$$

se distingue con un apóstrofe a las constantes calculadas con esta ecuación de las calculadas anteriormente.

en donde $\alpha' = m'A^2 Pgc / \omega \mu$, y escrito en forma logarítmica

$$\log \alpha' = \log m'A^2 / \omega \mu + \log Pgc$$

al graficar $\log \alpha'$ vs $\log Pgc$ se obtiene una relación parecida a

$$\alpha' = \gamma' Pgc$$

de lo anterior con las tablas 27 y 22 para carbonato de calcio:

$$\log \gamma_1' = 9.222548 \quad \text{da} \quad \gamma_1' = 1.66935 \times 10^9 \text{ m/kg}$$

$$n_1' = 0.342335 \quad \text{y} \quad V_{e1} = 0.006929 \text{ m}^3 \quad \text{que da un} \quad V_{f1}' = 0.023951 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Con las tablas 28 y 24 para el caolín tenemos:

$$\gamma_2' = 1.25058 \times 10^9 \text{ m/kg}, \quad V_{e2} = 0.003779 \text{ m}^3, \quad n_2' = 0.48409 \quad \text{y}$$

$$V_{f2}' = 0.013064 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

TABLA 27

PARA CARBONATO DE CALCIO

P kg/m ³	ϵ'_1 n/kg	log<< ϵ'_1 >>	log<Pgc>
1.372 x 10 ⁶	9.511460 x 10 ¹⁰	10.978240	5.12858
1.0205 x 10 ⁶	8.594551 x 10 ¹⁰	10.934223	5.00004
0.6690 x 10 ⁶	7.430879 x 10 ¹⁰	10.871461	4.81665

$$\log \epsilon'_1 = n \log Pgc + \log \gamma'_1$$

TABLA 28

PARA CAOLIN

P kg/m ³	ϵ'_2 n/kg	log<< ϵ'_2 >>	log<Pgc>
1.372 x 10 ⁶	3.81432 x 10 ¹¹	11.58142	5.12858
1.0205 x 10 ⁶	3.27178 x 10 ¹¹	11.51478	5.00004
0.6690 x 10 ⁶	2.69111 x 10 ¹¹	11.42993	4.81665

5.3 Lavado de la Torta de Sólidos

$$\text{Tiempo de lavado } \theta = \frac{V_{\text{lavado}}}{v_1^p}$$

donde v_1^p es la velocidad de lavado a una presión dada según la ecuación (25).

De los datos de las tablas 20 a 22,

para el carbonato de calcio:

	corrida 1	corrida 2	corrida 3	corrida 4
$\theta_{1,\text{min}}$	3.68	4.98	8.66	12.10

para el caolín:

	corrida 1	corrida 2	corrida 3	corrida 4
$\theta_{1,\text{min}}$	17.17	28.33	36.32	48.02

5.4 Optimización del Ciclo de Filtración

La producción máxima en el menor tiempo posible se obtiene según la ecuación (2B):

$$\frac{dC}{dV} = 0 \quad \text{en donde} \quad C = \frac{V}{\theta_t}$$

C es la capacidad del filtro en m^3/seg

V es el volumen total de filtrado

θ_t es el tiempo total del ciclo

$$\theta_t = \theta_f + \theta_l + \theta_m$$

θ_f es el tiempo de filtración

θ_l es el tiempo lavado

θ_m es el tiempo necesario para cargar, descargar y limpiar el filtro antes de volver a operarlo.

Como se trata de una filtración a presión constante con lavado a presión y velocidad constante en el que la presión de lavado es igual a la presión de operación del filtro y el volumen de lavado es igual a una fracción del volumen total de filtrado, las ecuaciones para la optimización del ciclo propuestas en el apartado 2.3.6 son aplicables, dando los siguientes resultados:

Para ejemplificar los cálculos se utilizan los datos correspondientes a los experimentos con carbonato de calcio.

En este caso es válido la utilización de la ecuación (35) para el cálculo de θ_1 , ya que las constantes de filtración calculadas representan en forma adecuada los datos experimentales según se observa en la siguiente tabla:

en donde v_{exp}^p es la velocidad de lavado experimental a la presión P

v_{cal}^p es la velocidad de lavado calculada a la presión P con la ecuación (25)

P en Kg/cm²

1.372

	v_{exp}^p lt/seg	v_{cal}^p lt/seg
con γ, n, V_f	0.025	0.0276
con γ', n', V_f'	0.025	0.0265

en donde la diferencia entre la velocidad de lavado calculada y la medida experimentalmente va de un 6 a un 10%.

$$\begin{aligned} \text{con } P &= 1.372 \times 10^4 \text{ Kg/m}^2 & \gamma &= 3.94655 \times 10^9 \text{ m/Kg} \\ \mu &= 1.0013 \times 10^{-3} \text{ Kg/m s} & n &= 0.2667 \\ \omega &= 33 \text{ Kg/m}^3 & V_f &= 0.025239 \text{ m}^3/\text{m}^2 \end{aligned}$$

el volumen óptimo viene dado por la ecuación (41), el tiempo óptimo de filtración lo da la ecuación (34) y el tiempo óptimo del ciclo lo da la ecuación (43). Por las características del filtro prensa utilizado $m = 1$

Para un volumen $V + V_c$ de 126.45 lts. y un V_1 de 13 lts

$$\begin{aligned} \text{el } V_{op} &= 0.105 \text{ m}^3 \\ \theta_{top} &= 63.81 \text{ min.} \\ \theta_{fop} &= 28.34 \text{ min} \end{aligned}$$

Las constantes de filtración determinadas con cualquiera de las ecuaciones aquí presentadas predicen un valor de área de filtración, volumen de filtrado o tiempo de filtración con una diferencia del +/- 1% con respecto al valor real.

Los resultados obtenidos en esta experimentación no son comparables a los reportados en la literatura consultada ya que no se menciona en ésta el tipo de medio filtrante usado o el tipo de sólido o la concentración de la lechada o la presión de operación, sin embargo los valores de las constantes de filtración aquí determinados se encuentran dentro del rango reportado en la literatura para los materiales que se utilizaron.

6. CONCLUSIONES

Como resultado del presente trabajo se cuenta con un equipo de filtración en el laboratorio de Ingeniería Química cuyo principal objetivo es el de servir de equipo didáctico, de tal forma que el alumno comprenda y observe los conceptos fundamentales sobre filtración.

De igual forma se presenta información de tipo general que puede servir de punto de partida a todos aquellos interesados en el proceso de filtración y que pretendan llevarlo a cabo en un proceso en particular.

Por la facilidad que presenta el equipo para ser armado y desarmado el alumno puede conocer a fondo todas las partes mecánicas de los distintos dispositivos que forman el equipo de filtración.

Por último, la información y el equipo construido sirven como soporte práctico para aquellos que quieran profundizar en el desarrollo teórico y optimización de las ecuaciones en el proceso de filtración.

7. BIBLIOGRAFIA

7. BIBLIOGRAFIA

- 1 - Alliot, E.A., "How Filter Types Fit into Process Requirements", Chem. & Met. Eng., 43, 476-479 (1936).
- 2 - Carman, P.C., "The Action of Filter Aids", Ind. Eng. Chem., 30, 1163-67 (1938).
- 3 - Chemical Engineering Magazine, "Separation Techniques 2: Gas/Liquid/Solid/Systems", McGraw-Hill, U.S.A. 1980
- 4 - Chen, N.H., "Liquid-solid Filtration: Generalized design and optimization equations", Chemical Engineering, July 31, 1978.
- 5 - Clifford W. Cain, "Filter Cake Filtration", Chemical Engineering, 97, 72-75 (1990).
- 6 - Cook, L.N., "Laboratory approach optimizes filter aid addition", Chemical Engineering, July 23, 1984.
- 7 - Flood, J.E.-Porter, H.F., "Filtration Practice Today", Chemical Engineering, June 20, 1966.
- 8 - Foust & Wenzel, "Principios de Operaciones Unitarias", C.E.C.S.A., México 1978, 10a impresion.
- 9 - French, R.C., "Filter Media", Chemical Engineering, October 14, 1963.
- 10 - Larian, M.G., "An analysis of recent filtration equations, Filtration at constant pressure", AIChE Trans., 35, 623-34 (1939).
- 11 - Ludwig, E.E., "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants", Vol. I, 2nd. Ed., Gulf Publishing Company, 1980.
- 12 - Matteson Torr, "Filtration", Marcel Dekker Inc., N.Y. 1987.
- 13 - McMillen, E.L.-Webber, H.A., "Filtration: Accuracy of Prediction of Plant Operation from Test Data", Ind. Eng. Chem., 30, 708-16 (1938).
- 14 - Oldshue, J.Y., "How to Specify Mixers", Hydrocarbon Processing, October 1969.

- 15 - Oldshue, J. Y., "Suspending solids and dispersing gases in mixing vessel", *Ind. Eng. Chem.*, 61, 79-89 (1969).
- 16 - Perry, J. H., "Chemical Engineering Handbook", McGraw-Hill, U.S.A. 1975, 5th Ed.
- 17 - Peters-Timmerhaus, "Plant Design and Economics for Chemical Engineers", McGraw-Hill, U.S.A., 1980, 3rd. Ed.
- 18 - Prior, R. O., "Character of Woven Filter Media", *Chem & Met. Eng.*, 45, 250-53 (1938).
- 19 - Purchas, D. B. "Filtration: Guide to Trouble Free Plant Operation", *Chemical Engineering*, June 26, 1972.
- 20 - Ruth, B. F., "Studies in Filtration I: Critical Analysis of Filtration Theory", *Ind. Eng. Chem.*, 25, 76-82 (1933).
- 21 - Ruth, B. F., "Studies in Filtration II: Fundamental Axiom of constant-pressure Filtration", *Ind. Eng. Chem.*, 25, 153-161 (1933).
- 22 - Ruth, B. F., "Studies in Filtration III: Derivation of General Filtration Equations". *Ind. Eng. Chem.*, 27, 708-723 (1935).
- 23 - Ruth, B. F., "Correlating Filtration Theory with Industrial Practice", *Ind. Eng. Chem.*, 39, 564-571 (1946).
- 24 - Tiller, F. M., "Filtration Theory Today", *Chemical Engineering*, June 20, 1966.
- 25 - Tiller-Yeh, "The role of porosity in Filtration", *AIChE Journal*, 33, 1241-56 (1987).
- 26 - Wright, A., "25 Years of Chemical Engineering Progress in Filtration", *Chem. & Met. Eng.*, 43, 638-640 (1936).
- 27 - Zimmerman & Lavine, "Chemical Engineering Laboratory Equipment", *Industrial Research Service*, U.S.A., 1955, 2nd. Ed.

APENDICE

TABLA 1

GUIA PARA LA SELECCION DE FILTROS

CARACTERISTICAS DE LA LECHADA	FILTRADO RAPIDO	FILTRADO MEDIO	FILTRADO LENTO	DILUIDO	NOV DILUIDO
Velocidad de formacion de torta	cm/seg ----	cm/min > 1	cm/min 0.12-0.62	cm/min < 0.12	NO TORTA
Concentracion Normal de Solidos	> 20 x	10 - 20 x	1 - 10 x	< 5 x	< 0.1 x
Velocidad de sedimentacion	NOV RAPIDA	RAPIDA	LENTA	LENTA	-----
Prueba de velocidad en hojas (Kg/hr.m ²)	> 2500	250 - 2500	25 - 250	< 25	-----
Velocidad de Filtrado (cm ³ /min.cm ²)	> 20	0.8 - 20	0.04 - 0.08	0.04 - 0.08	0.04 - 0.08
APLICACION DE FILTROS					
- Filtros Continuos a Vacio					
- Tambor (multicompartimento)	x	x	x		
- Tambor (un compartimento)	x				
- Dorroco	x				
- Mopper	x				
- Alimentacion Superior	x				
- Descarga de Rodillos	x	x			
- Piscina	x	x			
- De Banda	x	x			
- De Disco		x	x		
- De Pre-capa				x	x
- Continuo a presion de pre-capa				x	x
- Intermitente de Hojas a Vacio		x	x	x	x
- Nutsche	x	x	x	x	x
- Filtros Intermitentes a Presion					
- Platos y Marcos		x	x	x	x
- Hojas Verticales		x	x	x	x
- Tubular		x	x	x	x
- Platos Horizontales	x	x	x	x	x
- Cartuchos					x

TABLA 2

USOS TIPIICOS DE LAS FILTRO-AYUDAS

TIERRA DE DIATOMEAS	PERLITA	CELULOSA	ASBESTOS
<ul style="list-style-type: none"> - Sales Metálicas - Cloruro de Potasio - Azufre - Acido Fosfórico - Acido fosfórico Amoniacal - Soluciones para recubrimiento - Aditivos - Resinas - Aminas - Aguas de deshecho - Nylon 	<ul style="list-style-type: none"> - Cloruro de Potasio - Salmueras - Azufre - Oxidos de Niquel - Melamina - Poliestileno - Nylon - Aguas de deshecho 	<ul style="list-style-type: none"> - Salmueras - Soluciones para recubrimiento - Aguas de deshecho - Alúmina - Aminas 	<ul style="list-style-type: none"> - Nitratos - Urea - Aguas de deshecho

TABLA 3

CAMPO DE APLICACION DEL EQUIPO DE FILTRACION

FILTROS PIEDRA

ACEITES, ALGIANTOS, IND. FARMACEUTICA, RESINAS, CELULOSA, CLARIFICADORES DE LODOS DE AZUCAR, MINERALES METALICOS, RECUPERACION DE CATALIZADORES, AGUAS DE DESHECHO Y ACEITES COMESTIBLES.

FILTROS DE NOMAS

PRODUCCION DE ALUMINA Y AZUFRE, INDUSTRIA AZUCARERA, ACEITES, INDUSTRIA CERVECERA, TRATAMIENTO DE AGUAS, SALMUERAS, SULFATO DE NIQUEL, POLIETILENO, SULFATO DE ALUMINIO, SOLUCIONES DE RECUBRIMIENTO, SALES DE NYLON Y CLOPURA DE SODIO.

FILTROS DE PLATOS

INDUSTRIA FARMACEUTICA, ACEITES, RESINAS, VODKA, VARNICES Y AGUARDIENTE.

FILTRO DE CARBOLAS

RECUPERACION DE METALES PRECIOSOS Y RESINAS ALQUIDALICAS

FILTRO DE TUBOS

HIDROXIDO DE SODIO, SOLUCIONES DE RECUBRIMIENTO, TRATAMIENTO DE AGUAS Y SALMUERAS.

FILTRO MITSCH

PRUEBAS DE LABORATORIO.

FILTRO DE HOJAS A VACIO

PRODUCCION DE DIOXIDO DE TITANIO Y AGUA.

FILTRO DE PISCINA

CONCENTRADOS DE MINERALES DE HIERRO, ALUMINIO TRIHIDRATADO, AC. FOSFORICO Y RECUPERACION DE CATALIZADORES.

FILTRO DE TAMBOR

PROCESAMIENTO DE NATZ, IND. FARMACEUTICA, PRODUCCION DE ENZIMAS, ACEITES, IND. VITIVINICOLA, IND. AZUCARERA, LINDURAS METALICAS, SALES, DESENCERADO, SULFATO DE CALCIO, SULFATO DE COBALTO, LECHADAS DE CAL, SULFATO DE AMONIO, CRISTALES E IND. ALIMENTICIA.

FILTRO DE DISCO

MINERALES METALICOS Y CONCENTRADOS, CARBON.

FILTROS DE MANA

INDUSTRIA DE PAPEL, PIGMENTOS, CRISTALES DE YESO E IND. FARMACEUTICA.

TABLA 4

PROPIEDADES DE MATERIALES FILTRANTES

FIBRA	TEMPERATURA LÍMITE DE USO	TEMACIDAD (1)	RESISTENCIA A LOS ÁCIDOS	RESISTENCIA A LOS ALCALIS	FORMA DEL TEJIDO (2)
ALGODÓN	210 °F	3.3 - 6.4	P	R	S
POLIÉSTER	300	6.0 - 8.2	NB	B	F-S
DYKEL	200	2.0 -	E	E	S
VIDRIO	550	3.9 - 4.7	E	R	F
NYLON	250	2.1 - 8.0	R	E	F-S-N
ACRÍLICO (CORLON)	300	1.0 - 2.1	E	R	S
POLIETILENO	165	1.0 - 3.0	E	E	N
POLIPROPILENO	175	3.5 - 8.0	E	E	F-S-N
SARAN	160	1.2 - 2.3	E	E	F-N
TEFLON	475	1.9 -	E	E	F-N
P. V. C.	165	1.0 - 3.0	B	E	F
LANA	210	0.76 - 1.6	NB	R	S
RAYÓN Y ACETATO	210	1.9 - 3.9	P	R	F-S

P: POBRE R: REGULAR B: BUENO NB: MUY BUENO E: EXCELENTE

(1) TEMACIDAD A LA RUPTURA EN *gr/denier*

(2) F: MÚLTIFILAMENTO S: STAPLE^a N: MONOFILAMENTO

^a = HILADO HECHO ENTRECruzANDO PEQUEÑAS LONGITUDES DE FIBRAS EN UN HILO CONTINUO

TABLA 5

QUESTIONARIO USADO POR LOS FABRICANTES

INFORMACION DEL MATERIAL A SER FILTRADO	INFORMACION DEL SISTEMA
<p>1. NATURALEZA DE LA FASE LIQUIDA: _____</p> <p>2. PH FASE LIQUIDA: _____</p> <p>3. SOLUBLES PRESENTES Y CONCENTRACION DE C/U: _____</p> <p>4. NATURALEZA DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS: _____</p> <p>5. CONCENTRACION DE LOS SOLIDOS SUSP.: _____</p> <p>6. ESTRUCTURA DE LOS SOLIDOS (fibras, cristalinos, hojuelas, pastoso, etc.): _____</p> <p>7. TAMAÑO DE PARTICULA: _____</p> <p>8. DENSIDAD DEL LIQUIDO Y SOLIDOS SUSPENDIDOS: _____</p> <p>9. OTRAS PROPIEDADES IMPORTANTES QUE SE DEBAN CONSIDERAR: _____</p>	<p>1. COMO SE PRODUCE LA LECHADA? _____</p> <p>2. ES UN SISTEMA: CONTINUO _____ POR LOTES _____</p> <p>3. VELOCIDAD DE PRODUCCION: _____</p> <p>4. QUE PROCESO LE SIGUE AL FILTRADO: _____</p> <p>5. QUE PROCESO LE SIGUE A LA TORTA: _____</p> <p>6. FILTRO USADO ANTERIORMENTE: _____</p> <p>7. QUE DATOS SE TIENEN DE ESTA OPERACION? _____</p>
<p>INFORMACION DEL PROCESO DE FILTRACION</p> <p>1. CUAL ES EL PRODUCTO IMPORTANTE? FILTRADO _____ SOLIDO _____ AMBOS _____</p> <p>2. ESPECIFICACIONES DEL FILTRADO, (CLARIDAD): _____</p> <p>3. ESPECIFICACIONES DE LA TORTA (X HIM Y MAX DE HUNEDAD): _____</p> <p>4. SE DEBE LAVAR DE TORTA? _____</p> <p>5. SI SE DEBE LAVAR: QUE LIQUIDO SE DEBE USAR? _____ CANTIDAD DE LIQUIDO USADO? _____ IMPUREZA QUE SE PREVEDE ELIMINAR? _____ X DE IMPUREZA EN LA LECHADA? _____ X DE IMPUREZA PERMITIDO? _____</p>	<p>8. MATERIALES DE CONSTRUCCION RECOMENDADOS: _____</p> <p>9. FACTORES DE SEGURIDAD: _____</p> <p>10. DESCRIBIR EL LUGAR DONDE SE COLOCARA EL FILTRO: _____</p>

TABLA 6

SELECCION DE FILTROS DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICAS DE LA LECHADA

EQUIPO	TIPO DE LECHADA A B C D E	NOTA No.	TIPO DE LECHADA
- Filtro Continuo de Tambor			A: Alta concentracion de solidos, mayor al 20%. Facil de lavar y rapida sedimentacion por lo que es dificil la suspension. Alta velocidad de filtrado.
- Varios compartimentos	x x	1	B: Rapida formacion de torta, mediana concentracion de solidos, rapida sedimentacion pero es posible formar suspension. Mediana velocidad de filtrado.
- Un compartimento	x x	2	C: Lenta formacion de torta, bajo % de solidos, torta dificil de descargar. Lenta velocidad de filtrado.
- Tambor interno	x x	3	D: Baja concentracion de solidos y torta dificil de descargar. Lenta velocidad de filtracion.
- Alimentacion superior	x x	4	E: Muy bajas % de solidos. Lenta velocidad de filtracion.
- Filtros Continuos Horizontales			NOTAS:
- Charola rotante	x x	5	1. Se puede usar para los lechados B y C a gran escala de produccion.
- Banda	x x	5	2. Rapidas velocidades de rotacion, tortas de bajas velocidades de rotacion, tortas de bajas velocidades de rotacion, tortas de bajas velocidades de rotacion.
- Disco continuo a vacio	x x	6	3. Lechados de rapida filtracion en vacio.
- Disco continuo a presion	x x	7	4. Aplicacion especial para secado.
- Continuo de tambor a presion	x x	7	5. Cuando se requiere un buen lavado.
- Continuo a vacio de pre-capa	x x	8	6. Grandes producciones en espacios pequeños. Dificil lavar y pobre secado.
- Continuo a presion de pre-capa	x x	8	7. Permite incrementos en la presion diferencial.
- Hojas a vacio intermitente	x x	9	8. Clarificacion y materiales que tapan los medios filtrantes.
- Hutche	x x x x	10	9. Bueno para separar liquido de lavado, requiere gran espacio y presenta problemas de manejo.
- Intermitentes a Presion			10. Bueno en reparaciones automaticas.
- Platos y Marcos	x x x x	11	11. Bueno en procesos por lotes con distintas lechadas.
- Hojas verticales	x x x x	12	12. Operaciones cerradas, buen lavado y descargas automaticas.
- Elementos tubulares	x x x x	13	13. Igual que el descargo humedo. Usado en clarificaciones finas.
- Platos horizontales	x x x x	14	14. Filtro de solidos.
- Cartucho	x	15	15. Clarificacio en bajo % de solidos.
- Filtros centrifugos	x x	16	

TABLA 7

SELECCION DEL FILTRO SEGUN EL TAMAÑO Y CONTENIDO DE SÓLIDOS

EQUIPO	CONTENIDO DE SÓLIDOS: % PESO	TAMAÑO DE PARTICULA: µm	DESEMPEÑO RELATIVO ^W			
			SECADO TORTA	LAVADO TORTA	CLARIDAD FILTRADO	DEGRADACION CRISTAL
- Filtros a Gravedad:						
- Arena	0.002- 0.01	0.1- 50	-	-	7-9	-
- Charola	5.000-70.0	50.0- 80000	5-7	9	7	8
- Pantalla Vibratoria	0.100- 1.0	20.0-100000	5	5	6	-
- Filtros a Presion:						
- Filtro Prensa Automatico	0.200-40.0	1.0- 200	7	7	7-8	-
- Cartucho	0.002- 0.02	0.6- 50	5	7	7-9	8
- Tambor	0.70 - 8.0	5.0- 200	5-6	7	7-8	8
- Filtro Prensa	0.002-30.0	1.0- 100	6	7	7-9	8
- Hojas Horizontales	0.002- 0.06	1.0- 100	5	8	8-9	8
- Hojas Verticales	0.000- 0.40	1.0- 110	5-6	6	7-8	8
- Arena	0.002- 0.02	0.2- 60	-	-	7-9	-
- Elementos Tubulares	0.002- 0.10	0.5- 100	5	7	7-8	8
- Filtros a Vacio						
- Banda	8.0 -50.0	20.0- 80000	5-7	9	7	8
- Disco	4.0 -40.0	1.0- 700	2-3	2	6	8
- Tambor	5.0 -70.0	1.0- 600	4-5	7	7-8	8
- Hojas	0.07 - 2.0	1.0- 500	4-5	9	7	8
- Tambor de pre-capa	0.01 - 0.1	0.6- 100	-	-	8	-
- Elementos Tubulares	0.00 - 2.0	1.0- 150	2-3	-	7	-
- Charola	8.0 -50.0	20.0- 80000	5-7	9	7	8

^W RELACION DE DESEMPEÑO: 9 mas alto

TABLA 8

CLASIFICACION DE MEDIOS FILTRANTES

TIPO DE MEDIO	EJEMPLOS	TAMANO MINIMO DE PARTICULA ATRAPADO
MEDIO RIGIDO POROSO	CERAMICAS, ORES Y METALES SINTERIZADOS	1
HOJAS DE METAL	PERFORADO Y ALAMBRE TEJIDO	5 - 100.0
PLASTICOS POROSOS	HOJAS RELLENO Y MEMBRANAS	0.005 - 3.0
TEJIDOS	TELAS DE FIBRAS NATURALES Y SINTETICAS	10
CARTUCOS	CABRITOS DE HILO ENROLLADO Y FIBRAS ENTRECRUZADAS	2
HOJAS NO TEJIDAS	FILTROS, PAPEL, CELULOSA, VIDRIO Y FELPA	0.5 - 10.0
CARAS DE SOLIDOS	ASBESTOS, DIATOMEAS, PERLITA, CARBON ACTIVADO Y POLVOS ADSORVENTES	SUBMICRON
LIQUIDOS (PARA GASES)	ACEITES	10
FUERZAS	ELECTRICA, GRAVEDAD Y CENTRIFUGA	SUBMICRON

TABLA 9

EFFECTO DEL TIPO DE HILADO EN EL MEDIO FILTRANTE

<u>MAXIMA*</u> <u>CLARIDAD DE</u> <u>FILTRADO</u>	<u>MINIMA*</u> <u>RESISTENCIA</u> <u>AL FLUJO</u>	<u>MINIMA*</u> <u>HUMEDAD EN</u> <u>LA TORTA</u>	<u>MAXIMA*</u> <u>FACILIDAD</u> <u>DE DESCARGA</u>	<u>MAXIMA*</u> <u>VIDA DE LA</u> <u>TELA</u>	<u>MINIMA*</u> <u>TENDENCIA</u> <u>A TAPARSE</u>
S	N	N	N	S	N
F	F	F	F	F	F
N	S	S	S	N	S

(S) STAPLE: HILADO HECHO ENTRECruzANDO PEQUEÑAS LONGITUDES DE FIBRAS EN UN HILO CONTINUO

(N) MONOFILAMENTO: FIBRA HECHA DE UN FILAMENTO CONTINUO

(F) MULTIFILAMENTO: HILADO HECHO ENTRECruzANDO DOS O MAS FILAMENTOS CONTINUOS

* ORDEN DECRECIENTE

TABLA 10

EFEECTO DE LA ESTRUCTURA DE LA TELA

HILADO	MAXIMA ^a CLARIDAD DE FILTRADO ^a	MINIMA ^a RESISTENCIA AL FIJAJE	MINIMA ^a HUMEDAD EN LA TORTA	MAXIMA ^a FACILIDAD DE DESCARGA	MAXIMA ^a VIDA DE LA TELA	MINIMA ^a TENDENCIA A TAPARSE
TAMANO DE HILADO	GRANDE MEDIANO PEQUEÑO	PEQUEÑO MEDIANO GRANDE	PEQUEÑO MEDIANO GRANDE	PEQUEÑO MEDIANO GRANDE	GRANDE MEDIANO PEQUEÑO	PEQUEÑO MEDIANO GRANDE
VUELTAS POR PULGADA	POCAS MEDIANAS MUCHAS	MUCHAS MEDIANA POCAS	MUCHAS MEDIANA POCAS	MUCHAS MEDIANA POCAS	MEDIANO POCAS MUCHAS	MUCHAS MEDIANO POCAS
HILOS POR PULGADA	MUCHOS MEDIANOS POCOS	POCOS MEDIANOS MUCHOS	POCOS MEDIANO MUCHOS	MUCHOS MEDIANO POCOS	MEDIANO MUCHOS POCOS	POCOS MEDIANO MUCHOS

^a ORDEN DECRECIENTE

TABLA 11

EFECTO DEL PATRON DE TEJIDO

MAXIMA* CLARIDAD DE FILTRADO	MINIMA* RESISTENCIA AL FLUJO	MINIMA* DUREZA EN LA TORTA	MAXIMA* FACILIDAD DE DESCARGA	MAXIMA* VIDA DE LA TELA	MINIMA* TENDENCIA A TAPARSE
P	SI	SI	SI	T	SI
T	T	T	T	P	T
SI	P	P	P	SI	P

(P) SENCILLO

(T) CRUZADO

(SI) SATIN

* ORDEN DECRECIENTE

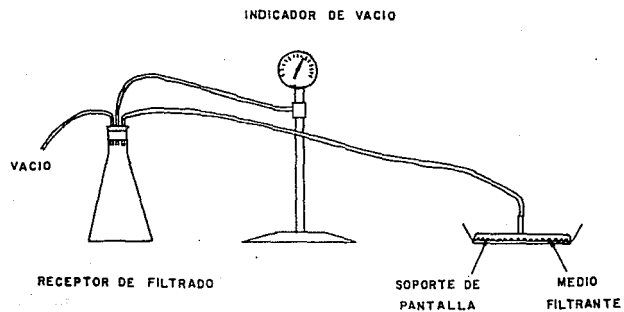


FIG. 3.II PRUEBAS AL VACIO EN PEQUENA ESCALA

TABLA 13

DIMENSIONES DEL FILTRO PRENSA Y CAMARAS FILTRANTES			
CLAVE	DIMENSION	CLAVE	DIMENSION
A	48 cm.	G	27 cm
B	36	H	10
C	50	I	24
D _{max}	72	J	5
D _{min}	47	K	15
E _{max}	28	L	20
E _{min}	20	n	3
F	9	N	12.5
EN	ENPAQUE DE GOMA	IPF	INDICADOR DE PRESION

Se cuenta con 16 camaras filtrantes y una camara final correspondiente al cabezal fijo y una camara final correspondiente al cabezal movil.

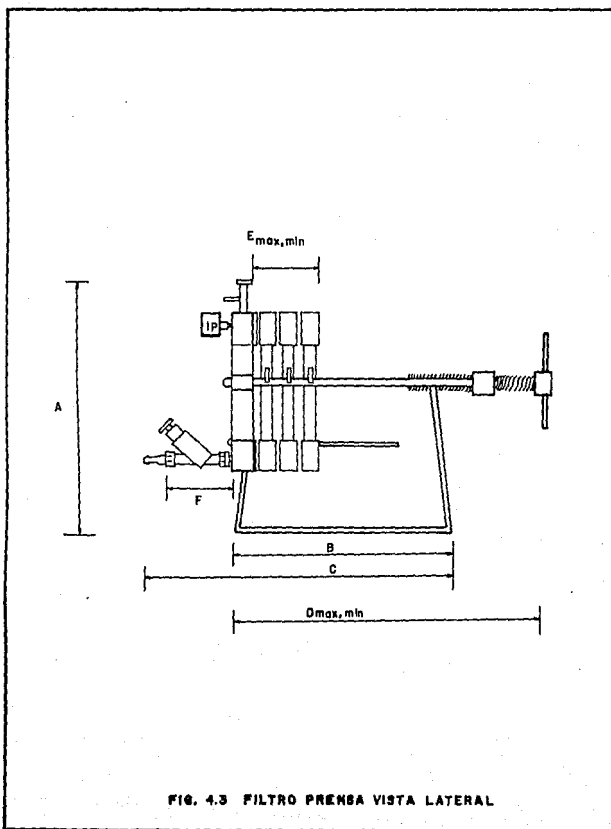


FIG. 4.3 FILTRO PRENSA VISTA LATERAL

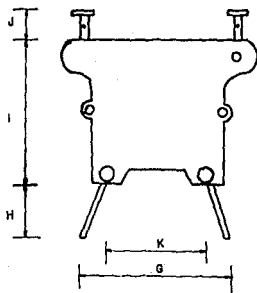
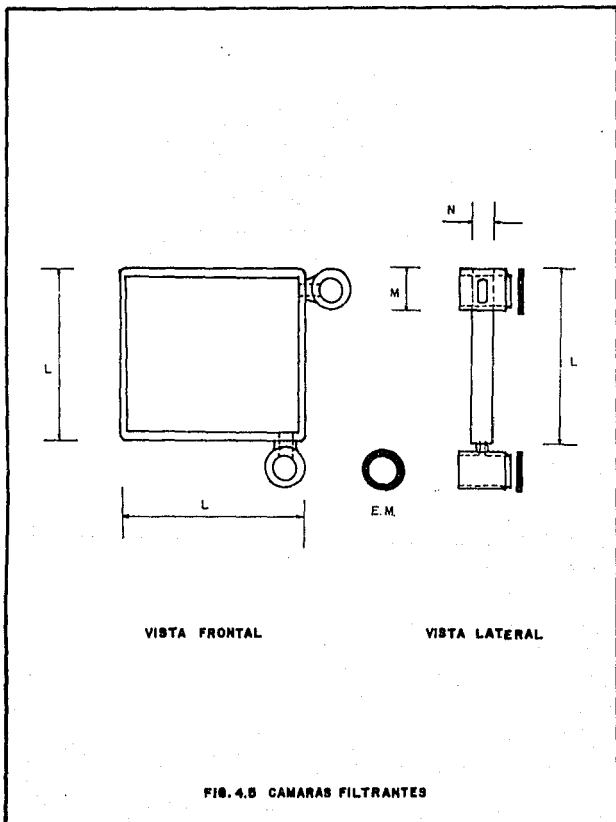


FIG. 4.4 FILTRO PRENSA VISTA FRONTAL



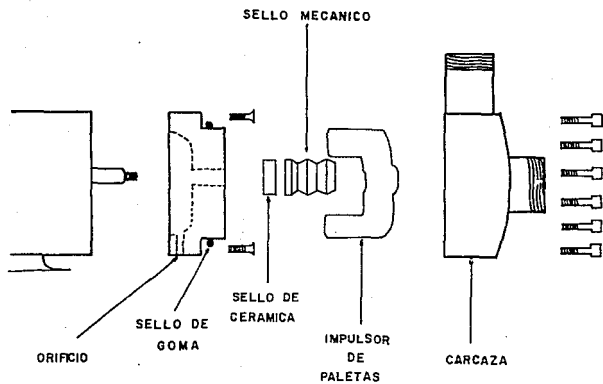


FIG. 4.6 MOTO-BOMBA

