



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

**CRITERIO PARA LA SELECCION DE
FILTROS ROTATORIOS DE VACIO**

165

T E S I S
Que para obtener el título de
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
RAUL GALAN QUIÑONES



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS TESIS 1976
ABO H.T.
FECH 16E
PROC _____
0 _____



QUIMICA



FACULTAD DE QUIMICA
DEPTO. DE PASANTES Y
EXAMENES PROFESIONALES.

FORMA C

Universidad Nacional Autónoma de México (AUTORIZACION PARA ESCRIBIR DEFINITIVAMENTE EL TEMA REVISADO)

C. Director Gral. de Servicios Escolares
Universidad Nacional Autónoma de México,
Presente.

Me permito comunicar a usted, que el tema de T E S I S.

Titulado: "CRITERIO PARA LA SELECCION DE FILTROS ROTATORIOS DE VACIO".

que presenta: EL SR. RAUL GALAN QUIÑONES

Pasante de la Carrera de: INGENIERO QUIMICO

Fué aceptado por el Jurado nombrado para dicho examen, el cual quedó integrado en la siguiente forma:

Presidente Prof.: OTHON CANALES VALVERDE

V o c a l " : CARLOS DOORMANN MONTERO

Secretario " : LUCILA MENDEZ CHAVEZ

1er. Suplente " : CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO

2o. Suplente " : ENRIQUE BRAVO MEDINA

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria D.F., a 12 de AGOSTO de 1976

EL JEFE DEL DEPTO. DE PASANTES
Y EXAMENES PROFESIONALES.

QUIM. JULIO TERAN Z.

CON TODO MI CARIÑO A

EDDY

A MIS PADRES

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

A LA FACULTAD DE QUIMICA

A LAS SIGUIENTES PERSONAS QUE CONTRIBUYERON
A MI FORMACION :

Q. GLORIA ACOSTA ALVAREZ

I. Q. OTHON CANALES TREVIÑO

Q. F. B. FRANCISCO HERRERA ROBLES

I. Q. ALEJANDRO LEMUS DIAZ

I. Q. FERNANDO PLASCENCIA GONZALEZ

ING. MARIO QUIÑONES QUEVEDO

CON PROFUNDO RESPETO Y ADMIRACION.

CRITERIO PARA LA SELECCION DE
FILTROS ROTATORIOS DE VACIO.

RAUL GALAN QUIÑONES

1976

I N D I C E

- 1.0 OBJETIVO
- 2.0 INTRODUCCION HISTORICA
- 3.0 TEORICA DE FILTRACION
 - 3.1 LEY DE DARCY
 - 3.2 FLUJO TURBULENTO CONTRA FLUJO LAMINAR
 - 3.3 MODIFICACION DEL FACTOR DE FRICCION Y EL NUMERO DE REYNOLDS
 - 3.4 EC UACION DE KOZENY
- 4.0 TEORIA DE FILTRACION APLICADA
 - 4.1 FORMACION DE LA TORTA
 - 4.2 PRESECADO DE LA TORTA
 - 4.3 LAVADO DE LA TORTA
- 5.0 FACTORES BASICOS QUE AFECTAN LA FILTRACION
 - 5.1 NATURALEZA DE LA SUSPENSION
 - 5.2 NATURALEZA DE LA TORTA
 - 5.3 DESCARGA DE LA TORTA
- 6.0 PRUEBA DE LABORATORIO PARA DETERMINAR CARACTERISTICAS DE UN FILTRO ROTATORIO DE VACIO
 - 6.1 INTRODUCCION
 - 6.2 EQUIPO DE LABORATORIO
 - 6.3 PRUEBA DE LABORATORIO
 - 6.4 PRESENTACION DE RESULTADOS
 - 6.5 CONCLUSIONES
- 7.0 EVALUACION PRACTICA DE DATOS DE FILTRACION DE UNA PLANTA PILOTO
 - 7.1 SELECCION DEL MEDIO FILTRANTE
 - 7.2 ANALISIS DE LA SUSPENSION
 - 7.3 CONCENTRACION DE LOS SOLIDOS
 - 7.4 VELOCIDAD DE FILTRACION CONTRA TIEMPO DEL CICLO
 - 7.5 VELOCIDAD DE FILTRADO CONTRA TEMPERATURA
 - 7.6 OCLUSION DEL MEDIO FILTRANTE
 - 7.7 REQUERIMIENTO DE LA BOMBA DE VACIO
 - 7.8 CICLO DEL FILTRO CONTRA HUMEDAD DE LA TORTA
 - 7.9 LAVADO DE LA TORTA
 - 7.10 VENTAJAS DE LA FILTRACION DE VACIO
- 8.0 CARACTERISTICAS DEL EQUIPO INDUSTRIAL
 - 8.1 FILTROS DE GRAVEDAD
 - 8.2 FILTROS DE PRESION
 - 8.3 FILTROS DE VACIO TIPO INTERMITENTE
 - 8.4 FILTRO DE CHAROLA
 - 8.5 FILTRO CONTINUO HORIZONTAL
 - 8.6 FILTRO DE BANDA HORIZONTAL

- 8.7 FILTRO DE CHAROIAS ROTATORIO HORIZONTAL
- 8.8 FILTRO DE CHAROIAS ALINEADA/HORIZONTALMENTE
- 8.9 FILTRO ROTATORIO DE MESA HORIZONTAL
- 8.10 FILTRO DE VACIO TIPO TAMBOR
- 9.0 CONDICIONES DE OPERACIONES
- 9.1 PREPARACION DE LA SUSPENSION Y DEL EQUIPO DE ALIMENTACION
- 9.2 EQUIPO DE VACIO
- 9.3 PRUEBAS DE LABORATORIO
- 10.0 CONCLUSIONES
- 11.0 BIBLIOGRAFIA

1.0 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es el de proporcionar al Ingeniero Químico o personas que tengan relación con la separación de líquidos y sólidos por vacío, el criterio para la adecuada selección de estos equipos .

Hoy en día la demanda de altas velocidades de producción y bajos costos de operación, los filtros continuos de vacío ocupen un importante lugar en el catálogo de equipo de un ingeniero. Los filtros de vacío en los cuales existe una presión diferencial negativa, que los distingue de los filtros prensa y de gravedad ofrecen simplicidad y bajo costo en la separación de líquidos y sólidos .

El Ingeniero Químico está siempre consciente de la necesidad de incrementar el rendimiento de su equipo, bajar los costos de operación y mantenimiento, perfeccionar productos y recuperar materiales valiosos. El uso de filtros de vacío permitirá operaciones continuas en un filtro automático o semiautomático, con lo cual elimina el alto costo de mano de obra en una operación intermitente.

Con la fabricación de nuevos productos, nuevos métodos de producción y la demanda para el incremento de producción en las plantas existentes, es necesario perfeccionar la operación de filtración para dichas plantas y la selección del filtro propio para nuevas plantas.

En ausencia de fórmulas para calcular y optimizar la selección de un filtro puede este cálculo llevarse a cabo fácilmente con una serie de pruebas, y

estas deben seguir una secuencia lógica y hacerse una evaluación correcta de los resultados obtenidos.

Además estas pruebas deben mejorarse con un conocimiento adecuado de los fundamentos que involucran y las variables que pueden afectar la filtración

La mayoría de las plantas y laboratorios, cuentan con equipo de laboratorio para llevar a cabo exámenes preliminares de las suspensiones que van a ser manejadas por filtros de vacío. Estas pruebas nos conducen a obtener suficiente información para determinar el tipo de equipo de filtración que debe ser usado. Si el filtro de vacío está instalado, las condiciones óptimas de operación pueden ser determinadas.

La filtración de vacío es generalmente considerada como un "arte" más que una "ciencia"; un acercamiento sistemático al estudio de todos los factores que afectan la optimización de un filtro de vacío resultará en la selección final del mejor filtro para el servicio requerido.

2.0 INTRODUCCION HISTORICA

¿Qué es filtración?

Para los fines de este trabajo la filtración se define como: la separación - de sólidos de un líquido, llevándose a cabo haciendo pasar el líquido a - través de un medio permeable, donde los sólidos son retenidos sobre la - superficie de dicho medio en forma de una torta. La torta o el líquido pueden ser valiosos o ambos. ↓

La filtración no fué siempre definida tan rígidamente, sino que en los primeros días, los teóricos clasificaron la filtración como una subdivisión de la destilación. En ese tiempo la palabra destilación era considerada como la base de todas las separaciones líquido-sólido y se dividía en:

- a) Destilación por calor
- b) Por sifoneamiento capilar
- c) Destilación forzada (filtración) }

Se han encontrado grabados de los procesos de sifoneamiento iniciales, pintados sobre las paredes de la tumba de Amenophis II, (cerca de 1450 A.C.) Pero los grabados de destilación forzada o proceso de filtración si han sido encontrados con fechas anteriores a 1450 A.C. puesto que se cree que la - destilación forzada era el proceso utilizado anteriormente al sifoneamiento, especialmente en la fabricación de vino.

La palabra "filtro" es derivada del latín "filtrum" la cual posiblemente sea asociada a "feltrum" (el que sostiene un fieltro o algodón comprimido), y - el cual está relacionado a la palabra griega que significa algodón o cabello.

En Estocolmo, Suecia se encuentra un papiro egipcio del año 300 A.C.; este documento es conocido como "El Papiro de Estocolmo", y contiene gran cantidad de datos sobre una descripción completa del proceso de fabricación de sosa cáustica. Esta descripción incluye un filtro clarificador para la sosa cáustica, el uso de arcilla en suspensión, como primer paso a utilizar filtrayuda.

Un siglo después, los escritores del Mediterraneo usaron el término "filtración" o "destilación por filtración", describiendo ampliamente varios fenómenos naturales como el de la acción de los riñones en el sistema urinario, y el de quitar la miel de abeja de un panal, pero la palabra de filtración no es usada sino hasta el siglo XVI.

{El primer filtro patentado que se conoce fue el de Joseph Amy en 1789, y fue garantizado por el gobierno francés para cubrir un sistema descendente de filtración, mediante un filtro de arena o de una esponja, en un recipiente que tenía el fondo abierto.} El primer filtro inglés fue patentado a nombre de Peacock en 1791, y en los siguientes cincuenta años fueron patentados muchos filtros, la mayoría de los cuales se destinaron a la purificación de aguas. El equipo de filtración recibió un gran impulso en Europa, cuando Percy Frankland eliminó todas las bacterias del agua con filtros de arena de la London Water Company y la efectividad de este proceso fue probada durante una epidemia de cólera en Hamburgo. Desde 1885 en Estados Unidos y Europa se utilizaron filtros para el tratamiento de aguas negras.

Los primeros intentos de filtración al vacío de aguas negras, fueron hechos

por la Industrial Filtration Corporation en la ciudad de Nueva York en 1914. A mediados de los años 30, se hicieron muchas instalaciones de filtros rotatorios al vacío para el tratamiento de aguas negras.

A finales del siglo XIX y a principios del siglo XX comienza un período intenso de desarrollo de tipos y diseños de filtros y desde entonces hasta nuestros días han existido numerosos cambios en el desarrollo de estos. El filtro prensa había sido ya desarrollado al igual que los diseños básicos para filtros contínuos; estos filtros prensa se habían estado desarrollando sobre un esqueleto que soportaba placas y marcos sobre dos largueros y sobre estos largueros un número variable de cámaras eran ensambladas; estas cámaras operaban por medio de lonas que cubren las placas solamente o bien por placas y marcos alternos y lonas que cubrían las placas; estas cámaras son cerradas y ajustadas por un tornillo o husillo hidráulico, el cual forza a las placas o ambas, placas y marcos, logrando hacer una junta empacada con el medio filtrante. El líquido con los sólidos suspendidos es forzado a pasar a través de estas cámaras, las cuales están diseñadas para que el líquido no pueda dejar el filtro prensa excepto cuando pasa a través del medio filtrante. Este puede ser fabricado con diversos materiales de construcción, teniendo una gran duración y adaptabilidad para el lavado y recuperación de los sólidos y para las altas presiones que puedan requerirse durante la operación.

Cuando se inició el proceso de la recuperación de oro, éste recibió un gran auge por la introducción del proceso de cianuro para disolver el oro o la plata presente en el mineral. Toda la maquinaria involucrada para este

este proceso fue desarrollada, incluyendo los filtros convencionales. Pero durante el proceso del cianuro los sólidos eran tan viscosos y finos que tomó mucho tiempo para poder lograr llenar los marcos con torta suficiente para lograr un buen lavado.

George Moore, un superintendente de una mina de oro, trato de resolver el problema, diseñando un filtro más eficiente, constando de un elemento rectangular, cubierto con una lona, aplicando succión a la salida superior; la torta se formaba sobre la lona y el ciclo se terminaba cuando el flujo era muy pequeño, efectuándose el lavado sobre un determinado espesor de la torta. Los filtros Moore comunmente se construyen con una área de filtración superior a 100 m².

David J. Kelly de Salt Lake City, inventó el filtro que lleva su nombre, que era un moderno filtro de hojas, formado por un tanque cilíndrico ligeramente inclinado horizontalmente. Las hojas son longitudinales y ellas se quitan del tanque para descargar la torta. Este tipo de filtros se usa ampliamente en las plantas de producción de aluminio.

Otra compañía minera desarrolló el filtro Sweetland, inventado por Ernest J. Sweetland. Este es un filtro cilíndrico horizontal con dos hendiduras longitudinalmente opuestas. La mitad superior es estacionaria mientras la mitad inferior puede girar 90°. Las hojas del filtro están localizadas en la mitad superior del equipo. La parte inferior del cilindro está balanceado con un contrapeso, y es abierto por una exclusiva manual; la torta es descargada directamente por una salida superior. Este filtro Sweetland

fue diseñado para oro y llegó a utilizarse exitosamente en ingenios azucareros. Estos diseños no sólo fueron aceptablemente recibidos en la recuperación de oro sino también en procesos de azúcar a partir de remolacha.

La German-American Beet Sugar Company, diseñó un tanque horizontal con elementos circulares con descarga al centro. Estos elementos circulares - estaban montados sobre una flecha central capaz de rotar; esta unidad utiliza una exclusiva para descarga de la torta; este equipo tuvo una gran aceptación en la industria azucarera.

Un filtro rotatorio al vacío fue patentado por William James Hart en 1872 en Paris, y este estaba constituido por un tambor cubierto por una banda la - cual transportaba carbón caliente para su secado y descarga, E. Oliver, - un ingeniero minero, operando el proceso de cianuro de Moore, diseñó un filtro rotatorio al vacío en 1908. Moore también diseñó un filtro rotatorio al vacío en 1903, conocido hoy como "Zenith".

El período de desarrollo del equipo de separación desde 1920 a la fecha, ha sido caracterizado por el uso contínuo de alguno de los diseños tradicionales, utilizando nuevas técnicas para elementos de construcción diseño del filtro y equipo auxiliar.

3.0 TEORIA DE FILTRACION

Leyes básicas gobiernan el flujo de líquidos a través de camas incompresibles, como base en el desarrollo de fórmulas para estudios más complejos; tal es el caso de camas compresibles.

Los datos se encuentran disponibles para el flujo de aire y agua en diferentes clases de sólidos; estos datos sirven como una base para varios tipos de formulaciones matemáticas.)

3.1 LEY DE DARCY

Entre noviembre de 1855 a febrero de 1856, Darcy llevó una serie de experimentos que involucran el flujo de agua a través de arena en un tubo de fierro vertical, teniendo una altura de 3.5 m y un diámetro de 35 cm. Darcy realizó sus experimentos con dos diferentes arenas y corrió aproximadamente 25 pruebas. [Darcy encontró que la velocidad es proporcional a la cabeza, entonces indicó que el flujo que regía era laminar.)

Aunque Darcy no incluyó viscosidad en su fórmula original, su fórmula se escribe de la siguiente manera:

$$\frac{\rho_c}{\mu} \frac{dP_l}{dx} = \frac{\mu}{K} q \quad \text{----- (1)}$$

P_l = Presión hidráulica

x = La distancia a través de la torta

q = La velocidad superficial expresada como volumen de flujo (cm² de área transversal/tiempo)

En camas fijas, se considera que los sólidos son estacionarios y que q es constante. La permeabilidad es frecuentemente medida en unidades inconsistentes: en darcies o milidarcies; una permeabilidad de un darcy resulta de un flujo de un $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{seg}$.

En los experimentos originales de Darcy, la arena tenía permeabilidades en el rango de 90-175 darcies, los cuales son valores representativos y razonables.

En filtración, es frecuente escribir la ecuación (1) en la siguiente forma:

$$S_c \frac{dP_L}{dx} = \frac{\mu}{K} q \quad \text{-----} \quad (2)$$

w_x = Es la masa de la torta seca por cm^2 depositada en una distancia - del medio el cual sirve como soporte.

La resistencia puntual es α y la velocidad de flujo puede no ser constante a través de toda la torta. La diferencial de dw_x es escrita de la forma siguiente:

$$dw_x = \rho_s (1-\epsilon) dx \quad \text{-----} \quad (3)$$

Substituyendo, (3) en (2) tenemos:

$$\frac{S_c dP_L}{dx} = \mu \rho_s (1-\epsilon) \alpha q \quad \text{-----} \quad (4)$$

La permeabilidad puede ser relacionada a la resistencia de filtración divi-

diendo las ecuaciones (1) y (4)

$$k = 1 / \rho_s (1 - \epsilon) \alpha \quad \text{----- (5)}$$

El movimiento relativo de los sólidos en la torta, cuando las partículas sólidas están moviéndose, entonces la ley de Darcy debe ser modificada incluyendo la velocidad relativa del fluido a las partículas. Mientras que para la mayoría de las filtraciones, la velocidad de las partículas sólidas no es grande, Shirato mostró que en la filtración de suspensiones densas en intervalos cortos de tiempo, es necesario incluir la velocidad de los sólidos, La velocidad promedio μ del líquido es relativa al valor superficial q y al factor de tortuosidad T .

$$\mu = Tq / \epsilon \quad \text{----- (6)}$$

donde $T = A$ la relación de distancia recorrida por el líquido y el espesor de la torta. La velocidad del líquido varía a medida que pasa a través de las intersticios de la torta porosa. La ecuación (6) representa el valor promedio. Una torta bajo presión está continuamente comprimida y como resultado de esto, los sólidos se moverán hacia el medio soportante. La velocidad de los sólidos puede ser una fracción apreciable de la velocidad del líquido, cuando el espesor de la torta se forme en un período corto, como en un filtro rotatorio al vacío. Si r representa la velocidad de flujo volumétrico superficial de los sólidos y T_s el factor de tortuosidad para los sólidos, la ecuación es:

$$\mu_s = T_s r / (1 - \epsilon) \quad \text{----- (7)}$$

La ecuación (7) representa la velocidad de las partículas sólidas.

La velocidad relativa del líquido al sólido es:

$$\mu - \mu_s = \frac{T_q}{\epsilon} - \frac{T_s r}{1 - \epsilon} \quad \text{----- (8)}$$

No hay información disponible acerca de T_s ; por lo cual se toma T y T_s como la unidad en la ecuación (8).

Al adoptar la forma de la ecuación (2), la ecuación (8) es incorporada como sigue:

$$\rho_c \frac{dP_c}{dW_x} = -\nu \alpha \epsilon (\mu - \mu_s) \quad \text{----- (9)}$$

$$= -\nu \alpha (q - e r) \quad \text{----- (10)}$$

Donde: $\alpha = \epsilon / (1 - \epsilon)$

y representa la relación del volumen de poros y volumen de los sólidos.

3.2 FLUJO TURBULENTO CONTRA FLUJO LAMINAR.)

Muchos autores han investigado el flujo a través de medios permeables.

En 1927 Koseny, insistió que la experimentación era todavía una parte esencial de los cálculos de permeabilidad y resistencia a la filtración, particularmente cuando se involucran tortas compresibles.

Una gran cantidad de datos experimentales están disponibles para el flujo

de agua a través de arena, arcilla, varios tipos de gravas, varios tipos de empaque para torres. Muchos modifican el número de Reynolds y las gráficas del factor de fricción, mientras las magnitudes numéricas de ambas, el factor de fricción y el número de Reynolds obtenidos en una tubería, tienen una marcada similitud en las curvas. De flujos viscosos, se han obtenido un mayor número de datos; existe una transición gradual de viscoso a flujo turbulento, lo cual indicaría que hay probabilidad de una combinación de flujo viscoso y flujo turbulento, ocurriendo en la suma de contracciones y aumento de las pérdidas. Así no se esperaría que este pronunciado rompimiento ocurriese en filtración siendo este rompimiento de laminar a flujo turbulento. En la mayoría de las filtraciones se han encontrado que el flujo es viscoso y consecuentemente se han efectuado modificaciones en la ley de Darcy.

En filtración, las velocidades de flujo de un litro por minuto por metro cuadrado, serían consideradas altamente satisfactorias. Ahora, transformada esta velocidad a velocidad superficial, nos conduce a un valor de:

$$\frac{1 \text{ l/min}}{1017 \text{ l/m}^3} = 0.006 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{seg} \text{-----} \quad (11)$$

Aún con 30% de poros, la velocidad se incrementa a solamente 0.006 m³/seg/m². La ecuación (11), muestra el valor de la cancelación de unidades que es igual a la velocidad en m/seg. Con tan bajas velocidades no es sorprendente que el flujo general sea laminar.

En camas de grandes partículas, la velocidad de flujo llegaría a turbulen--

to, y es costumbre escribir la ecuación para caída de presión en la siguiente forma:

$$\frac{\rho_c \Delta P}{L} = C_1 \mu + C_2 \mu^2 \quad \text{----- (12)}$$

Donde C_1 y C_2 han sido generalmente consideradas constantes, para un medio dado. Fahien y Shriver desarrollaron una ecuación en la cual sus constantes equivalían a C_1 y C_2 y fueron funciones del número de Reynolds.

3.3 MODIFICACION DEL FACTOR DE FRICCIÓN Y EL NUMERO DE REYNOLDS.

Varias modificaciones del número de Reynolds y del factor de fricción han sido utilizadas en la literatura. En mecánica de fluidos, la pérdida de cabeza

f en metros de fluido se escribe así:

$$h_f = \frac{q^2}{2g} \frac{L}{D} \quad \text{----- (13)}$$

q = Promedio de la velocidad superficial. En filtración q representa metros cúbicos de filtrado/metros cuadrados/seg.

La pérdida de cabeza puede ser relacionada a la caída de presión

$$\rho_c \Delta P = \rho_g h_f \quad \text{----- (14)}$$

Eliminando h_f de la ecuación (13) y despejándola, tenemos:

$$NRe = \frac{D \rho P}{\mu} \text{----- (16)}$$

El primer cambio en la ecuación (15) y ecuación (16) ha sido la substitución del diámetro de la partícula D_p por D . Por eso, debe ser reconocido que para camas ideales, generalmente hay presente una gran variedad de formas de partículas irregulares las cuales no pueden ser caracterizadas por un simple parámetro como D_p .

Blake propuso las siguientes modificaciones de f y NRe siendo f reemplazado por:

$$2 f e^3 / 1 - \epsilon \text{----- (17)}$$

y NRe reemplazada por:

$$N Re / 1 - \epsilon \text{----- (18)}$$

Donde ϵ es la porosidad de fracciones vacías. El propósito de Blake era perfechar su ecuación antes que la ecuación de Kozeny. Igmason, introdujo la siguiente:

$$f \text{ reemplazada por: } \frac{Sc \rho f \epsilon^3}{(1-\epsilon) S_o \rho q^2} \text{----- (19)}$$

$$NRe \text{ reemplazada por: } \frac{\rho q}{\mu (1-\epsilon) S_o} \text{----- (20)}$$

Los factores $\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)}$ y $\frac{1}{(1-\epsilon)}$ son retenidos pero la superficie especifica, cuyas dimensiones son recíprocas están dadas por centímetros Dp para una esfera.

$$S_o = \frac{\pi D^2}{\pi D^3/\phi} = \frac{\phi}{D\rho}$$

Ward, substituyó el diámetro Dp por el recíproco de la permeabilidad como se definió por la ecuación de Darcy en la cual

$$\frac{g_c \rho f}{L} = \frac{\mu q}{K} \quad \text{----- (21)}$$

Donde la permeabilidad K tienen la dimensión recíproca en m², por lo tanto:

f es substituida por: $\frac{g_c \rho f}{L} = \frac{K^{1/2}}{\rho q^2}$ ----- (22)

NRe es substituida por: $q \rho / K^{1/2} \mu$ ----- (23)

En la ecuación de Kozeny-Carman, la permeabilidad K esta dada por:

$$K = \frac{1}{KT} \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \frac{1}{S_o^2} \quad \text{----- (24)}$$

Donde K es la constante de Kozeny y T es la tortuosidad. Los tres métodos para definir los valores modificados de f y NRe son similares pero producen diferentes correlaciones.

Es esencial analizar la exacta definición de números de Reynolds modificados y factores de fricción usados en la literatura. Un método útil para dife-

reñir la cantidad de autores es observar el valor del NRe en la región transicional. La siguiente comparación de unos pocos autores está dada a continuación:

	<u>NRe (Transicional)</u>	<u>f (Turbulento)</u>
Ergun	100	1.75
Martin, McCabe y Monrand	100	2.20
Ingnanson, Han, Wilder y Myers	100	2.5
Fahien	1	1.0
Ward	1	0.55
Hand y Ingnanson	10	0.12

Correlación de datos Experimentales:

Mientras el progreso ha sido hecho sobre datos experimentales correlacionados, no hay curvas graficadas del factor de fricción, las que representen todos los sólidos. Algunos investigadores han mostrado una serie de curvas paralelas sobre el factor de fricción para medios porosos, pero la mayoría han intentado reducir todos los datos a una simple curva. Tal procedimiento es particularmente tentador en rangos viscosos. Sin embargo la complejidad y naturaleza de carga de pequeñas partículas hace dudoso que las permeabilidades puedan ser calculadas teóricamente para casos reales en un futuro cercano.

Gráfica de Ergun es la figura (1) y se encuentra en la literatura, mientras la -

correlación aparece regular, otros autores han indicado que errores sustanciales pueden acumularse utilizando la figura (1) como un instrumento de trabajo. Gráficas similares han sido presentadas por otros autores e investigadores.

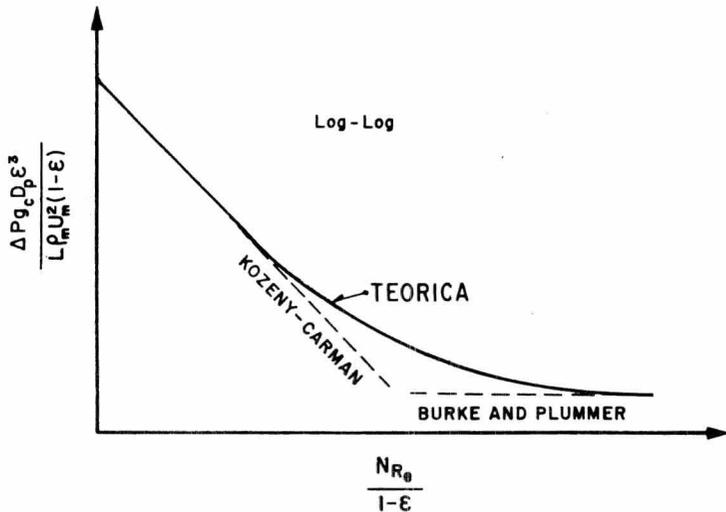


FIGURA NUM. 1

Ergun, Suskin y Becker presentaron sus ecuaciones en la forma siguiente:

$$f^* = \frac{C_1 + C_2}{NRe^*} \quad \text{----- (25)}$$

f^* y NRe^* son usados de acuerdo con las definiciones de las ecuaciones (17) y (18). En términos de las variables básicas puede la ecuación (25) ser escrita como:

$$\frac{g_c \rho f}{L} = C_1 \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \frac{g}{D_p^2} + C_2 \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} \frac{\rho g^2}{D_p} \quad \text{----- (26)}$$

Ergun dio los valores de $C_1 = 150$ y $C_2 = 1.75$ mientras Suskind y Becker reportaron valores de $C_1 = 166.8$ y $C_2 = 0.84$. Shepochkin usó la forma básica como se muestra en la ecuación (26) modificada como sigue:

$$\frac{3c \rho f}{L} = C_3 \left[N \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \frac{q}{D\rho^2} + \frac{1}{120} \rho \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} \frac{q^2}{D\rho} \right]$$

----- (27)

Donde C_3 es una constante relacionada al material. Una aproximación de $\pm 10\%$ fue pretendida por la ecuación (27). Pero hay dudas acerca de la ecuación (27) en la cual la viscosidad esta completamente ausente de términos inertes. El flujo en tubería, la viscosidad entra de 0.1 a 0.3 en el efecto de la pérdida de presión. Debería esperarse que un efecto similar podría ser presentado en un medio permeable.

3.4 ECUACION DE KOZENY

Muchos intentos han sido efectuados al desarrollar las ecuaciones analíticas para la permeabilidad o resistencia de filtración. La ecuación de Kozeny (también referidas a las ecuaciones de Blake, Fair-Hatch y Kozeny-Carman) es quizás la mejor conocida de muchos intentos. Es un perfeccionamiento sobre la ecuación de Darcy y debe ser parecida a la ecuación de estado de Van der Waals. Hay veces que cuando se trabaja regularmente con un gran número de partículas y bajas permeabilidades, esta situación es excelente para la demostración de los propósitos en que se ilustran los importantes efectos de permeabilidad y tamaño de partícula.

la. No obstante, no sería serio su uso en filtración de torta para la predicción de resistencias. Basada sobre la ecuación de Poiseuille, la ecuación que Kozeny desarrolló para el flujo de fluidos a través de camas permeables.

Las constantes de la ecuación de Poiseuille para flujo viscoso a través de un tubo circular no será el mismo como éstos para otras secciones transversales. Sin embargo, debe esperarse que las variables tales como viscosidad, velocidad y radio hidráulico para un canal no circular entraría en una ecuación de flujo aproximadamente en la misma forma como para una sección circular. La ecuación de Poiseuille para flujo a través de un tubo circular puede ser escrita en la forma siguiente:

$$g_c \frac{dp_x}{dx} = - 32 \frac{\mu u}{D^2} \text{----- (28)}$$

El fluido de una torta actualmente fluye a lo largo de una trayectoria la cual es más grande que el espesor de la torta como se indica en la figura (2).

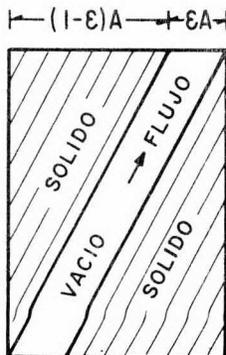


FIGURA NUM. 2

La sección transversal de área A en la torta es dividida hacia el flujo de - Area ϵA y el área ocupada por los sólidos $(1 - \epsilon) A$. La longitud de flujo actual dividido por el espesor es definido por la Tortuosidad T y la ecuación (28) puede ser modificada, en la trayectoria adicional en longitud; substituyendo dx por Tdx obtenemos:

$$g_c \frac{dP_L}{T dx} = \frac{K \mu}{R_H^2} \quad \text{----- (30)}$$

Donde K es una constante adimensional, v es la velocidad lineal en m/seg, μ es la viscosidad en kg m/(m) (seg). R_H es el radio hidráulico, la P_L es la presión en kgf/m² y x es la distancia.

El radio hidráulico esta dado por:

$$R_H = \frac{\text{volumen vacio}}{\text{superficie de los sólidos}} \quad \text{----- (31)}$$

Entonces el valor $\frac{\epsilon}{1-\epsilon}$ representa la relación del volumen vacío al volumen de sólidos, el volumen vacío esta dado por:

$$\text{Volumen vacío: } \frac{\epsilon}{1-\epsilon} (\text{volumen de sólidos}) \quad \text{----- (32)}$$

Substituyendo (32) en (31) tenemos:

$$R_H = \frac{\epsilon (\text{volumen de sólidos})}{(1-\epsilon) (\text{Area de superficie de los sólidos})} \quad \text{----- (33)}$$

El área de superficie de sólidos por m³ de sólidos (exclusivamente vacíos) está determinando la superficie específica, S_o , la cual puede ser substituida en (33) para obtener:

$$RH = \frac{\epsilon}{1-\epsilon} \frac{1}{S_0} \text{-----} (34)$$

La velocidad real en los intersticios de sólidos están dados por la ecuación (6). Haciendo substituciones en la ecuación de Pouseuille llegamos a:

$$\frac{dPL}{dx} = - \frac{R}{\rho_s} \mu \frac{(1-\epsilon)^2 S_0^2 T^2}{\epsilon^3} \text{-----} (35)$$

Comparando la ecuación (35) con las ecuaciones (4) y (5) obtenemos la relación entre la permeabilidad K, la resistencia de filtración y la constante de Kozeny K, entonces:

$$\alpha = \frac{R(1-\epsilon)}{\rho_s \epsilon^3} S_0^2 T^2 \text{-----} (36)$$

$$K = \frac{1}{R} \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \frac{1}{S_0^2 T^2} \text{-----} (37)$$

A la constante de Kozeny se le asignó el valor de 5.0. El puro hecho que un sólido anisotropico tenga el mismo valor de E y S₀ pero las diferentes permeabilidades en diferentes direcciones, son argumento suficiente para du dar de la constante de Kozeny (K).

Happel y Brenner presentan valores teóricos para K como derivadas de las ecuaciones representativas de flujo a través de unión de cilindros y esferas basados en trabajos de Sparrow, Loeffler y Emersleben.

En la figura 3 se muestra la variación de K en la porosidad es mostrada.

Una curva representa la siguiente ecuación como lo propuesto por Ingmanson y Andrews que es mostrada como una curva punteada en la figura 3

$$K = 3.5 \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^{0.5}} [1 + 57(-\epsilon + 1)^3] \quad \text{----- (38)}$$

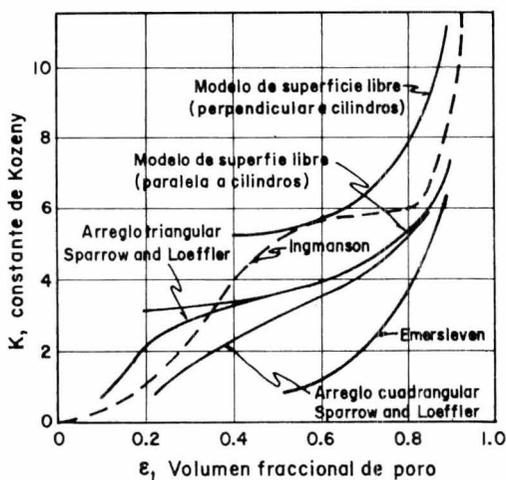


FIGURA NUM. 3

En la figura (4) se ilustran valores de K como lo reportado por Coulson; - ambos trabajos, experimental y teórico, indican que hay una amplia variación en K y que solamente valores aproximados pueden ser obtenidos sin recurrir a experimentos.

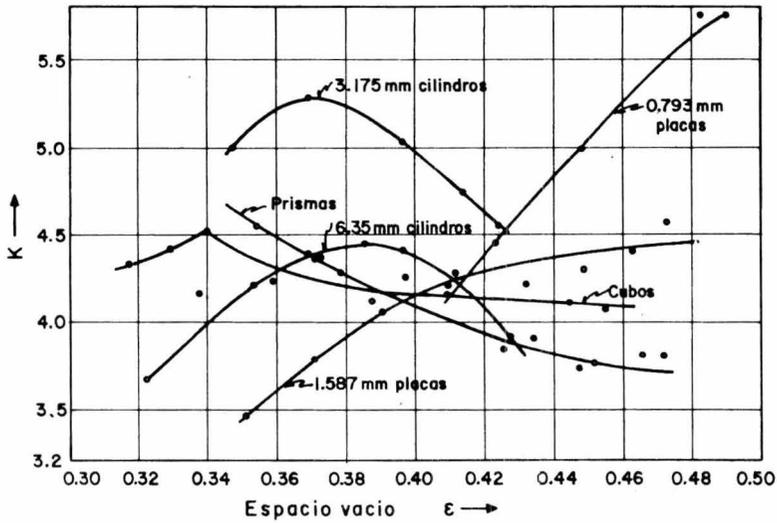


FIGURA NUM. 4

Snyder y Stewart resolvieron numéricamente la ecuación de Navier-Stokes para flujo a través de una esfera densa y una simple. Ellos emplearon el método de Galenkin de prueba y error y obtuvieron perfiles de velocidad y presión.

Valores numéricos para empaques en cubos densos obtenidos por Snyder y Stewart fueron encontrados al ajustar la ecuación (29) con valores para $C_1 = 150$ y $C_2 = 0$ no incluyendo el rango turbulento. Entonces sus valores para C_1 coincidieron exactamente con lo que encontré.

$$\theta_V = \frac{\mu \alpha c}{2gc\rho} v + \mu \frac{R_m}{gc\rho} \quad \text{----- (39)}$$

Donde:

θ = Tiempo de filtración en segundos

V = Volumen de filtrados

A = Area de filtración

v = Volumen de filtración/m² = V/A

μ = Viscosidad del filtrado

α = Resistencia específica de la torta = m/kgm

c = Masa de los sólidos por volumen de filtrado

p = Presión diferencial, kg f/m² (vacío o presión)

R_m = Resistencia del drenaje del medio filtrante \sqrt{m}

Con el propósito del diseño hidráulico y selección del medio filtrante, el valor R_m llega a ser insignificante y puede ser eliminado de la ecuación.

Rearreglando la ecuación entonces da:

$$\frac{V}{A\theta} = \frac{v}{\theta} = \sqrt{\frac{2gc\rho}{\mu\alpha c\theta}} \quad \text{----- (40)}$$

Considerando que p y c son constantes para una situación dada, es aparente que la velocidad de filtración es una función del tiempo de filtración y tiempo respectivamente.

Para los propósitos de correlación, tomando el logaritmo de esta ecuación se produce la siguiente ecuación clásica:

$$\log \frac{V}{\Theta} = -0.5 \log \Theta + 0.5 \log \frac{2gc\rho}{\mu c} \text{ ----- (41)}$$

De esta ecuación es evidente que graficando velocidad de filtración (V/Θ) como función del tiempo en un papel logaritmico, una línea recta con una pendiente de -0.5 es esperada.

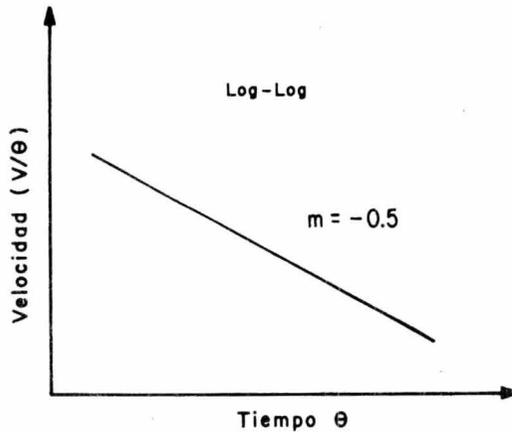


FIGURA NUM. 5

La experiencia ha demostrado que en todos los casos esta relación es realizable y extremadamente útil en interpretación de pruebas y datos de operación para propósitos de diseño.

En algunos casos los datos pueden desviarse ligeramente de las pendientes -0.5 pero esto ocurre ocasionalmente. Una vez se ha determinado los parámetros de presión, temperatura, viscosidad, concentración de sólidos

dos en la alimentación pueden ser fácilmente desarrollados .

Aplicando este método para determinar en gran escala la velocidad de filtración para el ciclo total del filtro, también se deben tomar en consideración la sumergencia del filtro cuando se trate de un tambor rotatorio, y el factor de laboratorio de 0.7 a 0.9 y el espesor de la suspensión sobre el medio en casos como filtros con alimentación superior (charolas y bandas). La sumergencia es el porcentaje del área del filtro o tiempo del ciclo en el cual se lleva a cabo la formación de la torta al estar sumergido en la suspensión. - La sumergencia puede ser tan baja como 5% y tan alta como 80% para unidades de tipo rotatorio; generalmente la sumergencia alcanza un 35%.

A mayor sumergencia, es necesario el uso de cajas selladas de diseño especial lo cual incrementa los costos. El convertir la velocidad de filtración obtenida en laboratorio a diseño de gran escala es simplemente una multiplicación de la velocidad de filtrado por el porcentaje de sumergencia; si los datos básicos son desarrollados de pruebas de media escala, un factor de laboratorio de 0.7 - 0.9 esta incluido. El tiempo del ciclo está determinado por la división de tiempo entre el porcentaje de sumergencia; el espesor de la torta y la capacidad de descarga de la torta son extremadamente importantes para las bases del diseño sobre la formación de la torta.

Como se ve en la figura (5) el tiempo más corto corresponde a la mayor velocidad. Entonces, el objetivo es optimizar la velocidad de filtración, sin embargo, el tiempo está decreciendo y la torta será tan delgada que no se llevará a cabo una descarga satisfactoria del filtro. Esto depende de las -

4.0 TEORIA DE FILTRACION APLICADA.

Cualquier filtro continuo de vacío, puede incurrir en las mismas operaciones ya que puede pasar a través de un ciclo repetitivo.

Estas operaciones pueden incluir:

- 1.- Formación de la torta. La torta se forma sobre el medio filtrante, dependiendo del grado de separación efectiva de los sólidos contenidos en una suspensión.
- 2.- Presecado de la torta.- Después de hacer la separación, se hace el desague del líquido para minimizar la cantidad de licor contenido en la torta.
- 3.- Lavado de la torta. El lavado de los sólidos ricos en sales solubles libres. Esta operación reduce el contenido de impurezas solubles.

La formación de la torta y el lavado de la torta, son operaciones que se llevan a cabo cuando se deben recuperar o eliminar las sales solubles presentes en la torta. Estas funciones están basadas sobre diferentes principios teóricos y operacionales y cada operación es importante dependiendo de la operación específica del filtrado y debe ser evaluada y considerada en relación a las otras operaciones ejecutadas. La limitación debe ser determinada y usada para los propósitos de diseño.

4.1 FORMACION DE LA TORTA

La verdadera velocidad de filtración está teóricamente definida por la ecuación de Poiseuille, para flujo de licor a través de capilares.

características de la torta, tipo de filtro y mecanismo de descarga usado. Entonces, la evaluación de la velocidad de filtración y la determinación de las condiciones óptimas de diseño, son factores extremadamente importantes. El espesor mínimo de la torta descargable para varios tipos de filtro son:

Banda horizontal	0.317 a 0.635 cm
Tambor	0.635 a 0.951 cm
Disco	1.27 cm
Charola	1.905 cm
Tambor con alimentación superior	1.27 a 1.905 cm

Cuando encontramos excepciones de estas condiciones, es conveniente hacer una reevaluación de las características del filtro y de su mecanismo de la descarga de la torta, las cuales deben hacerse sobre cada aplicación.

Es importante que la torta sea completamente descargada. Si la torta queda adherida sobre el medio filtrante y regresa nuevamente al ciclo de filtrado, la operación de filtrado no será óptima.

Muchas aplicaciones están basadas en la velocidad de formación de la torta, espesor, humedad de la torta o lavado de la misma; estos factores son críticos en el proceso y deben ser considerados en relación a las limitaciones de diseño impuestas por las siguientes .

4.2 PRESECADO DE LA TORTA:

En muchas aplicaciones, el contenido de humedad de la torta es extremadamente importante especialmente cuando la torta es viscosa. Es importante que los métodos de evaluación sean usados para predecir cual puede ser el indicado.

Durante el presecado en el ciclo del filtro, el contenido de la humedad en la torta está en función de:

- 1.- $\frac{m^3(\text{aire})}{\text{min}/m^2}$ = Velocidad del flujo de aire a través de la torta durante el secado.
- 2.- θd = Tiempo de secado
- 3.- p = Presión diferencial
- 4.- W = Peso de la torta por metro cuadrado

El contenido de la humedad de torta puede ser correlacionada como una función de un factor compuesto de estos valores.

Factor de correlación:

Graficando datos de esta manera se produce una gráfica como se muestra en la figura (6). Es evidente que el presecado mecánico este ocurriendo rápidamente a bajos valores del factor de correlación precediendo a la inflexión de la curva. Operando más allá de este punto es esencialmente secado por evaporación y es lo menos práctico para eliminar una humedad adicional.

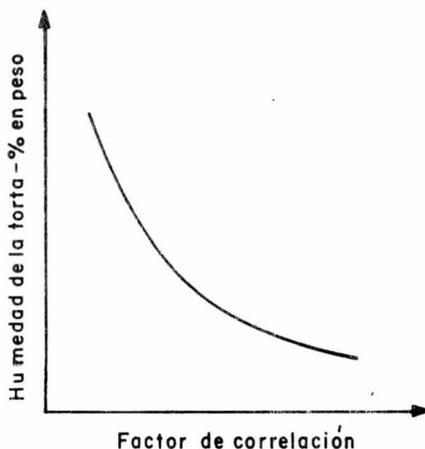


FIGURA NUM. 6

El uso de esta correlación para el diseño del filtro, otra gráfica correlacionada con la velocidad de flujo de aire con el factor $\Delta P/W$ debe ser desarrollada figura (6). Si nosotros asumimos una operación práctica del vacío (ΔP) y el espesor de la torta (peso de la torta- W) la velocidad de flujo de aire puede ser leído de la figura (7)

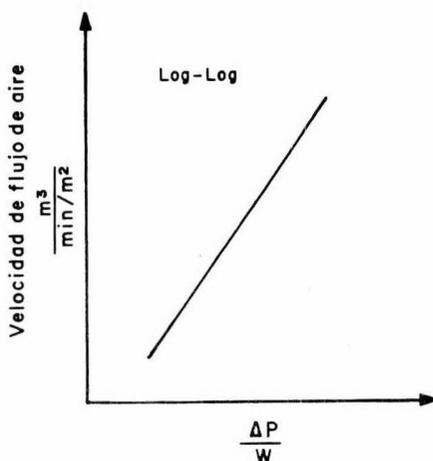


FIGURA NUM. 7

Conociendo la humedad de la torta deseada o seleccionando un punto justamente pasando la inflexión de la curva, nosotros podemos igualar el valor a los factores del factor de correlación y calcular θ_d conociendo el porcentaje del ciclo disponible para el presecado de la torta, nosotros podemos determinar el tiempo del ciclo del filtro dividiendo θ_d en una fracción. Entonces el peso (W) puede ser dividido por el tiempo del ciclo en minutos (rpm); obtenemos kilos de sólido seco por hora por metro cuadrado de área total de filtración (velocidad de filtración a gran escala).

Aquí nosotros aplicamos el factor 0.8 que es normalmente usado cuando relacionamos planta piloto a planta.

El porcentaje de tiempo de secado disponible dependerá:

- 1.- Del tipo de filtro usado
- 2.- Si se requiere el lavado de la torta
- 3.- Del tiempo que se requiere para obtener una torta de peso igual a W .

Para filtros rotatorios, generalmente 40-50% del ciclo está disponible para presecado, a menos que efectúe un lavado de la torta, lo cual reduce el valor a 15-25%. Para otros tipos de filtros deben considerarse las condiciones específicas.

Cuando son sólidos finos los que se están filtrando, las velocidades de flujo de aire serán menores a $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$. En este rango de permeabilidad de torta, la relación entre $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}$ y AP/W es difícil de correlacionar, entonces, una correlación simplificada, humedad de la torta contra θ_d/W - como muestra la figura (8), como se indica a continuación.

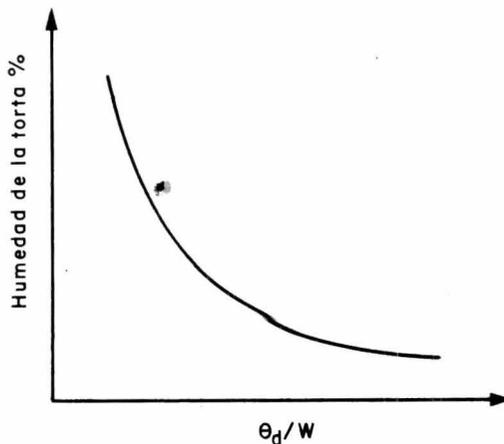


FIGURA NUM. 8

El cálculo de la velocidad de filtración es desarrollada de esta correlación similar a la explicada arriba. Es interesante observar que los factores de $\frac{\text{m}^3 \text{ de aire}}{\text{m}^2 \text{ de área de filtración/min}}$ y F es el factor de correlación mostrados - sobre la figura (6) representa un factor de potencia el cual puede ser igualado a HP para el origen del vacío.

También el factor de correlación es directamente proporcional al área del filtro requerida. Si el factor de correlación más lejano a la derecha sobre la curva es relacionada, el área de filtración se incrementará proporcionalmente. De esta correlación se determina la velocidad de filtrado, basada sobre el presecado, velocidad del flujo del aire y capacidad de vacío.

4.3 LAVADO DE LA TORTA:

El lavado de la torta es frecuentemente incluido como parte del ciclo del filtro para recobrar o separar sales solubles de la torta. La relación teórica para el lavado esta desarrollada y da la siguiente ecuación:

$$\%R = 100 (1-E/100)^n$$

%R = Porcentaje de solubles remanentes en la torta después del lavado basada sobre el 100% restantes antes del lavado pero después de la formación de la torta.

E. = Eficiencia de lavado en porcentaje, ó 100-%R a n = 1.0

n = Es la relación de lavado o volumen de lavado aplicado, dividido por el volumen del licor original en la torta, antes de la aplicación del lavado.

El porcentaje de sales solubles remanentes y la relación del lavado pueden ser graficados en papel semilogaritmico, como una gráfica de log R vs. n -

obteniéndose una línea recta. Esta línea recta correlaciona un verdadero lavado en una relación de lavado de 2.5 - 3.5. Más allá de esta relación de lavado, el área llega a ser asintótica, como se muestra en la figura (9)

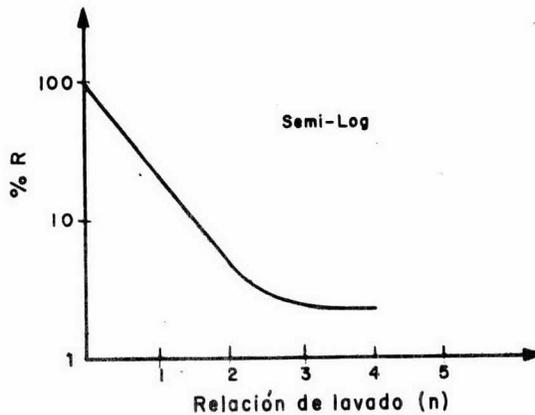


FIGURA NUM. 9

Esta correlación indica que relaciones de lavado mayores que 2.5 - 3.5 proveerán relativamente pequeñas disminuciones de solubles. En filtros rotatorios, las relaciones de lavado mayores que estos valores son generalmente difíciles de aplicar sin una limitación significativa al ciclo del filtro y reduce la velocidad de filtración diseñada.

En el uso de esta correlación en diseños determinados, el lavado de torta debe ser evaluado. La figura (10) indica el tipo de correlación normal usada donde el tiempo de lavado es graficado como una función de la relación de lavado con parámetros del espesor de la torta.

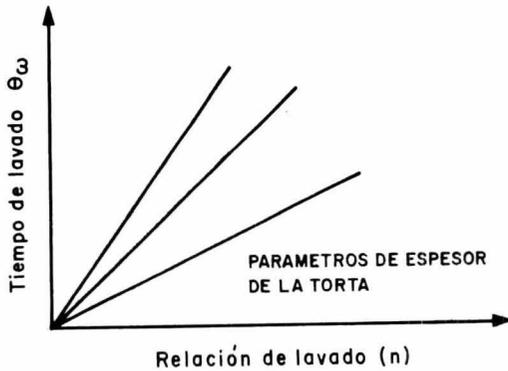


FIGURA NUM. 10

De la figura (9) conociendo el grado de eliminación de sales solubles deseado, el radio de lavado es seleccionado. Entonces, en la figura (10) usando el radio de lavado seleccionado y el espesor de torta seleccionada con respecto a las consideraciones de la formación de la torta, el tiempo de lavado requerido puede ser determinado. Las aplicaciones de lavado en filtros rotatorios son normales entre 90° y 105° ó 25-29% del ciclo y el ciclo total del filtro puede ser determinado dividiendo el tiempo de lavado entre el porcentaje del ciclo disponible para lavado.

El diseño de la velocidad de filtración puede ser determinado dividiendo el peso de la torta seleccionada por el peso de la torta entre el ciclo. Estas velocidades pueden ser comparadas para cada una de las diferentes funciones y los límites de las funciones seleccionadas para el diseño.

Una vez que las condiciones limitantes para cada una de las funciones del filtro están determinadas, el ciclo del filtro puede ser reajustado. Para optimizarlo, ajustando sumergencia del filtro, tiempo de secado y tiempo de lavado.

5.0 FACTORES BASICOS QUE AFECTAN LA FILTRACION.

Hay tres factores principales que afectan la filtración, que pueden hacer un fracaso o un éxito de cualquier instalación de filtración y por esta razón todos ellos deben ser considerados antes de recomendar cualquier tipo particular de una unidad de filtración y hacer cualquier trabajo particular del filtro. Los discutiremos en relación con algunos de los subfactores que intervienen y afectan los principales factores. Los tres factores principales son:

- 1.- Naturaleza de la suspensión.
- 2.- Naturaleza de la torta
- 3.- Descarga de la torta

En general, nosotros debemos categorizar estos tres factores; además, señalando que los primeros dos de ellos intervienen esencialmente con los materiales a ser manejados y el otro interviene con el manejo de la torta.

5.1 NATURALEZA DE LA SUSPENSION:

En la ecuación de Poiseuille (en su forma modificada) nosotros podemos encontrar tres factores, los cuales se refieren de alguna manera u otra, a la naturaleza de la suspensión a ser manejada.

Ellos son:

μ = Viscosidad de la suspensión

w = Peso de la torta seca

α = Resistencia específica promedio de la torta

Las suspensiones pueden tener diferentes valores de Temperatura, pH, densidad, viscosidad y los sólidos en ellas pueden ser cristalinos, amorfos o coloidales. Al principio se nota que la naturaleza de la suspensión es un factor dado y que no podemos intervenir en él. Examinaremos algunos de los parámetros que pueden afectar la naturaleza de la suspensión y ver como pueden ser utilizados para llevar a cabo la filtración fácilmente.

a) Temperatura.

La temperatura influye sobre la viscosidad, la cual a su vez afecta la velocidad de flujo. Si el proceso permitiera la filtración a altas temperaturas, esta misma filtración puede ser efectuada a bajas viscosidades y con medios filtrantes más cerrados, los cuales pueden ser pasado el licor dentro de un período razonable de tiempo. Un cambio en la temperatura puede afectar la forma de la partícula o su composición, los cuales pueden afectar la velocidad del flujo. Aunque filtraciones a altas temperaturas son generalmente deseables, en algunos casos este puede ser el límite en la selección de materiales de construcción. Por ejemplo, si la filtración de soluciones de pH bajo, a temperaturas arriba de 95°C es proyectada, esto elimina la posibilidad de usar equipo de hule y es necesario recurrir a materiales que resistan la corrosión, lo que afecta el precio del equipo. También hay que señalar que los medios filtrantes son afectados por la temperatura.

b) pH

El control de pH es extremadamente importante en la filtración; un cam-

bio en alcalinidad o acidez, puede significar un cambio de viscosidad, así como un cambio de sólidos compactables a firmes; consideremos como ejemplo la filtración primaria de aguas negras con un pH cercano a 7 que es un problema, pero cuando se han tratado con cloruro de hierro a un pH de 9.5, la filtración es fácilmente llevada a cabo. El pH también tiene un gran efecto sobre los materiales de construcción usados para equipo de filtración y aún sobre los filtroayudas, los cuales pueden o no ser aceptados a altos pH, porque su naturaleza de sílice, por ejemplo, tierras diatomeceas, son frecuentemente inaceptables; recientemente se ha desarrollado un filtroayuda, de una naturaleza carbonosa, disponible para manejar tales soluciones. Debe señalarse que los coloides verdaderos son los que exhiben el movimiento Browniano. Tales coloides presentan una difícil filtración aun cuando se utilice alta concentración de filtroayuda o cuando la concentración es intentada antes de la filtración. Como comúnmente es relacionada a la filtración, el trabajo "coloidal" se refiere más a sólidos de naturaleza débil que a cualquier presión y resulta una distorsión en una torta a tal grado que los espacios vacíos en la torta son llenados con las formas distorsionadas y además el filtrado no puede pasar a través de la torta.

c) Coagulación.

Las partículas coloidales mencionadas pueden algunas veces tratarse con el "método de coagulación". Esto es efectivo en el caso de aguas negras; el tratamiento químico frecuente afectará la estructura física del

sólido coloidal suspendido, al ser cambiado a tal extremo que pierdan su naturaleza compresible y llegar a ser más o menos firme. En muchos casos este cambio se lleva a efecto por aglomeración, teniendo en la aglomeración una ventaja que es el uso de clarificadores, lo que en algunos casos con una simple agitación se causa la floculación.

d) Alimentación de la suspensión.

Otra manera de ayudar a la filtración de suspensiones conteniendo partículas coloidales o semicoloidales se usa el filtroayuda; tal como tierras diatomáceas o perlita, las que son de una naturaleza incompresible y aquí tienden ayudar a la formación de la torta y aliviar la resistencia a la compresión de altas presiones.

5.2 NATURALEZA DE LA TORTA

Refiriéndose una vez más a la forma modificada de la ecuación de Poiseuille, encontramos que hay dos factores con los cuales puede ser directamente afectada la naturaleza de la torta, dichos factores son:

W = Peso de la torta seca

α = Resistencia promedio específica de la torta

La naturaleza de la torta puede tener un gran efecto sobre el funcionamiento del filtro. Una torta ligera en peso, pero conteniendo sólidos compresibles de una naturaleza coloidal y aún semicoloidal pueden provocar velocidades de flujo muy bajas y ciclos cortos. Con una torta pesada, pero cristalina, pueden obtenerse altas velocidades de flujo, dependiendo de la naturaleza -

del líquido y ciclos extremadamente largos; en suma, la segunda torta probablemente sea más fácil de descarga que la primera. Debemos tomar en cuenta otros factores externos los cuales deben ser considerados cuando discutimos la naturaleza de la torta:

a) Precapa:

La precapa sirve como cubierta protectora para el medio filtrante, para prevenir que las partículas ceguen u ocluyan los espacios vacíos del medio filtrante, durante el proceso de filtración. En suma, es previniendo la oclusión de las lonas, como las precapas pueden ser usadas para evitar el uso de medios filtrantes gruesos o permitir el uso de mallas metálicas para obtener gran duración o resistencia a la corrosión.

Un gran número de materiales son generalmente usados como filtroayudas, algunos de ellos son:

Pulpa de papel, tierra, yéso, serrín, óxido de magnesio, polvo de zinc, algodón, asbesto, tierras diatomáceas, perlita, carbón y diferentes carbonatos.

Probablemente las más importantes son las tierras diatomáceas, pues este material está compuesto de caparazón de diatomeas, que son sedimentaciones de fósiles de las primeras edades de la tierra en el período del Mioceno, encontradas en el fondo del mar, después desplazadas a la superficie de la tierra por cataclismos, hoy en día fácilmente encontradas en depósitos, algunos de los mayores depósitos en el mundo localizados en California, E.U.A.

Las tierras son producidas y vendidas en varios grados, dependiendo del tamaño y pureza. El material por sí solo es ligero, irregular y resistente, además es inerte a la mayoría de las soluciones. La precapa se forma generalmente por una suspensión de tierra diatomáceas que se bombea a través del medio filtrante, de tal forma que la tierra es depositada sobre la superficie del medio filtrante y el líquido es drenado a través de dicho medio filtrante. El uso de filtroayuda es para proteger el medio filtrante de oclusión o cegamientos. En combinación con el propio medio filtrante, una precapa de naturaleza fibrosa o mejor una precapa laminada, tal como la pulpa de papel, algodón o asbesto, seguida de una capa secundaria de tierra diatomácea o perlita. La delgada capa fibrosa permite el uso de un medio filtrante grueso. La capa secundaria de tierra diatomácea da a la precapa una naturaleza incompresible lo que es deseable. En muchos casos donde la torta debe ser recuperada, una precapa de tierra diatomácea o de cualquier otro tipo no combustible es indeseable, porque comúnmente la separación se efectúa por combustión. En estos casos, el uso de filtroayudas combustibles, como los derivados de la celulosa, es indicada.

b) Formación de la torta y manejo.

La velocidad de flujo y el impacto de los sólidos, tienen una gran relación con la naturaleza de la torta y su formación y las velocidades de flujo varían directamente con la diferencial de la presión, a menos que la presión se incremente proporcionalmente a la formación de la torta. El impacto de los sólidos debe ser lo suficientemente bajo al principio -

del ciclo de filtración, pues así las partículas suspendidas y manejadas dentro de los espacios vacíos en el medio filtrante no cegarán a éste. - Por esta razón es importante formar la precapa a bajas presiones. Si el impacto de las partículas es muy grande y la presión aumenta la torta - llega a comprimirse. Sin embargo, el flujo debe incrementarse con un aumento en la presión y debe cuidarse de no filtrar a una sola presión, la cual por una velocidad alta, llega a comprimir la torta. Generalmente, a torta más abierta, mayor será la velocidad de filtración. Los orificios de la torta son afectados por el tamaño de partícula, forma de partícula, estructura de partícula e impacto. La velocidad de flujo e impacto de partículas afectan los orificios de la torta. Los orificios de la torta tienen su efecto no solamente sobre la velocidad de flujo, sino también de la duración del ciclo.

La concentración de sólidos es también de gran importancia, si la concentración de sólidos es mayor, el impacto de sólidos será menor y así la densidad de la torta será menor y los orificios de la torta serán mayores. Frecuentemente la concentración de sólidos puede ser aumentada - por adición de sólidos en la alimentación; durante la filtración la alimentación debe ser agitada adecuadamente para prevenir la estratificación - de la torta; tortas depositadas desigualmente pueden dificultar las descargas de las mismas así como un lavado y secado defectuoso.

Otro factor que afecta la formación de la torta, es la naturaleza de las - impurezas presentes en la suspensión. Esto es especialmente cierto en

el caso de la filtración de azúcar. Sin embargo la naturaleza de estas impurezas se puede cambiar, manteniéndose la misma cantidad o concentración. Una solución de azúcar conteniendo impurezas de naturaleza pegajosa será difícil de filtrar. La naturaleza de las impurezas también afectará la facilidad o dificultad de la descarga de la torta. Estas consideraciones deben ser tomadas en cuenta por su efecto sobre la relación entre el tiempo de filtración actual y el tiempo de limpieza, por ejemplo:

Sería probablemente más económico construir una torta de 2.5 cm de espesor en 8 hs y usar una hora de limpieza al filtro, que construir una torta de 1.25 cm en 3 hs y media usando 1 hs para limpiar el filtro. En ambos casos el tiempo total del ciclo es idéntico, los requerimientos de mano de obra y costos de precapa en el segundo caso serían más altos.

Si vamos a lavar o soplar la torta, debemos evitar que esta se rompa, pues cada lavado con agua o con aire seguirá el camino de la menor resistencia y penetrará a través de la torta o por la línea de las fisuras y el lavado y soplado será incompleto. Generalmente, el rompimiento de la torta será evitado dependiendo del medio filtrante, de la especificación de los materiales de construcción y evitando cambios rápidos de presión hasta antes y durante las operaciones de lavado y soplado.

5.3 DESCARGA DE LA TORTA.

En los trabajos de filtración de esta naturaleza cíclica, el período de

descarga de la torta debe ser mínimo, por esta razón es importante facilitar la descarga de la torta tanto como sea posible.

a) Medio filtrante:

Como se mencionó anteriormente, seleccionar el medio filtrante debe tener un gran efecto sobre la facilidad o dificultad de la descarga de la torta, lo que implica que el método de descarga deseado deberá gobernar nuestra selección de medio filtrante.

b) Materiales de construcción.

Los materiales de construcción en general y precio son puntos competitivos que pueden ser encontrados por los fabricantes de equipo y las principales áreas para la diferenciación en los campos de limpieza, descarga de la torta y mantenimiento. La mayoría de los ingenieros de diseño se han dirigido hacia reducir el tiempo requerido para la descarga de la torta y mantenimiento de nuestros equipos.

6.0 PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR CARACTERISTICAS DE UN FILTRO ROTATORIO DE VACIO.

6.1 INTRODUCCION.

Para cualquier aplicación nosotros consideramos que siempre es necesario - efectuar pruebas de laboratorio, para lo cual se ha adoptado un procedimiento estándar. Para algunas aplicaciones este procedimiento puede ser inexacto, en la experiencia puede ser estimado. Se han eliminado los cálculos y se sugiere que los resultados se presenten de tal forma que nuestra decisión final como tamaño, tipo, etc. sea la selección adecuada y que el resultado maneje la suspensión problema.

6.2 EQUIPO DE LABORATORIO.

- 1 Hoja de prueba para precapa. (área 0.001 m²)
- 1 Hoja estándar para precapa de 0.001 m²
- 1 Bomba de vacío
- Mangueras de hule
- Válvula de paso
- 2 Matraces (1 - lts)
- 1 Vacuometro
- 1 Cronómetro
- 1 Espátula
- Diferentes tipos de lonas
- Diferentes tipos de filtroayuda.

6.3 PRUEBA DE LABORATORIO.

Consideramos que tenemos la suspensión disponible a una temperatura y -

concentración conocida. La suspensión **debe** ser agitada para evitar el asen-
tamiento de los sólidos. El equipo de prueba debe ser conectado de una de
las dos maneras como indica el apéndice A. Esto implica tener uno o dos -
frascos en el circuito. Para la mayoría de las pruebas de laboratorio un -
frasco es suficiente.

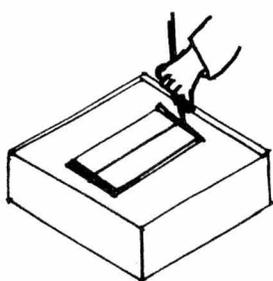
- a) Hay que escoger el tipo de hoja que se vaya a utilizar, dependiendo de
los sólidos que manejemos. Consideremos por el momento que utiliza--
mos la hoja estándar. Esta debe ser operada de la siguiente forma.

- b) La válvula antes de la hoja debe encontrarse cerrada y a un vacío de por
lo menos 500 mm de Hg. La hoja debe ser inmersa en la suspensión -
(apéndice A (a) y la válvula debe abrirse. Después de un período cono-
cido de tiempo la hoja debe separarse y mantenerse en posición (C) has-
ta que la torta llegue a secarse. El tiempo de secado debe ser anotado.
En la mayoría de los casos el cuarteamiento de la torta ocurre general- -
mente cuando se está llegando a un tiempo razonable de secado. Si esto
ocurre debe ser anotado.

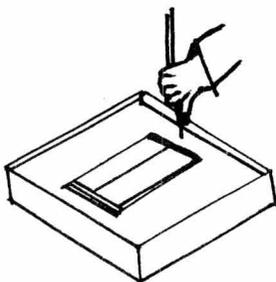
El filtrado debe ser colectado y medido al igual que la torta debe ser -
colectada y pesada, y determinada la humedad contenida en la torta.

Si el filtrado no es claro se pueden utilizar otros medios filtrantes y/o
precapas.

Cuando la torta es separada de la hoja, debe ser pesada. Las lecturas
del vacuómetro deben ser anotadas durante los períodos de filtrado y se-



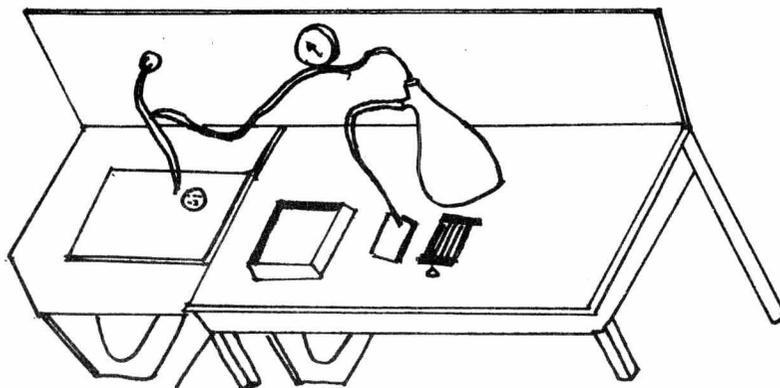
a) FILTRADO



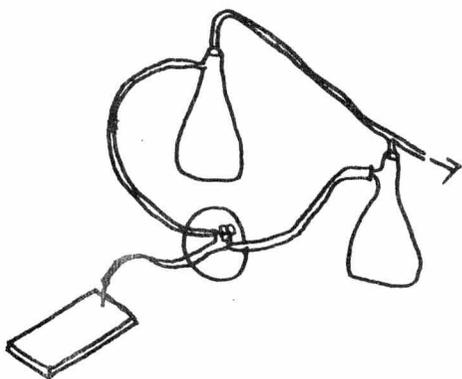
b) LAVADO



c) PRESECA DO



d) ARREGLO SIMPLE



e) ARREGLO COMBINADO



f) DESCARGA POR CUERDAS

APENDICE A

cado de la torta.

Si lleva agua de lavado, una etapa de lavado fuera del procedimiento - descrito antes. Esto es, la hoja, completa con torta, es completamente inmersa en una tina teniendo una cantidad medida de agua de lavado - por algún período de tiempo conocido.

La cantidad de agua de lavado para este trabajo es calculada por medi-- ción del agua remanente en la charola. Para este trabajo el arreglo de - los frascos debe necesitarse para evitar que el agua del lavado se mez-- cle con el filtrado obtenido en la primera etapa de la prueba.

Es completamente común el uso de los dos frascos cuando se desea se- parar el filtrado turbio que algunas veces ocurre al principio del ciclo de filtración; así el segundo frasco es utilizado para recibir el licor de los períodos de filtración y secado.

6.4 PRESENTACION DE RESULTADOS.

- a) Con un medio filtrante dado, la hoja debe ser inmersa en la suspensión por unos 15 segundos. La hoja debe ser separada y la torta secada por - un tiempo conocido. Las cantidades de la torta y filtrado deben ser co-- lectadas y medidas. Los puntos obvios deben ser anotados, por ejemplo, la claridad del filtrado, el espesor de la torta, contenido de humedad de la torta, las lecturas del vacuómetro en las operaciones de filtración y - secado, así como la separación del medio filtrante, si hay espumas en - el frasco, si la torta sufre cuartamiento durante el secado.

Este procedimiento debe ser repetido por incremento de intervalos de tiempo, esto es decir (30, 45, 60, 120 seg. etc) hasta que las cantidades de sólido y filtrado no se incrementen con el tiempo.

Los pesos de los sólidos (gramos) y volúmenes de filtrado colectado (litros) debe ser graficado separadamente contra tiempo (seg) y las corridas deben repartirse hasta obtener curvas suaves.

Estas curvas deben ser referidas como "características de filtración" de la suspensión para condiciones dadas de las pruebas.

- b) Las características de filtración pueden ser obtenidas para cada tipo de medio filtrante, haciendo notar las condiciones de operación en la prueba.
- c) "a" y "b" son relativas a tipos de filtros de descarga tipo cuerdas o cuchilla. Para filtros de precapa el mismo procedimiento puede ser seguido excepto que en lugar de utilizar una lona como medio filtrante, una capa inicial de precapa es construida sobre la hoja de prueba. El filtrado producido por la precapa es descartado. Después de cada corrida la hoja de precapa es rebajada con una cuchilla, por lo cual presenta una superficie nueva de contacto de filtroayuda a la suspensión.

6.5 CONCLUSIONES.

Las Características de Filtración nos proporcionarán la operación del medio filtrante sobre un filtro rotatorio. Para lograr el diseño a tamaño planta.

Este tiempo es una función de la sumergencia del tambor y velocidad del tambor; otros datos que nos producirán las características de filtración, las cantidades de los sólidos y filtrado producido por simulación del ciclo del filtro, asumiendo que la hoja de prueba ha sido correctamente diseñada y fabricada.

Es claro que las conclusiones pueden ser enriquecidas y optimizadas en el diseño del filtro tamaño planta. Las pruebas deben ser utilizadas para estudiar los efectos sobre escala planta en los siguientes puntos:

- 1) Consistencia de la suspensión y temperatura
- 2) El efecto sobre agentes floclulantes y la adición de cuerpo-ayudas a la suspensión.
- 3) El correcto medio filtrante.
- 4) El grado correcto de filtroayuda y el efecto de adición de filtroayuda al lote.
- 5) El método de descarga de la torta
- 6) El efecto de compresión de la torta y lavado de la misma
- 7) El tipo básico del filtro
- 8) El tamaño de la unidad y claridad del filtrado.

Como se aprecia, las pruebas de laboratorio proporcionarán un modelo general y nos indicarán el equipo a ser utilizado. El paso del equipo de laboratorio al equipo de planta está virtualmente garantizado. Más aún, las limitaciones de la planta, también como las ventajas, son conocidas y el resto del equipo en el proceso puede ser ordenado para tomar ventaja de estas características.

7.0 EVALUACION PRACTICA DE DATOS DE FILTRACION DE UNA PLANTA PILOTO.

En el diseño u operación de muchas plantas relacionadas a la Industria Química, el Ingeniero Químico frecuentemente encuentra un problema en filtración. Cuando se involucra la separación de un componente se disponen de varios métodos. Si la separación se lleva a cabo entre un líquido y un sólido la separación seguramente involucra algún tipo de filtración.

El Ingeniero Químico debe seleccionar el filtro más adecuado para su proceso en particular.

Este trabajo se puede enfocar al campo de filtración contínua al vacío, y métodos prácticos, para lo cual se obtendrán resultados aproximados al equipo que se desea obtener, particularmente con respecto a evaluar pruebas de laboratorio, planta piloto y planta.

Fundamentalmente, la filtración de vacío debe ser entendida como una separación mecánica de sólidos de líquido. Hay muchas variables que deben ser investigadas cuando la filtración es considerada, sin embargo si el equipo está en planta hay que determinar las condiciones óptimas de operación. Es extremadamente difícil identificar la mayoría de las características de filtración, hasta llegar a la escala de planta.

Para el propósito de evaluación de resultados de pruebas, el Ingeniero Químico debe determinar cuando:

- a) El problema requiere el uso de vacío, presión u otro tipo de filtración.
- b) Es adaptable la operación contínua o intermitente

- c) Los sólidos o filtrado, o ambos, son valiosos
- d) Las condiciones de proceso antes y después de la estación de filtración se encuentran dentro de especificaciones.

Las siguientes respuestas ayudarán a la investigación:

- a) ¿Composición de la suspensión, o relación de sólidos, contenido en el líquido?
- b) ¿Cuál es la estructura de los sólidos?
- d) ¿Temperatura de filtración?
- e) ¿A que pH la filtración será llevada a cabo?
- f) ¿Cuál es el producto valuable, el filtrado o los sólidos ó ambos?
- g) ¿Cuál es el máximo contenido de humedad permisible en la torta?
- h) Si el lavado de la torta es necesario o:
 - 1) ¿Cómo puede ser efectuado el secado?
 - 2) ¿Qué líquido puede ser usado para el lavado?
 - 3) ¿Cuál es la volatilidad del líquido de lavado?
 - 4) ¿Cuál es la mejor temperatura de lavado?

Del filtrado

- a) ¿Cuál es el contenido máximo permisible de los sólidos en el filtrado?
- b) ¿Cuál es el uso del filtrado en el proceso?
- c) ¿Se puede recircular el filtrado a la suspensión original?
- d) ¿Cuál es la densidad del filtrado?

De la torta

- a) ¿Qué espesor de torta puede ser formado?
- b) Si la descarga es continúa, ¿cómo se efectúa la limpieza del medio filtrante?

- c) ¿Qué tipo de mecanismo de descarga debe ser usado?
- d) Si la torta se rompe fácilmente, ¿cuál será la capacidad de la bomba de vacío requerida?
- c) ¿Qué tipo de mecanismo de descarga debe ser usado?
- d) Si la torta se rompe fácilmente, ¿cuál será la capacidad de la bomba de vacío requerida?
- e) ¿Qué uso tiene la torta en el proceso?
- f) ¿Es fácilmente transportable?

La selección del medio filtrante depende de:

- a) Claridad requerida en el filtrado
- b) pH y características físicas de la suspensión.
- c) Temperatura de la suspensión.
- d) Si los sólidos son compresibles.

7.1 SELECCION DEL MEDIO FILTRANTE

Hay muchos materiales de los cuales se fabrican medios filtrantes.

A) Pueden ser NO TEJIDOS.

Materiales unidos al azar tales como fieltro, espuma plástica, papel.

B) TEJIDOS.

Los cuales pueden ser hechos de fibras textiles o sintéticas.

La mayoría de los medios filtrantes están hechos con telas tejidas, o - no tejidas al azar. El fieltro de lana, algodón y nylon son tejidos más populares,

C) OTROS.

Metales sinterizados, piedra porosa, metales perforados, hojas plásti

cas y membranas permeables.

Las fibras textiles como se muestra en la figura (11) muestra algunos materiales típicos los cuales pueden ser tejidos o no tejidos para la fabricación de medios filtrantes.

En los años recientes las fibras textiles hechas por el hombre han reemplazado a las tradicionales. La principal razón es que son más resistentes a la abrasión, tienen mayor resistencia química y térmica, bajos costos en producción y precio de venta.

Un medio filtrante debe ser seleccionado sobre la base de:

a) El pH y características físicas de la suspensión.

La resistencia del medio filtrante al pH de la suspensión es una función del material del cual está fabricado el medio filtrante.

b) Temperatura de la suspensión, la resistencia térmica es una función del medio filtrante.

c) La claridad requerida del filtrado. Este factor es una función de la construcción del medio filtrante más que del material.

d) Velocidad de filtración o rendimiento, lo que relaciona la permeabilidad del medio filtrante y afecta el secado de la torta en el ciclo. Estos factores también se ven afectados a los requerimientos de claridad; estos factores están determinados por la construcción del medio filtrante.

e) Características de la descarga de la torta.

Es función de la construcción y material del medio filtrante.

- f) Tendencia del medio filtrante a taponarse u ocluirse. Es un factor que depende de la construcción más que del material.
- g) Los factores de abrasión que afectan la vida del medio filtrante son - características de los sólidos en la suspensión o las características de los métodos de descarga de la torta. La resistencia a la abrasión - es un factor que depende de la construcción y material.
- h) Costos. Es una función de construcción y material y mantenimiento y duración.

La mayoría de los medios filtrantes tienen características similares y será necesario hacer un balance para escoger el medio adecuado.

La selección preliminar del medio filtrante debe ser hecha de las fibras textiles que se señalan en las figuras números (11) y (12)

La selección final del medio filtrante, construcción y material debe estar - basado en pruebas sometidas a condiciones de operación, siendo la razón de la mayoría de las características de filtración deseables están en fun- - ción de la construcción más que de las características del material del medio filtrante.

Estas variables de construcción y material deben ser investigadas cuando se está considerando el medio filtrante. Si vemos la posibilidad de una aplicación de un medio filtrante o determinar su operación óptima, el costo utilizado en tal investigación puede ser prohibitivo y el tiempo involucrado muchas veces es costoso, cuando esta investigación es hecha a nivel planta.

FIGURA (11)

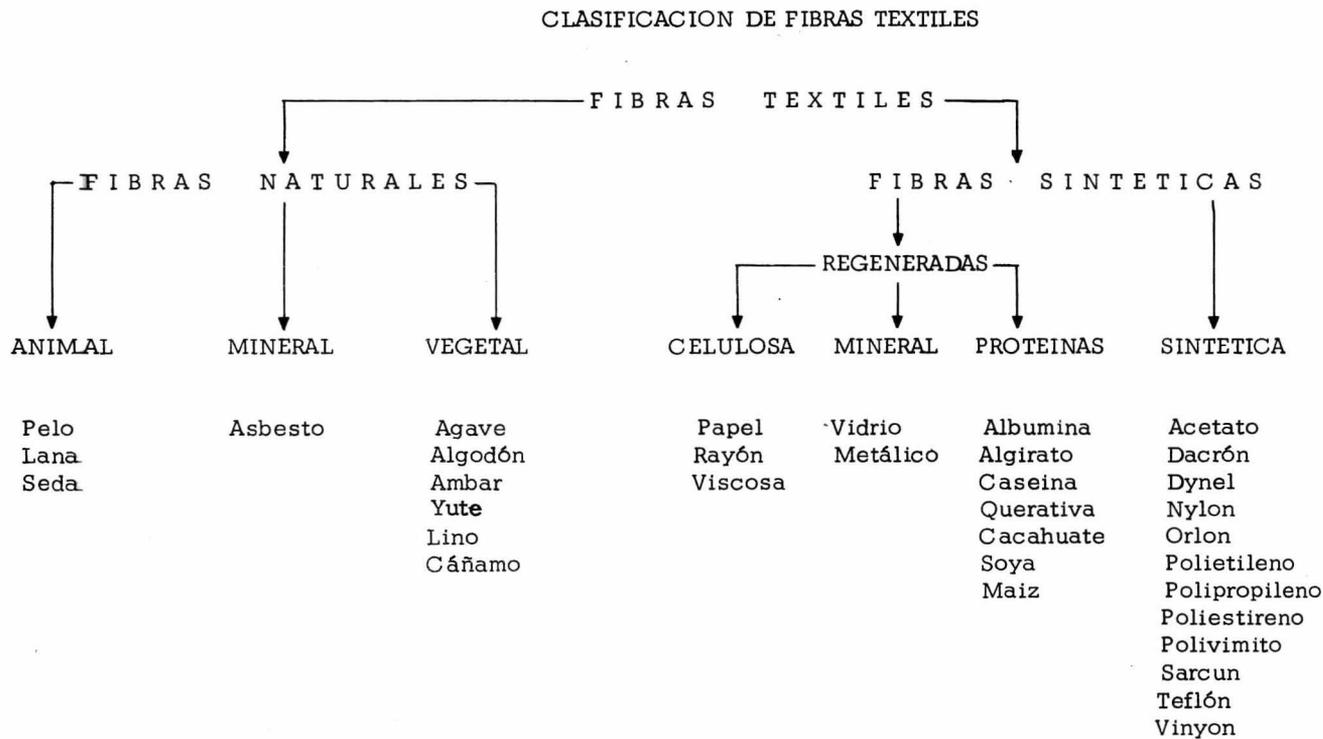


FIGURA 12

COMPARACION DE FIBRAS TEXTILES

* Materiales listados en orden descendentes en sus características.

RESISTENCIA A LA ABRASION	RESISTENCIA A LA ACIDEZ	RESISTENCIA A LA ALCALINIDAD	COSTO DE LA FIBRA	RESISTENCIA AL CALOR	RESISTENCIA A LA HUMEDAD	RESISTENCIA AL SOLVENTE ORGANICO	RESISTENCIA A LA TENSIÓN	GRAVEDAD ESPECIFICA
Nylon	Teflón	Teflón	Teflón	Teflón	Teflón	Teflón	Nylon	Teflón
Dacron	Polipropileno	Saran	Orlon	Orlon	Saran	Algodón	Polipropileno	Saran
Saran	Poliuretano	Polipropileno	Dacron	Algodón	Polipropileno	Lana	Orlon	Algodón
Dynel	Orlon	Poliuretano	Lana	Nylon	Poliuretano	Orlon	Dacron	Dacron
Polipropileno	Dynel	Dynel	Nylon	Dacron	Dacron	Nylon	Algodón	Lana
Teflon	Jaran	Nylon	Poliuretano	Lana	Dynel	Dacron	Dynel	Dynel
Orlon	Dacron	Algodón	Dynel	Polipropileno	Orlon	Dynel	Teflón	Orlon
Poliuretano	Lana	Dacron	Saran	Dynel	Nylon	Saran	Saran	Nylon
Lana	Nylon	Orlon	Polipropileno	Poliuretano	Lana	Polipropileno	Poliuretano	Poliuretano
Algodón	Algodón	Lana	Algodón	Saran	Algodón	Poliuretano	Lana	Polipropileno

Este tipo de investigación puede llevarse a cabo a nivel planta. El medio filtrante es colocado sobre la hoja circular y asegurado con una abrazadera.

La prueba se describió ampliamente en pruebas de laboratorio.

Se tratará de obtener las condiciones semejantes a la operación tales como ajustar la temperatura de la suspensión, medición del volumen de la suspensión y el filtrado, peso de la torta y registro de temperaturas, etc. Con lo cual lograremos un resultado aproximado al óptimo, al seleccionar nuestro medio filtrante.

7.2 ANALISIS DE LA SUSPENSION

a) Velocidades de asentamientos.

Después de un examen preliminar de la suspensión, y una selección tentativa del medio filtrante, el objetivo será investigar y determinar el tipo de filtro que será requerido.

La permeabilidad y retención en el medio filtrante son fundamentales en toda filtración, particularmente en la filtración de vacío. Es de vital importancia determinar las velocidades de flujo de la suspensión. Partículas uniformes son raramente encontradas en condiciones actuales de filtración. La colección de datos requeridos para la aplicación de la fórmula de filtración generalmente representa un gran problema, mayor que el efectuar corridas de filtración o pruebas indicativas.

Un método práctico de establecer el tipo de filtro contínuo de vacío que debe ser ventajosamente adaptado al problema específico es determinar

las velocidades de asentamiento.

Mientras la velocidad del descenso de una partícula en un fluido ha sido definida por la Ley de Stokes, la desviación aquí es de tal magnitud que hace prohibitivo el uso de esta ecuación.

Como los sólidos llegan más compactos, la velocidad de asentamiento durante la etapa final de compresión y sedimentación es mayor.

Existen métodos prácticos para determinar las velocidades de asentamiento; un método simple y uno aproximado son suficientes para este propósito, lo que permite que una mezcla de una suspensión bien agitada se asiente en una probeta graduada y el tiempo de descenso de la masa de los sólidos puede ser determinado,

Se muestran curvas donde hay sólidos que tienen altas velocidades de asentamiento figura (13) y sólidos que tienen bajas velocidades de asentamiento.

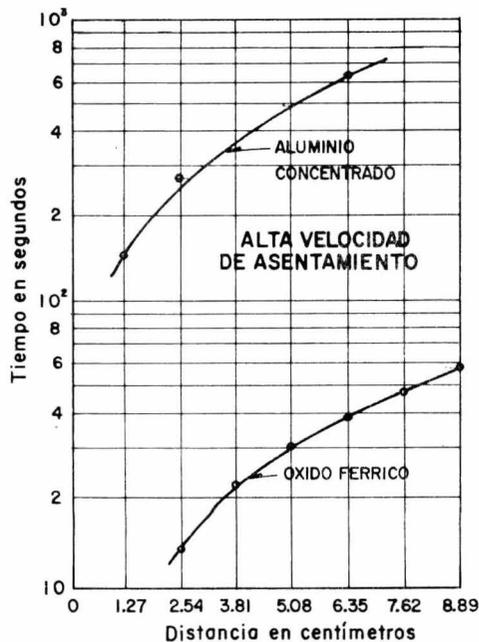


FIGURA NUM. 13

Hay raramente una fuerte inclinación en escoger entre tambor, disco o filtro. Sin embargo, la práctica indica que para los materiales que tienen una alta velocidad de asentamiento como se muestra en la figura (14) en la parte del fondo, generalmente se aplican filtros de alimentación superior.

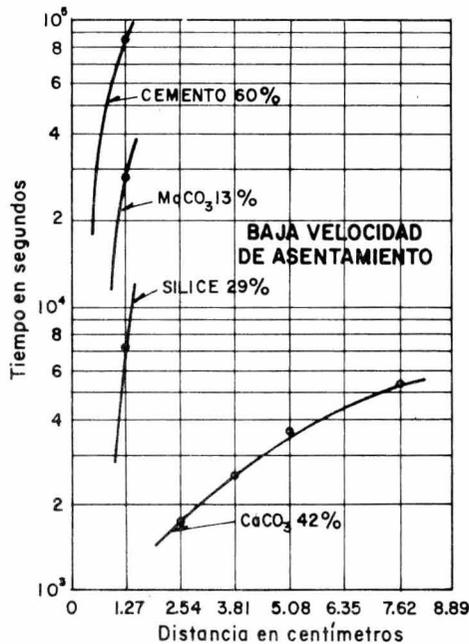


FIGURA NUM. 14

Para los materiales de velocidad de asentamiento bajo, debe ser usado un filtro de discos.

El rango entre los dos extremos es exitosamente cubierto utilizando un filtro de tambor. Mientras estas tablas no muestran específicamente variaciones en concentración de los sólidos, en general, como la concentración de los sólidos se incrementa, la velocidad de asentamientos decrece.

Hay muchos materiales los cuales se desvían de esta generalización y se tienen que evaluar independientemente.

La calidad del filtrado se incrementan con el incremento de concentración de los sólidos.

La velocidad de asentamiento nos indica qué tipo de filtro debe ser seleccionado y nos auxilia para checar los cálculos en el diseño de la capacidad de filtro.

7.03 CONCENTRACION DE LOS SOLIDOS.

Con pocas excepciones, el incremento del contenido de los sólidos de la suspensión incrementa la velocidad del filtrado. Hay una razón específica para mantener una concentración definitiva de los sólidos, debe tenerse en mente, que las suspensiones son bombeadas por una bomba de tipo centrífuga, diafragma o de pistón por lo que es conveniente hacer pruebas de laboratorio a los materiales para determinar las velocidades de filtración.

El máximo de sólidos que pueden ser manejados por estas bombas, es la principal limitación es el incremento de la concentración de sólidos.

La figura (15) es una curva, resultante de la prueba de la suspensión de CaCO_3 a 40°C , mostrando esta dirección hacia 42% de sólidos, a los cuales la concentración de sólidos en esta muestra llega a ser espesa al manejarse.

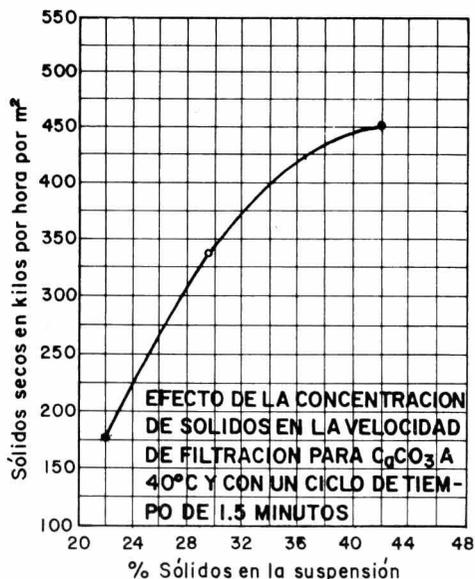


FIGURA NUM. 15

En este punto, la curva ha cambiado su pendiente. Más allá del incremento de estos sólidos podrían no contribuir a incrementar las velocidades de filtración. Para pocos materiales, hay aparentemente una concentración crítica de sólidos y cuando esta concentración es excedida, la velocidad de filtración decrece. Es dudoso que esto sea una verdad y posiblemente causado por la inhabilidad del equipo al manejar una mezcla espesa, las hojas de prueba no mostrarán esta característica tan real como un filtro de planta piloto.

Otros métodos de incrementar la velocidad de filtración de las suspensiones es a través de la ayuda de agentes coagulantes, adición de sólidos o ajustar

el pH. El cloruro de hierro y cal (óxido de calcio) son frecuentemente usados para coagulación, particularmente en el campo, industrias, tratamiento de aguas negras y efluentes industriales.

Una modificación podría ser el uso de alumbre, sulfatos ferroso y férrico, cloruro cuproso, filtroayudas, tierras diatomáceas, pulpa de papel, arena (no frecuentemente).

Especial cuidado debe tenerse en cuenta al estudiar el asentamiento de los sólidos y métodos de transferir las suspensiones del tanque del filtro. Muchos materiales pasan a través de bombas centrífugas y tienen la tendencia a desintegrarse fácilmente y en este caso de los sólidos coagulados, es casi un prerequisite alimentar este material por gravedad, ya que así fluye con una mínima agitación.

Hay que evaluar y considerar la posible estratificación y/o clasificación de sólidos lo que causará una desigual operación en la filtración.

7.4 VELOCIDAD DE FILTRACION CONTRA TIEMPO DEL CICLO.

La velocidad de filtración es generalmente expresada en litros de filtrado por metro cuadrado, por hora o kilos de torta seca por metro cuadrado por hora. Un ciclo es el tiempo requerido para que el tambor o disco efectúe una revolución completa.

La velocidad de filtración contra tiempo del ciclo es una de las más importantes pruebas que pueden ser de gran ayuda en la investigación de las características de filtración de los materiales. La figura núm. (16) muestra el efecto del tiempo del ciclo contra la velocidad de filtración para un material a 22° C,

con varias concentraciones de sólidos en la suspensión. Las curvas revelan que el ciclo de tiempo decrecen, las velocidades se incrementan rápidamente.

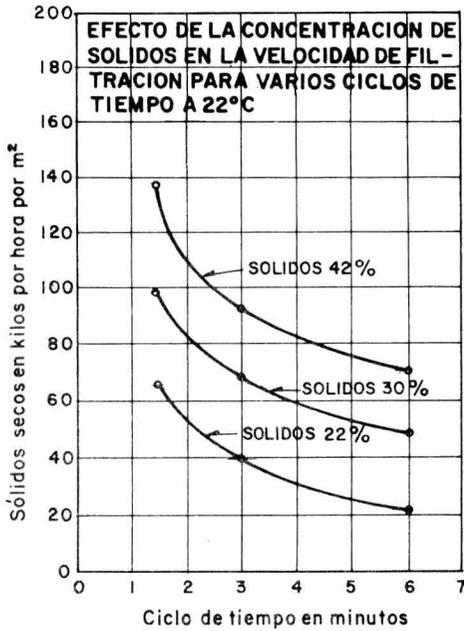


FIGURA NUM. 16

Estas pruebas pueden ser efectuadas para determinar el espesor mínimo de la torta el cual será realmente descargado de la hoja de prueba como se muestra en la figura núm. (17).

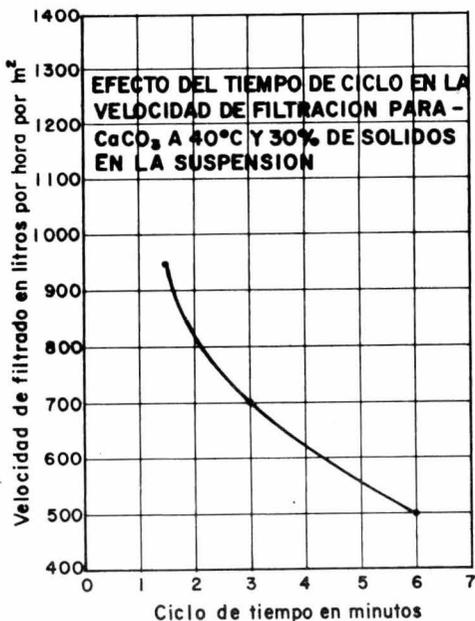


FIGURA NUM. 17

El método para calcular la velocidad de filtrado es simple. La torta es pesada húmeda, secada en un horno y al secarse la torta es nuevamente pesada.

Si el peso está dado en gramos, entonces la velocidad de filtración está dada en kilos secos de sólidos por metro cuadrado por hora es expresada como:

$$\frac{\text{Peso de la torta seca (gm)} \times \text{revoluciones/hora}}{453.6 \times \text{área de la hoja en m}^2}$$

Este es generalmente multiplicado por un factor para compensar el área en la hoja de prueba en la cual no actúa el vacío. Este factor generalmente varía de aproximadamente 0.6 para pequeñas áreas o tortas gruesas y 0.8 a 0.9 -

para tortas delgadas grandes áreas.

En realidad la determinación de este factor es fundamentalmente basado en la experiencia. La inclusión de este factor nos permite un factor de seguridad para el diseño de un equipo en planta y donde es posible obtener una descarga perfecta.

7.5 VELOCIDADES DE FILTRADO CONTRA TEMPERATURA

El principal efecto se incrementa la temperatura de cualquier suspensión particular para ser filtrada es generalmente el hacer descender la viscosidad. La relación entre temperatura y velocidad es mostrada en la figura núm. (18)

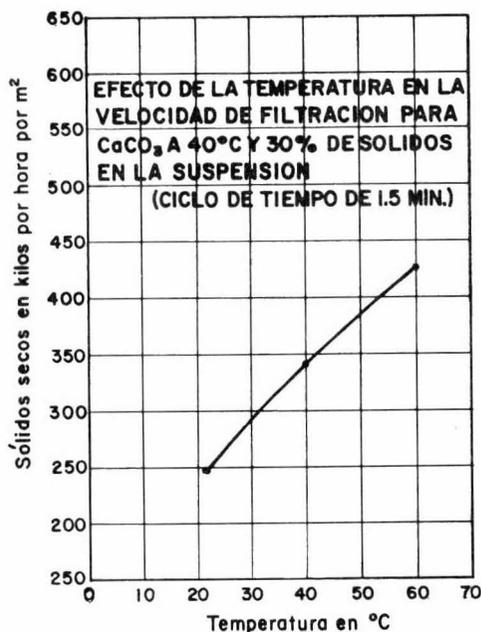


FIGURA NUM. 18

Esta relación es generalmente constante y no tiene que ser evaluada en un filtro continuo de tipo laboratorio.

Su limitación por la temperatura es con respecto al medio filtrante, ya, que debe ser investigado que el medio filtrante resista la temperatura de la suspensión.

Los compuestos altamente volátiles deben ser investigados para determinar si es económico o no recuperarlos; también estos pueden ser tóxicos, inflamables o ambos.

7.6 OCLUSION DEL MEDIO FILTRANTE

La oclusión del medio filtrante es causado generalmente por taponamiento de los intersticios del medio filtrante, provocado por partículas finas. Otra causa puede ser la selección inadecuada del medio filtrante, ya que los sólidos taponan el orificio no permitiendo que el líquido fluya libremente; este taponamiento es provocado generalmente por partículas finas, floculantes, viscosas, o por pequeños cristales.

Hay varias maneras de prolongar la vida del medio filtrante; y una de ellas es lavar dicho medio filtrante con agua a presión.

La figura (18) muestra la cantidad de litros acumulados contra la velocidad de litros por metro cuadrado por hora. Como se nota la velocidad de filtrado decrece al aumentar la cantidad de litros filtrados.

La figura (19) muestra que la velocidad de filtrado decrece después de 18 horas de operación, habiéndose quitado el medio filtrante, lavado y colocado

nuevamente sobre el filtro. La curva punteada muestra la velocidad obtenida con el medio filtrante renovado, apreciándose que este medio filtrante renovado opera similarmente al medio filtrante nuevo.

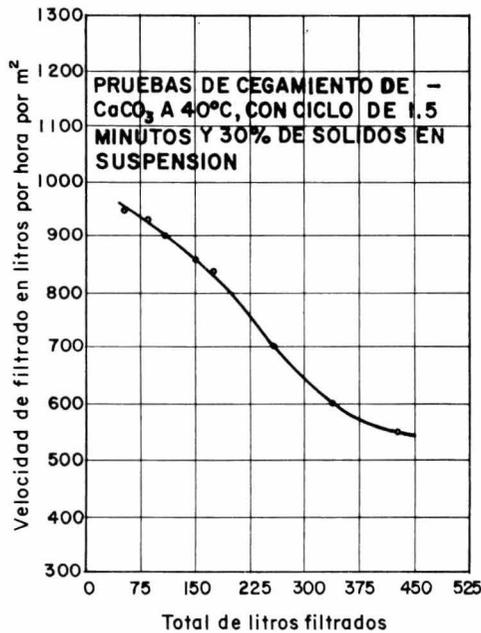


FIGURA NUM. 19

La figura (20) muestra los resultados usando espumas de lavado para limpieza del medio filtrante durante la operación, lo que demuestra que el lavado no es tan efectivo como el efectuado quitando la lona del filtro.

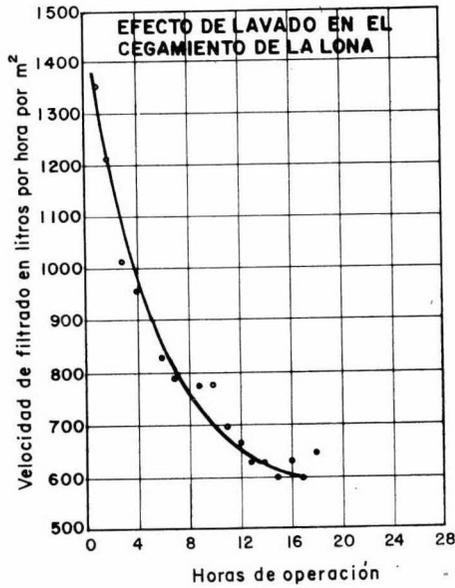


FIGURA NUM. 20

Las figuras (21) y (22) muestran como decrece la velocidad de filtrado en litros por metro cuadrado por hora, contra litros acumulados.

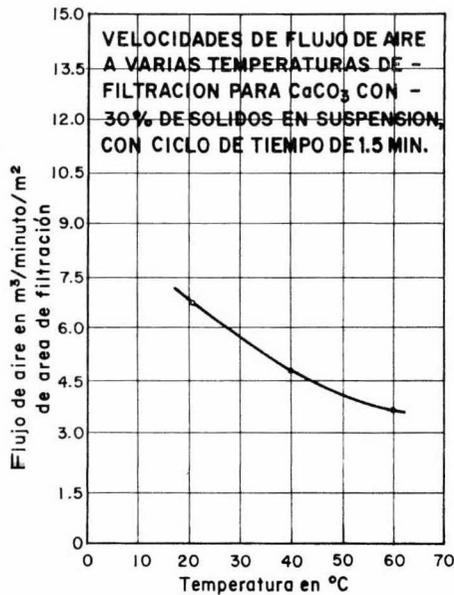


FIGURA NUM. 21

Estos resultados están basados con la misma suspensión usada en los diferentes medios filtrantes.

7.7 REQUERIMIENTO DE LA BOMBA DE VACIO.

La determinación del aire requerido es de vital importancia para el diseño de una estación de vacío.

El volumen debe ser convenientemente medido sobre la hoja de prueba colocando un medidor de flujo en la línea, preferiblemente después de la bomba de vacío.

La figura (21) muestra el volumen de aire para un tiempo de ciclo en 1.5 minutos a 60°C y a 29.9" Hg.

El flujo de aire que debe requerirse no debe ser en exceso ya que la torta tiende a agrietarse y es preferible disminuir el tiempo del ciclo no importando que la torta la obtengamos con un contenido de humedad mayor.

En la figura (21) nos revela que como la temperatura de la suspensión se incrementa, los requerimientos de aire disminuyen.

7.8 CICLO DEL FILTRO CONTRA HUMEDAD DE LA TORTA.

La curva en la figura (22) indica que el contenido de humedad se reduce con el incremento del tiempo para el secado. Estos datos fueron tomados de un filtro de laboratorio de discos tipo laboratorio. Es interesante notar para esta muestra, que tomó dos minutos para reducir el contenido de humedad. La figura (23) fue basada en hojas de prueba. Nuevamente un mínimo de tiempo fue requerido para reducir la humedad de la torta.

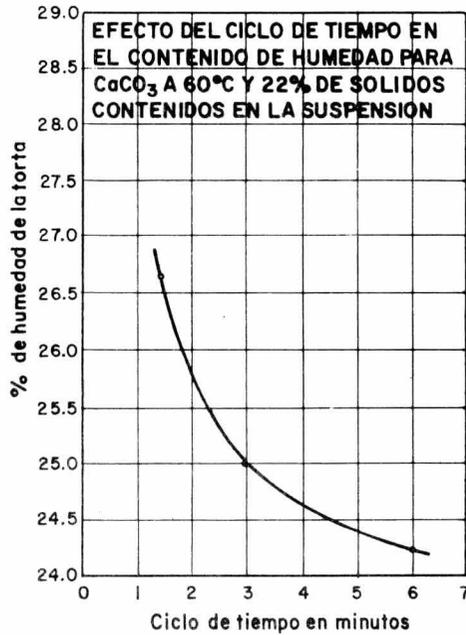


FIGURA NUM. 22

7.9 LAVADO DE LA TORTA

Cuando el lavado de la torta es requerido, es generalmente para recobrar un alto porcentaje de productos valiosos en el filtrado y/o para reducir las impurezas. Si la torta es el producto valioso, o la combinación de ambas.

Una manera de determinar los resultados óptimos es mostrada en la figura (24). Aquí el filtrado es el producto valioso, ya que fue necesario evaluar el costo del filtrado contenido en la torta contra el incremento del costo adicional del agua evaporada.

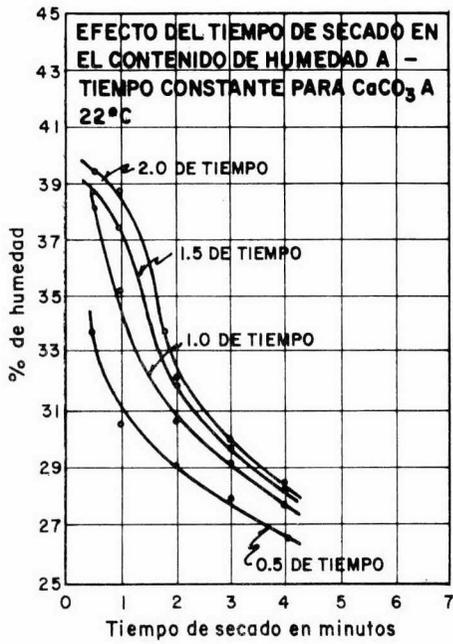


FIGURA NUM. 23

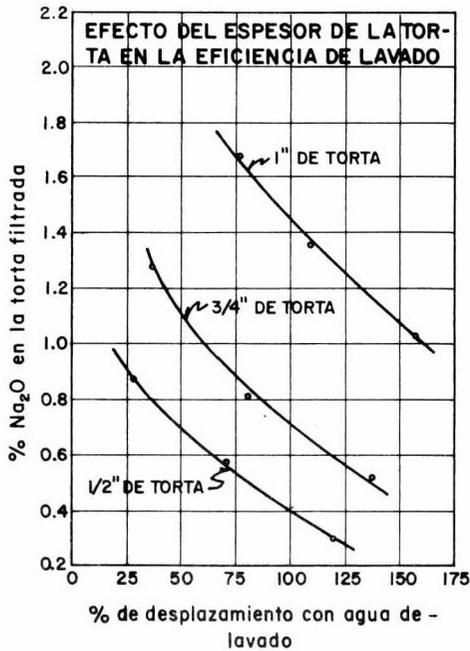


FIGURA NUM. 24

7.10 VENTAJAS DE LA FILTRACION DE VACIO.

De las descripciones dadas, se aprecia que con un filtro de vacío, las siguientes condiciones son aplicables:

- 1) El material alimentado al filtro se mantiene a la presión atmosférica, por lo cual la torta se forma abajo de la presión atmosférica; esta característica básica da a los filtros de vacío muchas ventajas, de las cuales, las principales son las enumeradas a continuación:
 - a) La alimentación de la suspensión que contiene frecuentemente sólidos abrasivos en líquidos corrosivos, puede ser hecha por gravedad, o por bombas de baja presión, que vencen las resistencias del sistema

de tubería; por lo anterior este sistema es simple, de bajo costo. El empleo de bombas de baja velocidad, no causa ruptura de los sólidos. La filtración de presión utiliza por lo general bombas de alto costo para generar altas cabezas que se necesitan en este tipo de filtración.

- b) El equipo de vacío no tiene que resistir altas presiones y puede ser -
construido en un amplio rango de materiales.

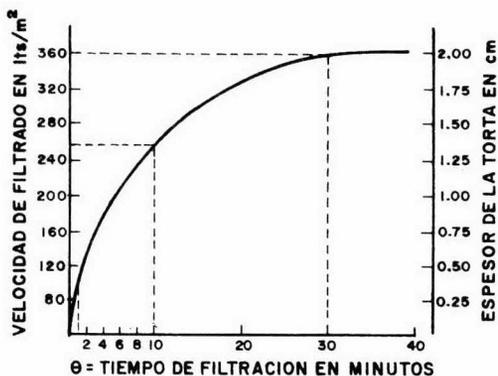
El tanque de alimentación de un filtro de vacío necesita ser el adecuado para la cabeza del filtrado, y ambas, la lona y la sección de drenaje tienen solamente que resistir el vacío.

Cuando es necesario usar materiales de construcción caros, para condiciones corrosivas o prevenir la contaminación del producto, entonces la baja presión permite que la construcción sea económica y es posible que se puedan utilizar materiales que no están disponibles para operar a altas presiones.

- c) La torta húmeda obtenida está expuesta a la atmósfera y es accesible a operaciones tales como lavado, humidificación o muestreo simplemente.
- d) La torta no tiene que separarse de una cámara de presión ya que está expuesta a la atmósfera, por lo cual la operación de descarga es llevada fácilmente por algún sistema automático.
- e) Un filtro de vacío puede fabricarse para operar con ciclos cortos de -



FIGURA NUM. 25



$A\theta_1 = 1$ MIN. (FILTRO CONTINUO DE VACIO, VELOCIDAD DE FILTRADO = 100 lts/m²/min.)

$A\theta = 10$ MIN. (FILTRO INTERMITENTE DE VACIO, VELOCIDAD DE FILTRADO = 45 lts/m²/min.)

$A\theta = 30$ MIN. (FILTRO INTERMITENTE DE PRESION, VELOCIDAD DE FLUJO = 20 lts/m²/min.)

FIGURA NUM. 26

tiempo, y pueden resultar tortas delgadas de estas condiciones de operación y así obtener altas velocidades de flujo, como se indica en la figura (26), donde se ve que un filtro continuo de vacío, es capaz de operar con un tiempo de filtración de un minuto y dará una velocidad de flujo aproximadamente seis veces mayor que la obtenida con un filtro prensa operando a la misma presión diferencial, además de que la descarga es problemática y debe utilizarse un mínimo tiempo de filtración, es decir 30 minutos.

- f) Si es necesario, pueden ser utilizadas muy bajas presiones diferenciales siendo esto una ventaja; cuando los sólidos manejados se rompen fácilmente o son compresibles.
- g) El material de alimentación y el filtrado no son manejados bajo presión positiva, lo que significa que no hay posibilidad de fugas del sistema, como es en el caso de los filtros de alta presión diferencial. Esto es una ventaja definitiva, cuando los materiales que se van a manejar son corrosivos o peligrosos (inflamables, tóxicos o ambos)

8.0 CARACTERISTICAS DEL EQUIPO INDUSTRIAL .

Los primeros filtros industriales fueron del tipo de gravedad y los filtros de vacío fueron desarrollados de éstos. Algunos filtros de gravedad son muy similares a los filtros de vacío.

8.1 FILTROS DE GRAVEDAD.

Tales filtros son usados por muchos laboratorios para la separación de sus productos y el más simple ejemplo es el embudo utilizado en el laboratorio. Está diseñado para que la alimentación de la suspensión sea por la parte superior del medio filtrante (generalmente en papel filtro), y el filtrado fluye y se colecta en un matraz o recipiente colector el cual está abierto a la atmósfera.

Los filtros industriales de gravedad frecuentemente consisten de una caja - abierta por la parte superior teniendo un medio filtrante soportado en un recipiente colector abierto a la atmósfera, y el cual es normalmente adecuado en tamaño para coleccionar todo el filtrado que pasa a través del medio filtrante (el filtrado y el agua de lavado).

Alternativamente el medio filtrante puede estar localizado sobre una sección de drenaje por el cual el filtrado es descargado en un período de tiempo escogido del ciclo de filtración.

8.2 FILTROS DE PRESION.

Tales filtros operan a bajas presiones diferenciales y son utilizados en los siguientes tipos de aplicación:

- 1) Donde una suspensión es muy concentrada en sólidos, tiene una baja viscosidad, sus sólidos son de gran tamaño y las velocidades de flujo son relativamente bajas por unidad de área.
- 2) Donde los sólidos están en forma de escamas y pueden comprimirse creando alta resistencia ya que la presión diferencial se incrementa.

Para las aplicaciones descritas sobre 2 y 3, es frecuentemente el caso que se obtenga una baja velocidad de flujo por unidad de área, por gravedad y esta puede ser mayor que la que sería con altas diferenciales de presión.

Todos los filtros a presión y de vacío, aún las unidades más sofisticadas que operan continuamente son desarrolladas del tipo básico de gravedad.

8.3 FILTROS DE VACIO TIPO INTERMITENTE

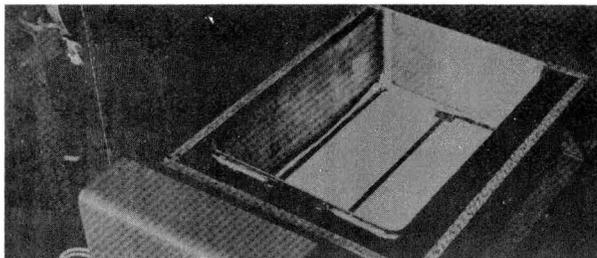
El filtro de vacío tipo intermitente es el utilizado en el laboratorio, embudo Buchner, y el industrial es el filtro Nutsche y son básicamente similares a las unidades de gravedad descritos anteriormente, excepto que ellos tienen la característica de utilizar una bomba de vacío, y otro equipo generador de vacío, el cual es empleado para reducir la presión bajo el medio filtrante, de tal forma que incrementa la fuerza directriz a través del medio filtrante; estos filtros son conocidos como filtro de charola, y ellos incorporan ciertas características en su construcción.

8.4 FILTRO DE CHAROLA.

Estos filtros presentan las siguientes características.

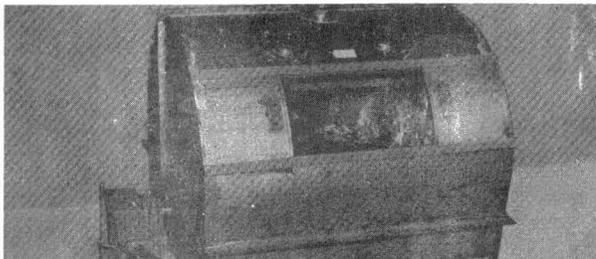
La charola está abierta en la parte superior y tiene un fondo falso, el cual

FIGURA (27)



FILTRO DE VACIO DE CHAROLA
SIMPLE

FIGURA (28)



FILTRO DE VACIO DE CHAROLA SIMPLE
TOTALMENTE CERRADO.

soporta el medio filtrante. Esta charola está montada sobre rodamiento en sus extremos de tal forma que ellas pueden girar 180° para descargar los sólidos.

La alimentación es superior hacia la charola por gravedad o por bomba a través de una de las uniones superiores del medio filtrante, de tal forma que los sólidos se distribuyan uniformemente sobre el medio filtrante. Preferentemente este tipo de filtro es recomendable para suspensiones en que sus sólidos tengan alta velocidad de asentamiento; estos sólidos que están en contacto con el medio filtrante nos protegen de los sólidos de lento asentamiento que son los sólidos finos. Seguido esto, la sección de drenaje puede sujetarse a alto vacío para crear altas presiones diferenciales y altas velocidades de flujo por unidad de área. Un ciclo típico para un filtro de vacío tipo intermitente podría ser el siguiente:

- a) Alimentación de la suspensión al filtro.
- b) Filtración y formación de la torta (inicialmente bajo gravedad, si es requerido, y seguido de la aplicación de vacío).
- c) Secado inicial para separar el máximo de filtrado.
- d) Lavado de la torta si es requerido.
- e) Secado de la torta si es requerido.
- f) Descarga de los sólidos (y lavado del medio filtrante).

Ventajas:

- 1.- El filtro es simple en diseño y en operación, el costo por unidad de área es bajo.
- 2.- Es posible variar independientemente las proporciones del ciclo total des-



tinados a filtración, lavado y secado.

- 3.- La separación forzada del filtrado y el agua de lavado puede efectuarse completamente.
- 4.- El flujo a través del medio filtrante puede ser parado o restringido a muy bajas velocidades para obtener una dilución de las sales solubles en la suspensión de alimentación.

Desventajas:

- 1.- El filtro opera en un sistema intermitente y es necesario tener recipientes de alimentación y lavado.
- 2.- La descarga de los sólidos es intermitente, lo cual complica la alimentación de los sólidos a un secador continuo o algún otro proceso continuo.
- 3.- Debe de proveerse el sistema de una **tolba** de alimentación.
- 4.- La velocidad de flujo del filtrado decrece según la filtración va avanzando.
- 5.- La descarga de los sólidos es una operación manual si tienen que ser separados en un estado húmedo.

Los fabricantes han desarrollado equipo para superar estas desventajas de la descarga manual; estos equipos presentan raspadores para separar los sólidos, tienen la asistencia de una entrada de aire (soplador) que ayuda a la descarga de la torta por su propio peso por un brusco sacudimiento.

Los equipos en general se han estado optimizando para eliminar o reducir las desventajas 1, 2 y 3 y se ha introducido el filtro de charolas múltiple continuo.

8.5 FILTRO CONTINUO HORIZONTAL.

Este tipo de filtro ha sido construido de tal manera que es posible obtener muchas de las ventajas referidas a las anteriores, estando también expuesto a -

nuevas limitaciones como la variación del ciclo.

Este filtro tiene las charolas dispuestas en línea o en un círculo, de tal forma que cada una de ellas pasa a través del mismo ciclo de operación de filtración, de lavado (si se requiere), secado (si se requiere), descarga de los sólidos automática y lavado del medio filtrante (si se requiere).

Las charolas se mueven pasando a través de las áreas de alimentación y lavado, estacionarias, lo que proporciona una operación continua.

Alternativamente, una nueva superficie puede ser diseñada como una banda lineal o como una mesa circular, en lugar de charolas.

Todos los filtros de este tipo tienen la ventaja de una operación continua y como resultado, la alimentación y el lavado pueden efectuarse continuamente al equipo. Este equipo puede manejar suspensiones densas y de rápida velocidad de asentamiento, el espesor de la torta, los tiempos de lavado y secado pueden variarse independientemente. La torta puede ser inundada por el líquido de lavado, el cual puede ser captado y nuevamente utilizado para obtener un lavado a contracorriente si es deseado.

Las desventajas son:

Alto costo por unidad de área; los diseños son de complejidad mecánica, algunos solamente utilizan el 50% de su área total de filtración.

Con el filtro de charolas alineadas y el de charolas de mesa circular, una descarga óptima de los sólidos no es obtenida por estas unidades.

8.8 FILTRO DE CHAROLAS ALINEADAS HORIZONTALMENTE.

Este filtro incorpora un número de "charolas con la superficie abierta", las cuales se mueven en un plano horizontal a través de las zonas de filtración, lavado y secado.

En el punto de descarga las charolas pasan sobre un rodillo y regresan al punto de alimentación.

Los diseños varían grandemente con los fabricantes, pero frecuentemente es utilizado el tipo que tiene las paredes de las charolas construidas sobre un transportador de tipo horizontal. El transportador entre las paredes de las charolas sirve como soporte del medio filtrante y para el sistema de drenaje y además el transportador sirve como una articulación entre las charolas adyacentes.

El transportador pasa sobre las cajas de vacío, en las zonas de alimentación, filtración y secado.

8.6 FILTRO DE BANDA HORIZONTAL

El medio filtrante de este tipo de filtro toma la forma de banda sinfín en el plano horizontal y corriendo sobre poleas al final de las zonas de alimentación y descarga (similar al transportador de banda horizontal). En las zonas de filtración lavado y secado, donde el medio filtrante pasa sobre las cajas de vacío, puede ser soportado sobre una banda sinfín, la cual sirve como miembro de drenaje y como válvula. Esta banda puede estar provista con paredes a los lados para contener la alimentación de la suspensión y líquido de lavado. Estas paredes pueden ser también fijas a los lados de la banda.

8.7 FILTRO DE CHAROLAS ROTATORIO HORIZONTAL .

otro tipo de filtro tiene las charolas localizadas en un círculo moviéndose en un plano. Las charolas están soportadas entre los rayos de una rueda girando sobre una flecha vertical.

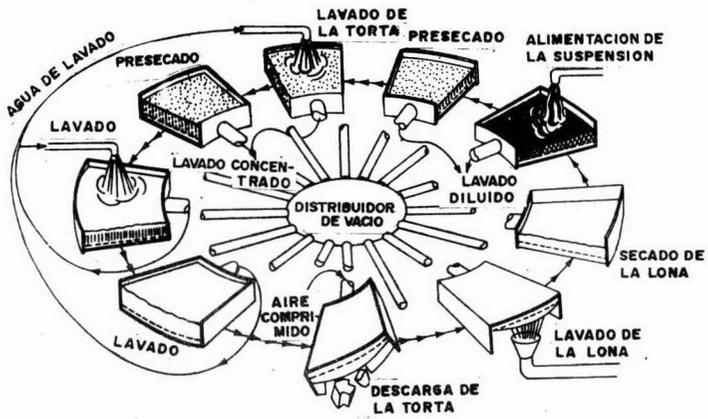
Cada charola está conectada a un montaje central simple, a una válvula rotatoria la cual controla el vacío aplicado a las zonas de alimentación, filtración, lavado y secado y de la cual los diferentes filtrados y líquidos de lavado pueden ser colectados a diferentes tanques. La posición de descarga de las charolas es invertida a 180°, y si es necesario para separar la torta se aplica aire comprimido por medio de la válvula rotatoria.

8.9 FILTRO ROTATORIO DE MESA HORIZONTAL.

Este filtro incorpora una mesa circular rotatoria. La mesa está dividida en segmentos o sectores, los cuales son los compartimientos de drenaje y cada uno de ellos está "punteado" a la válvula rotatoria. La superficie superior de la mesa está fijada con el medio filtrante y tiene paredes provistas alrededor de la periferia de la mesa y alrededor del muñón.

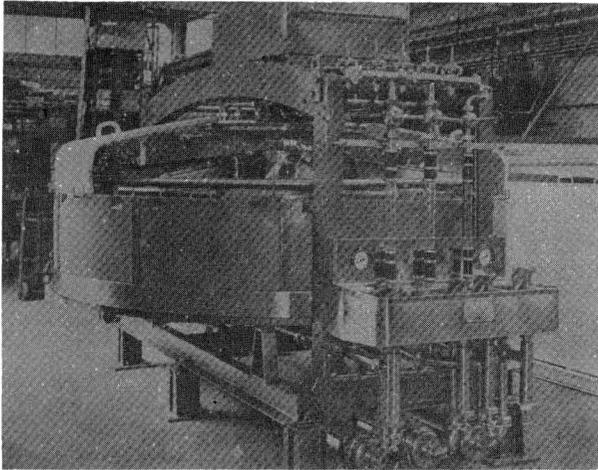
La alimentación de la suspensión es distribuida a la mesa a través de una caja; el vacío es aplicado a los segmentos en la posición de alimentación para extraer el filtrado. Debido a la rotación de la mesa, la torta pasa a través de las zonas de lavado y secado. En la posición de descarga el vacío puede romperse a la presión atmosférica y la torta filtrada es separada por una espiral rotatoria horizontal, la cual eleva los sólidos sobre la periferia de la pared de la mesa.

FIGURA (29)



CICLO DE UN FILTRO ROTATORIO DE VACIO DE CHAROLAS MULTIPLES

FIGURA (30)



FILTRO ROTATORIO DE VACIO DE CHAROLAS
MÚLTIPLES .

La espiral no puede estar en contacto con el medio filtrante y entonces -
cierta cantidad de sólidos permanecen sobre la mesa después de pasar por
el punto de descarga. Esta cantidad de sólidos puede separarse aplicando
aire a presión y ser enviado nuevamente a la alimentación.

En algunos casos esta cantidad de sólidos se mantiene sobre el medio fil- -
trante, para obtener una mejor retención de los sólidos que si se tuviera el
medio filtrante limpio.

8.10 FILTRO ROTATORIO DE VACIO TIPO TAMBOR.

Este tipo de filtro encuentra un amplio rango de aplicaciones, debido a su -
versatilidad y simplicidad. El diseño básico varía con los fabricantes, pero
esencialmente todo filtro rotatorio de vacío tipo tambor puede ser dividido -
por dos categorías.

- a) Donde el vacío es originado entre los compartimientos formados sobre la
periferia del tambor.
- b) Donde el vacío es aplicado a todo el interior del tambor.

La mayoría comúnmente utiliza la primera categoría, ya que ésta proporciona
un máximo de versatilidad, bajo costo por unidad de área y permite variacio-
nes del tiempo en el ciclo.

Esencialmente un filtro de vacío rotatorio de multicompartimientos consiste -
de un tambor que gira alrededor de un eje horizontal y está diseñado de tal -
manera que el tabor se encuentre parcialmente sumergido en el tanque de -
suspensión donde se encuentra la suspensión que va a ser filtrada.

La periferia del tambor está dividida en compartimientos y cada uno de ellos está provisto con un número de tuberías de drenaje ; estas están colocadas en el interior del tambor y terminan en un espejo cubierto por la válvula rotatoria. Por esta válvula el vacío es aplicado. La superficie del tambor - está cubierto con el sistema de drenaje y el medio filtrante.

El tambor puede girar a bajas velocidades, generalmente en el rango de 1 a 1/4 rpm o altas como 3 rpm cuando el material es de fácil filtración.

Como cada compartimiento con el tambor esta rotando, efectúa el mismo ciclo de operaciones y la duración de cada operación está determinada por la velocidad del tambor y el arreglo de la válvula.

El ciclo normal de operación consiste de:

- a) Filtración
- b) Lavado (si se requiere)
- c) Secado
- d) Descarga

Sin embargo, es posible introducir otras operaciones como las que se indican a continuación en el ciclo básico.

- a) Separación de un filtrado turbio inicial (la cual es una ventaja sobre los filtros abiertos).
- b) Lavado mecánico de la torta
- c) Limpieza del medio filtrante

Para obtener una buena operación continua, es necesario mantener el medio -

filtrante en excelentes condiciones de limpieza. Con un filtro rotatorio de vacío tipo tambor se ocasiona la separación contnua y total de la torta de la superficie del tambor, y las condiciones de operación están frecuentemente influenciadas por la necesidad de obtener una descarga total de la torta. Nuevamente, para obtener alta capacidad, un buen lavado y secado de la torta, es aconsejable operar con tortas delgadas.

El sistema de descarga de la torta del filtro tipo tambor, debe ser diseñado para asegurar la separación contnua y total de tortas extremadamente delgadas.

La mejor manera de obtenerlo está determinada por la naturaleza física de los sólidos que están siendo manejados.

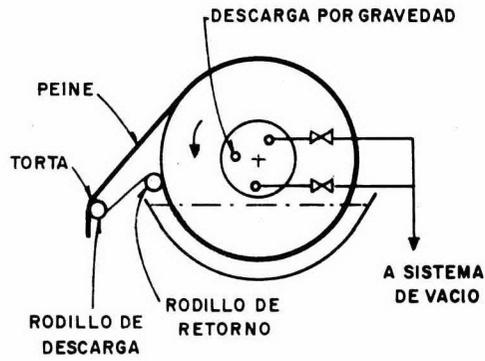
Hay varios sistemas de descarga disponibles para filtros tipo tambor incluyendo las siguientes:

a) Descarga por cuerdas.

Es un método efectivo para un amplio rango de materiales. Esencialmente involucra la formación de la torta sobre tipo de un transportador abierto el cual está en contacto con el medio filtrante en las zonas de filtración, lavado y secado.

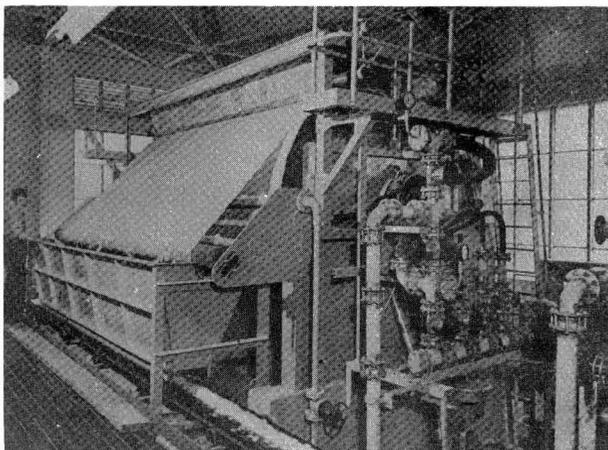
Consecuentemente, los sólidos, los cuales son atrapados por el medio filtrante forman una torta sobre el transportador "abierto". Del punto de descarga sobre el tambor, el transportador conduce la torta al rodillo de descarga, donde ésta es descargada. El transportador entonces pasa a través de un mecanismo de alineación y sobre un rodillo de retorno re-

FIGURA (31)



FILTRO ROTATORIO DE VACIO, SISTEMA DE DESCARGA POR CUERDAS

FIGURA (32)



FILTRO ROTATORIO DE VACIO TIPO TAMBOR CON
SISTEMA DE DESCARGA POR CUERDAS .

gresa al tambor en su parte posterior, para efectuar nuevamente el ciclo, -
precisamente arriba del nivel de la suspensión en la tina.

El sistema de descarga por cuerdas, el transportador consiste de un número -
de cuerdas las cuales están separadas aproximadamente 1.0 a todo lo an-
cho del filtro. Estas cuerdas pueden ser espaciadas de 0.5 a 2.5 cm depen-
diendo de las propiedades mecánicas de los sólidos. Las ventajas del siste-
ma de descarga por cuerdas son las siguientes:

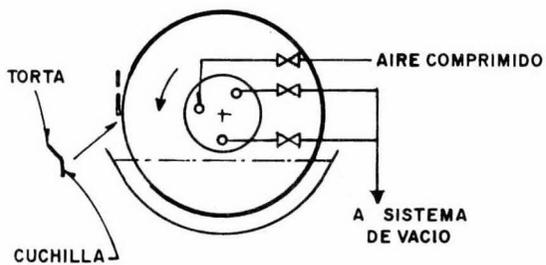
- 1) Tortas delgadas y húmedas (abajo de 0.05 cm) pueden ser efectivamente
descargadas (tales como la arcilla).
- 2) El medio filtrante está casi libre de desgaste mecánico, de tal manera -
que se pueden utilizar lonas delgadas y delicadas y pueden ser seleccio-
nadas independientemente de las propiedades de filtración.
Estas lonas están menos propensas al cegamiento que las fuertes y gruesas
requeridas para otros sistemas de descarga.
- 3) Las lonas pueden estar ajustadas al tambor de una manera sencilla de -
tal forma que se pueden sustituir fácilmente. Normalmente la lona está
empacada alrededor del tambor por un sistema sencillo.
Con este sistema de descarga se evita el uso de alambre, tiras de diseño
especial y la necesidad de asegurar la lona a cada compartimiento.
- 4) No se emplea aire comprimido para auxiliar a la separación de la torta, -
consecuentemente no hay posibilidad de soplar hacia el filtro, humedad,
la cual ha sido previamente separada bajo vacío.

b) Descarga por cuchillas.

Este sistema de descarga incorpora una cuchilla la cual está colocada de tal
manera que el tambor gira muy cerca de la arista de dicha cuchilla.

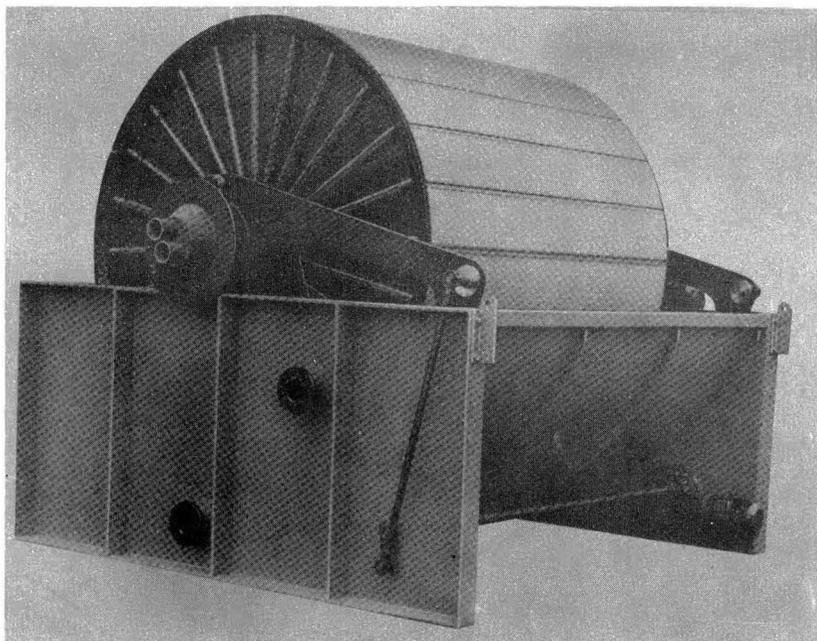
En este sistema, la torta es descargada por su propio peso (tortas gruesas y
pesadas) o por aplicación de aire comprimido con el objeto de auxiliar la se-
paración de la torta.

FIGURA (33)



FILTRO ROTATORIO DE VACIO, SISTEMA DE DESCARGA POR CUCHILLA

FIGURA (34)



FILTRO ROTATORIO DE VACIO TIPO TAMBOR FABRICADO CON RESINA EPOXICA REFORZADA PARA MANEJAR SUSPENSIONES ALTAMENTE CORROSIVAS .

El soplador puede operar a baja presión por un período de tiempo largo o a altas presiones pero en un intervalo de tiempo corto.

Con algunos sólidos es posible operar con la cuchilla separada del tambor de tal manera que no toda la torta sea separada. La cantidad de sólidos - que permanecen sobre el tambor actúan como medio filtrante.

Este sistema de descarga es recomendable para tortas "desmenuzables" - que no tienen las propiedades mecánicas para que se aplique el sistema de descarga por cuerdas.

c) Descarga por rodillos.

Con este sistema la torta es transportada del tambor al rodillo de descarga y posteriormente separada por una cuchilla.

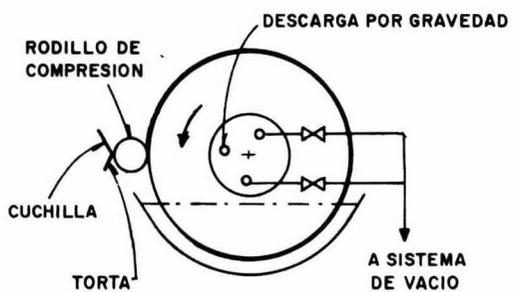
Este es un método relativamente simple para separar tortas delgadas y húmedas, evitando utilizar una cuchilla de hule contra el tambor y el desgaste - del medio filtrante.

d) Descarga por banda.

Ciertas aplicaciones requieren facilidades para el lavado de la lona y este puede ser continuo o intermitente, sin que la suspensión de alimentación - contenida en el tanque se diluya.

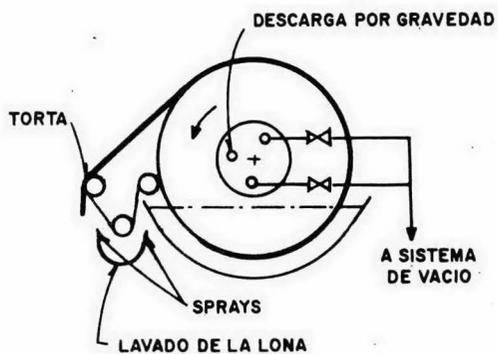
Esta característica está prevista en el sistema de descarga por banda, que es similar al sistema de descarga por cuerdas, excepto que la lona actúa - como el transportador de la torta. Una ventaja adicional es que la torta está completamente soportada entre el tambor y el rodillo de descarga, de tal forma que tortas delgadas o tortas de baja resistencia mecánica pueden ser manejadas. Consecuentemente pueden ser alcanzadas altas velocidades de filtración.

FIGURA (35)



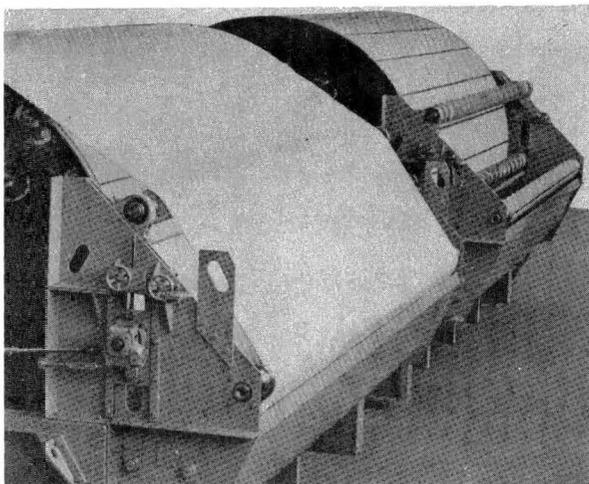
**FILTRO ROTATORIO DE VACIO, SISTEMA DE DESCARGA
CON CUCHILLA Y RODILLO DE AVANCE**

FIGURA (36)



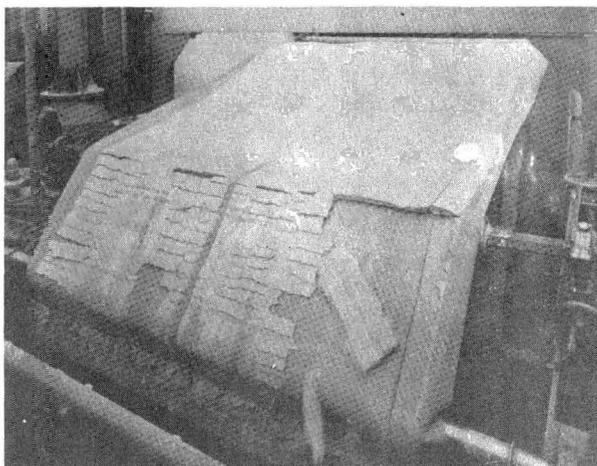
**FILTRO ROTATORIO DE VACIO, SISTEMA
DE DESCARGA POR BANDA**

FIGURA (37)



FILTRO ROTATORIO DE VACIO TIPO TAMBOR CON
SISTEMA DE DESCARGA POR BANDA

FIGURA (38)



VISTA DE LA DESCARGA DE SULFATO DE CALCIO EN
UN FILTRO ROTATORIO DE VACIO TIPO TAMBOR CON
SISTEMA DE DESCARGA POR BANDA .

Accesorios especiales y control para filtros de vacío tipo tambor.

La optimización de filtros tipo tambor, para condiciones de operación dadas, pueden controlarse por tres variables principales: velocidad del tambor, vacío (si es necesario con vacío diferencial aplicado a las zonas de filtración, lavado y secado) y el porcentaje de la superficie del tambor sumergido en la suspensión de alimentación.

La mayoría de los filtros tienen facilidades para permitir el ajuste manual de estas variables fácilmente, también pueden realizarse ajustes automáticos para efectuar cambios en la calidad y/o cantidad de la alimentación o torta.

Para máximo rendimiento, un filtro de tambor debe ser operado a alta sumergencia y a la mayor velocidad posible en el tambor (rpm).

Las condiciones límites que afectan la sumergencia son las siguientes:

- 1) Cualquier incremento en sumergencia limita la proporción del área disponible para lavado y/o secado.
- 2) La sumergencia arriba de un 40%, obliga a utilizar (sellos especiales) o casquillos donde la flecha y la válvula rotatoria pasan a través de la tina.
- 3) Una alta sumergencia puede complicar la geometría de los sistemas de descarga.

Bajo tales condiciones, es fundamental operar con combinaciones de la velocidad del tambor, sumergencia y vacío, por las condiciones de alimentación aplicadas y asegurar que la torta formada es totalmente descargada. Si esto no es hecho, la disminución en la efectividad del medio filtrante aumentará

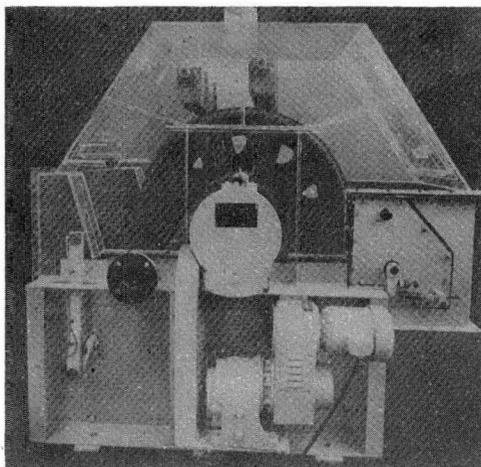
progresivamente y afectará a la optimización del equipo.

El filtro tipo tambor puede tener los siguientes accesorios, si son requeridos: una simple campana evita el escape de vapores tóxicos, inflamables o valiosos. Esta puede estar completamente sellada, para operaciones bajo nitrógeno o gas similar. Sin embargo, esto complica el acceso al tambor y es necesario colocar un sistema tal, que el vacío y el sistema que recibe la descarga esté diseñado para evitar el escape de gases. La torta que se mueva a través de las zonas de lavado y secado es una hoja continua, ya que la torta y el medio filtrante están adecuadamente soportados sobre la envolvente del tambor, es posible adaptar al filtro varios dispositivos que mejorarán la calidad de la torta, lavado y secado antes de la descarga.

Un simple rodillo de compresión, extendido sobre todo lo ancho del filtro, puede ser colocado para que cualquier irregularidad o rompimiento en la torta sean eliminados y consecuentemente, el lavado y el secado es aplicado a una superficie uniforme. De otra manera el líquido de lavado y el aire tienden a formar un "canal" en los sólidos depositados.

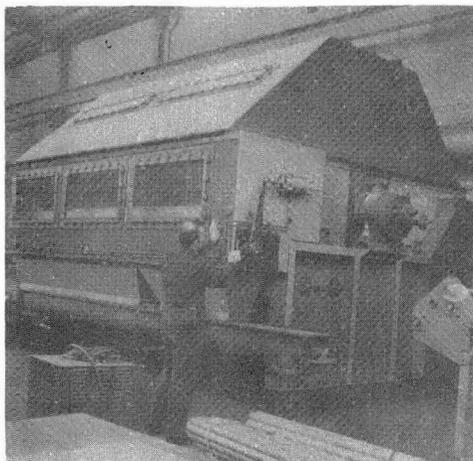
Al sistema de compresión de la torta, también puede incorporarse una lona la cual limita cualquier tendencia a formarse la "canal"; esta lona también evita cualquier malformación de la torta la que pudiera ocurrir cuando la aspersión es a alta presión directamente sobre la torta, permitiendo así que el lavado sea mucho más cerca del punto donde la torta emerge de la suspensión. Los rodillos de compresión con o sin lona tienen sistemas hidráulicos o neumáticos, para incrementar la presión en la torta.

FIGURA (39)



FILTRO ROTATORIO DE VACIO TIPO TAMBOR
TOTALMENTE CERRADO PARA MANEJAR MA-
TERIALES TOXICOS O EXPLOSIVOS .

FIGURA (40)



FILTRO ROTATORIO DE VACIO TIPO TAMBOR
TOTALMENTE CERRADO PARA TRABAJAR CON
UN GAS INERTE .

En otras aplicaciones, se pueden colocar rodillos para controlar el espesor de la torta o liberar la humedad de los materiales tixotrópicos; para lograr varios grados de éxito en el tratamiento de estos materiales, se pueden incluir batidores rotatorios y válvulas pulsantes para interrumpir el flujo de aire en la zona de secado. Ambas aplicaciones reducen el contenido de humedad.

El filtro rotatorio tipo tambor puede ser fácilmente adaptado, para que el tanque esté térmicamente aislado. Al equipo puede ser adaptado un intercambiador de calor por medio de una chaqueta en el tanque, por la cual fluya líquido caliente o frío, o adaptarse resistencia eléctrica para calentamiento.

Estas características son aplicables para el decerado de los aceites lubricantes los cuales normalmente son procesados a -10°C , y para secado de sales que son procesadas a 400°C en un filtro secador.

En la mayoría de las aplicaciones, el filtro debe tener agitador para mantener los sólidos en suspensión; normalmente este puede ser del tipo de péndulo.

8.11 FILTROS DE TAMBOR DE ALIMENTACION SUPERIOR.

Unidades de este tipo son usadas para el tratamiento de sólidos de alta velocidad de asentamiento y que no fácilmente se mantienen en suspensión.

Un filtro de tambor es preferible a uno de charola horizontal o similar por su bajo costo, simplicidad y rendimiento y por su relativa facilidad para adaptarle accesorios.

Un filtro de tambor de alimentación superior incorpora multicompartimientos, líneas de drenaje y válvula rotatoria idénticas al filtro convencional. La alimentación se efectúa exactamente al centro en la parte superior y la torta es descargada de 90 a 180° del punto de alimentación. La alimentación de la suspensión puede ser distribuida a lo largo del tambor por espreas o un recipiente.

8.12 FILTRO DE ALIMENTACION SUPERIOR TIPO TOBERA.

El filtro de alimentación superior descrito en la sección anterior puede ser eficientemente operado si los sólidos se soportan por si mismos sobre la superficie del tambor; para los materiales que no tienen esta propiedad, un filtro de alimentación superior tipo tobera puede ser usado.

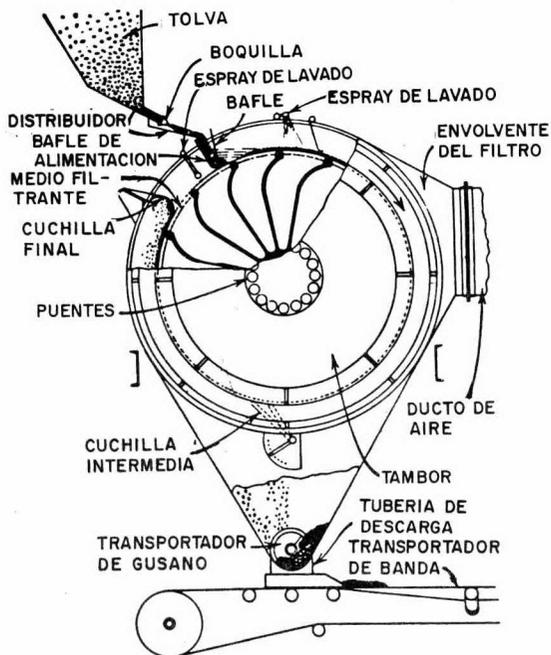
El filtro de tobera es similar al filtro de alimentación superior convencional, excepto que las paredes se extienden arriba de la superficie del tambor, alrededor de cada compartimiento. Consecuentemente, la alimentación es contenida entre las charolas permitiendo que el material fluya para ser llevado más allá del centro de la parte superior de la zona muerta. La torta es también soportada por las paredes de la charola.

8.13 FILTRO DE TAMBOR INTERNO.

Este tiene los compartimientos construidos sobre la superficie interna del tambor, al final del cual tiene un orificio por el cual se envía la suspensión y la torta del filtro es descargada.

En los compartimientos respectivos, el sistema de drenaje y la válvula rotatoria son similares a los del filtro tipo tambor convencionales.

FIGURA (41)



VISTA DE UN FILTRO ROTATORIO DE VACIO
TIPO TAMBOR DE ALIMENTACION SUPERIOR

La alimentación de la suspensión forma un depósito al fondo del tambor y - como el tambor rota, la torta es llevada a través de la zona de secado a la de descarga, cercana a la zona muerta.

La descarga de la torta, se lleva a cabo por su propio peso o con el auxi-- lio de un soplador.

Los filtros descritos en las tres secciones previas, muestran las siguien-- tes desventajas:

- 1) La principal es que una pequeña porción de la superficie total del tam-- bor es utilizada efectivamente.
- 2) El lavado de la torta es muy restringido, por lo cual la descarga de la torta debe efectuarse por cuchilla o soplador. Lo que implica que la lona debe ser gruesa, ya que los orificios tien-- den a taparse. El filtro de tambor interno de un limitado acceso al me-- dio filtrante, y los filtros de alimentación superior tienen problemas - con el sello entre la caja y el tambor.

8.14 FILTRO DE TAMBOR DE COMPARTIMIENTO SIMPLE.

Este tipo de filtro es similar al filtro de tambor de alimentación por el fondo, excepto que la totalidad del tambor está sujeta a vacío.

En un filtro de tambor de compartimiento simple, se evita la complejidad en construcción y restricciones en operación impuestas por las líneas de dreñaje y la válvula rotatoria, de los filtros de compartimientos múltiples. El - filtrado es drenado del interior del tambor. A través de una "pierna profun-- da", si se requiere, el agua de lavado puede ser colectada separadamente en un recipiente o tanque bajo la zona de lavado de la torta,

La descarga es normalmente por cuchilla, con soplador de aire que entra al tambor y es aplicado a la zona de descarga por medio de una caja sellada -

contra la superficie interior del tambor.

8.15 FILTRO DE DISCOS.

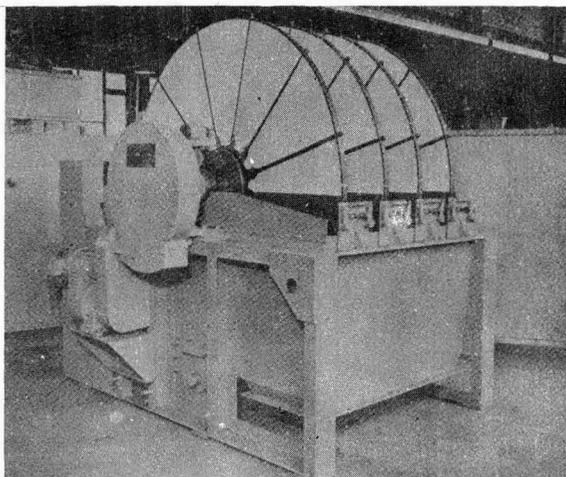
El filtro de discos opera en una manera similar al filtro de tambor de alimentación inferior. La principal diferencia consiste en que los compartimientos están formados sobre ambas caras de los discos verticales. Estos discos - están compuestos de 4 a más de 8 segmentos, cada uno de estos segmentos está conectado a la flecha horizontal del equipo.

El filtrado y el aire son drenados a través del medio filtrante, el sistema de drenaje está formado por los segmentos, y finalmente pasan de la flecha rotatoria a la válvula localizada al final del equipo. Los discos están colocados sobre la flecha con una separación de aproximadamente 30 cm, resultando por lo cual un espacio económico y consecuentemente una gran área de - filtración, por lo cual ahorra también espacio en el lugar que se va a colo-- car, por ejemplo: un filtro de discos de 75 m^2 de área de filtración puede ser proporcionado con 8 discos, cada uno de ellos de 2.40 m; en el mismo espacio un filtro tipo tambor de 2.40 m de diámetro x 2.40 m de cara tendría - solamente 18 m^2 de área de filtración.

Este tipo de discos es fabricado frecuentemente con dos válvulas rotatorias una a cada extremo del equipo, lo que nos proporciona grandes flujos de - filtrado y aire.

En la descarga de la torta es generalmente utilizado el sistema de cuchilla o alambre y también la descarga puede ser auxiliada por aire. La torta cae a través de unas aberturas verticales las cuales están construidas a través del tanque del filtro. Las ventajas del filtro de disco son:

FIGURA (42)



FILTRO ROTATORIO DE VACIO TIPO DE
DISCOS.

- a) El costo por unidad de filtración es bajo.
- b) Grandes áreas de filtración son proporcionadas en poco espacio.
- c) El tanque puede ser dividido en dos secciones para diferentes suspensiones las cuales pueden ser manejadas al mismo tiempo por el mismo equipo, por ejemplo concentrados y residuos del mismo sistema. Si una de las dos válvulas rotatorias es utilizada para este tipo de operación y si la flecha principal está tapada en algún punto de su longitud, es posible mantener los dos filtrados separados.

Las desventajas del filtro de disco son:

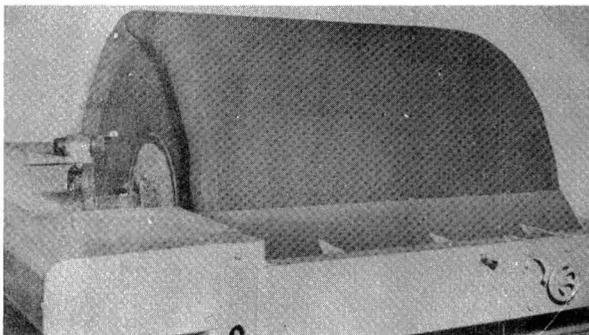
- a) Las lonas utilizadas son muy pesadas; este tipo de lonas tienden a cegarse y el lavado de la torta es prácticamente imposible.
- b) En contraste con el filtro tipo tambor, en el cual todas las partes del medio filtrante efectúan la misma operación, en el filtro de disco cada segmento del disco efectúa una diferente operación, dependiendo de su dimensión radial del muñón. Consecuentemente condiciones homogéneas no pueden ser mantenidas en el tanque, entonces se forman tortas heterogéneas, esto provoca que el flujo de aire pase a través de las más delgadas y se obtengan tortas con humedad variable a lo largo de cada segmento.
- c) Los filtros de disco tienen la limitación de que cada segmento debe estar totalmente sumergido en la suspensión antes de que se le aplique vacío y sólo muy pequeñas variaciones en el nivel de sumergencia pueden ser permitidas.

8.15 FILTRO DE PRECAPA.

Todos los filtros descritos hasta ahora, están en la categoría donde la torta se forma realmente por los sólidos presentes en la suspensión, y esta torta puede ser relativamente fácil de descargar.

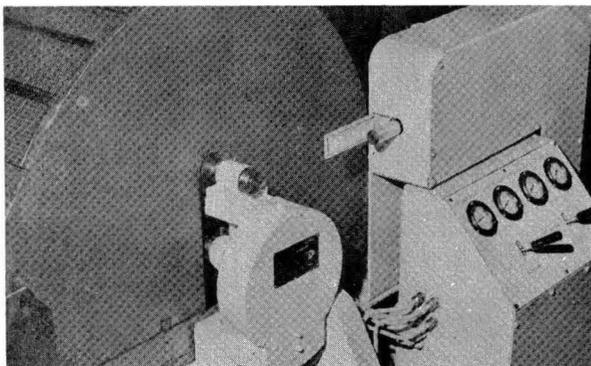
Las aplicaciones de los filtros de precapa aumentan donde las tortas filtradas son extremadamente delgadas, quizás de unas pocas milésimas de cm tienen que ser descargadas, donde es esencial una claridad extrema o donde un sólido "tapón" está presente, y cuando la filtración se lleve a cabo -

FIGURA (43)



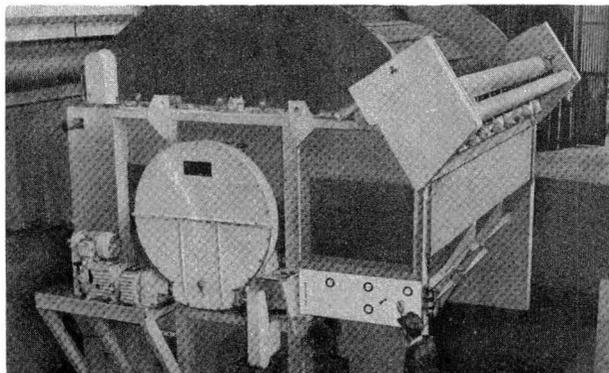
FILTRO ROTATORIO DE VACIO DE PRECAPA CON CONTROL DE AVANCE MECANICO EN LA CUCHILLA.

FIGURA (44)



VISTA DEL PANEL DEL CONTROL DE AVANCE MECANICO EN LA CUCHILLA.

FIGURA (45)



FILTRO ROTATORIO DE VACIO DE PRECAPA
CON UNA SUMERGENCIA DEL 70% EN -
ACERO INOXIDABLE.

con sólo medio filtrante, la operación no es eficaz ni óptima.

Una manera de lograr una operación eficiente es utilizando una cama de material fácilmente filtrable, la cual denominamos "precapa", sobre un filtro estándar de vacío tipo tambor.

Después de establecida la precapa, los sólidos al ser separados de la suspensión son atrapados sobre la superficie de la precapa. Esta pequeña capa de sólidos es separada por una cuchilla la cual avanza lentamente hacia el tambor.

La cuchilla también separa una delgada capa de la cama de la precapa de tal manera que expone una nueva superficie del medio filtrante. Esto permite operaciones de filtración semicontínuas.

Un filtro de vacío tipo precapa de tambor, es utilizado para separar tortas extremadamente delgadas que pueden continuamente separadas en un estado semiseco.

El establecimiento de la precapa debe llevarse a cabo utilizando una suspensión que contenga una baja concentración de sólidos, a altas velocidades del tambor y con baja sumergencia, de tal manera que se forma una capa delgada en cada revolución y así aseguramos una cama uniforme y compacta, la cual no fácilmente se deteriora en la operación.

Para grandes períodos de operación debe ser utilizado el máximo espesor de cama. Esto es frecuentemente determinado por el diseño mecánico del filtro y por las propiedades de formación de la torta del material de la precapa.

Normalmente la cama tiene un espesor de 7.5 a 10 cm, y con la mayoría de los materiales ésta puede formarse sobre el tambor, en un período de una

hora.

El tipo y grado del material de precapa usado, puede ser influenciado por la velocidad a la cual la cama debe ser separada y por el costo de la operación de precapa en el filtro de vacío.

Generalmente, para máxima economía, un filtro de precapa debe ser operado a la mayor superficie sumergida, limitando el grado de lavado y secado de la torta. Algunos filtros de precapa son capaces de operar arriba de 70% de la sumergencia del tambor.

Esta clase de operaciones en particular, necesitan una precapa de 10 cm de espesor, un diseño especial para dar el claro adecuado entre el tambor y la tina, mientras al mismo tiempo den un ángulo aceptable para la descarga.

La cuchilla de avance puede variar de .0015 a 0.015 cm por revolución, y la velocidad del tambor es frecuentemente utilizada en un rango de 1/10 a 2 - rpm. Sin embargo con un cuidadoso control de todas las variables, y utilizando el tamaño correcto del equipo, es posible obtener precapas que tienen una vida de 60 a 240 horas.

Para obtener un máximo de economía en la operación, un filtro de vacío tipo tambor de precapa debe ofrecer las siguientes facilidades.

- 1) Variación de la velocidad de avance de la cuchilla.
- 2) Control preciso sobre la velocidad de avance de la cuchilla.
- 3) Una cuchilla rígida.

Hoy día se utilizan sistemas mecánicos e hidráulicos para el control de avance de la cuchilla, lo que permite una operación automática o a control remoto.

El equipo auxiliar necesario para que opere una estación de filtración, está detallado como sigue:

- 1) Preparación de la suspensión y del equipo de alimentación.
- 2) Equipo de vacío.

9.0 CONDICIONES DE OPERACION.

9.1 PREPARACION DE LA SUSPENSION Y DEL EQUIPO DE ALIMENTACION.

Para obtener el máximo rendimiento de sólidos por unidad de área de filtración, la suspensión debe alimentarse al filtro de vacío a la mayor concentración de sólidos, previendo que este flujo no nos cause problemas en transportación al filtro, en caso de filtros de tambor, de alimentación inferior no habrá problemas en separar las tortas limpias; la excepción a esto, es cuando la calidad del lavado o secado de la torta son críticos y para este tipo de operaciones restringidas la velocidad del manejo de sólidos es a bajas concentraciones.

Generalmente las operaciones a altas concentraciones de sólidos dan dos ventajas:

- a) Para una capacidad de sólidos dada, el líquido cargado al filtro será reducido y necesitará una pequeña área de filtración. Por lo tanto menos equipo accesorio.
- b) A alta concentración de sólidos se construirá una mejor torta, se obtendrá mejor claridad en el filtrado, aún utilizando medios filtrantes más abiertos. La torta tendrá mejores propiedades para ser descargada.

Si son utilizados espesadores de gravedad para dar altas concentraciones en la alimentación del filtro, no debe considerarse que todos los reactivos

den buenas características de asentamiento, necesariamente estos darán buenas propiedades de filtración.

Estos dos aspectos deben de tomarse en cuenta para determinar las condiciones óptimas de operación. El tratamiento anterior a la filtración debe utilizar el uso de floculantes, ajuste de pH, o el uso de filtroayuda.

Después de la preparación de la suspensión de alimentación ésta debe ser transportada al filtro sin degradación, si es posible, y esto debe de efectuarse utilizando bombas de baja velocidad, agitadores de baja velocidad y tanques de almacenamiento, lo que normalmente proporciona ventajas para permitir que la suspensión en el tanque del filtro sea mantenido a un determinado nivel por un simple rebosamiento de gravedad. Este rebosamiento o sobreflujo no es aceptable en una recirculación continúa y puede ser utilizado un equipo de control de nivel.

Equipo de vacío.

Normalmente, el aire y el líquido que provienen de un filtro de vacío están conectados a un recipiente de vacío, o a más de un recipiente si la separación de cualquiera de los líquidos es requerida, el tamaño del recipiente de filtrado está determinado por el recipiente de vacío. Para dar bajas velocidades de aire, generalmente se utilizan velocidades de 1 m/seg para materiales no espumosos. El líquido puede ser extraído por una pierna barométrica, la cual es un simple tubo del recipiente de vacío a un recipiente sellado el cual está provisto de una columna vertical de líquido mayor que la que corresponde al vacío escogido, por ejemplo, una operación a 56 centímetros de mercurio podría necesitar una columna de líquido que excediera -

los 56 centímetros de mercurio, es decir, 9 metros de agua.

Alternativamente, una bomba de extracción puede ser usada y es siempre una ventaja tener la bomba tan lejos del recipiente de vacío como sea posible para reducir la succión.

Las bombas de extracción auto-cebantes tienen ventajas, pero las de desplazamiento positivo son frecuentemente utilizadas y las no auto-cebantes pueden ser utilizadas bajo ciertas condiciones.

La bomba de vacío debe estar protegida del líquido, con trampas de líquido o por arreglo de conexiones hacia el recipiente de vacío. Para aplicaciones corrosivas y también para proteger la bomba de vacío de líquidos corrosivos, es ventajoso pasar aire a través de un sistema de lavado de gas localizado entre el recipiente de filtrado y la bomba de vacío.

9.1 BOMBA DE VACIO.

Las bombas de vacío selladas son las utilizadas frecuentemente ya que son simples.

Estas bombas operan con un sello continuo de agua, no tienen fricciones metal con metal y normalmente no requieren protección de los líquidos o sólidos que provienen del recipiente de vacío; sin embargo, la protección debe ser provista para el rotor de la bomba.

La relativa gran cantidad de líquido de sello que necesita una bomba de vacío rotatorio requiere considerar un sistema de recirculación del líquido en circuito cerrado, con facilidades de enfriamiento para limitar la elevación de la temperatura, o una recirculación parcial con agua de reemplazo para disipar el calor.

El flujo de aire y la operación de vacío dependen principalmente de la naturaleza de los materiales que están siendo manejados.

Para obtener una operación óptima, deben ser efectuadas pruebas de laboratorio para determinar el flujo de aire y la operación de vacío; así aseguramos resultados excelentes.

9.3 PRUEBAS DE LABORATORIO.

Las pruebas para predecir el diseño y rendimiento de un filtro de vacío, son relativamente fáciles de efectuar, y los resultados obtenidos pueden ser utilizados con confiabilidad, siguiendo las mismas condiciones en la planta.

- 1) Todas las pruebas se hacen con muestras frescas y representativas, teniendo las mismas propiedades de filtración, lavado y secado, tal como el material que va a ser manejado en la planta.
- 2) El medio filtrante seleccionado debe tener las mismas características de contracción, esponjamiento y terminación de la superficie, tal como ocurrirá en la práctica después de un período de aplicación.
- 3) El medio filtrante recibirá la alimentación de la misma forma que el filtrante sumergido en la suspensión.
- 4) Otras condiciones como, agitación en la tina, tiempos de ciclo y fuerza motriz, deben ser reproducidas aproximadamente.

La condición (1) es frecuentemente difícil, y algunas veces imposible llevarla a cabo, es necesario trabajar en este caso con muestras sintéticas o considerar las características de los materiales que son conocidos como similares e incorporar factores para cualquier otra variación.

Las condiciones 2, 3 y 4, son más fácilmente llevadas a cabo por los fabricantes de filtros.

10.0 CONCLUSIONES

Este trabajo proporciona al Ingeniero Químico el criterio para la adecuada selección de Filtros Rotatorios de Vacío. Dando una secuencia lógica para evaluar los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio, planta piloto y a nivel industrial.

Se analizan los principales parámetros que afectan a la filtración (Capítulo 5), las pruebas que deben efectuarse en el laboratorio y la evaluación de los datos obtenidos a nivel laboratorio y planta piloto (Capítulos 6 y 7). Para seleccionar el material de construcción, el medio filtrante y el equipo industrial más adecuado a una operación específica de separación de líquidos y sólidos por medio de vacío (Capítulos 7 y 8).

Para sintetizar este trabajo, se preparó la Tabla I "Clasificación de Filtros de Vacío" que nos ofrece las áreas usuales en los diferentes tipos de equipo, así como las características de la suspensión de alimentación y los resultados obtenidos; la Tabla II, da una excelente guía al Ingeniero Químico, ya que ofrece algunos resultados obtenidos en la práctica con diferentes suspensiones.

TABLA I CLASIFICACION DE FILTROS DE VACIO

TIPO DE FILTRO	VER NOTA No.	MAXIMA AREA USUAL (m ²)	CARACTERISTICAS DE LA SUSPENSION					RESULTADOS OBTENIDOS		
			A	B	C	D	E	SECADO	LAVADO	CLARIDAD
								TORTA	TORTA	
Charola simple	1	3	*	*			4-7	8-9	8	
Charola múltiple	2	12	*	*			4-7	8-9	8	
Charola múltiple	3	25	*	*			4-7	8-9	7	
Banda horizontal	4	20	*	*			5-8	7-8	6	
Charola múltiple rotatoria	3	200	*	*			4-7	8-9	7	
Mesa rotatoria horizontal	4	15	*	*			4-7	7-8	7	
Tambor: Descarga por cuer- das	5	80			*	*	5-8	6	8	
Descarga por cu- - chilla	5	80			*	*	5-8	6	8	
Descarga por rodi- llo	5	80				*	*	5-6	5	8
Descarga por banda	5	80			*	*	*	5-8	6	7
Alimentación supe-- rior	6	10	*	*			1-2	1	6	
Tolba:	6	10	*							
Tambor interno	7	12		*	*		3-4	1	6	
Tambor de simple comparti-- miento	8	15			*		2-3	4	6	
Disco	9	300		*	*		2-3	1	6	
Tambor: Tipo precapa	10	80				*	*	-	6	9

NO TAS SOBRE LA TABLA I.

- 1) Para producción pequeña intermitente, es adaptable y puede ser automático.
- 2) Generalmente es formado de 2-4 charolas, para producción mediana. Muy amplia aplicación, adaptable y es automático.
- 3) Para materiales donde se requiere un buen lavado - con separación entre el líquido filtrado y el líquido de lavado.
- 4) Para materiales donde se requiere un buen lavado.
- 5) Disponible en varios tamaños y tipos. Generalmente son utilizados para suspensiones de la categoría B y C. Puede ser construido con diferentes accesorios - para mejorar el lavado y secado.
- 6) Restringido a materiales que no requieren lavado
- 7) Restringido a materiales que no requieren lavado, pero los sólidos son retenidos por vacío solamente.
- 8) Permite el uso de altas velocidades de rotación y trabaja a altas velocidades de flujo.
- 9) Para grandes rendimientos, poco espacio y el lavado es muy limitado o imposible.
- 10) Para materiales que requieren buena clarificación y donde estos materiales cegan el medio filtrante.

CARACTERISTICAS DE LA SUSPENSION:

- a) Alta concentración de sólidos, normalmente mayor a 20%, teniendo los sólidos alta velocidad de asentamiento, dificultando la agitación y dando altas velocidades de filtración.
- b) Rápida formación de torta con alta velocidad de asentamiento pero pueden ser mantenidos en suspensión - por agitación mecánica.
- c) Baja concentración de sólidos, con sólidos que dan - baja formación de torta, tortas delgadas las cuales - dificultan la descarga.
- d) Baja concentración de sólidos, con sólidos que dan baja formación de torta y la torta teniendo - bajas resistencias mecánicas.
- e) Muy baja concentración de sólidos (clarificación), o conteniendo sólidos que ceguen un medio filtrante normal, y cuando el filtrado es generalmente - requerido.

RESULTADOS OBTENIDOS:

- 9 = El mejor resultado obtenido
1 = El peor resultado obtenido.

Nota: Estos números solamente dan una orientación, en la práctica deben ser asesorados.

TABLA II APLICACIONES.

A P L I C A C I O N	TIPO DE VACIO RECOMENDADO	CONTENIDO DE SOLIDOS EN LA ALIMENTACION EN %	CANTIDAD DE SOLIDOS MANEJADOS SECOS kg/hora/m ²	HUMEDAD REMANENTE	FLUJO DE AIRE	
					m ³ /h/m ²	Vacío mm Hg
<u>PRODUCTOS QUIMICOS:</u>						
Trihidrato de aluminio	Tambor	20	60-80	30	27	500
Hidrato de aluminio	Tambor alimentación superior	40	450-750	15	90	125
Nitrato de bario	Tambor alimentación superior	80	1250	5	450	250
Sulfato de bario	Tambor	40	50	30	18	500
Bicarbonato de sodio	Tambor	50	1750	12	540	300
Carbonato de calcio p.p.	Tambor	50	125	22	36	500
Sulfato de calcio	Charola	35	600	80	90	450
Hipoclorito de sodio	Tambor: descarga por banda	12	150	30	54	500
Dióxido de titanio	Tambor	30	125	40	36	500
Estearato de zinc	Tambor	5	25	65	54	500
<u>PRODUCTOS MINERALES:</u>						
Carbón (grueso)	Tambor alimentación superior	30	750	18	72	300
Carbón (fino)	Tambor o disco	35	400	22	54	375
Carbón (medio)	Tambor	40	200	30	36	550
Concentrados de cobre	Tambor	50	300	10	36	525
Concentrados de plomo	Tambor	70	1000	12	54	550
Concentrados de zinc	Tambor	70	750	10	36	500

A P L I C A C I O N	TIPO DE VACIO RECOMENDADO	CONTENIDO DE SOLIDOS EN LA ALIMENTACION EN %	CANTIDAD DE SOLIDOS MANEJADOS SECOS kg/hora/m ²	HUMEDAD REMANENTE	FLUJO DE AIRE	
					m ³ /h/m ²	Vacio mm Hg
<u>PAPEL:</u>						
Pulpa Kraft	Alta sumergencia tambor o disco	1.5	200	90		
Efluentes	Tambor	3	20	80	54	450
Papel	Tambor	1	750 (filtrado)	90	90	250
<u>ALIMENTOS:</u>						
Almidón	Tambor	50	200	40	54	625
Glucosa	Tambor	15	75	50	45	450
Glucosa (44%)	Tambor-precapa	2	500 (filtrado)	50	45	500
Caña de azúcar	Tambor	10	100	30	18	500
Sal	Tambor alimentación superior	30	1250	6	720	75

ESTOS DATOS FUERON PROPORCIONADOS POR STOCKDALE ENGINEERING LTD.

- 9.- Shoemaker, Wells
"Spectrum of Filter Media"
Filtration and Separation
Págs. 87-93
November/December 1975
- 10.- Smith, R. S. Gordon
"How to use Rotary, vacuum, precoat, filters"
Chemical Engineering
Págs. 84-90
February 16, 1976
- 11.- Smith R. S. Gordon
"Filter Aid Regeneration and Recovery"
Págs. 37-39
December 16, 1975
- 12.- The Filtration Society
Filtration Dictionary
Croydon; England.
1975
- 13.- Theory and Practice of Solids Liquid Separation
University of Houston
Chemical Engineering Department
1972

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Bosley, Ron
"Requirements of Filter Media for Vacuum, Cartridge and Pressure Leaf Filters"
Filtration and Separation ✓
Pags. 60-70
January/February 1976
- 2.- Culver, R.H.
"Diatomacens Earth Filtration"
Chemical Engineering Progress ✓
Pag. 51-54
December 1975
- 3.- Dickey, G.D.
Filtration
Second Edition, Mac Graw Hill
1963
- 4.- Eaton **Dikeman** Co.
Handbook of Filtration
Mt. Holly Springs, Pennsylvania
1960
- 5.- Fitzgibbons, D.P.
"Filtration Rates of Rotary Vacuum Filters"
Filtration and Separation ✓
Pags. 227-232
May/June 1976
- 6.- Mac Cabe and Smith
Unit Operation of Chemical Engineering
Mac Graw Hill
1956
- 7.- Perry, H. Robert and Chilton, H. Cecil
Chemical Engineers' Handbook
Fifth Edition, Mac Graw Hill
1973
- 8.- Purchas, B. Derek
Industrial Filtration of Liquids
Leonard Hill, London
1967