

33  
2 y



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**"LA FILTRACION Y LAS TIERRAS  
DIATOMACEAS"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO QUIMICO**

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

**MARTIN ROBERTO GODOY VILLAFUERTE**

**TESIS CON  
CALA DE ORIGEN**

1989



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I. LA OPERACION DE FILTRACION	3
I.1 Que es filtración.	4
I.2 La separación sólido-líquido.	5
I.3 Operaciones que involucra la filtración.	9
I.4 Medios filtrantes.	12
I.4.1 Clasificación.	13
I.5 Teoría de la filtración.	15
I.5.1 Constantes de filtración.	22
CAPITULO II. FILTRACION CON AYUDAS DE FILTRO.	24
II.1 Que es un ayuda de filtro.	25
II.1.1 Como actúa.	25
II.2 Requisitos para un ayuda de filtro.	25
II.3 Tipos de ayudas de filtro.	26
II.3.1 Diatomita.	26
II.3.2 Perlita.	28
II.3.2.1 Proceso de obtención.	28
II.3.3 Carbón y celulosa.	30
II.4 Porque se usan.	32
II.5 Como se emplean.	33
II.5.1 Sistema de filtración usando ayuda de filtro.	33
II.5.2 Tanque de precapa y tanques	

dosificadores.	35
II.5.3 Bombas de alimentación del filtro.	36
II.5.4 Precapa.	37
II.5.4.1 Objetivos de la precapa.	38
II.5.4.2 Formación de la precapa.	38
II.5.4.3 Cantidad de precapa.	40
II.5.4.4 Problemas en la formación de la precapa.	41
II.5.5 Dosificación.	41
II.5.5.1 Objetivo de la dosificación.	42
II.5.5.2 Adición de la dosificación.	42
II.5.5.3 Cantidad de dosificación.	45
II.6 Operación con ayudas de filtro.	46
II.7 Como se selecciona un ayuda de filtro.	48
II.7.1 Métodos de evaluación	51
II.7.1.1 Procedimiento de evaluación en filtros de presión.	52
II.7.2 Filtración a vacío. Filtro rotatorio de precapa.	56
CAPITULO III. LAS TIERRAS DIATOMACEAS.	59
III.1 Origen.	60
III.2 Ocurrencia y evaluación.	62
III.3 Extracción y procesamiento.	63
III.4 Propiedades y clasificación.	66
III.4.1 Usos.	67
III.5 Como trabajan los ayudas de filtro de diatomita.	74

III.5.1 Precapa con diatomita en filtros a presión.	75
III.5.2 Dosificación con diatomita.	75
III.5.3 Precapa con diatomita en un filtro rotatorio a vacío.	76

#### CAPITULO IV. FILTROS EN LOS QUE SE EMPLEAN

AYUDAS DE FILTRO.	78
IV.1 Consideraciones previas.	79
IV.2 Filtros a presión.	79
IV.2.1 Ventajas y desventajas.	80
IV.2.2 Filtro prensa.	81
IV.2.3 Filtros de presión de recipiente hermético.	85
IV.2.3.1 Filtros con elementos verticales.	86
IV.2.3.2 Filtros con elementos horizontales.	96
IV.3 Filtros a vacío.	101
IV.3.1 Ventajas y desventajas.	101
IV.3.2 Filtro de hojas al vacío.	102
IV.3.3 Filtro rotatorio de precapa al vacío.	102

#### CAPITULO V. PRUEBAS EXPERIMENTALES A PRESION

CONSTANTE PARA LA SELECCION DE UN AYUDA DE FILTRO DE DIATOMITA.	106
---	-----

V.1	Introducción.	107
V.2	Consideraciones preliminares.	107
V.2.1	Ventajas del filtro empleado.	108
V.3	Objetivos de las pruebas.	108
V.4	Tratamiento de los datos.	109
V.5	Descripción del equipo.	111
V.6	Materiales y condiciones de operación.	113
V.7	Operación y procedimiento.	114
V.8	Resultados.	115
V.8.1	Primera parte.	115
V.8.1.1	Observaciones primera parte.	119
V.8.1.2	Determinación de las constantes de filtración.	122
V.8.2	Segunda parte.	124
V.8.2.1	Observaciones segunda parte.	127
V.8.2.2	Determinación de las constantes de filtración.	129
V.8.2.3	Selección de la dosificación.	134
V.9	Análisis costo vs beneficio.	134
V.10	Análisis de eficiencia.	137
V.11	Apéndice.	139
CAPITULO VI. CONCLUSIONES.		140
BIBLIOGRAFIA.		145

## INTRODUCCION

Existe una gran variedad de industrias en las que la Filtración constituye parte fundamental de sus procesos. En algunos casos, es una operación que se repite para diferentes etapas del mismo proceso, razón de mas por la que se le deba poner una especial atención en lograr su óptima operación.

Con base en ese hecho, el presente trabajo tiene el objetivo de proporcionar un panorama sobre la filtración y su funcionamiento cuando se emplea un Ayuda de filtro. Ya que en mas de una ocasión la responsabilidad de dicha operación, recae sobre el Ing Químico, que es el profesionista mas encaminado a este tipo de labores entre otras.

Se manifiesta una particular preocupación por ayudar a un mejor entendimiento en el uso práctico de los Ayudas de filtro, dentro del campo real de aplicación. No se trata de un estudio profundo sobre diseño de equipo, sino de simplemente el aprovechamiento de los productos y equipos disponibles. Máxime cuando se trata de un insumo "extra" como es el ayuda de filtro, el cual implica un costo mas a la operación, y que como todo costo, deberá ser minimizado.

Asi también, se refiere la aplicación de los ayudas de filtro hechos de tierras diatomáceas, como ejemplo de este tipo de productos. Incluyendose su proceso de obtención y fabricación con el fin de dejar mas claro sus orígenes y las razones de porque la diferencia de apariencias en sus variados productos comerciales, que al cabo son factibles de modificar si las

circunstancias así lo demandan.

Veremos como con dedicar un poco de atención a estos planteamientos, es posible tener resultados inmediatos además de un mejor control de la etapa misma y del resto del proceso, con lo que se fortalece el control de la calidad de los productos finales.

## **I. LA OPERACION DE FILTRACION.**

## I.1 QUE ES FILTRACION.

Proceso mediante el cual se separan de un fluido las partículas sólidas que pueda tener en suspensión. El fluido puede ser líquido o gaseoso.

Para los fines de este estudio solo se consideran los fluidos líquidos. A su vez los líquidos pueden ser acuosos y no acuosos.

Al aumentar el porcentaje de sólidos, la operación pasa a ser "prensado o centrifugación", aunque esta última también se usa para un porcentaje de sólidos casi infinitesimal.

Se le llama "clarificación", cuando el % de sólidos es menor de 1% y el producto primario es el filtrado (líquido).

La operación de filtración puede dividirse dentro de dos grandes categorías:

- Filtración de torta
- Filtración de profundidad.

La filtración de torta a su vez puede subdividirse en otras operaciones: centrifuga, a presión, al vacío y por gravedad.

En la filtración de torta, las partículas de la suspensión son retenidas en la superficie de un medio poroso de soporte mientras el fluido pasa a través del mismo. En la filtración de profundidad, las partículas son capturadas en los intersticios de un sólido, y no se forma torta sobre la superficie del medio filtrante. En muchos procesos, una etapa de la filtración de fondo o profundidad, precede la formación de una torta. Las primeras partículas pueden pasar al medio y varias suspensiones diluidas pasarán antes de que comience a formarse una torta. Las

partículas pequeñas pasan a través del medio mientras que las partículas largas puentean las aberturas y empiezan la construcción de una capa (torta) en la superficie.

De una manera general, la filtración de profundidad se usa para separar pequeñas cantidades de contaminantes, y la filtración de torta se emplea primariamente para suspensiones mas concentradas. Es normal que en algunas ocasiones se encuentre un paso ó etapa de filtración de torta y posteriormente una filtración de profundidad.

En los procesos actuales se pueden encontrar tanto la filtración a presión, al vacío y/o por gravedad, así como la centrifugación, siendo igualmente efectivas; por lo que las consideraciones de costo, operación y mantenimiento, determinarán cual de estas es la elección adecuada. También el postratamiento llega a ser un factor muy importante en la selección de equipo. Para remover las impurezas del filtro de torta ó incrementar la recuperación del valioso filtrado, el lavado de la torta se complementa mediante el empleo de un licor de lavado que penetre la torta. El licor se extrae de la torta haciendo pasar aire o gas a través de la torta, o comprimiendola.

## I.2 LA SEPARACION SOLIDO-LIQUIDO.

Para propósitos de análisis, esta operación puede dividirse como se muestra en la tabla I.1.

Cualquier diseño de un sistema de separación, debe incluir algunas o todas las etapas descritas, pretratamiento, concentración de sólidos, separación y postratamiento.

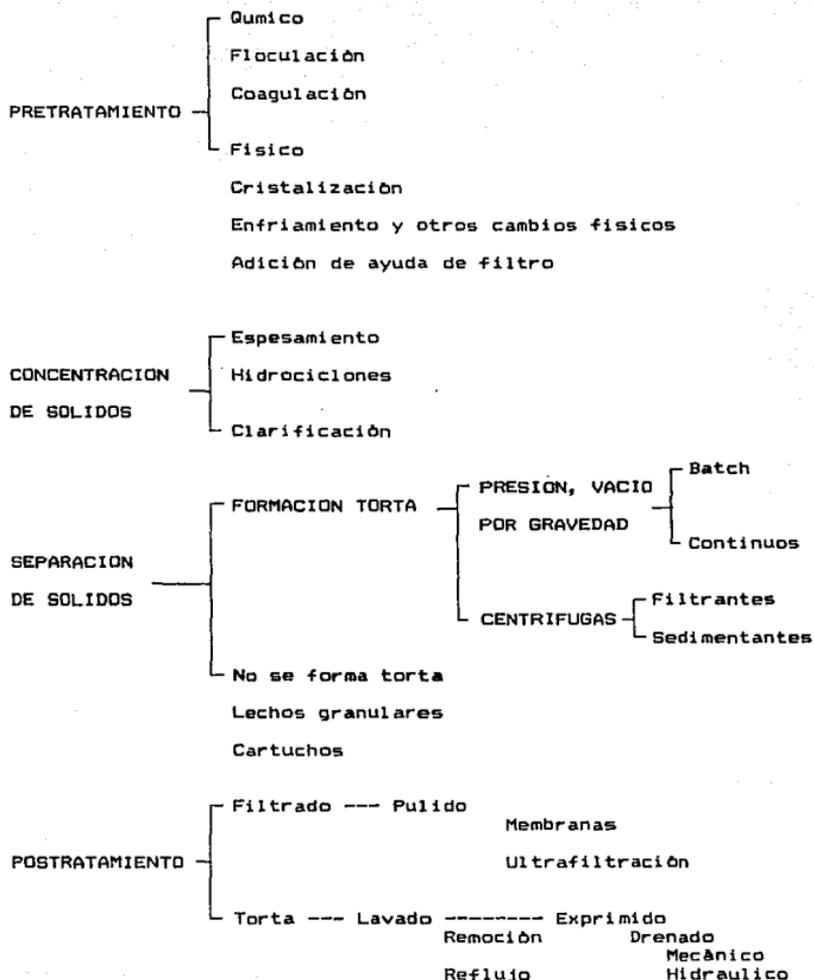


Tabla I.1 Etapas de la separación sólido-líquido  
 Fte: Matterson and Orr. 1987. Filtración, principios y práctica.

Partiendo desde el líquido sin filtrar hasta los productos finales de torta, filtrado y pérdidas, existen varias consideraciones que deben hacerse. Saber cuales son requeridas por el proceso, depende de las características individuales del líquido, los sólidos y de lo fácil que se pueda disponer de los residuos generados.

La figura I.1 muestra los pasos mas comunes que se tienen que aplicar en un sistema de filtración que puede emplear ayudas de filtro. Notese el depósito de líquido residual mas propio de los sistemas batch.

Pretratamiento. Se utiliza para alterar las propiedades de la suspensión con el propósito de facilitar su filtración. Por ejemplo, el tamaño de las partículas puede incrementarse mediante tratamiento químico, produciendo coagulación o floculación. En concentraciones sólidas, parte del líquido puede removerse por espesamiento o por un hidrociclón de tal forma que la carga en el filtro se disminuya. El pretratamiento también puede ser en forma de calentamiento para lograr una viscosidad más baja del líquido o simplemente fundir el material para poder filtrarlo.

Debido a estas aplicaciones, el filtro debe de estar provisto de un medio capaz de mantener este calentamiento del material hasta haber completado todas las funciones, estos es, precaqueo, filtración, condicionamiento de torta, drenado y descarga de la torta. O por el contrario, que la filtración se tenga que llevar a cabo a temperaturas bajas para favorecer la formación y retención de algún tipo de impureza.

También resulta común en la industria química la práctica de adicionar un ayuda de filtro como las tierras diatomáceas o la

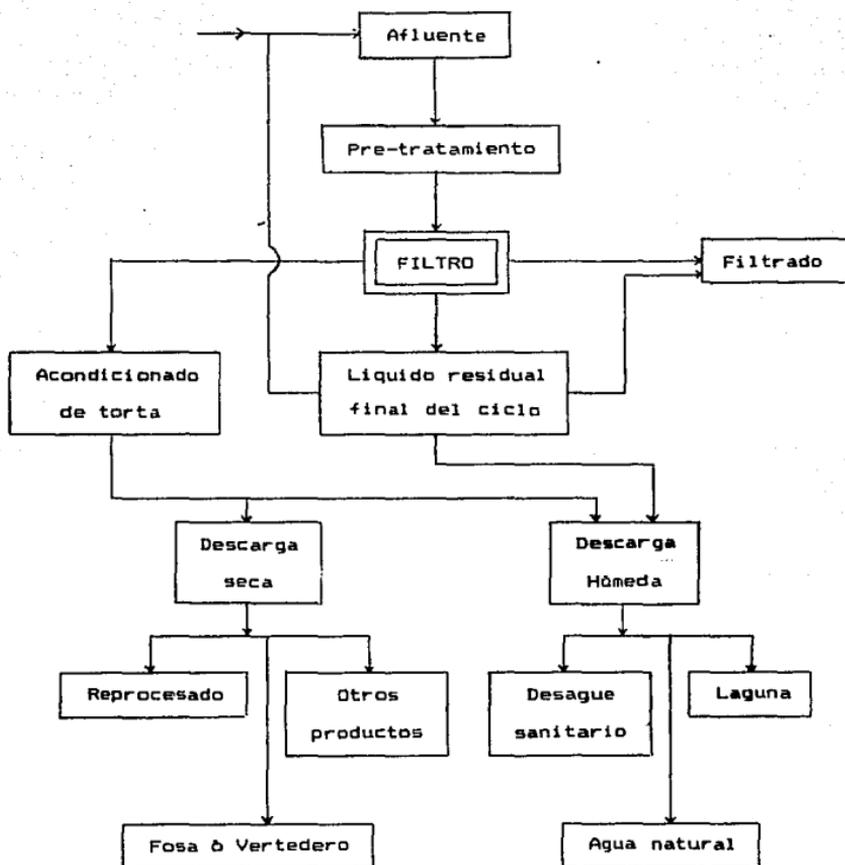


Figura 1.1 Fases en el Proceso de Filtración.

Fuente: Selecting the Correct Filter using Filter-aids. Harris G. Walton. Conferencia de la Sociedad de Filtración. Sep 69.

perlita expandida, a la suspensión, con el fin de lograr un aumento en la permeabilidad de la torta.

Con frecuencia se recurre al pretratamiento con agentes químicos ó gases para provocar la precipitación de sólidos. En muchos casos, estos tratamientos producen humos o vapores nocivos o peligrosos que requieren que el sistema de filtración este encerrado, o bien pueden producirse gases que se disuelven en el líquido, los cuales se vuelven a liberar si se manejan presiones bajas. Cualquiera de estas situaciones obviará el uso del tipo de filtros a vacío. Otros pretratamientos, tales como el uso de adsorbentes selectivos o floculantes, afectarán la selección del filtro más en el Área de filtración y espacio de torta que en el estilo.

### 1.3 OPERACIONES QUE INVOLUCRA LA FILTRACION.

"Al analizar una operación que involucra la separación sólido-líquido, es esencial conservar la perspectiva del proceso completo. Demasiado frecuente se da el caso de que los ingenieros no poseen o disponen de la información adecuada para diseñar. Y sucede que así como se rehusarían a diseñar una columna fraccionadora, sin los datos termodinámicos necesarios, así también se mostrarían dispuestos a diseñar un filtro sin conocer la distribución del tamaño de partícula, las velocidades de sedimentación, la velocidad de formación de la torta, el contenido de humedad de la torta como una función de la presión o cualquier otra información importante. No es posible encontrar

datos experimentales en la literatura, ó manuales para el diseño de procesos de separación sólido-líquido, como se encuentran para las operaciones de transferencia de calor y destilación. Consecuentemente es necesario basarse en experiencias pasadas o investigar sistemáticamente las propiedades de la suspensión que se quiere separar (filtrar)" (ref 2). A continuación se transcribe una guía propuesta por Mompel Shirato y colaboradores (ref 2), como método general para abordar el análisis del problema de la separación sólido-líquido, especialmente cuando el sistema de filtración involucra la formación de torta.

#### 1. Especificación del Producto

- a) Claridad del filtrado: tamaño y cantidad permisible de la partícula en el filtrado.
- b) Sólidos: solubles en la torta, contenido de licor de la torta.
- c) Contaminación de la torta o filtrado.

#### 2. Propiedades de la suspensión y la torta.

- a) Distribución del tamaño de partícula: estimaciones semicuantitativas en ausencia de datos exactos.
- b) Fracción de masa y volumen de sólidos en la suspensión y la torta.
- c) Rapidez de formación de la torta en función de la presión y la velocidad de filtración.
- d) Propiedades Físicas y Químicas: presión de vapor, densidades, corrosividad, e interacción con ayudas de filtro.

3. Modificación de Propiedades de la Suspensión.

- a) Pretratamiento Químico: coagulación, floculación.
- b) Fragilidad de la partícula y degradación posible de las partículas originales o ya floculadas, por el bombeo, agitación o tratamiento mecánico.
- c) Espesamiento.
  - (1) Sedimentación por gravedad.
  - (2) Hidrociclones.
  - (3) Retardado de la formación de torta.

4. Lavado.

- a) Desplazamiento o remoción.
- b) Repulpado por contracorriente o en paralelo.

5. Remoción del licor.

- a) Efecto de la presión de filtración sobre la porosidad promedio de la torta.
- b) Efecto de la presión mecánica sobre la porosidad.
- c) Cambio de dirección del flujo (derecho o angulado en las prensas) que afectan un decremento en la porosidad.

6. Selección del equipo.

- a) Velocidades de producción.
- b) Limitación de las propiedades químicas o físicas.
- c) Filtros.
- d) Bombas.
- e) Medio filtrante o medio filtrante más precapa.
- f) Métodos de descarga.

## 7. Análisis del ciclo.

- a) Capacidad en función de las variables externas:  
longitud del ciclo, velocidad de rotación del tambor.
- b) Costo como una función de las variables que afecten la capacidad y la longitud del ciclo.

## B. Diseño y optimización.

De estos, algunos datos son críticos para varias etapas y deben ser obtenidos experimentalmente.

Ahora bien, considerando el hecho de que el filtro se encuentre instalado y operando, el objetivo deberá ser el de aumentar su rendimiento, lo que se puede lograr aumentando la caída de presión para el flujo o disminuyendo la resistencia al flujo. La mayor parte del equipo industrial disminuye la resistencia al flujo, permitiendo que el área de filtración sea lo más grande posible, sin aumentar el tamaño total del aparato de filtración. Este último efecto se puede lograr fácilmente mediante el uso de los materiales ayudas de filtro, como se verá en el capítulo V.10.

### I.4 MEDIOS FILTRANTES.

La superficie sobre la cual se depositan los sólidos se llama medio filtrante, y con frecuencia es la consideración más importante para asegurar el funcionamiento satisfactorio de un filtro.

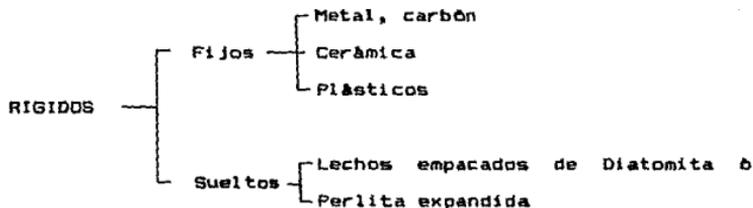
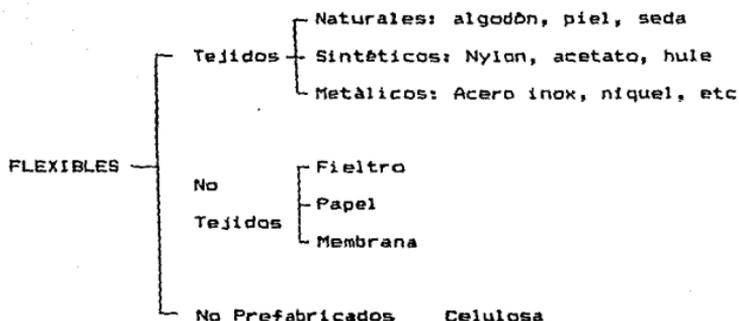
La elección se hace primordialmente por su capacidad para

retener los sólidos que se deben separar del fluido, con una duración aceptable en el ambiente en que debe funcionar. Frecuentemente esta selección se basa en experiencias pasadas. Dependiendo del grado de efectividad en la filtración se escoge el medio filtrante, es decir:

1. Filtración de torta: El medio debe retener los sólidos sin permitir taponeo ni excesiva emisión de partículas al principio. Otras características son:
  - Mínima resistencia al flujo de filtrado.
  - Resistencia al ataque químico.
  - Suficiente resistencia para resistir la presión de filtración.
  - Facilidad para descargar la torta y limpiarla.
  - Resistencia aceptable al desgaste mecánico.
  - Capacidad para conformarse mecánicamente al tipo de filtro en el que se emplea.
  - Costo mínimo.
2. Clarificación : El medio filtrante es el factor primario para lograr claridad. La elección se limita a materiales que remuevan todas las partículas abajo de un tamaño deseado.

#### 1.4.1 Clasificación.

Los medios filtrantes se pueden clasificar en: flexibles y rígidos; a continuación se exponen los mas comunes.



Dentro de los principales medios flexibles se encuentran los siguientes:

Tejidos:

- \* Algodón - Gran variedad de tejidos, uso muy común, muy bajo costo.
- \* Nylon - No es afectado por hongos, moho ó bacterias. Propiedades mínimas de absorción.
- \* Acero Inox - Tela de alambre, durable, resistente al taponeo, fácil de limpiar.

No tejidos:

- \* Filtro - Material fibroso, entrelazado mecánicamente para dar diámetro de poro específicos y controlar así el tamaño de partículas retenidas. Alta velocidad de flujo con caída de presión baja (su principal característica).
- \* Papel Kraft - Ofrece control de porosidad; limitada característica de absorción a un bajo costo.
- \* Asbesto - Se usa en filtraciones estériles.

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

La teoría de la filtración que a continuación se expone, se puede encontrar ampliamente explicada en los libros de consulta referidos en la bibliografía.

El flujo de fluidos a través de un filtro sigue las reglas básicas que gobiernan el flujo de cualquier líquido a través de un medio que ofrece resistencia.

$$\text{Velocidad de flujo} = \frac{\text{Fuerza Impulsora}}{\text{Resistencia}}$$

La complejidad aparente de las ecuaciones de filtración proviene del término de resistencia. La resistencia no es constante, ya que aumenta a medida que los sólidos se depositan en el medio filtrante.

Una expresión para ese cambio continuo de resistencia involucra, un balance de materia y los factores que expresen la

permeabilidad y el coeficiente de resistencia de la torta que crece continuamente.

"La resistencia al flujo esta dada por tres resistencias, que estan en serie y se manifiestan como caídas de presión, son:

- a) Resistencia de ductos y conexiones. En un filtro bien diseñado estas resistencias pueden despreciarse al compararlas con las de la torta y la del medio filtrante.
- b) Resistencia de la torta. Tiene un valor de cero al inicio de la filtración y se incrementa con el tiempo de filtración.
- c) Resistencia del medio filtrante. Esta resistencia asociada con la de la torta es la resistencia total del lecho" (ref 4).

"El flujo de filtrado a través de la torta, se puede describir con cualquiera de las ecuaciones generales para flujo a través de lechos empacados. En realidad, en casi todos los casos prácticos, el flujo es laminar y se parte de la ecuación de Carman-Kozeny.

$$\frac{(\Delta P)_r}{L} \frac{q}{c} = \frac{180 (1 - \epsilon)^2}{\epsilon^3} \frac{\mu v_s}{D_p} \quad (1)$$

Esta ecuación, relaciona la caída de presión a través de la torta ( $\Delta P$ ) con la proporción de flujo ( $v_s$ ), la viscosidad ( $\mu$ ), la porosidad ( $\epsilon$ ) y espesor de la torta ( $L$ ), y el diámetro de las partículas sólidas ( $D_p$ ). Sin embargo, para facilitar la aplicación de esta ecuación es necesario expresarla en función de

las variables mensurables de la filtración.

La forma mas usual es escribirla en términos del Área específica de las partículas, relacionandola con el diámetro de la siguiente manera:

$$D_p = 6 / (A_p/V_p) = 6 / S_o \quad (2)$$

donde:

$$S_o = \frac{\text{superficie específica de la partícula}}{\text{volumen de sólido}} = \{m^2 / m^3\}$$

Sustituyendo (2) en (1),

$$\frac{(-\Delta P)_r \mathcal{G}_c}{L} = \frac{5 (1 - \epsilon)^2 \mu v_f S_o^2}{\epsilon^3} \quad (3)$$

Resolviendo esta ecuación para la velocidad de flujo, obtenemos al despejar:

$$v_f = \frac{(-\Delta P)_r \mathcal{G}_c \epsilon^3}{5 L \mu S_o^2 (1 - \epsilon)^2} = \frac{1}{A} \left( \frac{dV}{d\theta} \right) \quad (4)$$

donde:

$$\frac{dV}{d\theta} = \text{Proporción de filtración} = \frac{\text{volumen filtrado}}{\text{unidad de tiempo}}$$

y,  $A$  = Área de filtración

Para poder integrar la ec (4) y obtener una relación útil para el proceso completo, solamente deberán aparecer dos variables en la ecuación. Sin embargo, en la forma en que se presentan en ésta, las cantidades  $V, \theta, L, (-\Delta P), S_o$  y  $\epsilon$  pueden variar. El espesor de la torta ( $L$ ) puede relacionarse con el volumen de filtrado por medio de un balance de material, puesto que el espesor será proporcional al volumen de alimentación

cargado al filtro.

$$L A (1 - \epsilon) \rho_s = w (V + \epsilon L A) \quad (5)$$

donde:

$\rho_s$  = densidad de los sólidos en la torta

w = peso de sólidos en la suspensión de alimentación por volúmen de líquido en esta suspensión.

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

El último término de la ec (5), ( $\epsilon LA$ ), representa el volúmen del filtrado contenido en la torta. Este volúmen generalmente es infinitesimal comparado con V, o sea el filtrado que ha pasado a través de la torta. Suponiendo este término despreciable y combinando la ecuación (4) con la (5), se elimina el término de L, y tenemos que,

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{(-\Delta P)}{5 \frac{wV}{A \rho_s}} \frac{\partial \epsilon}{(1 - \epsilon) S_0^2} = \frac{(-\Delta P)}{\alpha \mu w V} \frac{\partial \epsilon}{A} \quad (6)$$

donde,  $\alpha$  es la resistencia específica de la torta, definida como,

$$\alpha = \frac{5 (1 - \epsilon) S_0^2}{\rho_s \epsilon^3} \quad (7)$$

La ecuación (6) es la ecuación básica de filtración, en términos de la caída de presión a través de la torta de filtrado. El agrupamiento de todos los términos relacionados con las propiedades de la torta en una resistencia específica de la misma, no implica que la resistencia " $\alpha$ " será constante para una determinada suspensión, independientemente de la caída de presión

o del tamaño del filtro usado. Esto se debe a que precisamente la fracción vacía o porosidad "ε" generalmente varía conforme el esfuerzo de consolidación (compactación) que se aplica a la torta. Este esfuerzo será directamente proporcional a  $(-\Delta P) / L$ , y, puesto que "L" varía a lo largo del proceso, entonces "ε" también debe variar. Además tanto "ε" como  $S_o$ , son sensibles al grado de floculación del precipitado en la alimentación.

No obstante, en la mayor parte de las filtraciones a presión cte,  $\alpha$  es constante excepto en los momentos iniciales de la filtración, cuando la proporción del flujo es muy alta y aún no se ha fijado la forma de la torta. En la práctica, para muchas tortas,  $\alpha$  es relativamente insensible a los cambios de  $(-\Delta P)$ . Se dice que dichas tortas son incompresibles, a pesar de que posiblemente no exista una torta que sea completamente incompresible" (ref 5).

En la ec (6) tanto la fuerza direccional como la resistencia se aplican solamente a la torta. Sin embargo, como ya se mencionó, la resistencia al flujo también incluye a la resistencia de los ductos y conexiones, y a la resistencia del medio filtrante (medidos por cualquier  $\Delta P$ ), que juntas hacen una resistencia total que al incluirse en la ecuación (6) nos da la siguiente expresión, conocida también como la "ecuación de Poiseuille".

$$\frac{1}{A} \left( \frac{dV}{dt} \right) = \frac{(-\Delta P) \partial c}{\mu \left( \frac{\alpha W V}{A} + R_m \right)} \quad (8)$$

donde  $R_m$  se expresa en unidades de  $(\text{longitud}^{-1})$  y representa la resistencia del medio filtrante principalmente, y de la tubería al

flujo del filtrado. Se sabe que la diferencia de presión y tal vez la velocidad de flujo la afectan, y que un medio filtrante viejo y usado tiene una resistencia mucho mayor que uno nuevo y limpio. Dado que generalmente la resistencia del medio sólo es importante durante los primeros instantes de la filtración, es satisfactorio suponer que  $R_m$  es constante durante una filtración dada y así poder determinar empíricamente su valor a partir de datos experimentales, aunque varía un poco de un experimento a otro aun tratándose de la misma suspensión y equipo. Cuando  $R_m$  se considera como cte empírica, incluye también la parte debida a las conexiones y tubería.

La ecuación (8) ha sido integrada bajo varias suposiciones. Estas formas integradas pueden utilizarse para predecir efectos de cambio de procesos y para evaluar trabajos de prueba. La interpretación de esta ecuación conduce a un conjunto general de reglas:

1. Un incremento de presión generalmente produce un aumento proporcional de flujo, pero para tortas muy compresibles, floculantes o precipitados mucosos (limosos), dicho incremento de "P" puede disminuir o aún terminar el flujo.
2. Un incremento en el área de filtración aumentará el flujo en proporción al cuadrado del área, ya que el espesor de la torta y su resistencia se ven reducidos.
3. La velocidad del flujo del filtrado en cualquier momento es inversamente proporcional a la viscosidad,  $\mu$ .

4. La resistencia de la torta es función de su espesor, por lo tanto, la velocidad media de flujo es inversamente proporcional a la cantidad de torta depositada.
5. El tamaño de partículas de la torta afecta el flujo por medio de la resistencia específica de la torta  $\alpha$ . Si el tamaño de las partículas disminuye, entonces se obtendrán valores más altos de  $\alpha$  y proporcionalmente más bajas velocidades de filtración.
6. En filtración de torta la resistencia del medio filtrante, es casi siempre despreciable = 0.1.  
En clarificación,  $R_m$  es la resistencia primaria y la velocidad de flujo es inversamente proporcional a ésta.

Con la ecuación (8) ya estamos en posibilidad de encontrar una relación que solo incluya a dos variables para que pueda ser integrada, siempre que la  $(-\Delta P)$  y  $\alpha$  puedan relacionarse a las variables de volumen (V) y tiempo (t). Como ya se hizo mención, existen varias suspensiones para las cuales  $\alpha$  es prácticamente constante a lo largo del ciclo de filtración. En la discusión que se presenta a continuación, solamente se consideran aquellas suspensiones que forman tortas incompresibles, situación que se puede lograr mediante la adición de ayudas de filtro. Así pues,  $\alpha = \text{constante}$ .

La variación de  $(-\Delta P)$  durante el ciclo de filtración, depende del procedimiento de operación y del tipo de filtro usado. En los filtros de arena  $(-\Delta P)$  varía con la altura del líquido, sobre el lecho de filtración. En los rotatorios a vacío,

será constante con un valor ligeramente menor a 1 atm. En los filtros prensa y en los filtros de recipiente a presión, puede variar a voluntad del operador, claro esta que dentro de los límites del equipo.

### 1.5.1 Constantes de Filtración.

El operador puede controlar la presión a un valor fijo durante toda la corrida. Este puede ser el método mas sencillo de operación, si la suspensión se alimenta a partir de un tanque a presión o por medio de presión hidrostática desde un tanque de almacenamiento.

Manteniendo cte la presión, la velocidad de filtración irá disminuyendo conforme ésta transcurre y la torta aumenta. Bajo estas condiciones podemos calcular las constantes de filtración, partiendo de la ec (8) y reescribiendola como sigue:

$$\frac{de}{dV} = \frac{\mu \alpha w}{\Delta P g_c A^2} V + \frac{\mu R_m}{\Delta P g_c A} \quad (9)$$

que para tortas incompresibles y a "P" cte, puede interpretarse como la ecuación de una recta con unicamente dos variables, "V" y "e", en la forma,

$$\frac{de}{dV} = K_1 V + K_2 \quad (10)$$

siendo:

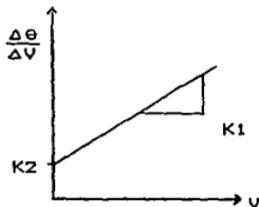
$$K_1 = \frac{\mu \alpha w}{\Delta P g_c A^2} \quad \text{la pendiente} \quad (11)$$

$$K_2 = \frac{\mu R}{AP \beta_c A} \quad \text{la ordenada} \quad (12)$$

Estas dos constantes,  $K_1$  y  $K_2$  son las llamadas constantes de filtración y "pueden calcularse a partir de datos experimentales de volúmen y tiempo, medidos a presión cte, tabulandose como sigue" (ref 2):

$v$	$\Delta v$	$\theta$	$\Delta \theta$	$\Delta \theta / \Delta v$
-----	------------	----------	-----------------	----------------------------

Considerando que  $(d\theta / dv) \approx \Delta \theta / \Delta v$ , y graficando contra el volúmen filtrado " $v$ ", entonces se pueden calcular los valores de  $K_1$  y  $K_2$  en forma gráfica.



o bien, aplicando una simple regresión lineal con la ayuda de una calculadora.

## **II. FILTRACION CON AYUDAS DE FILTRO.**

## II.1 QUE ES UN AYUDA DE FILTRO.

Es un material sólido inerte que sirve, a veces como un material obligado o necesario y otras como una alternativa, para la buena filtración de soluciones líquidas. Ya sea prolongando el tiempo de operación efectiva (Ciclo de filtración), mejorando la calidad del filtrado, aumentando el flujo o bien cualquier combinación de las anteriores.

De acuerdo con Perry y Chilton (ref 1), un ayuda de filtro es "un material granular o fibroso, capaz de formar una torta permeable, dentro de la que se incluirán los sólidos que causen dificultades. Su uso puede permitir la conversión de una clarificación que emplea un medio profundo a una filtración de torta, empleando un medio de tela ligera o metal entrelazado, con una economía y un rendimiento iguales o mejores".

### II.1.1 Como Actúa.

Actúan alterando la distribución del tamaño de las partículas contenidas en una suspensión, desplazando o alterando su estado de agregación. Los ayudas de filtro forman y mantienen una superficie fina que tamiza los sólidos no permeables o compresibles, previniendo así su unión compacta o taponeamiento, dando lugar a una torta muy porosa e incompresible.

## II.2 REQUISITOS PARA UN AYUDA DE FILTRO.

Los requerimientos que debe de cumplir un ayuda de filtro son los siguientes:

- Ser de baja densidad volumétrica, para minimizar su tendencia al asentamiento.
- Tener una adecuada distribución de tamaños y formas de partículas individuales para lograr formar una torta permeable e incompresible.
- Ser químicamente inerte e insoluble bajo las condiciones de operación.

### II.3 TIPOS DE AYUDAS DE FILTRO.

Los principales tipos de ayuda de filtro son los que se exponen en la tabla II.1.

De estos, los dos ayudas de filtro con mayor demanda comercial son los que están hechos a base de diatomita y los hechos a base de perlita.

"El sílice diatomáceo soporta niveles ligeramente más extremados de pH que la perlita y se sostiene que es un poco menos compresible" (ref 1).

#### II.3.1 DIATOMITA.

La diatomita o tierras de diatomáceas son los esqueletos de plantas acuáticas unicelulares llamadas diatomeas. Su estructura es porosa y compuesta principalmente por sílice. Sus restos fósiles se encuentran abundantemente en los terrenos llamados aluviales, es decir, constituidos por materiales acarreados por los ríos, o en el suelo de mares y lagos.

En el capítulo III se da una explicación más descriptiva

Tabla II.1 Propiedades de los materiales Ayudas de filtro.

Material	Composición Química	Ventajas	Desventajas
Tierra Diatomacea	Sílice	Disponibilidad de diferentes tamaños de partícula. Su finura puede corregirse por calcinación.	Ligeramente soluble en ácidos y álcalis.
Perlita Expandida	Sílice y sílica- tos de aluminio.	Diferentes tamaños de parti- cula. No retiene finos como la diatomita. Menor densidad que la diatomita.	Mas soluble que la diato- mita en ácidos y álcalis. Puede dar tortas altamen- te compresibles.
Celulosa	Celulosa	Principalmente se emplea para precapas. Alta pureza. Excelente resistencia quími- ca, ligeramente soluble en álcalis diluídos y fuertes. No se diluye en ácidos.	Precio elevado.
Carbón	Carbón	Puede usarse para la filtra- ción de soluciones fuertemen- te alcalinas.	Solo aplicable en grados gruesos. Precio elevado.

Fuente: Matterson and Orr, Filtration Principles.

sobre su origen y explotación.

### II.3.2 PERLITA.

La perlita es una roca riolítica volcánica de aspecto vidrioso con lustre perlado. Presenta numerosas grietas concéntricas. Químicamente es un silicato fundido de sodio, potasio y aluminio amorfo con la siguiente composición:

SiO <sub>2</sub>	71% - 75%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12% - 18%
K <sub>2</sub> O	4% - 6%
Na <sub>2</sub> O	4% - 6%
CaO	0.1% - 1%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1% - 1%

El color de la mena varía de un gris ligero transparente a un negro vidrioso. La perlita expandida varía de un color blanco nieve a un blanco grisáceo, se considera químicamente inerte y tiene un pH cercano a 7 en solución.

Comercialmente el término perlita incluye al producto expandido. Los ayudas de filtro están elaborados con perlita expandida.

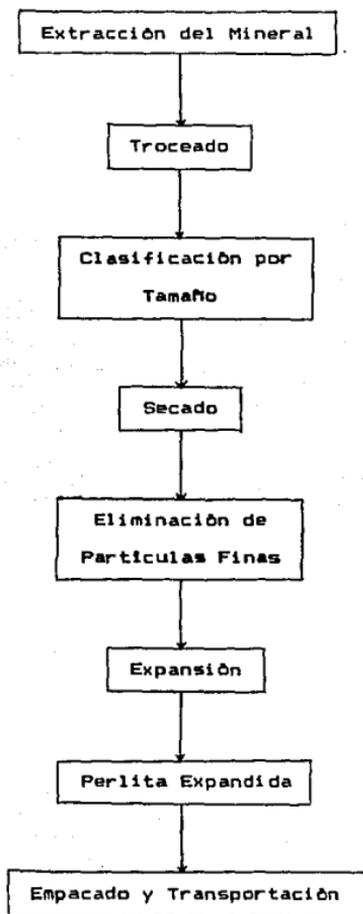
#### II.3.2.1 Proceso de Obtención.

EL proceso de obtención y procesamiento de la perlita se explica en el diagrama de la figura II.1.

#### Extracción.

La perlita se extrae mediante excavaciones. Los depósitos

Figura II.1 Extracción y procesamiento de Perlita.



comerciales se encuentran en forma de mantos de lava que se extienden en la superficie del terreno y están cubiertos por sedimentos.

#### Procesamiento.

El proceso de expansión se resume a continuación: La perlita cruda se somete a un proceso físico para la eliminación de materia orgánica y para pulverizarla. Estas partículas se calientan a una temperatura de alrededor de 1100°C, según el punto de ablandamiento del material que se procese, hasta adquirir una consistencia suave. Del 2% al 5% del agua combinada se evapora y el vapor expande las partículas formando espuma. La perlita expandida puede adquirir la forma de un material esponjado altamente poroso. Posteriormente se saca por succión y se clasifica por tamaño. Los grados de perlita expandida se obtienen combinando los ciclos de calentamiento, el tamaño de las partículas que se alimentan al horno así como por los seleccionadores finales de tamaño.

Las especificaciones para la perlita que se usa como ayuda de filtro son determinadas por los fabricantes. Ver tabla II.2.

#### II.3.3 CARBÓN Y CELULOSA.

Estos dos materiales por su parte se emplean como ayuda filtros en menor escala, especialmente debido al precio tan elevado que tienen. Sin embargo hay algunas aplicaciones en las que su uso es necesario, tal es el caso del carbón que resulta ser el mejor ayuda de filtro para la filtración de soluciones

Tabla II.2 Propiedades típicas de los Ayudas de Filtro de Perlita fabricados por Dicalite de México, S.A. de C.V.

---

Grado	Densidad de torta lbs/ft <sup>3</sup>	Retenido		Peso especifico	pH	Color
		U.S std malla-150 %				
427	23.0			2.3	7.0-7.5	Blanco
447	16.0	8.0		2.3	7.0-7.5	Blanco
477	15.0	15.0		2.3	7.0-7.5	Blanco
4107	14.5	18.0		2.3	7.0-7.5	Blanco
4127	13.0	30.0		2.3	7.0-7.5	Blanco
4147	12.0	30.0		2.3	7.0-7.5	Blanco
4187	11.5	35.0		2.3	7.0-7.5	Blanco

---

fuertemente alcalinas, en donde la diatomita y aun más la perlita resultan materiales atacables. Así también la celulosa es un ayuda de filtro frecuentemente empleado para la formación de "precapa" sobre el tamiz filtrante, además de ser un material frecuentemente utilizado para la elaboración de hojas ó tamices con diferentes porosidades. Tipos y grados especiales pueden ser fabricados a partir de mezclas de fibra de celulosa con diatomita o perlita.

#### II.4 PORQUE SE USAN.

Los ayuda filtro son ampliamente utilizados en industrias tales como las Cervecerías, Fábricas de Aceites Comestibles, Refresqueras, Refinadoras de Azúcar, Fábricas de Productos Farmacéuticos y Químicos, Fábricas de Glucosa, etc; donde la filtración constituye parte importante del proceso. Por ejemplo en etapas finales de elaboración, cuando el producto que se filtra, prácticamente se está obteniendo con la misma calidad con que saldrá como producto terminado al mercado. O bien, simplemente porque algunas sustancias gelatinosas ó limosas altamente compresibles, forman tortas impermeables de alta resistencia al flujo del líquido, llegando en un muy corto tiempo a taponar el filtro por la acumulación de sólidos.

Esto recalca la importancia del porque en ocasiones, para lograr la calidad y/o la cantidad deseada, es necesario hechar mano de un extra para aumentar el rendimiento de un equipo. En este caso ese extra es pues el ayuda de filtro y el equipo el filtro mismo.

Como se mencionó anteriormente, un ayuda filtro puede mejorar o simplemente alcanzar la calidad deseada del filtrado, pero en la mayoría de los casos su principal justificación, además de la calidad, será la capacidad que tiene para proporcionar ciclos de filtración con mayor rendimiento. Y esto es un rendimiento palpable que reporta un beneficio en los costos de operación para el mismo equipo, evaluandolo contra la alternativa de no usar el ayuda de filtro, o de usar alguno que no sea el adecuado.

## II.5 COMO SE EMPLEAN.

La aplicación o uso de los ayudas de filtro tiene algunas variantes que dependen primero de sus características propias, del costo y rendimiento, y de las condiciones de operación y la solución que se pretende filtrar.

Sin embargo, independientemente de esto, la filtración con ayuda de filtro consta de dos etapas de operación.

- 1) PRECAPA O PRERECUBRIMIENTO.
- 2) DOSIFICACION.

Estas dos etapas se deben seguir siempre que se emplee un ayuda de filtro, excepción hecha del filtro rotatorio a vacío en el que únicamente se lleva a cabo la operación de formación de precapa.

### II.5.1 Sistema de Filtración usando Ayuda de Filtro.

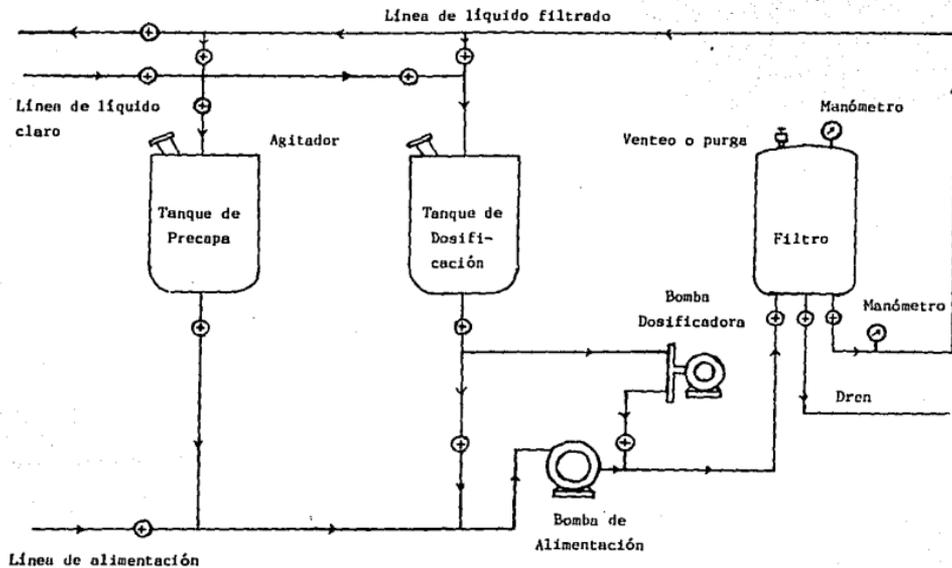
Aquí cabe hacer la aclaración de que los ayudas de filtro se emplean tanto en sistemas que trabajan a presión, como en sistemas que operan a vacío.

Primeramente se presenta el sistema cuando la filtración se lleva a cabo en un filtro de presión y posteriormente se expone el caso particular de los filtros rotatorios de precapa a vacío.

Las partes esenciales de un sistema de filtración a presión en el que se utiliza un ayuda de filtro, se muestra en la figura II.1 (ref 17), y son:

- El Filtro
- La Bomba de Alimentación del Filtro.
- El Tanque de Precapa.

Fig II.2 Sistema de filtración a presión, en el que se emplea ayuda de filtro.



- El Tanque de Dosificación de Ayuda de Filtro.
- La Bomba Dosificadora.

Desde luego que hay que considerar toda la tubería que se emplea para las líneas de conexión al filtro y de retorno a los tanques. Además notese la línea que llega para llenar los tanques de precapa y dosificación con líquido limpio. El sistema puede incluir una bomba especial solo para la recirculación de la precapa, así como líneas auxiliares para soplar el remanente de líquido que queda en el filtro al tanque de dosificación.

Igualmente las líneas que conecten con el filtro para llenar y circular líquido de lavado y/o alguna línea de gas (aire, gas inerte o vapor) que entra por la alimentación del filtro para soplar la torta de filtración que queda al cabo del ciclo, con el fin de minimizar las pérdidas por absorción.

En caso de que no exista tanque de dosificación, ésta puede hacerse agregando el polvo directamente al tanque o depósito donde se encuentra el líquido que se va a filtrar. Cuando la dosificación se hace con tanque dosificador, la suspensión se conecta a la línea de alimentación por medio de bombas de diafragma o de émbolo.

#### II.5.2 Tanque de Precapa y Tanques Dosificadores (ref 17).

Estos son tanques de acero inoxidable, cuyo tamaño depende de las dimensiones y capacidad del filtro. Están equipados con agitadores de aspas que giran aproximadamente a 50 rpm ó con agitadores del tipo de propulsión con cuchillas grandes, de baja velocidad. Así, una vez vaciado el ayuda filtro al tanque, es

fácil mantenerlo en suspensión. Los tanques deben tener fondos cóncavos, cónicos o inclinados de modo que la lechada se descargue por el fondo mismo del tanque aprovechando toda la mezcla y evitando los acumulamientos por sedimentación, y para que la operación de precapa requiera una cantidad menor de líquido durante la recirculación entre el tanque de precapa y el filtro.

Los tanques de precapa deben tener un 125% del volumen del filtro (incluyendo tuberías de conexión), de manera que una pequeña cantidad residual permanezca en el tanque después de que se ha llenado el filtro con la suspensión de precapa. La línea de retorno del filtro al tanque de precapa debe quedar en el fondo del tanque para impedir que entre aire al líquido. Si es necesario, deben instalarse deflectores para impedir que se formen remolinos y para que no se introduzca aire en el filtro.

El tanque debe quedar lo suficientemente alto sobre la bomba de circulación de precapa, y la línea que va hacia la bomba debe ser lo suficientemente larga como para proporcionar una presión positiva en el lado de succión de la bomba.

#### II.5.3 Bombas de Alimentación del Filtro (ref 17).

Las bombas centrifugas se emplean casi universalmente, ya que no producen pulsaciones que alteren la torta del filtro. No obstante estas bombas tienen dos desventajas: su alta velocidad, que tiende a romper grandes sólidos acumulados, haciéndolos más difíciles de filtrar; y su reducción del flujo de salida a medida que aumenta la presión. Para reducir al mínimo la degradación de

impurezas, deben usarse bombas de baja velocidad (1800 rpm) con impulsores abiertos. Cuando los sólidos son grandes y grumosos, es conveniente usar una bomba de pistón de etapas múltiples provista de cámaras de aire de suficiente capacidad. Las bombas aspirantes e impelentes, deben tener válvulas de bola. Las bombas de engranes pueden usarse cuando los sólidos no son abrasivos y no esté presente el ayuda de filtro. Comparadas con las bombas centrífugas, estas últimas rinden un flujo constante bajo una carga hidrostática variable.

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

#### II.5.4 PRECAPA.

La precapa es una cantidad fija de ayuda filtro expresada en masa por unidad de área filtrante (pueden ser gr/m<sup>2</sup>). Dicha cantidad se emplea para formar una capa delgada de ayuda filtro sobre el medio filtrante (tamiz) que forma la hoja o placa de filtración; el espesor que adquiere depende de su densidad volumétrica, siendo las mas delgadas las formadas con fibra de celulosa y las mas dobles las formadas con perlita.

Para la formación de la precapa se emplea líquido limpio, filtrado, sin impurezas. Por ejemplo, cuando la solución que se va a filtrar es acuosa, entonces para la mezcla o lechada de precapa se puede utilizar agua limpia, que sera la presentación mas limpia del líquido ó solución que se pretende filtrar; esto a

veces no es conveniente por el hecho de diluir mas el filtrado que después tiene que concentrarse, como sucede en algunos casos, con el consiguiente gasto de energía.

Para la apropiada preparación de la precapa se recomienda la implementación de el tanque de precapa.

#### II.5.4.1 Objetivos de la Precapa (ref 17).

La precapa tiene las siguientes finalidades:

- A) Evitar que la tela se obstruya con impurezas con lo que se prolonga su duración considerablemente.
- B) Proporcionar claridad inmediata.
- C) Facilitar la limpieza del tamiz (malla, tela, papel, etc) al finalizar el ciclo.

#### II.5.4.2 Formación de la Precapa.

La precapa se forma haciendo circular una suspensión mezcla de ayuda de filtro y liquido filtrado, entre el filtro y el tanque de precapa. Al principio las partículas pasan a través del tamiz que hace la hoja, pero los que se vayan deteniendo sobre la misma servirán para soportar a los demás mediante un mecanismo de puenteo de unos sobre otros, figuras II.2 y II.3.

Estos puentes pueden ser destruidos por burbujas de aire, cambios bruscos en la presión o vibraciones, lo que hace que el liquido a la salida del filtrado salga turbio hasta que estos defectos sean corregidos. Para que la distribución de la precapa en el filtro sea buena, se llena éste con liquido limpio y luego

se bombea o inyecta la suspensión concentrada de ayuda filtro en el filtro seguido por la recirculación.

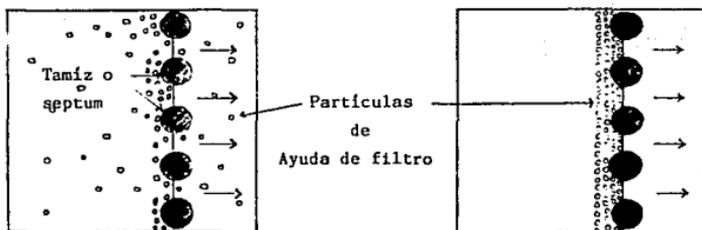


Fig II.2 Precapa Formandose

Fig II.3 Precapa Formada

La velocidad con que se forme la precapa dependerá principalmente de la viscosidad del líquido tratado y de las características y/o propiedades del ayuda filtro (granulometría, densidad, etc). Dicha velocidad debe ser suficiente como para mantener el ayuda de filtro en suspensión durante el recorrido hasta su incorporación en la precapa (evitando su deposición en la tubería), aunque evitando ser alta velocidad ya que puede tirar la torta en el interior del filtro. "Una regla general para formar la precapa es mantener un flujo que garantice una presión diferencial de aproximadamente 0.15 kg/cm<sup>2</sup> (2 lb/pulg). Si se trata de un filtro con tanque a presión, la suspensión de ayuda filtro se puede mejorar haciendo recircular parcialmente la suspensión desde la parte superior del filtro hacia el tanque de precapa" (ref 17).

La recirculación del líquido para formar la precapa, debe mantenerse hasta lograr que el líquido en el tanque de precapa se torne limpio y clarificado.

#### II.5.4.3 Cantidad de Precapa.

Las cantidades que se emplean para la formación de la precapa dependen principalmente de la densidad y granulometría del material, así como también del área filtrante que se pretende cubrir. No obstante, cantidades grandes pueden ser demandadas en caso de que la distribución del flujo dentro del filtro no sea buena. Normalmente se busca que la precapa sea aquella cantidad suficiente para cubrir por completo el área filtrante y además proporcione un espesor lo suficientemente resistente para proteger y conservar el tamiz filtrante.

Por ejemplo, con celulosa se usan cantidades que pueden ser desde 50 g/m<sup>2</sup>, aunque normalmente se parte de una base de 250 g/m<sup>2</sup>, dependiendo del material de que este hecho la hoja filtrante y del tamaño de la fibra de celulosa. Mientras que para las tierras filtrantes como la diatomita y la perlita, se usan cantidades que van de 500 a 1000 g/m<sup>2</sup>.

La concentración de la suspensión para la precapa dependerá principalmente de la relación de área a volumen de filtro. Una concentración pobre en ayuda filtro puede resultar difícil para formar la precapa, ya sea que no alcance a cubrir toda el área, que tarde demasiado tiempo en formarse, ó simplemente que no se forme porque el puenteo depende en gran parte del efecto de aglomeración de las partículas que pasan a través de las

aperturas del tamiz o tela.

#### II.5.4.4 Problemas en la formación de la Precapa (ref 17).

Si las circunstancias indican que la precapa no clarifica, esto puede deberse a alguna de las siguientes razones:

- Purga inadecuada del filtro.
- Erosión de la precapa originada por la recirculación demasiado rápida.
- Obstrucción del tamiz filtrante.
- Precapa insuficiente en la parte superior de las hojas originado por una recirculación muy lenta.
- Roturas en el tamiz.
- Mallas viejas con alambres muy gastados ó separados.
- Orificios entre el tamiz y el borde de la hoja.
- Empaquetaduras inadecuadas entre la boquilla de descarga de la hoja y el tubo de descarga.
- Arrugas en el tamiz.
- Presión negativa en el tubo de descarga que origina el escurrimiento de la precapa en la hoja.

#### II.5.5 DOSIFICACION.

La dosificación es quella cantidad de ayuda filtro necesaria para proporcionar y mantener la permeabilidad de la torta filtrante, ver figura II.4. La dosificación se agrega desde para hacer posible la filtración, hasta para simplemente aumentar el rendimiento de un equipo en su ciclo de filtración, pasando por

el hecho de también poder mejorar la calidad del filtrado.

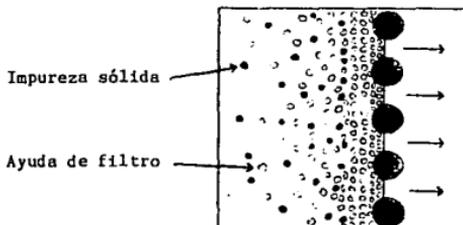


Fig II.4 Filtración con Precapa y Dosificación.

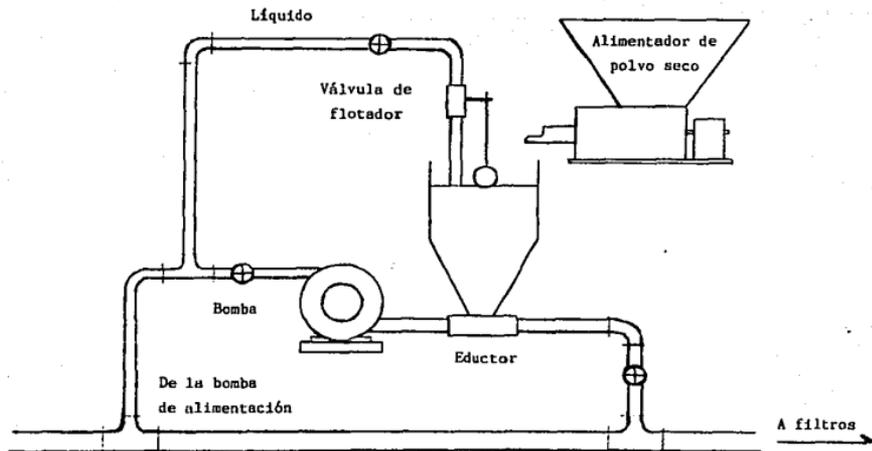
#### II.5.5.1 Objetivo de la Dosificación.

Mantener la permeabilidad de la torta filtrante, proporcionando un flujo y calidad de filtrado óptimos.

#### II.5.5.2 Adición de la Dosificación.

La dosificación de ayuda filtro debe hacerse en forma seca o en suspensión. En forma seca quiere decir que se agrega directamente a la solución que se quiere filtrar, descargandole directamente al tanque de líquido sin filtrar o mediante un sistema como el que se muestra en la figura II.5. Vía suspensión significa que, en un tanque aparte se prepara la mezcla de ayuda filtro con líquido clarificado para luego ser inyectada a la línea principal de alimentación al filtro. La concentración de la suspensión puede llegar hasta un 10% pero se recomienda mantenerla a un 5%.

Fig II.5 Sistema de dosificación vía seca.



Conociendo la concentración y la razón de flujo de la línea de alimentación, se puede calcular la dimensión y/o capacidad del tanque dosificador, así como la velocidad de inyección de la bomba dosificadora; y si es en seco, entonces se regula la velocidad de la tolva dosificadora.

"Cualquiera que sea el sistema usado, éste debe reunir las siguientes características:

1. Bajo costo de mantenimiento.
2. Régimen de alimentación constante minuto a minuto.
3. Debe tener un elemento para regular la velocidad de alimentación de la dosificación mientras el sistema esta funcionando. El régimen de alimentación debe ser constante en cada ajuste.
4. No debe degradar la estructura de la partícula del ayuda filtro (los sistemas que requieren de circulación constante de la suspensión, durante largos periodos de tiempo, suscitan este problema por lo cual no se recomiendan)" (ref 17).

"Para la correcta inyección de la suspensión de dosificación se emplean las bombas dosificadoras (de pistón o de diafragma). Estas trabajan mejor operando continuamente, y se sugiere recircular la suspensión hacia el tanque de dosificación cuando el filtro se esta lavando.

Las bombas de pistón deben tener pistones de cerámica (que son mas resistentes al desgaste) y puede ser conveniente hacer conexiones sobre empaquetaduras para facilitar su limpieza. Si la bomba es de diafragma y tiene una sola conexión de entrada y

salida que viene de la cámara del diafragma hacia una válvula check, la conexión de entrada salida deberá quedar en el fondo de la cámara de diafragma para impedir la acumulación de ayuda filtro en la misma.

Operando una bomba a un mínimo de 50% del total del golpe ó recorrido del pistón, aseguramos que siempre será suficiente para prevenir la sedimentación en la cámara y las válvulas check".

### II.5.5.3 Cantidad de Dosificación.

La cantidad de ayuda filtro que se emplea para dosificar depende principalmente de la cantidad de sólidos presentes que nos interesa remover del líquido turbio y se calcula en base a prueba y error.

Por lo tanto es necesario que primero se determine la cantidad de sólidos que contiene el líquido que se quiere filtrar, a través de algún método lo mas sencillo posible. Algunos de estos métodos son (ref 17):

- Por centrifugación de una muestra de suspensión.
- Nefelómetro: instrumento que mide el grado de dispersión de la luz (efecto Tyndall) en suspensiones diluidas.
- Filtrando una muestra de líquido en un papel o membrana fino filtrante fino utilizando vacío y un kitasato; el medio se pesa en seco antes y después de la filtración.
- Análisis químico.

Igualmente se deben establecer los límites (rango) y la forma de evaluar la calidad del filtrado.

Una vez que se tiene la referencia del % de sólidos no disueltos presentes, entonces se puede calcular la cantidad de ayuda filtro necesario para lograr una buena separación. Así pues, la dosificación de ayuda filtro se expresa con relación a los sólidos de la siguiente manera, Ayuda de Filtro : Sólidos, que significa "cuánto de ayuda filtro por unidad de sólidos".

Esto es que por ejemplo, si tenemos un líquido cuyo contenido de sólidos es de aproximadamente 1% en peso, podemos empezar a probar dosificando una cantidad igual pero de ayuda filtro, es decir otro 1%, lo que nos daría una relación de dosificación, 1:1.

Conociendo el contenido de sólidos cada vez antes de filtrar, es posible optimizar aún más el uso de las ayudas de filtro.

## II.6 OPERACION CON AYUDAS DE FILTRO.

Es importante que en el arranque de un ciclo de filtración a presión, primero se llene el filtro y se ventee, para desalojar gases atrapados, recirculando con el líquido filtrado que se usará para la lechada de precapa.

Una vez clarificado el líquido de la precapa, el filtro se pone en marcha, conectando la bomba dosificadora si la hay, abriendo la línea de la bomba de alimentación del filtro y cerrando simultáneamente la línea de la bomba de recirculación de la precapa, de modo que el flujo sea continuo a través del filtro y sin fluctuaciones bruscas en la presión. Si la precapa se forma con líquido filtrado, el tanque de precapa se vuelve a llenar

inmediatamente dirigiendo todo o parte del flujo de salida hacia éste. Puede también llenarse al final del ciclo, pero esto podría ocasionar problemas ya que el flujo a través del filtro puede detenerse repentinamente, requiriendo así mucho tiempo para llenarlo.

Una opción para descargar el líquido de precapa del filtro (sobre todo en aquellos casos donde no se desea mayor dilución), es utilizar aire u otro gas para impulsar el líquido a través de las placas ó a través de una válvula de drenaje en el fondo del tanque de presión. Al mismo tiempo que el aire se impulsa a través de las hojas, la torta se mantiene en su lugar. Pero esto es muy arriesgado cuando la torta está en posición vertical, pues se puede agrietar y debido al poco tiempo que tiene presurizandose, se desprende más fácilmente. "Prácticamente es imposible impulsar en forma hidráulica una cantidad considerable de líquido a través de las hojas. Después de que todo el líquido de precapa se retira del filtro, éste se puede llenar con líquido sin filtrar para proceder con la operación de filtración" (ref 22).

Un punto muy importante en la operación, máxime cuando se utiliza ayuda filtro, es la descarga de la torta y el lavado del tamiz. Es determinante que para que el rendimiento del equipo no se merme, después de cada ciclo se laven las placas y el interior del filtro.

Al cabo de un periodo de tiempo la torta ha estado sometida a una presión que la compacta contra las placas, es normal que al final se mantenga aun adherida al tamiz. Además, en la mayoría de los casos, al final del ciclo el líquido remanente es impulsado

mediante una corriente de gas a presión, hasta extraer el líquido que queda absorbido en la torta (soplado de la torta). Por ello, algunos filtros están equipados con sistemas de descarga automáticos, para descargar la torta por vía húmeda ó por vía seca, pero esto ya depende del tipo y modelo del filtro. En el capítulo IV se explica para cada tipo de filtro en general.

## II.7 COMO SE SELECCIONA UN AYUDA DE FILTRO.

### Consideraciones Básicas.

"Un ayuda de filtro eficiente y económico debe:

- 1) Tener partículas individuales fuertes y porosas formadas, integralmente.
- 2) Formar una torta de filtración incompresible, rígida y altamente permeable.
- 3) Eliminar los sólidos más finos a altas velocidades de flujo.
- 4) Ser químicamente inerte e insoluble" (ref 17).

Ahora bien, la decisión final se hace por prueba, es decir corriendo pruebas de filtración en campo, con los distintos grados de ayuda filtro.

Se dice que el ayuda filtro que tenga el tamaño de partícula más similar al de las partículas de impurezas, es el que mejor funcionará.

"Sin embargo, resulta bastante difícil determinar el tamaño de partícula que será eliminado por cualquier tipo de ayuda filtro. En primer lugar se debe especificar el método para medir

el tamaño de partícula. Como por sedimentación, que determina el diámetro pero no la forma de la partícula, o por examen visual de la partícula a través de un microscopio electrónico, ó bien por ambos. Aun así, los sólidos que pueden eliminarse de un líquido no siempre pueden eliminarse de otros de la misma manera, ya que las características de aglomeración son diferentes para diferentes líquidos. Esto es, si se usan pruebas de sedimentación, se puede asentar una partícula de forma irregular a la misma velocidad que una partícula más ligera en forma de esfera que tenga un diámetro real mucho más pequeño. Aunque las últimas son partículas que aparentan tener el mismo tamaño mediante sedimentación, requieren de un grado de ayuda de filtro mucho más fino para ser retenidas. Por ejemplo, una partícula filamentosas se eliminaría fácilmente si se aproxima a la torta filtrante por un costado, pero si se aproxima en punta, se iría a través de dicha capa. Así mismo una partícula suave podría introducirse a través de la torta del filtro, mientras que una partícula rígida del mismo tamaño no lo haría.

En la mayoría de los casos es tal la variedad de tamaños de partículas de los sólidos no disueltos que, cualquier grado más fino de ayuda filtro aumentará la claridad. Sin embargo, si un ayuda filtro elimina el 100% de los sólidos no disueltos, un grado más fino, si bien da un flujo menor debido a su fina estructura, no aumentará la claridad" (ref 17).

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

proporciona la mayor velocidad de flujo (o mayor rendimiento de acuerdo con el costo) con una claridad aceptable.

Por eso es tan importante que el usuario determine y especifique la claridad que desea obtener en su filtración. La claridad, turbidez o simplemente la cantidad de sólidos no disueltos en el líquido se puede determinar mediante varios métodos, y pueden ser los mismos que se emplean para antes de filtrar o algunos de mayor sensibilidad, ya que la concentración de partículas habrá disminuido considerablemente después de filtrarlo. "Entre esos métodos están los siguientes:

- Examen visual de una muestra de filtrado.
- Comparación de una muestra de filtrado con un patrón tal como se usa en los tubos de Nessler u otros aparatos ópticos.
- El uso de instrumentos electrónicos que determinan la turbidez (estos no diferencian muy bien entre líquidos de diferentes colores y algunos instrumentos funcionan mal con líquidos de diferentes densidades).
- Filtrando una muestra de líquido en un papel filtrante fino de color blanco o negro, tal como un filtro de membrana, observando y pesando las impurezas en el papel.
- Análisis químico.
- Análisis gravimétrico.

Realizando pruebas de filtración en un embudo Buchner, se puede lograr una aproximación del grado de claridad que se obtiene usando cualquier grado de ayuda filtro, aunque solo son pruebas cualitativas y no cuantitativas. A medida que el

ciclo progresa, la capa del filtro tiende a obstruirse con las partículas de los sólidos suspendidos que estén siendo eliminados. La compactación de la torta del filtro produce un filtrado de claridad progresivamente mayor al mismo tiempo que el flujo va disminuyendo" (ref 17).

Así volvemos a concluir que la claridad en el líquido filtrado depende principalmente de:

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

#### II.7.1 Métodos de Evaluación.

Se recomienda que siempre antes de poner en marcha por primera vez una operación de filtración y también como una revisión periódica de la operación, se realicen pruebas de evaluación, ya que es imposible predecir los resultados de la filtración con exactitud sólo teniendo en consideración los datos físicos característicos. "Generalmente se hacen estas pruebas por las siguientes razones:

1. Para proyectar una nueva planta de filtración mediante los resultados obtenidos en la planta piloto.
2. Para ensayar diferentes grados de ayudas de filtro en las plantas de filtración existentes.
3. Para determinar los costos mínimos de operación.
4. Para determinar el mínimo de claridad permisible.
5. Para determinar los efectos de cualquiera de los tratamientos anteriores en líquidos no filtrados.

La muestra o lote de líquido sin filtrar que se selecciona para las evaluaciones, debe de ser representativo y tener las características estables de filtración. Puede ser químicamente estable no así sus propiedades filtrantes" (ref 17),

Básicamente existen tres formas de evaluación, filtrando a presión constante (con disminución en la velocidad de flujo), a velocidad constante (aumentando la presión) y a vacío.

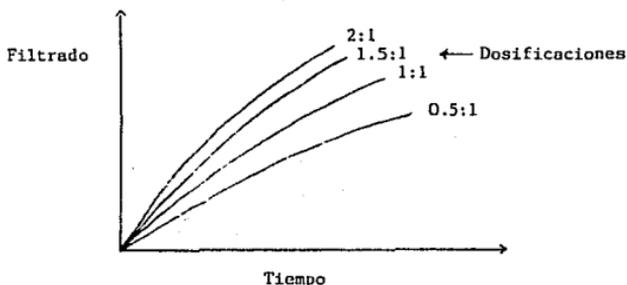
#### II.7.1.1 Procedimiento de Evaluación en Filtros de Presión.

El método es muy sencillo y básicamente consiste en dos etapas. La primera etapa consiste en hacer pruebas individuales con diferentes grados de ayuda filtro, usando la misma cantidad (en precapa y dosificación) y las mismas condiciones de operación. La cantidad de ayuda de filtro se determina en un principio (si no se tiene ningún antecedente), en base al contenido de sólidos que se quiere remover. Esta cantidad deberá ser la suficiente como para hacer notar la presencia de ayuda filtro o dicho de otra manera, que proporcione el flujo necesario para obtener resultados confiables. Normalmente se recomienda partir de una proporción, ayuda filtro a sólidos de 1:1, o sea, que se agrega una cantidad de ayuda filtro igual a la cantidad de sólidos insolubles presentes.

La siguiente etapa consiste en realizar una serie de pruebas para determinar el nivel más económico de dosificación con el grado que mejor resultado dió en la etapa primera. Como regla general, el costo del ayuda filtro aumenta con la mayor velocidad de flujo, pero también aumenta el rendimiento por unidad de área,

con lo que el costo se ve reducido. El equilibrio entre los costos de operación y los costos de capital, es también una decisión que debe tomar el usuario del ayuda de filtro.

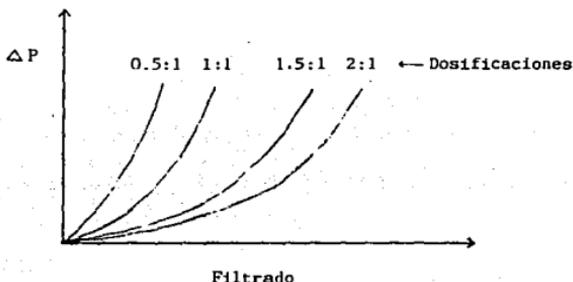
Los datos obtenidos de estas pruebas se encuentran representados en las gráficas siguientes. La gráfica II.1 muestra la cantidad de volumen filtrado (lt) ó el flujo acumulado por unidad de área (lt/m), contra el tiempo, para una serie de filtraciones a presión constante en diferentes niveles de dosificación (que también podrían ser diferentes grados de ayuda filtro en la misma dosificación). La evaluación puede hacerse fijando un volumen de filtrado para ver cuanto tiempo se tarda en alcanzarlo cada cantidad de dosificación; o bien, fijar un tiempo de filtración y comparar el volumen de filtrado que acumula cada dosificación.



Gráfica II.1 Filtración a Presión constante.

Otro método consiste en anotar la caída de presión contra el volumen filtrado acumulado (o flujo), para una serie de

filtraciones a velocidad constante con diferentes grados de ayuda filtro (o un mismo grado en diferentes niveles de dosificación), como muestra la gráfica II.2. Aquí las comparaciones de todos los ensayos se llevan a cabo fijando una presión diferencial final máxima ó fijando un volumen o flujo acumulado final, y observando que caída de presión se obtiene al cabo.



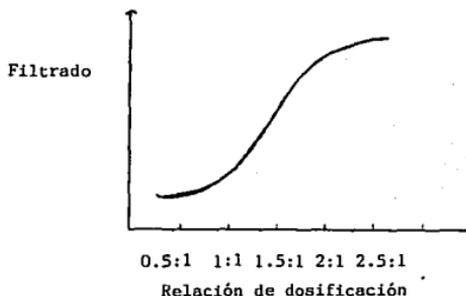
Gráfica II.2 Filtración a Velocidad constante.

En cualquier caso, la prueba que da por resultado el mayor volumen filtrado con la calidad deseada, en el menor tiempo posible y con la menor caída de presión, será la que tenga la dosificación óptima. Como se explicó anteriormente, el grado de ayuda filtro que da una claridad mínima aceptable también es el que da la máxima velocidad de flujo. Casi sin excepción este grado proporciona el costo más bajo de filtración.

La precapa es la misma para todas las pruebas. En la gráfica II.1 se observa que al aumentar la dosificación de ayuda filtro también aumenta la cantidad de volumen filtrado para un mismo tiempo; lo mismo que en la gráfica II.2. Sin embargo no siempre

existe una relación de incremento entre la cantidad agregada de ayuda filtro y el volumen filtrado. Como puede notarse en la gráfica II.1 y II.2, la relación de dosificación de 2:1, ya no resulta una dosificación conveniente, pues el costo por el incremento en el ayuda filtro no lo compensa el aumento en el volumen filtrado ó en el segundo caso, el poco flujo que proporcione antes de llegar al  $\Delta P$  máximo. Por lo tanto si todas las corridas cumplen con la norma de claridad, la dosificación adecuada, según las gráficas, resulta en ambos casos la de 1.5:1.

No obstante se debe hacer una segunda gráfica de volumen filtrado contra % de ayuda filtro, como muestra la gráfica II.3. Se observa como la curva describe un punto de rendimiento máximo conforme aumenta la dosificación, pero también cómo decae la permeabilidad al haber un exceso de ayuda filtro. Mas adelante, en el capítulo V, se vera en forma práctica, con pruebas, el análisis de los datos obtenidos en pruebas de filtración con ayudas de filtro.



Gráfica II.3 Volumen filtrado vs dosificación.

## II.7.2 FILTRACION A VACIO. FILTRO ROTATORIO DE PRECAPA.

La precapa en este filtro (descrito en el cap IV), requiere de una técnica especial, diferente a la que se emplea para los filtros de presión. Un filtro rotatorio al vacío con precapa consiste en un tambor horizontal, el cual está sumergido del 30 al 50% en un recipiente ó canoa, que contiene el líquido no filtrado. El tambor está cubierto con un medio filtrante capaz de retener al ayuda de filtro. El vacío se aplica a la superficie del tambor por medio de una succión interna.

"En la operación, la precapa se forma sobre la superficie del tambor, por inmersión de éste en una suspensión de ayuda de filtro y aplicando vacío. Después de que se forma la precapa con el espesor deseado, el líquido no filtrado se introduce en la canoa inmediatamente para prevenir que la precapa se seque. Cuando el líquido sin filtrar no se puede diluir, el resto del líquido de la precapa debe eliminarse antes de que el filtro se ponga en marcha. Generalmente esto puede hacerse sin desprender las precapa si la capacidad de vacío es suficiente como para mantener una presión de 10 pulg de vacío en el filtro, aunque dependiendo del grueso se corre el riesgo de que la precapa se agriete.

Conforme el tambor rota, la cuchilla horizontal colocada a lo largo de la cara del tambor, arriba del nivel del líquido, continuamente avanza hacia el tambor. Esto resulta en una eliminación de sólidos con una muy pequeña cantidad de precapa, presentando así una nueva superficie de precapa para la próxima inmersión. Esto continúa hasta que la cuchilla está entre 6.4 y

9.5 mm (1/4 a 3/8 pulg) del tambor, tiempo en el cual el tambor se limpia y se forma una nueva precapa.

La formación de la precapa depende de algunas variables como son:

- Concentración de la suspensión para la precapa.
- Inmersión del tambor.
- Cantidad y control del vacío.
- Recirculación al tanque de precapa ó supresión de la recirculación.
- Velocidad de rotación del tambor (se recomienda que sea máxima para los ayudas de filtro de diatomita y perlita).

Un rendimiento deficiente de la precapa, puede ser debido a: una cantidad insuficiente de vacío, diseño hidráulico incorrecto en el filtro, mala rotación o inmersión del tambor, concentración incorrecta de la suspensión, inundación del receptor separador ó la obstrucción parcial de la tela" (ref 17).

La eficiencia de la filtración se gobierna por algunos factores mas aparte de los mencionados para la precapa, incluyendo los siguientes:

- Grado de ayuda de filtro empleado.
- Velocidad de rotación del tambor.
- Avance de la cuchilla.
- Limpieza de la precapa después del corte (eficiencia).
- Vacío.

En la generalidad de los casos, el objetivo es trabajar a la menor velocidad de rotación del tambor, menor avance de navaja y

mayor sumergencia posible para lograr el flujo y la claridad deseados.

Un cuidadoso balance de estos factores servirá para seleccionar al ayuda de filtro que proporcione la óptima filtración.

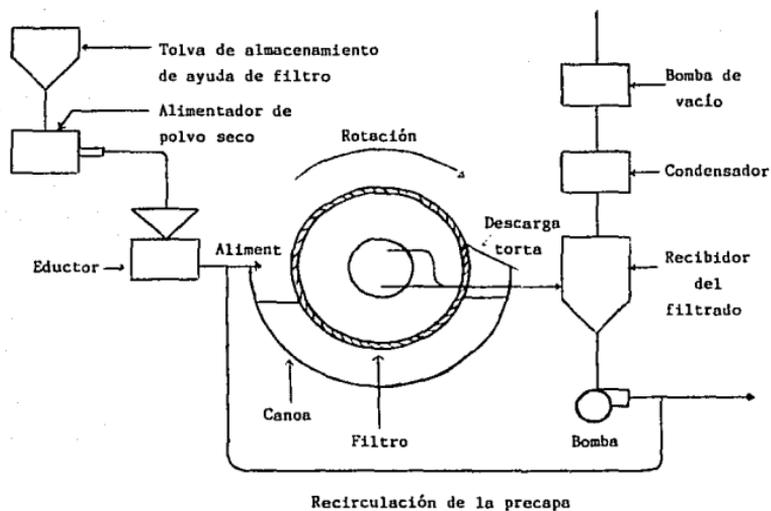


Fig II.7 Sistema de Filtración a Vacío con Precapa.

Fuente: Filtración con Celite.

### III. LAS TIERRAS DIATOMACEAS

### III.1 ORIGEN.

Las tierras diatomáceas ó diatomita, son los depósitos sedimentarios de diatomeas fosilizadas, plantas acuáticas unicelulares relacionadas con las algas marinas. "El diátomo es una diminuta mancha de protoplasma que se encierra a si mismo dentro de un esqueleto hecho base de sílice; esta microscópica alga tiene la capacidad única de extraer la sílice del agua para producir su propio esqueleto. Las condiciones del medio ambiente para un apropiado desarrollo de estas plantas, incluyen largas cuencas de baja profundidad (alrededor de 35 metros de profundidad), una abundante fuente de sílice y nutrientes, la ausencia de agentes tóxicos en el agua, y una provisión mínima de materiales cláusticos sedimentarios. Algunas 12,000 a 16,000 especies diferentes de diatomos prosperan en aguas dulces, salobres y marinas, pero solo pocos viven en todas ellas. Una vez muertas sus esqueletos se depositan en el fondo del lago ó mar, formandose así los depósitos. Colonias de diatomos muy activos pueden acumular varios milímetros de espesor en un año.

Los primeros diatomos se hicieron abundantes durante el periodo Cretácico (desde hace 65 a 135 millones de años) aunque la mayoría de los depósitos comerciales explotados actualmente, son de la edad del Mioceno (hace unos 7 a 26 millones de años) ó con menos de 35 millones de años. Los diatomos todavía son abundantes hoy en día, en mares y lagos" (ref 11).

La composición química de algunas diatomitas naturales se presenta en la tabla III.1.

Tabla III.1 Composición química de Diatomitas naturales depositadas en diferentes partes del mundo (2).

	Lowloc.	Maryland, USA	Resalt		Tierra					Nova		
	California USA	Calvert Formation	Devado USA	Idaho, USA	Sovsanbu, Krnia	Niigata, Japan	Kamyshinov, USSR	Albacete, España	Jaliaco, México	Algeria	Scottia, Canada	Alemania Grc.
SiO <sub>2</sub>	89.73	79.55	86.00	89.62	84.50	86.00	79.92	88.60	91.20	58.40	92.78	68.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.72	8.18	5.27	1.82	3.06	5.80	6.58	0.62	3.20	1.66	2.63	1.57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.09	2.62	2.12	0.44	1.86	1.60	3.56	0.20	0.70	1.55	1.21	2.37
TiO <sub>2</sub>	0.10	0.70	0.21	0.07	0.17	0.22	0.48	0.05	0.16	0.10	0.66	traza
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	-	0.06	0.13	0.04	0.03	-	-	0.05	0.20	0.29	0.18
CaO	0.20	0.25	0.34	1.26	1.80	0.07	1.43	3.00	0.19	13.80	0.46	0.84
H <sub>2</sub> O	0.55	1.30	0.39	0.54	0.39	0.29	0.78	0.61	0.42	4.57	-	-
Na <sub>2</sub> O	0.21	1.31	0.24	1.03	1.19	0.48	0.65	0.50	0.13	0.76	-	0.11
K <sub>2</sub> O	0.41	1.31	0.29	0.22	0.91	0.53	0.77	0.39	0.24	0.50	-	-
PPI	3.70	5.50	4.90	4.02	6.08	4.40	4.91	5.20	3.60	17.48	2.22	26.50
Total	99.94	99.71	99.82	99.35	100.00	99.42	99.23	99.37	99.89	99.22	100.27	99.87

Fuente: Industrial Minerals and Rocks, Leonard. (6)

Tabla 111.1 Composición química de Diatomitas naturales depositadas en diferentes partes del mundo (I).

	Lompoc,	Maryland, USA	Basalt		Tierra					Nova		
	California USA	Calvert Formation	Huadon USA	Idaho, USA	Soyambu, Kenia	Niigata, Japón	Kamyahlov, URSS	Albacete, España	Jalisco, México	Algeria	Scot La, Canada	Alemania Occ.
SiO <sub>2</sub>	89.70	79.55	86.00	89.82	84.50	86.00	79.92	88.60	91.20	58.40	42.78	68.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.72	8.18	5.27	1.82	3.06	5.80	6.58	0.62	3.20	1.66	2.63	1.57
CaO	1.09	2.62	2.12	0.44	1.86	1.60	3.56	0.20	0.70	1.55	1.21	2.37
TiO <sub>2</sub>	0.10	0.70	0.21	0.07	0.17	0.22	0.48	0.05	0.16	0.10	0.66	traza*
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	-	0.06	0.13	0.04	0.01	-	-	0.05	0.20	0.29	0.18
CaO	0.30	0.25	0.34	1.26	1.80	0.07	1.43	3.00	0.19	17.80	0.46	0.84
HgO	0.55	1.30	0.39	0.54	0.39	0.29	0.98	0.81	0.42	- .57	-	-
Na <sub>2</sub> O	0.21	1.31	0.24	1.03	1.19	0.48	0.65	0.50	0.13	0.16	-	0.11
K <sub>2</sub> O	0.41	1.31	0.29	0.22	0.91	0.53	0.72	0.39	0.24	0.50	-	-
FFI	3.70	5.60	4.90	4.02	6.08	4.40	4.91	5.20	3.60	17.48	2.22	26.50
Total	99.98	99.71	99.82	99.35	100.00	99.42	99.23	99.37	99.89	99.22	100.25	99.85

Fuente: Industrial Minerals and Rocks, Lefond. (6)

### III.2 OCURRENCIA Y EVALUACION.

Los depósitos de diatomita económicamente explotables, normalmente se hallan cerca de donde existen (o existieron), depósitos grandes de agua dulce ó marina, en donde ocurre una rápida acumulación de esqueletos de diatomos. Además estos depósitos contienen un mínimo de residuos orgánicos, un bajo contenido de sales solubles, bajas concentraciones de carbonato y exhiben una mínima deformación estructural. Comúnmente los depósitos de diatomita contienen arcilla, cenizas volcánicas y algo de barro o limo. La diatomita comercial contiene un 86% a un 94% de sílice y lo demás es alúmina y algunas álcalis de las arcillas.

La evaluación de un depósito de diatomita puede llevarse a cabo en dos etapas, teniendo en cuenta que el valor comercial estará gobernado por el grado en que sus propiedades reflejen el desempeño deseado para el producto final, en una aplicación específica o grupo de aplicaciones.

Tratándose de un depósito seco, primeramente se escoge la zona donde se considera que la explotación es factible. Con un plano o mapa que describa la zona, se escogen los puntos donde han de perforarse los pozos de muestreo, estos se señalan en forma alternada y a determinadas distancias, de tal manera que su muestreo permita conocer el comportamiento que siguen los diferentes estratos debajo de la tierra, mediante un horizonte ó perfil que se traza con los datos recolectados.

Una vez abiertos los pozos, se procede a su muestreo y examinación. Una primera observación es la profundidad del

depósito, pues esta se conoce cuando se cavan los pozos, cuya excavación se detiene al encontrarse con mantos de diferentes materiales en cantidad considerable o bien, que se alcance el nivel friático.

Las primeras indicaciones de un depósito de diatomita pueden ser obtenidas de las observaciones de campo, tales como la brillantez, densidad de bloque, grado de compactación y disposición geológica. La constitución de los diatomos y contaminantes también pueden detectarse con la ayuda de un microscopio portátil.

La siguiente etapa de evaluación ya tiene lugar en el laboratorio, bajo un programa de pruebas, mas extenso, realizando análisis químicos y físicos.

### III.3 EXTRACCION Y PROCESAMIENTO.

Aquí en México y en los Estados Unidos, los principales depósitos de diatomita son depósitos de fósiles. Sus orígenes son lacustre y marítimo respectivamente, y normalmente se encuentran a muy poca profundidad. Basta con remover la superficie del terreno (capa de tierra vegetal) para dar con el mineral; el espesor de la capa de la tierra es variable dentro de un mismo lote o zona, y puede ser tan delgado como 20 cm ó ancho como 2 m o más. Ese despalme es realizado por un "bulldozer" y se remueve para colocarlo lejos, clasificándose como "material de despalme". El mismo material servirá posteriormente para rellenar el área explotada. A este tipo de minas se llama de "cielo abierto".

Una vez descubierto, comienza la extracción del mineral que

se va clasificando según sus características y/o propiedades como color, disposición geológica, densidad húmeda y seca, propiedades filtrantes y pureza sobre todo.

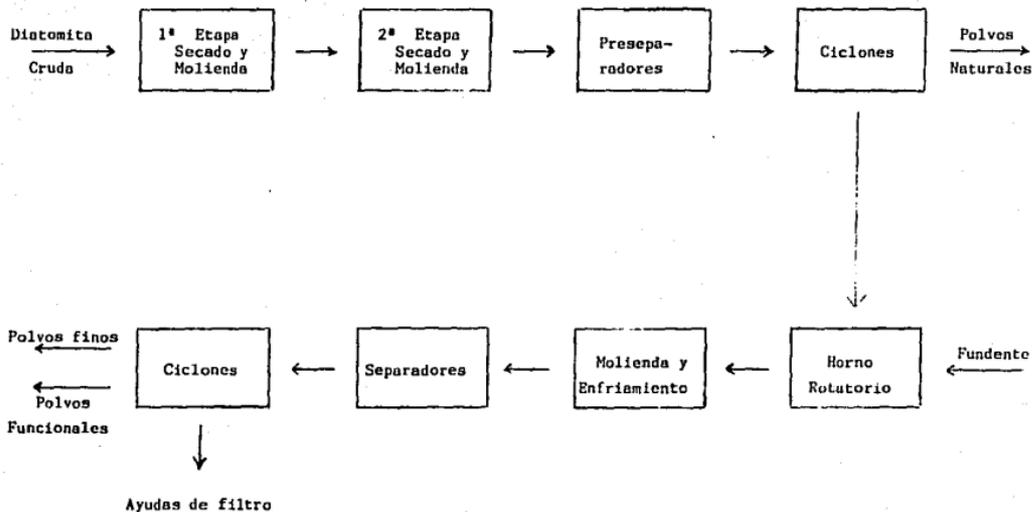
La humedad del mineral "crudo" es variable y puede ser tan alta como un 60%; la que se puede reducir por secado al sol.

Después de homogenizado, el material crudo es alimentado al proceso de donde se extraerán diferentes productos. A continuación se presenta un diagrama de flujo que resume las operaciones que se llevan a cabo en el proceso de beneficio de la diatomita, (Figura III.1).

La primera molienda que se le da al material crudo, es para desbaratar y romper los terrones y dar una homogenización a la alimentación. Después de esto el material es simultáneamente impulsado y molido mediante una serie de ventiladores que lo llevan a través de un ducto, el cual también recibe corrientes de aire caliente para que lo vayan secando, hasta alcanzar la apropiada reducción de humedad. La diatomita así secada se colecta en ciclones de aire y se separa para obtener granulometrías gruesas y finas. Estos polvos se empacan en bolsas y se venden como diatomita natural molida.

En caso que se requiera de un ajuste adicional en la distribución del tamaño de partícula, por ejemplo en la elaboración de ayudas de filtro, la diatomita en polvo se aglutina ó como tradicionalmente se dice, se calcina, en un horno rotatorio para después volver a pulverizarla y clasificarla. Las temperaturas típicas de calcinación en el horno rotatorio van de 870 C a 1090 C, por lo que los residuos orgánicos son eliminados,

Fig IV.1 Diagrama típico del proceso de la diatomita.



y la estructura del diátomo se contrae y endurece, y algunos diátomos y fragmentos son aglutinados dentro de aglomerados. A la salida del horno los aglomerados blandos se siguen en el proceso a través de ventiladores pulverizadores, separadores de aire y tamices vibradores, para finalmente obtener diferentes grados de material. Debido a la oxidación del hierro contenido, los productos resultantes de la calcinación son de color rosa (desde color crema pálido hasta rojo) y poseen densidades secas de cerca de 128 kg/m<sup>3</sup>, con mejores velocidades de filtración que sus contrapartes naturales.

Si lo que se desea son grados con mayor velocidad de filtración, entonces se producen los grados blancos calcinados. Estos productos se logran mediante la adición de un fundente como carbonato de sodio ó cloruro de sodio, antes de la etapa de calcinación. La acción del fundente causa la oxidación del hierro provocando una fase vítrea y adicionalmente produce una mayor aglomeración en los fragmentos de diátomos. Controlando la temperatura del horno, la cantidad y composición del fundente, y el tiempo de residencia en el horno, la distribución del tamaño de partícula de la diatomita puede ser controlado, con el fin de producir grados con diferentes velocidades de filtración que cumplan con los requerimientos del mercado.

#### III.4 PROPIEDADES Y CLASIFICACION.

Las propiedades de la diatomita la hacen ser un material ampliamente empleado en una gama de aplicaciones diferentes. "Es por esto que es difícil clasificar a un depósito de diatomita

como de grado alto ó bajo, ya que diferentes depósitos pueden proveer productos altamente efectivos en una aplicación específica, mientras que ofrecen un pobre desempeño en otras. Por ejemplo, existen unos depósitos de diatomeas en British Columbia, Canada, trabajados por la Cia D.E.M. Resource Processor Ltd, los cuales tienen una alta calidad absorbente y se procesa como producto para absorber los desechos de animales domésticos, pero no es apto para hacer ayudas de filtro. En contraste, Almeria en el estado de Jalisco (México) y Manville y Grefco en California (E.U.), son empresas que producen ayudas de filtro de alta calidad, con diatomita depositada en esas zonas" (ref 11).

"Las principales características de la diatomita para que constituya un producto final deseable son, su estructura del esqueleto y constitución del diátomo, baja densidad de bulto, impurezas solubles, alta capacidad absorbente para líquidos, gran superficie de área, baja conductividad térmica, cualidades abrasivas ligeras, químicamente inerte y contenido de sílice" (ref 11).

Tratándose de un producto natural la diatomita esta sujeta a presentar cierto grado de contaminación. La principal impureza es el hierro. El hierro afecta el desempeño de los productos en aplicaciones químicas y bioquímicas, al formar compuestos complejos con los que se reduce la condición de ser químicamente inerte.

#### III.4.1 Usos.

Los productos hechos a base de diatomita tienen finalmente

dos clases de aplicación, los productos para ayudas de filtro y los polvos ó tierras funcionales.

Como polvo ó tierra funcional tiene diferentes usos, los cuales pueden clasificarse en base a sus propiedades particulares como son: estructura de la partícula, absorción, abrasividad, etc. De manera general éstos usos pueden agruparse en los siguientes: rellenos, aislamientos térmicos, absorbentes, catalizadores, agroquímicos y misceláneos. En algunos casos sirve para abaratar costos al sustituir otros materiales mas caros, o bien, se le aprovecha por su gran capacidad absorbente y baja densidad, o por alguna otra de sus particulares características.

Así pues, aunque se usa en la elaboración de pinturas, plásticos, hules, agroquímicos, pastas dentales, pulimentos, etc, el uso mas generalizado de la diatomita es el de ayuda de filtro para la separación de sólidos suspendidos en fluidos. Alrededor del 50% de toda la diatomita procesada mundialmente, se ha canalizado a esta aplicación.

Los ayudas de filtro hechos a base de tierras diatomáceas son materiales finamente divididos que se adicionan al líquido que sera filtrado para ayudar a controlar el flujo y remover los sólidos en suspensión.

Los requerimientos de un buen ayuda de filtro hecho a base de diatomita son: tamaño de partícula apropiado y configuración característica para lograr una óptima permeabilidad de torta, químicamente inerte, ligero de peso, disponibilidad en un número de grados y tener un costo relativamente bajo.

La singular estructura de la partícula de diatomita (formada por intersticios y cámaras) significa que los millones de

partículas de formas irregulares se enredan o puentean de tal manera que dejan de un 85% a un 90% de huecos. Estos huecos proporcionan billones de finos intersticios microscópicos en los cuales las partículas suspendidas pueden ser atrapadas.

La diatomita es procesada como ayuda de filtro para toda clase de procesos industriales, y para tal efecto, según el tamaño de las partículas que se desean retener será el aumento en la velocidad de filtración, así como la habilidad de estas para remover pequeñas partículas de materias suspendidas.

Las aplicaciones más comunes de los ayudas de filtro de diatomita son en la filtración de cerveza, whisky, vino, licores de azúcar, jarabes, aceites vegetales y minerales, glucosa, maltodextrina, gernetina, pectina, jugos de frutas y vegetales, productos farmacéuticos, etc.

La mayoría de los fabricantes de ayudas de filtro a base de diatomita, producen un rango de productos usualmente correspondientes a un rango de velocidades de filtración, que van en aumento. Cada grado tiene una velocidad de flujo diferente, pero también tiene diferentes características, como son, densidad, retenido en malla, color, pH y absorción de agua.

Aquí en la República Mexicana el único fabricante de este tipo de productos es la compañía "Almeria, S.A.". Esta empresa emplea la misma tecnología de Manville (su socio tecnológico), y produce las mismas marcas de ayudas de filtro. La tabla III.2, ilustra los diferentes grados y especificaciones de los ayudas de filtro fabricados por Almeria s.a., que se encuentran en el mercado nacional. Estos grados son los mismos que se emplean en

Fig II.2 Sistema de filtración a presión, en el que se emplea ayuda de filtro.

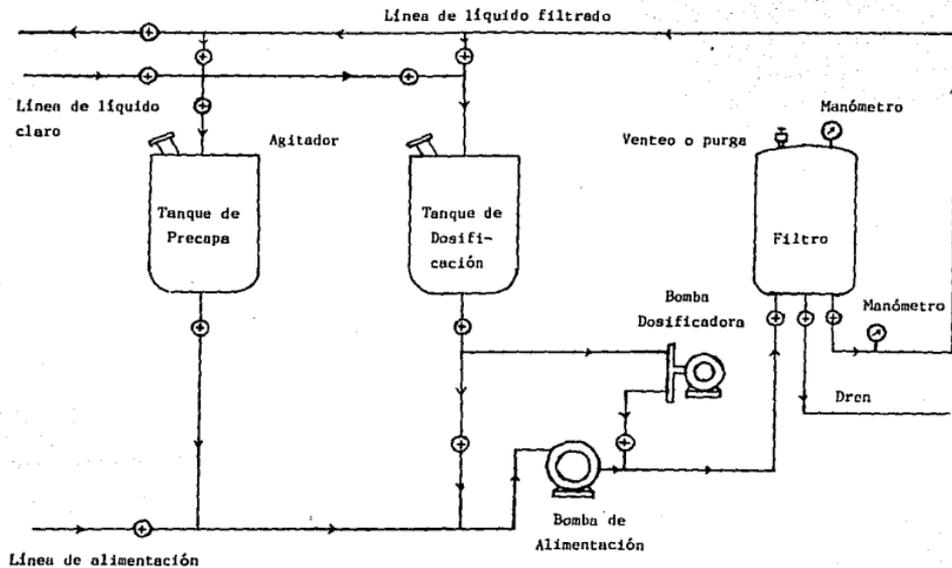


Fig II.5 Sistema de dosificación vía seca.

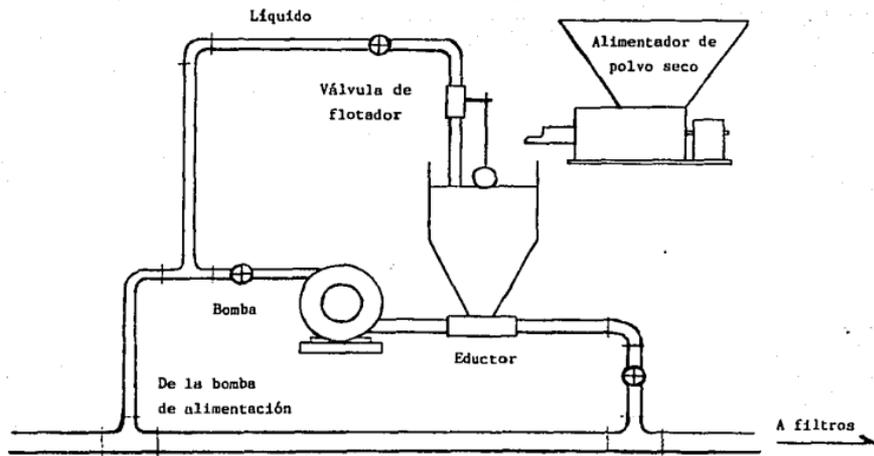


Tabla 111.1 Composición química de Diatomitas naturales depositadas en diferentes partes del mundo (I).

	Lompoc,	Maryland, USA	Basalt		Tierra					Nova		
	California USA	Calvert Formation	Ucavado USA	Idaho, USA	Soyambu, Kenia	Milgata, Japón	Kuvshinov, URSS	Albacete, España	Jalisco, México	Algeria	Scotia, Canadá	Alemania Occ.
SiO <sub>2</sub>	89.70	79.55	86.60	89.82	84.50	86.00	79.92	88.60	91.20	58.40	42.78	68.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.72	8.18	5.27	1.82	3.06	5.80	6.58	0.62	3.20	1.66	2.63	1.57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.09	2.62	2.12	0.44	1.86	1.60	3.56	0.20	0.70	1.55	1.21	2.37
TiO <sub>2</sub>	0.10	0.70	0.21	0.07	0.17	0.22	0.48	0.05	0.16	0.10	0.66	traza
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	-	0.06	0.13	0.04	0.01	-	-	0.05	0.20	0.29	0.18
CaO	0.30	0.25	0.34	1.26	1.80	0.07	1.43	3.00	0.19	13.80	0.46	0.84
MgO	0.55	1.30	0.39	0.54	0.39	0.29	0.98	0.81	0.42	4.57	-	-
Mn <sub>2</sub> O	0.31	1.31	0.24	1.03	1.19	0.48	0.65	0.50	0.13	0.06	-	0.11
K <sub>2</sub> O	0.41	1.31	0.29	0.22	0.91	0.53	0.72	0.39	0.24	0.50	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.70	5.60	4.90	4.02	6.08	4.40	4.91	5.20	3.60	17.48	2.22	26.50
Total	99.98	99.71	99.82	99.35	100.00	99.42	99.23	99.37	99.89	69.22	100.25	99.87

Fuentes: Industrial Minerals and Rocks, Lefond. (6)

Fig IV.1 Diagrama típico del proceso de la diatomita.

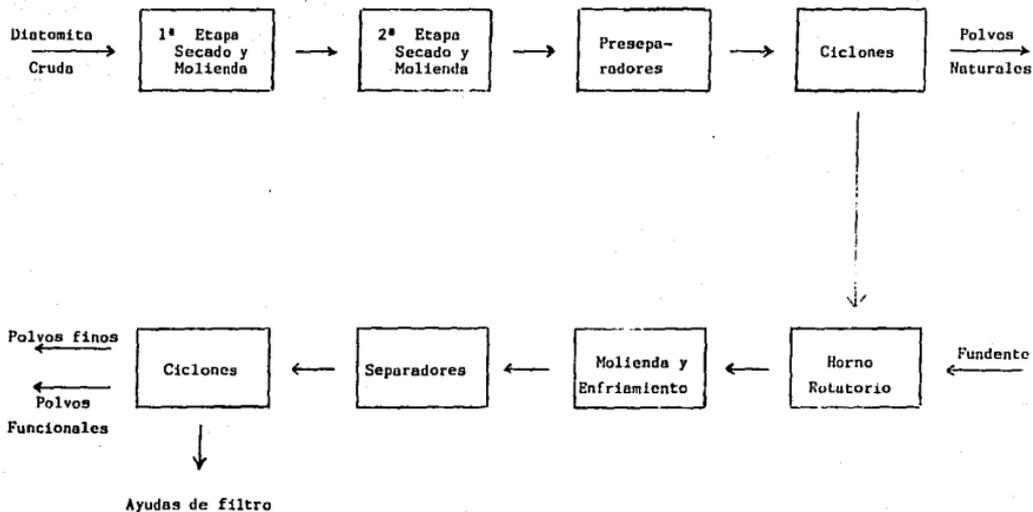


Tabla III.2 Propiedades típicas de los ayudas de filtro de Diatomita Mexicana, marca celite,\*

	Grado	Color	Densidad g/lt		%Retenido malla-150	pH	Peso Específico	Porosidad Promedio (micrones)	Velocidad relativa de flujo
			Seca	Húmeda					
Natural	Filter-Cel	Gris	100	245	1.0	7.0	2.10	1.5	100
Calcinado Directo	505	Rosado	128	385	0.1	7.0	2.15	2.7	135
	Standard SC	Rosado	150	288	6.0	7.0	2.15	3.5	200
	512	Rosado	165	312	7.0	7.0	2.15	5.0	300
	520	Rosado	165	288	7.0	7.0	2.15	6.0	350
Calcinado con	Hyflo SC	Blanco	144	275	6.0	10.2	2.30	7.0	500
	501	Blanco	152	286	8.0	10.2	2.30	9.0	750
Fundente	503	Blanco	152	290	9.0	10.2	2.30	10.0	900
	535	Blanco	175	300	18.0	10.2	2.30	15.0	1350
	545	Blanco	192	304	18.0	10.2	2.30	17.0	2160

\* Celite es el nombre de la marca comercial registrada por Manville.

Los grados de ayudas de filtro aquí mencionados, son los que ofrece como productos de línea la empresa fabricante Almería, S.A., en la república Mexicana.

Tabla III.2 Propiedades típicas de los ayudas de filtro de Diatomita Mexicana, marca celite,\*

	Grado	Color	Densidad g/lt		%Retenido malla-150	pH	Peso Específico	Porosidad Promedio (micrones)	Velocidad relativa de flujo
			Seca	Húmeda					
Natural	Filter-Cel	Gris	100	245	1.0	7.0	2.10	1.5	100
Calcinado Directo	505	Rosado	128	385	0.1	7.0	2.15	2.7	135
	Standard SC	Rosado	150	288	6.0	7.0	2.15	3.5	200
	512	Rosado	165	312	7.0	7.0	2.15	5.0	300
	520	Rosado	165	288	7.0	7.0	2.15	6.0	350
Calcinado con	Hyflo SC	Blanco	144	275	6.0	10.2	2.30	7.0	500
	501	Blanco	152	286	8.0	10.2	2.30	9.0	750
Fundente	503	Blanco	152	290	9.0	10.2	2.30	10.0	900
	535	Blanco	175	300	18.0	10.2	2.30	15.0	1350
	545	Blanco	192	304	18.0	10.2	2.30	17.0	2160

\* Celite es el nombre de la marca comercial registrada por Manville.

Los grados de ayudas de filtro aquí mencionados, son los que ofrece como productos de línea la empresa fabricante Almería, S.A., en la república Mexicana.

las evaluaciones que se reportan en el capítulo V. Las tablas .pa III.3 y III.4, por su parte contienen a todos los grados fabricados por las compañías Manville y Grefco Inc. en E.U.

Esta gama de grados pretende abarcar todo un rango de velocidades de filtración, es decir, desde un grado mucho muy cerrado como es el Filter-Cel hasta uno muy abierto como el Celite 545, de acuerdo con la tabla III.2.

La materia prima con que se fabrican estos grados comerciales, es un material seleccionado desde su origen, es decir que se preparan a partir de los diferentes tipos o clases de diatomeas que se encuentran en la mina, ya sea con algún tipo específico ó a partir de mezclas. Basandonos de nuevo en la tabla III.2, se explican las características de los ayudas de filtro de diatomita.

El Filter-Cel por ejemplo, es un ayuda de filtro que se prepara con un material que desde su origen es por sí un material de porosidad muy fina o cerrada, con lo que se logran la mejor claridad de filtrado y la mas baja velocidad de filtración. Como lo indica la tabla III.2, se trata de un producto natural, es decir, es una diatomita pulverizada, secada y clasificada.

Para los productos "calcinaados directos" ó "calcinaados rosados": Celite 505, Santard Super Cel, Celite 512 y Celite 520, la diatomita cruda empleada es un poco mas abierta, pero lo que realmente le regula la porosidad y el tamaño de partícula, es la calcinación.

Por su parte, los productos "calcinaados con fundente" ó "calcinaados blancos" se fabrican utilizando una diatomita natural de partícula aún mas porosa, sin embargo aquí también la

Tabla III.3 Propiedades típicas de las Ayudas de Filtro de Diatomita, marca Celite, (1) (2)

Grados	Color	Fibra Cel/ Diatomita		Flujo estimado		Permea- bilidad Darcien*	Densidad lb/cu.ft	Retenido Malla 150 %	Humedad al Embarcar	X pl	Solu- bles.	
		Mezcla Equivalente (3)	Tamaño Medio de Poros en Micrones	Gal/sq.ft./hr Agua, 6 in Precapa	24 in Hg de P							
Filter Cel	Gris	1	1.5	*	*	0.09	7.0	16	2	3.0	7.0	0.15
505	Rosado	3	*	*	*	0.1	8.0	23	*	1.0	7.0	0.15
577	Rosado	2	2.5	*	*	0.2	8.0	18	2	0.5	7.0	0.10
<u>Standard</u>												
Super Cel	Rosado	5	3.5	10	*	0.5	8.0	18	4	0.5	7.0	0.10
512	Rosado	6	5.0	20	*	0.9	8.0	19	7	0.5	7.0	0.10
<u>High</u>												
Super Cel	Bianco	7	7.0	50	*	2.0	9.0	18	6	0.1	10.0	0.15
501	Bianco	8	9.0	65	*	2.5	9.5	18	8	0.1	10.0	0.15
503	Bianco	9	10.0	130	*	3.5	9.5	18	9	0.1	10.0	0.15
515	Bianco	10	13.0	240	*	5.5	12.0	19	10	0.1	10.0	0.15
545	Bianco	11	17.0	370	*	8.5	12.0	19	12	0.1	10.0	0.15
554	Bianco	12	*	600	*	15.0	10.0	21	14	0.1	8.0	0.15
560	Bianco	13	22.0	1400	*	30.0	19.5	20	40	0.1	10.0	0.15

(1) Celite es el nombre de la marca comercial de las ayudas de filtro fabricadas por Manville.

(2) Como se expresan, estas son propiedades físicas estimadas o típicas, no especificaciones.

(3) Estos son los grados de Fibra-Cel fabricados con la diatomita correspondiente.

\* No aplicable.

Tabla III.4. Propiedades típicas de los Ayudas de Filtro de Diatomita, marca Dicalite. (1)

Grado	Velocidad relativa de flujo	Densidad lb/ft <sup>3</sup>		Densidad kg/m <sup>3</sup>		Retenido Malla 150	Color	pH	Gravedad Específica	Absorción de Agua	PPI %
		Peso Suelto	de torta	Peso Suelto	de torta						
<u>Calcinaados</u>											
215	100	8.0	-	120	-	-	Rosado	7.0	2.25	190	0.5
Supernid	120	8.0	23.0	128	352	1	Rosado	7.0	2.25	190	0.5
UF	145	9.0	-	128	-	-	Rosado	7.0	2.25	190	0.2
Speed flow	200	10.0	23.0	160	368	4	Rosado	7.0	2.25	200	0.3
231	225	9.0	23.0	144	368	4	Rosado	7.0	2.25	220	0.4
<u>Calcinaados-flux</u>											
Special speedflow	350	9.0	21.5	144	344	5	Bianco	10.0	2.35	240	0.2
Speedplus	700	10.0	21.1	160	338	5	Bianco	10.0	2.35	240	0.2
Speedex	1030	14.0	22.0	224	352	8	Bianco	10.0	2.35	240	0.2
4200	1800	16.0	23.0	256	368	12	Bianco	10.0	2.35	230	0.2
4540	1925	16.0	23.0	256	368	13	Bianco	10.0	2.35	240	0.2
5000	2050	17.0	24.0	304	384	20	Bianco	10.0	2.35	270	0.1
6000	2500	20.0	24.0	320	384	35	Bianco	10.0	2.35	270	0.1

(1) Dicalite es el nombre comercial de los ayudas de filtro fabricados por Greco Inc.

Fuente: Industrial Minerals, Abril 1952 y Boletín técnico E-16 de Dicalite.

determinación del tamaño de la partícula esta totalmente influenciado por la calcinación junto con el fundente. La presencia del fundente hace que estos grados tengan un pH alcalino además de aumentar el contenido de solubles por el mismo carbonato, responsable también de que la coloración rosa no aparezca.

Las velocidades relativas de flujo a que la tabla III.2 se refiere, son determinaciones hechas en un aparato especial que se utiliza para control y prueba de los diferentes productos. Para la prueba se emplea una cantidad específica de ayuda filtro y se mezcla también con un volumen específico de agua, la suspensión se vacía al aparato, el cual mide el tiempo de filtración de un volumen fijo. Toda esta operación se realiza bajo condiciones estandarizadas de operación, especialmente de presión y temperatura. Por lo tanto, la interpretación de esta información es más para fines ilustrativos que cuantitativos, ya que no son garantía de que estos sean resultados que se puedan repetir, en la misma proporción, para la filtración de líquidos diferentes en condiciones diferentes.

### III.5 COMO TRABAJAN LOS AYUDAS DE FILTRO DE DIATOMITA.

La metodología de aplicación y uso de los ayuda de filtros de diatomita es la misma que se explica en el capítulo II, y es igual que para la perlita, el otro ayuda filtro de demanda similar, a menos que los fabricantes especifiquen otra cosa. Utilizar diatomita como ayuda de filtro, normalmente tiene el fin de lograr una muy buena calidad de filtrado y desde luego

prolongar los ciclos de filtración, con el consecuente aumento en la productividad.

### III.5.1 Precapa con Diatomita en Filtros a Presión.

La suspensión de precapa se prepara en el tanque de precapa. La cantidad de material para precapa varía, pero normalmente se usan 700 g/m<sup>2</sup> de área filtrante. La mezcla se prepara con líquido clarificado.

Una vez preparada la suspensión, se hace pasar a través del filtro, recirculándose hacia el tanque de precapa, hasta que el líquido se torna claro en dicho tanque. "En este punto, una precapa de aproximadamente 1.6 mm (1/16 pulg) de espesor, esta siendo estabilizada y se puede comenzar la etapa de filtración, propiamente dicha.

Si el líquido es agua, se recomienda que la velocidad de formación de la precapa sea de 3.8 a 7.5 lts/ft<sup>2</sup>min. Para líquidos viscosos puede ser hasta de 5 gal/ft-min" (ref 17).

El líquido filtrado durante la formación de la precapa debe quedar claro dentro de los 5 a 20 minutos iniciales.

### III.5.2 Dosificación Diatomita.

Como se explicó en el capítulo anterior, la etapa siguiente a la formación de precapa es la dosificación. En esta etapa, pequeñas cantidades de diatomita son constantemente alimentadas al líquido no filtrado cuando éste se bombea a través del filtro. Conforme avanza la filtración, la diatomita mezclada junto con

los sólidos suspendidos del líquido no filtrado, se depositan sobre la precapa, por tanto, una nueva superficie filtrante se esta formando continuamente.

Las partículas de diatomita poseen incontables canales microscópicos, los cuales retienen las impurezas suspendidas, permitiendo el paso del líquido filtrado sin obstrucciones.

La dosificación se incrementa o disminuye, dependiendo de la turbidez del líquido no filtrado. Los efectos de la dosificación se observan mejor, al graficar el rendimiento total generado contra el porcentaje de ayuda filtro adicionado. Ver cap II, gráfica II.3.

### III.5.3 Precapa con Diatomita en un Filtro Rotatorio a Vacío.

La aplicación de una precapa de diatomita sigue los mismos pasos descritos en el cap II, para este tipo de filtro.

"La suspensión de precapa se hace en concentraciones que van de un 2% a un 5% en peso. Esto proporciona una precapa de diatomita de 2 a 6 pulg de espesor" (ref 17), dependiendo del grado (densidad) del ayuda de filtro diatomaceo que se este empleando.

Entre los problemas que se enfrentan en este tipo de filtro, se menciona el agrietamiento de la precapa, el cual se puede reducir manteniendo una cierta humedad en la misma con la ayuda de espreas o goteo en la parte superior.

Existen grados de diatomitas fabricados especialmente para este tipo de filtros de prerecubrimiento o precapa, cuya

principal característica es la de no presentar agrietamiento.

Gracias a lo fino de sus partículas, la diatomita tiene la ventaja de formar tortas uniformes que ayudan a maximizar la eficiencia del corte de la cuchilla, dejando una superficie de precapa limpia y arrastrándose una mínima cantidad en la torta cortada.

IV. FILTROS EN LOS QUE SE EMPLEAN AYUDAS DE FILTRO.

#### IV.1 CONSIDERACIONES PREVIAS.

Los ayudas de filtro mencionados en los capítulos anteriores pueden emplearse en prácticamente en todos los tipos de filtros comerciales existentes. El principal requisito es que cuente con el elemento filtrante y el medio filtrante ó septo, sobre el que se deposita el ayuda de filtro cuando se emplea.

Como ya se mencionó, los dos tipos de ayuda de filtro mas ampliamente usados, son los fabricados con diatomita y los fabricados con perlita. Cualquiera de estos se puede aplicar en los equipos que mas adelante se exponen; llevando a cabo el procedimiento habitual de precapa y dosificación descritos con anterioridad.

Se dispone de una variedad de filtros industriales para usarse con ayudas de filtro, cada uno con sus ventajas y sus desventajas. Sin embargo para el caso, todos ellos caben dentro de dos clasificaciones básicas,

I. Los que funcionan por Presión

II. Los que funcionan a Vacío

#### IV.2 FILTROS A PRESION.

"Los filtros a presión funcionan a una presión superior a la atmosférica en la superficie de filtración y atmosférica o mayor en el lado de corriente abajo del septo" (ref 1). Bajo esta definición también puede considerarse que los filtros de carga hidrostática son de presión. No obstante, la diferencia estriba en que los filtros a presión, precisamente "se alimentan con

bombas de émbolo, diafragma, gusano y centrifugas, tanques inyectoros y corrientes que proceden de un reactor a presión" (ref 1).

Así, la primera consideración en el uso de estos filtros, es comprender que la torta filtrante se coloca y sostiene sobre la hoja filtrante ya sea por gravedad en el caso de elementos horizontales ó por un flujo de líquido ó gas en el caso de elementos verticales.

El tipo de filtros aquí tratados están definidos como filtros "batch" para diferenciarlos de los continuos o filtros rotatorios. Los así también llamados procesos batch, pueden involucrar desde ciclos de media hora hasta ciclos de dos semanas de duración; aunque cuando son instalados en paralelo pueden proporcionar un sistema continuo de filtración.

#### IV.2.1 Ventajas y Desventajas.

"Las ventajas de los filtros a presión son:

1. Su utilización de presión elevada de filtración que permite las filtraciones relativamente rápidas y, la realización de separaciones difíciles que, de otro modo, serían prohibitivamente lentas.
2. Su tamaño compacto proporciona un área grande de filtración por unidad de espacio de piso, ocupado por el filtro.
3. Los filtros a presión por lotes ofrecen mayor flexibilidad que los de cualquier otro tipo, a un costo inicial relativamente bajo.

Las desventajas son:

1. El filtro a presión por lotes, seguro y bien desarrollado, tiene dificultades para adaptarse a los procesos continuos y, en muchas aplicaciones, su manejo resulta costoso.
2. Por otra parte, los filtros continuos a presión son bastante inflexibles y los equipos son costosos" (ref 1).

#### IV.2.2 Filtro Prensa.

Este es el más simple de los filtros a presión y sigue siendo uno de los más utilizados en la industria. Hay dos diseños básicos, la prensa de placas a nivel ó la de placas y marcos y la prensa de placas con recesos.

Un filtro prensa de placas y marcos, es un conjunto de placas sólidas alternas, cuyas caras están horadadas, ranuradas o perforadas, para permitir el drenaje del filtrado, y marcos gruesos en los que se acumula y recoge la torta durante la filtración. El medio filtrante por lo general es de tela (lona, algodón, etc) y se coloca cubriendo las dos caras de una placa, que luego se prensa contra un marco por cada cara. Este mismo arreglo se monta en todo el filtro, alternando siempre una placa y un marco. Comúnmente las placas y marcos son rectangulares ó cuadrados, aunque se encuentran otras formas. Este conjunto de placas y marcos se suspende verticalmente sobre un par de barras de soporte. Durante la filtración se comprimen en un cierre sustancialmente hermético entre dos semiplacas de extremos, una fija y otra móvil. La móvil se aprieta o presiona contra las

demás mediante un tornillo de molinete, una rueda dentada y una barra de pasador, un engrane y un piñón o ariete hidráulico. Por debajo del filtro se coloca una charola igual de larga y un poco más ancha; su función es la de coleccionar el líquido que se escurre por entre las juntas de los marcos y placas. Ver figura IV.1.

Estos filtros tienen la ventaja de ser de bajo costo, casi indestructibles, fáciles de inspeccionar en su interior y capacidad para funcionar a presiones elevadas. Además tienen la relación más baja de volumen a área, lo que los hace más eficientes para el lavado de la torta. Y algo muy importante, también debido a eso, retienen la menor cantidad de líquido sin filtrar al final del ciclo de filtración.

Se llaman de descarga cerrada cuando el canal de filtrado recorre la prensa a lo largo, por el interior, y descarga a una tubería situada en un extremo; y descarga abierta, si la salida del filtrado es a través de llaves individuales situadas en la parte lateral de cada placa que vacían a una artesa colectora que a su vez declina hacia un depósito.

Existen diferentes posibles "combinaciones para alimentación y salida del flujo, sin embargo la alimentación por el fondo y la descarga por la parte superior permiten un desplazamiento rápido del aire" (ref 1), como es requerido, y especialmente con el uso de ayudas de filtro, esto logra una adecuada suspensión del ayuda de filtro y en consecuencia una buena precapa. En el caso de filtros de mayor tamaño, estas deben estar en los lados opuestos del filtro, recomendándose que la inferior sea la de alimentación.

Frecuentemente se puede aumentar la capacidad de estos

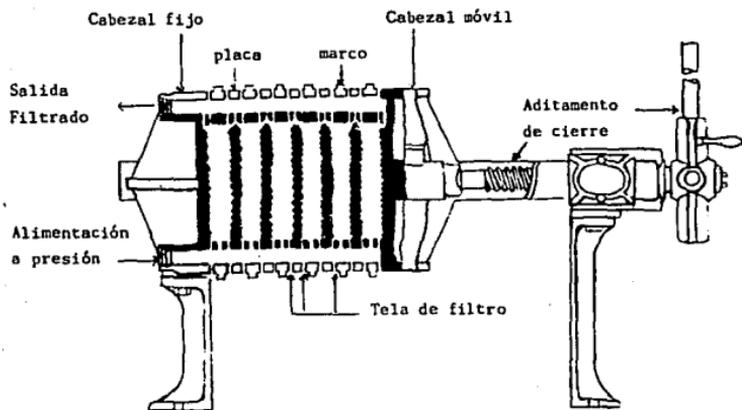
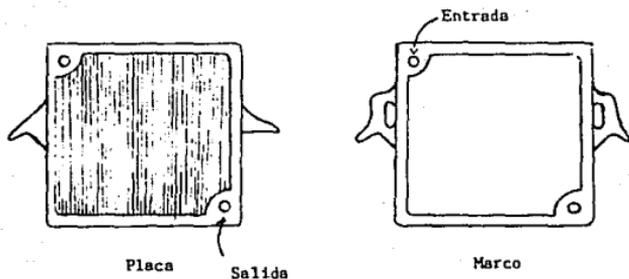


Fig IV.1 Filtro Prensa y sus Partes.

filtros instalando láminas perforadas de metal o de plástico entre las placas ranuradas y las telas; si el medio filtrante, septo, es de papel, éste normalmente se desecha al finalizar el ciclo. El objetivo de las láminas perforadas es evitar que el tamiz filtrante, dada la presión, se deslice hacia los canales de drenaje en la placa, en donde reducirá la capacidad de desague del filtro.

Se emplean dos técnicas de lavado en estos filtros (ref 1): lavado simple y lavado completo. Cuando el licor de lavado sigue la misma trayectoria que el flujo durante la filtración, se llama lavado simple. Aquí se presenta una ventaja más como consecuencia de usar un ayuda de filtro, pues en el caso de que el filtro quede completamente lleno en su espacio de torta, la técnica de lavado simple solo resulta eficiente si la torta es extremadamente uniforme y muy permeable, características ambas proporcionadas por materiales porosos tales como los ayudas de filtro.

De otra manera, la técnica más eficaz es el lavado completo, en donde el filtro incluye, además de sus placas y marcos descritos, una segunda placa de lavado. En este caso, el lavado se debe utilizar cuando los marcos están bien llenos, ya que de otra manera, al entrar el licor de lavado, la torta se hunde y redistribuye, pues el flujo ahora ya no sale por la placa de filtrado, sino que se drena sobre la cara de las placas de lavado, que hasta entonces entran en operación.

Independientemente de esto, la presencia del ayuda filtro resulta beneficioso no solo para la filtración, sino también para la conservación de las telas que en estos filtros sufren un gran deterioro.

Otra facilidad que permite el filtro prensa, es su capacidad para reducir o tal vez incrementar su área de filtración, mediante la inserción de placas y marcos.

Entre las desventajas esta el hecho de que debido a que estos filtros no son herméticos, tienen fugas y goteos, por lo que la limpieza del área de trabajo se convierte en un problema importante. Además el trabajo de limpieza e inspección es muy duro, ya que las partes son pesadas (especialmente cuando están hechos de hierro), y removerlas es un trabajo arduo.

No obstante, muchas desventajas se pueden eliminar o reducir mediante el manejo apropiado. Existen filtros de este tipo con superficies provistas de empaquetaduras y dispositivos mecánicos para mover las hojas y desprender la torta.

El filtro prensa de placas con receso, es un filtro similar al descrito, pero solo se compone de placas. Las caras de las placas se ahuecan hacia dentro para generar un espacio (cámara) en donde se acumula la torta. La alimentación generalmente es por el centro (llamados también "de cordón umbilical") y la lona se tiene que perforar igual. Una lona se cose con otra pero sólo por el perímetro del orificio, para permitir ser colocada en ambas partes de la placa. Su operación no difiere del otro diseño.

#### IV.2.3 Filtros de Presión de Recipiente Hermético.

Los filtros de presión que se exponen a continuación, son variables en la forma y disposición de sus elementos filtrantes, los cuales están montados en un recipiente de presión. Ofrecen

entre otras, la ventaja de costo inferior en mano de obra y tener menos problema de escurrimiento. Son filtros que casi invariablemente se usan con ayudas de filtro.

"Se utilizan filtros de recipiente a presión para separar los mismos tipos de lechadas que en los filtros prensa y se utilizan mucho más que estos últimos para las filtraciones con diatomita. Es preciso tomarlos en cuenta siempre que la uniformidad de la producción permita un funcionamiento durante mucho tiempo, en condiciones de filtración esencialmente ctes, cuando se desea un lavado completo con un mínimo de licor o cuando los vapores o los humos hagan que la construcción cerrada resulte conveniente. En esas condiciones, si el medio de filtro no requiere un cambio frecuente, pueden tener ventajas considerables en la economía de mano de obra y del ciclo, sobre un filtro prensa que tiene un costo inicial mas bajo, y ventajas de economía y flexibilidad sobre los filtros continuos al vacío, que tienen un costo inicial mas elevado" (ref 1).

Se pueden hacer dos clasificaciones dentro de estos filtros de recipiente hermético, diferenciandolos por la posición de sus elementos filtrantes, esto es que los hay con los elementos en posición vertical y en posición horizontal.

#### IV.2.3.1 Filtros con Elementos Verticales.

##### Filtro de Tanque Vertical con Hojas Verticales.

Este filtro consiste en un ensamblaje de elementos planos de filtración que son las hojas, sostenidos verticalmente dentro de un casco a presión (ver fig IV.2). El recipiente o casco es un

Fig IV.2 Filtro Vertical con  
Hojas Verticales.

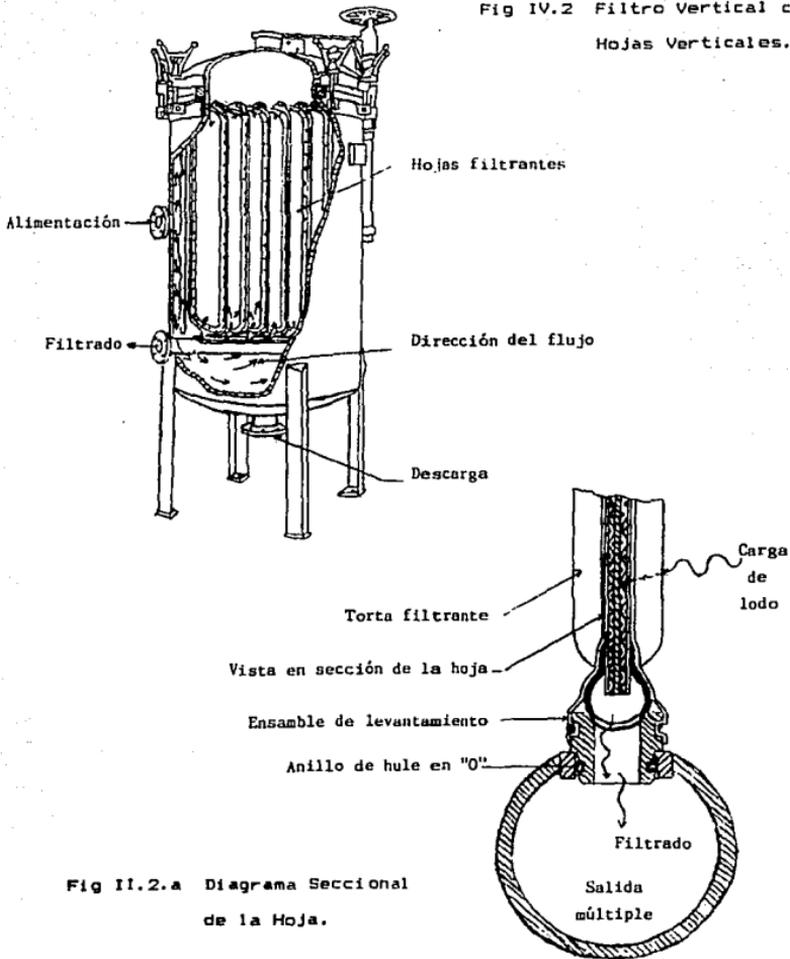


Fig II.2.a Diagrama Seccional  
de la Hoja.

tanque vertical cilíndrico, con sus extremos semicónicos. Las placas u hojas son rectangulares y presentan dos superficies de filtración opuestas. Generalmente las hojas son de malla de acero inoxidable que presentan un tejido denominado, "tejido holandes de 24 \* 110". De otra forma, la placa puede ser de tipo ranurada, a la que se cubre con un medio de filtración de tela tejida o tela fina de alambre.

También la entrada de líquido inside de tal forma que ayuda a que los sólidos se mantengan en suspensión. El líquido fluye a través de las hojas y sale por líneas individuales (una por cada hoja), o bien todas las hojas descargan a un solo tubo colector interno sobre el que están montadas, y que luego constituye la salida del filtrado.

Dada la posición de las hojas, la torta se forma en un plano vertical, lo que obliga a tener un flujo continuo de líquido o gas para mantenerla en esa posición. El más ligero desprendimiento o agrietamiento de esta torta, originará canales que permitan el paso del líquido sin filtrar, o simplemente dejar escapar los flujos de lavado o de soplado de la torta.

Para mantener este flujo constante en cada cambio como, cuando se pasa del "precaqueo" a la filtración, de la filtración al soplado del líquido sin filtrar que queda al final (cola), y de aquí al lavado y/o a otro soplado (según sea la manera de operar), es necesario un exacto procedimiento aplicado con diligencia, en la manipulación de las válvulas.

La dosificación de ayuda de filtro, en estos filtros, se deja continuar hasta que la torta adquiere un espesor determinado ó bien hasta que se le ha suministrado al filtro la cantidad

máxima tolerable de ayuda de filtro especificado por el diseño del filtro. La conclusión del ciclo depende en gran parte de la experiencia, guiada según la forma de trabajar: por la velocidad de formación de la torta en un filtro a presión constante ó por la caída de presión, en un filtro a velocidad constante.

Tratando de no perder la cantidad que represente el líquido remanente (cola) se puede instalar una hoja "barredora" fija en posición horizontal, y que queda en el fondo del tanque (fig IV.3). Esta hoja permite la filtración virtualmente completa del remanente de lechada, cuando ha terminado el ciclo. El conducto de la salida del filtrado de la misma, sale del casco y se une al de las hojas verticales en el exterior.

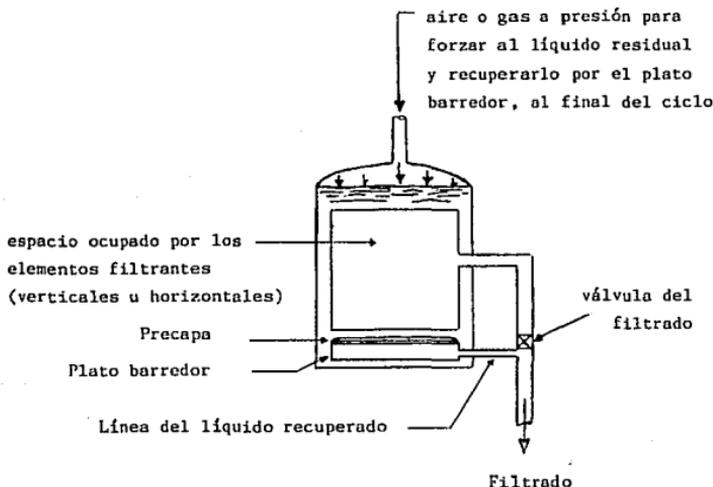


Fig IV.3 Descarga del líquido residual mediante plato barredor  
Fuente: Referencia 22.

Aún así, esta inclusión conlleva dos desventajas que se pueden hacer presentes y hay que considerar. Una es que, como se muestra en la figura IV.3, durante la operación de soplado es necesario que se mantenga un flujo de gas que soporte a las tortas en su lugar sin que se remuevan, por lo que para lograrlo se necesita de una adecuada manipulación de las válvulas de salida del tubo colector múltiple y del tubo de la hoja barredora. El buen control de dichas válvulas asegura los volúmenes apropiados de gas por cada salida. Si por algún motivo la torta se desprende, ésta cae directamente sobre el plato barredor con lo que solo se dejaría paso del flujo a través de la válvula de esta hoja. La otra desventaja es que a lo largo de la filtración aparecen partículas sólidas grandes, así como partículas flotadoras. Estas partículas provenientes del tanque del batch o del tanque de dosificación, se van acumulando en el filtro y debido a su naturaleza no encuentran acomodo en la torta, manteniéndose todo el tiempo en suspensión por la turbulencia de la alimentación. Al terminar el ciclo de filtración y comenzar el soplado, esta clase de sólidos caerán sobre la torta del plato barredor, con lo que tapan parte de la superficie filtrante, disminuyendo el flujo de salida de esa hoja, y aumentando el tiempo de recuperación del líquido remanente sin filtrar.

Descarga de la torta. Una vez que la torta a pasado todos los tratamientos, su descarga en seco es relativamente simple, siempre y cuando el diseño del filtro lo permita en esa forma. Para eso, el fondo del recipiente y la tapa superior se abren, y la torta se desprende, manualmente golpeando la hoja con un mazo

de hule en la orilla ó automáticamente sacudiendo la hoja con vibradores. Si la adhesión es mas tenaz o muy pegajosa, entonces se hace necesario el uso de una espátula larga de madera para raspar las hojas. Esto último ocurre también cuando después de la descarga en seco, el filtro y en especial las mallas de las hojas no son correctamente limpiados, por lo que a la vuelta de algunos ciclos, se ven seriamente incrustadas, y pierden gran parte de su permeabilidad.

Los filtros verticales de hojas verticales, se adaptan mejor a la descarga de la torta por vía húmeda. El lavado de la torta puede hacerse abriendo el casco superior y aplicando el chorro de una manguera para que la torta se lave y se vaya por la salida de drenado. Otra opción es la aspersión de agua mediante boquillas aspersoras fijas o móviles, drenando también la lechada de lavado por el fondo. Una alternativa un poco variada es la de retrolavado, que consiste en hacer pasar el líquido de lavado en sentido contrario al través de las hojas. Es decir, el flujo se invierte pasando del interior de las hojas hacia el interior del filtro, con lo que empujan y tiran la torta (el sentido de la presión se invierte). La salida de este flujo también se hace por la salida del dren.

#### Filtro de Elementos Cilíndricos o de Bujías.

Este filtro es similar al anterior pero en vez de hojas, los elementos filtrantes verticales son tubos cilíndricos. La superficie del tubo puede ser de tela de alambre, piedra porosa, plástico ó de un alambre cuña devanado en forma muy apretada. "Se

usan casi exclusivamente con diatomita" (ref 1). El múltiple del filtrado ahora no es un tubo, sino que comprende toda la parte superior del casco del tanque, éste múltiple a la vez que colecta el filtrado también es de donde se sostienen las bujías, como se muestra en la figura IV.4. La alimentación es por el fondo, de manera que permita la suspensión de los sólidos. Igual que para el filtro anterior, es necesario mantener un P que ayude a sostener la torta alrededor de cada bujía, en tanto no se agote el ciclo y/o se descargue.

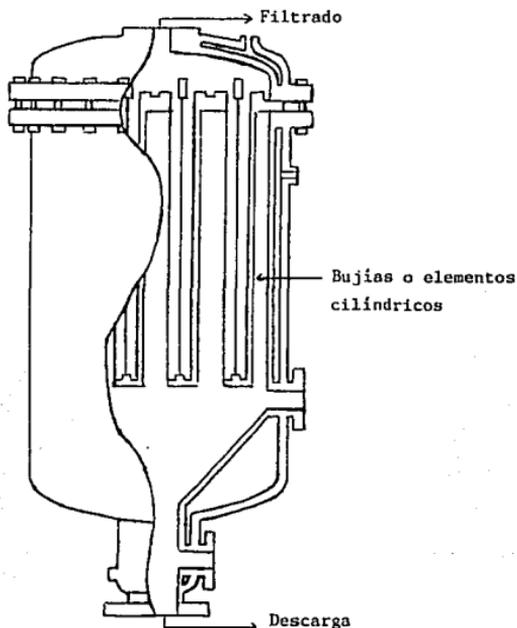


Fig IV.4 Filtro Vertical con Bujías Verticales.

Descarga de la torta. La descarga de la torta casi siempre es por vía húmeda mediante retrolavado. Una desventaja de estos filtros es que las bujías se llegan a encorvar un poco debido a los cambios de presión, al igual que la malla de las hojas cuando no esta bien tensada. Además, cuando la superficie del elemento es de alambre enrollado alrededor de la bujía, sin ser un tejido entrelazado, entonces es mas vulnerable a ser perforado por alguna partícula dura o simplemente a que los hilos se separen por la alta presión del flujo cuando pasa a través. Bajo una correcta operación, estos filtros pueden permanecer trabajando por mucho tiempo, sin necesidad de abrirlos para desmontarlos, excepto para cambiar alguna bujía.

#### Filtro de Tanque Horizontal con Hojas Verticales.

La variante en este filtro es que ahora el recipiente o casco del filtro es un tanque cilindrico pero en posición horizontal. Las hojas pueden ser circulares, rectangulares o con forma de polígono y están sujetas a un tubo múltiple al que vierten el líquido filtrado. El múltiple corre a lo largo del tanque y se ubica en la parte superior ò en el fondo del mismo.

Estos filtros tienen la particularidad de que, como parte de su operación, se abren por completo, dejando expuestas al exterior las hojas filtrantes. El mecanismo para abrirse es variado, pero básicamente se encuentran tres: por corrimiento del casco hacia atrás gracias a un riel, dejando a la tapa en la que se sostiene el múltiple con las hojas (cabezal), como la parte fija; otra opción es que por el contrario, sea el cabezal la

parte móvil que se deslice hacia afuera del casco que se encuentra fijo; la tercera es un diseño, en el que el casco se abre desprendiéndose a lo largo gracias a una especie de bisagra, similar al mecanismo de la tapadera de un cofre, pero que deja al descubierto aprox la mitad inferior. Ver figuras IV.5, 6 y 7.

Dada la facilidad con que se descubren estos filtros, sus hojas pueden ser constantemente inspeccionadas para detectar y prevenir cualquier rotura del tamiz, o si hace falta tensarlo. También se pueden detectar mas rápidamente si hay fugas alrededor de la malla ó por los empaques del tubo donde conecta con la hoja.

Descarga de la torta. La torta se descarga muy fácilmente en seco, ya que como resulta obvio los modelos se prestan a ello. Aunque la descarga se realiza con facilidad, incluso mediante la vibración automática de las hojas, para que la torta caiga hacia una tolva o canalón (colocado por debajo, a la altura que queda el cabezal ya descubierto), hay un pequeño inconveniente para el modelo en el que el tubo colector se encuentra en el fondo. Sucede que en su caída algunos pedazos de la torta (terrones) se golpean o pulverizan contra el tubo colector, quedando parte del polvo depositado sobre el tubo. Igualmente puede ocurrir que durante el desplazamiento de abertura, por movimiento del casco o del cabezal, la vibración haga que la torta seca se desprenda antes de que las placas se descubran por completo, con lo que algunos pedazos de torta pueden caer en el fondo del casco. Toda la tierra o polvo de torta remanente, deberá ser retirada del casco y de aquellas otras partes donde quede depositada (como se mencionó con el múltiple), de manera que las hojas y el interior

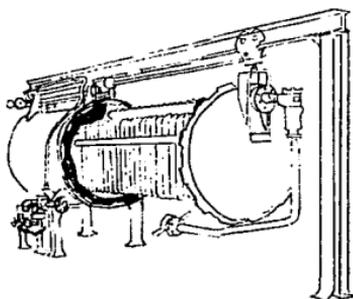


Fig IV .5 Cabezal móvil

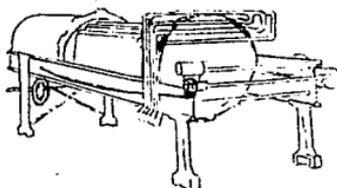


Fig IV .6 Casco móvil

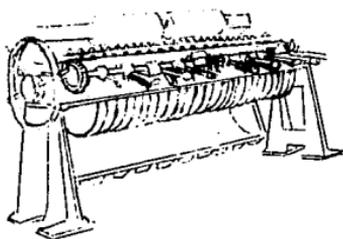


Fig IV .7 De compuerta

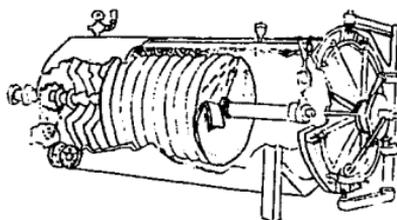


Fig IV .8 De hojas rotatorias

**Modelos de Filtros Horizontales con Hojas Verticales.**

lavar, el problema se resuelve fácilmente, pero cuando no es así, entonces los residuos se retiran mecánicamente con la ayuda de un rastrillo y espátulas de madera.

Si se requiere de limpiar las hojas más eficientemente, estos filtros se equipan con inyectores que oscilan de 45 a 90, y que apuntan hacia la torta, de manera que a fuerza de chorro, obligan a la torta a desprenderse.

Una variante de estos filtros son los que tienen las hojas circulares, montadas sobre un múltiple de descarga axial y que pueden girar durante la filtración, para favorecer la formación de una torta más iniforme, ver fig IV.8.

Este tipo de filtros se adapta particularmente para instalaciones en donde es muy difícil retirar la torta por medio de inyectores, ya que su diseño permite que las hojas roten los 360 para ayudar a que el chorro de lavado llegue a toda la superficie de la hoja.

Otro camino para descargar la torta (por si no se considera conveniente mezclar toda la torta con el líquido de lavado), es combinar las dos maneras, por vía seca y por vía húmeda. Sencillamente se trata de desprender primero la parte principal de la torta por vibración y después lavar la torta que reste adherida, con el líquido de lavado.

#### IV.2.3.2 Filtros con Elementos Horizontales.

Dentro de este grupo se encuentran los filtros cuyos elementos filtrantes son similares a los ya descritos, es decir,

están hechos de la misma forma y con los mismos materiales, aunque existe uno un tanto diferente como es el filtro de "canastilla". Obviamente la principal diferencia corresponde a la posición que los elementos toman dentro del filtro.

El contenedor o tanque, también es cilíndrico y puede presentar la posición vertical u horizontal.

Una de sus principales ventajas, y que favorece la aplicación de los ayudas de filtro, radica en el hecho de que por su diseño, las placas permiten la deposición de una torta uniforme que se mantiene adherida al tamiz más fácilmente que en el caso vertical. Las hojas o placas, sólo presentan área filtrante por la parte superior.

Como desventaja tienen que precisamente se desaproveche el lado opuesto de la placa, con lo que rinden menor área filtrante por área de piso ocupado.

Existen otras ventajas y desventajas que dependen del modelo en particular.

#### Filtro de Tanque Horizontal con Hojas Horizontales.

El modelo se parece al vertical de hojas verticales, pero en posición acostada. Las hojas son rectangulares y drenan a un tubo múltiple que colecta el filtrado; o bien puede tenerse la opción de salidas individuales. Este tubo se ubica en un extremo lateral y corre en línea paralela al diámetro del casquete, haciendo 90 con la horizontal. Las hojas se recuestan sobre unos pequeños ángulos que las fijan y sostienen en su posición. En estos filtros, normalmente la hoja del fondo también actúa como hoja

barredora (a veces son las dos del fondo) y tiene su salida independiente con su válvula en el exterior, para unirse luego con la línea de salida del filtrado.

Descarga de la torta. Después del soplado con gas, se procede a la descarga de la torta en forma húmeda, es decir, mediante chorro de lavado, el cual se puede hacer con el filtro cerrado si cuenta con el sistema instalado, o con el filtro abierto por la tapa o casquete opuesto al cabezal, usando una manguera.

#### Filtro de Tanque Vertical y Hojas Horizontales.

También conocido como filtro de canastilla o filtro pulidor. En repetidas ocasiones se utiliza como un segundo paso de filtrado.

Consiste de un tanque vertical en el que se introduce un número de placas circulares que se colocan en forma horizontal una sobre otra. Cada elemento filtrante se compone de una charola de dren, una placa perforada, y guías, todos formando una pila que se aprieta mediante largos tornillos que van de la cabeza a la base, por un lado del conjunto. La pila de placas que así se compone, la atravieza por el centro una cavidad que se forma por la unión de todos los centros perforados de las partes. A este conducto fluye el filtrado de todas las placas que a su vez reciben el líquido sin filtrar por orificios laterales, figura IV.9. El conjunto semeja también una canasta, la cual se arma afuera del tanque o recipiente y luego se introduce y encierra herméticamente dentro del tanque a presión.

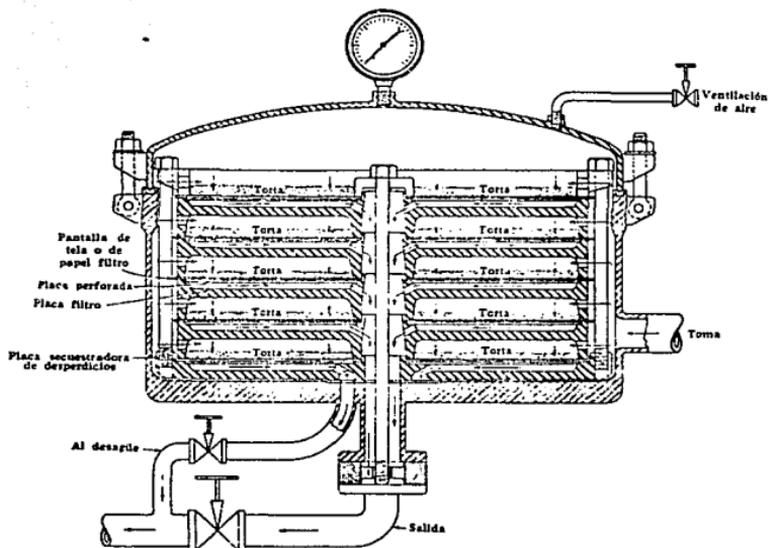


Fig IV.7 Diagrama esquemático de la sección de un filtro de placas horizontales. Obsérvese que el plato del fondo funciona como plato barredor, cuya válvula de descarga se abre durante el revestido y se mantiene cerrada hasta el final del ciclo. Entonces se cierra la válvula de salida y se abre la válvula de descarga final y el líquido remanente se filtra a través de esa última placa, introduciendo aire o gas a presión por la entrada. Fuente: Referencia 5.

El tamiz o medio filtrante puede ser de papel o tela, más común el primero, y se coloca por encima de la placa metálica perforada. El ciclo se detiene hasta que la velocidad del filtrado ya no resulte conveniente, o bien, que el espacio de torta se haya saturado.

Descarga de la torta. Para descargar la torta y limpiar el filtro, primero se sopla, al igual que en los otros filtros de elementos verticales, aunque aquí no se cae si la presión disminuye. Una vez vaciado todo el líquido, se procede a abrir la tapa del filtro, ya despresurizado. Mediante la ayuda de un sistema de polea o con una grúa, se engancha la canastilla para ser retirada como una unidad, se deposita en el exterior y se desarma de nuevo para retirar la torta de cada plato. Las partes desarmadas se lavan a chorro de manguera (lo mismo el tanque), para luego volverlas a ensamblar.

Normalmente este tipo de filtro, cuando se usa con ayudas de filtro, es porque se trata de una segunda filtración, llámese de pulido ó refiltración, o bien, se trata de la filtración de líquidos con bajo contenido de sólidos (sustancias farmacéuticas, por ejemplo), donde se requiere de una filtración más estricta, por lo que la dosificación de ayuda de filtro es poca, casi siempre de grados finos o cerrados, de manera que el espacio de torta no se llena rápidamente.

Entre las ventajas de este filtro están, su tamaño compacto y su facilidad de limpieza a fondo. Como desventaja se tiene la necesidad de mano de obra para desarmar la canasta, limpiarla y volver a armarla.

### IV.3 FILTROS A VACIO.

Los filtros que funcionan con vacio son la otra alternativa para hacer fluir el liquido a traves del elemento filtrante. Es decir, que para lograrlo, ya no es una fuerza impulsora como la presión la que se aplica, sino que ahora lo que se utiliza es una fuerza de succión.

#### IV.3.1 Ventajas y Desventajas.

"Las ventajas de los filtros al vacio son:

1. Se pueden diseñar como filtros continuos eficaces.
2. Como tales, utilizan poca mano de obra y son adiciones eficientes para los procesos continuos.
3. La superficie de filtración se puede abrir a la atmósfera y por consiguiente, es fácil llegar a ella para efectuar inspecciones y reparaciones.

Las desventajas son:

1. Se debe mantener un sistema de al vacio.
2. No se pueden usar filtros al vacio con filtrados volátiles, ya sea debido a un punto normal de ebullición bajo o a una temperatura de operación elevada.
3. La mayoría de los filtros al vacio no pueden manejar sólidos compresibles cuya filtración es difícil.
4. Los filtros continuos al vacio son inflexibles y no ofrecen un buen desempeño si su corriente de alimentación cambia con respecto a la velocidad, la consistencia o el

elevado (5% o mas), ó la permeabilidad y/o compresibilidad son baja y alta respectivamente, entonces un filtro de presión y aún uno de hoja al vacío, resulta poco adecuado para filtrar.

El filtro rotatorio de precapa al vacío (fig IV.10), es una modificación importante del filtro rotatorio de tambor tradicional, cuyo primer modelo fue diseñado y construido por Dorr-Oliver Inc, y que se conoce como "filtro Oliver". Estos filtros son usados en operaciones continuas a gran escala, aunque con la aplicación de la precapa o prerecubrimiento de ayuda de filtro, la operación se vuelve transitoria pero de ciclos tan prolongados (días) que se sigue considerando como continuo.

Un filtro de tambor estándar se le reconocen tres partes principales: el tambor con su válvula automática de filtrado; un tanque (o canoa) abierto con agitador, donde se recibe o alimenta la suspensión que se quiere filtrar; y una cuchilla raspadora que descarga la torta. Sin embargo, en los filtros rotatorios de precapa al vacío, también es importante el septo ó tamiz que cubre al tambor sobre toda su superficie exterior, pues debe de ser capaz de retener la precapa de ayuda filtro. El cilindro o tambor rota en torno a su propio eje que se encuentra en el plano horizontal, sumergiendo constantemente, gracias a este mecanismo, una parte del mismo dentro de la lechada o suspensión.

"Debajo de la superficie del tambor principal se encuentra otro mas pequeño. Entre los dos tambores hay tabiques radiales que dividen el espacio anular en compartimientos separados, conectando cada uno mediante un tubo interno a un orificio situado en la placa rotatoria de la válvula giratoria. Se aplican alternativamente aire y vacío a cada compartimiento a medida que

gira el tambor" (ref 3). Cada compartimiento forma un panel por el exterior y a lo largo del cilindro.

Accionando la válvula automática se aplica vacío a la superficie del tambor (paneles) que se introduce en la suspensión o lechada, a través de la tubería interna (la cual emerge a través del muñón y de la válvula en un extremo del filtro), provocando así que se forme y deposite una capa de torta de sólidos poco permeables sobre el medio de filtración, ahora compuesto por la precapa y la tela o malla. Normalmente el líquido succionado se saca por medio de una bomba al vacío y/o condensador.

Al emerger la sección de superficie, se mantiene el vacío en los compartimientos y la capa de torta asciende mientras el tambor gira, para luego pasar al lavado por medio de toberas de aspersión; el líquido de lavado (usualmente agua) se infiltra en la torta y desplaza al líquido contenido todavía en ella. Posteriormente se seca y luego se desprende al ser raspada por la cuchilla para descargarla y dejar otra vez una superficie limpia para comenzar de nuevo el ciclo.

La cuchilla está situada sobre el nivel del líquido y avanza cortando la película de sólidos (torta) además de una pequeña cantidad de la precapa. El desgaste de la precapa hace que el ayuda de filtro se vaya consumiendo hasta que la cuchilla se encuentra a un  $1/4 - 1/8$  pulg del tambor, momento en el que se limpia y se establece una nueva precapa. El proceso de operación es cíclico y comprende las mismas etapas que pueden ocurrir en un "batch", solamente que aquí se realizan continuamente, simultáneamente y en diferentes partes del filtro conforme rota.

Dichas etapas son:

- a) "Formación de torta.
- b) Lavado de torta.
- c) Secado parcial de la torta.
- d) Descarga de la torta.
- e) Lavado del medio filtrante.

De estas etapas, las tres primeras están controladas por la velocidad de operación y las dos últimas dependen de las características de diseño del equipo" (ref 4).

Las velocidades de rotación varían desde 0.25 hasta 3.0 rpm. La diferencia de presión aplicada es de 25 a 50 cm Hg (ref 2,3).

"La filtración o clarificación continúan durante periodos que van desde 16 hrs hasta 1 semana" (ref 1), según la cantidad de precapa previamente depositada y la cantidad de ayuda filtro que arrastre la torta por el corte de la cuchilla.

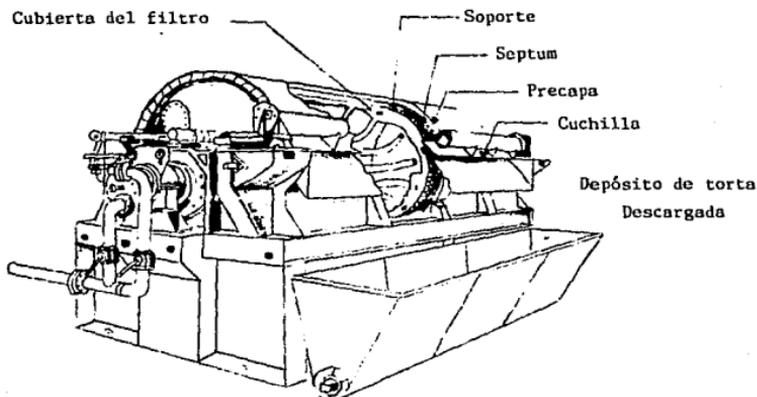


Fig IV.10 Filtro Rotatorio de Precapa al vacío.

V. "PRUEBAS EXPERIMENTALES A PRESION CONSTANTE PARA LA SELECCION DE UN AYUDA DE FILTRO DE DIATOMITA".

## V.1 INTRODUCCION.

Con base en lo expuesto, y como parte del objetivo de este trabajo, el capítulo que aquí se expone comprende una serie de pruebas experimentales realizadas en un equipo completo de filtración, que se utiliza para evaluar diferentes grados de ayudas de filtro hechos a base de diatomita.

## V.2 CONSIDERACIONES PRELIMINARES.

El filtro de que se dispuso para la realización de las pruebas es un equipo que funciona a presión, y se trata de un filtro prensa (de tamaño pequeño) cuyas características se describen más adelante.

La importancia de la realización de este tipo de pruebas radica precisamente en lograr escoger un ayuda de filtro y la cantidad del mismo que mejor "ayude" a la filtración del líquido que se requiere filtrar. Sin embargo, también se tiene la ventaja de que se adquiere una compenetración mayor con la operación.

La aplicación de la "teoría de la filtración" en el tratamiento de los datos, además de proporcionar una ecuación que describa y se ajuste al comportamiento de la filtración, también sirve para explicarnos bajo un punto de vista teórico y mediante parámetros, el porque del mismo comportamiento.

Dado que el equipo usado es un filtro prensa, se puede referir al capítulo IV, para una descripción general sobre esta tipo de filtros. No obstante, su uso presenta ciertas ventajas en la realización de esta clase de pruebas, lo que no quiere decir

que cualquier otro filtro de los descritos, también funcione. Mucho se recomienda que pruebas de estas se corran en equipos pilotos que sean representativos del equipo de dimensión industrial, en donde se piensa hacer la aplicación del ayuda de filtro en forma sistematizada.

#### V.2.1 Ventajas del Filtro Empleado.

Desde el punto de vista de evaluación, el filtro utilizado tiene las siguientes ventajas: permite el empleo de diferentes tamices filtrantes (lona, papel filtro, algodón, etc) de porosidades también diferentes; la torta puede retirarse y observarse al final de la operación de filtrado, pudiendo incluso hacerle cortes para ver su composición, revisando la correcta formación de las capas de precapa y torta; el área de filtración es regulable en la misma razón en que se puede aumentar o disminuir el número de placas filtrantes; la descarga de la torta aún cuando es manual, resulta sencilla al igual que la limpieza, ya que se llega hasta los elementos filtrantes y remover los residuos resulta tarea fácil.

#### V.3 OBJETIVOS DE LAS PRUEBAS.

Los objetivos de estas pruebas y también la finalidad de este trabajo, son los siguientes:

1. Conocer y entender el desempeño de los ayudas de filtro en la filtración, así como su metodología de aplicación.

2. Evaluar y seleccionar el grado adecuado de un ayuda de filtro hecho a base de tierra diatomacea.

3. Aprender a determinar la dosificación óptima del ayuda de filtro seleccionado en el objetivo 2.

#### V.4 TRATAMIENTO DE LOS DATOS.

Como la ecuación que se aplica es la ecuación de Poiseuille (para la cual se considera que el flujo a través de la torta es laminar) y la operación es una filtración a presión constante, donde la suspensión se alimenta bajo una presión hidrostática y mediante una bomba, entonces las únicas mediciones experimentales son el tiempo y el volumen de filtrado, con lo que los cálculos se vuelven muy sencillos.

Partiendo de la ec (10) del capítulo I, se llega a una ecuación que nos expresa al volumen en función del tiempo ó viceversa.

$$\frac{d\theta}{dV} = K_1 V + K_2 \quad (10)$$

Separando las variables de cada lado de la igualdad queda,

$$d\theta = (K_1 V + K_2) dV$$

y

$$\int d\theta = \int (K_1 V + K_2) dV \quad (13)$$

La integral de la izquierda es directa y solo basta tomar los límites. En cambio para el término de la derecha, hay que

redefinir a la variable. Esto es que, ahora

$$u = K_1 V + K_2 \quad \text{y} \quad du = K_1 dV$$

cuya integral es de la forma,

$$\int u du = \frac{u^{n+1}}{n+1}$$

Para poder integrar al término de la derecha, multiplicamos a la integral por el cociente  $(K_1/K_1)$ ,

$$\int (K_1 V + K_2) \frac{K_1}{K_1} dV = \frac{1}{K_1} \int (K_1 V + K_2) K_1 dV$$

entonces,

$$\int_0^t d\theta = \frac{1}{K_1} \int_0^V (K_1 V + K_2) K_1 dV$$

integrando,

$$\theta \Big|_0^t = \left( \frac{K_1 V + K_2}{2 K_1} \right)^2 \Big|_0^V$$

aplicando los límites,

$$(t - 0) = \frac{(K_1 V + K_2)^2}{2 K_1} - \frac{(K_2)^2}{2 K_1}$$

Así obtenemos una ecuación que sirve para calcular el tiempo necesario para filtrar un volumen requerido de filtrado del líquido con el que se han hecho las determinaciones.

$$t = \frac{(K_1 V + K_2)^2}{2 K_1} - \frac{(K_2)^2}{2 K_1} \quad (14)$$

De esta misma ecuación también se puede despejar el volumen

y ponerlo como una expresión en función del tiempo.

$$V = \frac{\sqrt{2 t K_1 + K_2^2} - K_2}{K_1} \quad (15)$$

La ecuación (15) permite calcular el volúmen de filtrado para un tiempo dado. O si se quiere una expresión para el flujo total acumulado por unidad de área filtrante, entonces se divide a la ecuación (15) entre el área "A".

$$F_{ta} = \frac{\sqrt{2 t K_1 + K_2^2} - K_2}{A K_1} \quad (15a)$$

La ecuación (14) es la ecuación que representa a las curvas de filtración a presión constante (gráfica de V vs t). Con esta ecuación se pueden hacer extrapolaciones a tiempos mayores, siempre y cuando la torta sea incompresible.

#### V.5 DESCRIPCION DEL EQUIPO.

El equipo utilizado se encuentra esquematizado en la fig V.1 y esta compuesto por los siguientes:

- Un Filtro Prensa de acero inoxidable, acabado sanitario.

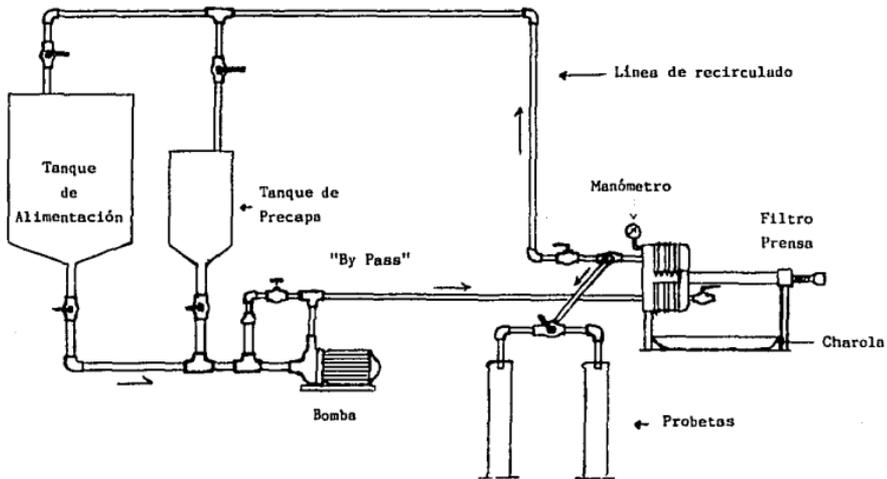
Num de placas: 4 de 20 \* 20 cm (8") de lado

Num de marcos: 3 de 20 \* 20 cm (8") de lado y 1.5 cm de espesor.

Area máxima de filtración: 0.236 m<sup>2</sup> (2.54 ft<sup>2</sup>)

Area mínima de filtración: 0.059 m<sup>2</sup>

Figura V.1 Diagrama del sistema de filtración empleado para las pruebas.



Volúmen máximo de torta: 1.8 lts

Filtro formado por: 8 medios filtrantes

Incluye: válvulas de alimentación, salida y dren, manómetro y charola de goteo.

- Una bomba centrífuga de alimentación, acoplada a motor eléctrico de 1 hp.
- Un tanque de precapa de acero inox.
- Un tanque de alimentación de acero inox.
- Tubería y válvulas galvanizadas.
- Dos probetas de 1 lt de capacidad c/u.
- Un agitador eléctrico de flecha y hélice.
- Un termómetro.
- Un cronómetro.

#### V.6 MATERIALES Y CONDICIONES DE OPERACION.

- Líquido a filtrar: Aceite de maíz de invernación.
- Densidad: 0.92 g/cc
- Tipo de sólidos en suspensión: Ceras
- Cantidad de ceras: 1% en peso.
- Temperatura de filtración: 6 a 12 C
- Tiempo de formación de precapa: 2 min
- Área filtrante: 0.059 m (Precapa: 41 gr de ayuda filtro)
- Tela filtrante: Lona (nueva)
- Ayudas de filtro evaluados:
  - \* Hyflo super cel
  - \* Celite 501

- \* Celite 503
- \* Celite 535
- \* Celite 535 A.D. (Alta Densidad)
- \* Celite 545

Nota: El Celite 535 A.D., es similar al celite 535, pero su granulometría es mayor. Ver apéndice al final de este capítulo.

#### V.7 OPERACION Y PROCEDIMIENTO.

En todas las corridas se forma precapa en el área filtrante. La suspensión de precapa se prepara con 41 gr de ayuda de filtro en 5 lt de aceite filtrado (limpio) y se recircula entre el filtro y el tanque de precapa con ayuda de la bomba.

Para cada corrida se carga un volúmen de 10 lt de aceite de invernación en el tanque de alimentación.

El ayuda de filtro de dosificación es el mismo que se utiliza para la precapa. La cantidad de dosificación se agrega al tanque de alimentación y se agita. Cuando la mezcla esta lista, de manera simultanea se cierra la válvula del tanque de precapa y se abre la del tanque de alimentación, para que la presión del flujo en el filtro se mantenga estable.

Inmediatamente después se procede a cerrar la válvula de recirculación y se abre la de salida del filtrado. El filtrado se va recibiendo en las dos probetas en forma alternada.

La filtración finaliza cuando se han recolectado 9 lt de aceite filtrado.

Después de esto se procede a drenar el tanque de

alimentación y el filtro, de manera que el sistema vuelva a quedar vacío.

Del filtro se descarga la torta y se retiran las lonas para ser raspadas con espátula, estas se cambian por otras nuevas para la próxima corrida.

De esta manera el sistema queda listo para la siguiente corrida.

Nota: Muy importante es mantener la agitación en el tanque de alimentación para evitar que el ayuda de filtro se sedimente.

## V.8 RESULTADOS.

A continuación se reportan los resultados obtenidos para cada corrida bajo las condiciones de operación dadas. La presentación se dividió en dos partes, cada una siguiendo un objetivo.

En cada corrida se anotaron los datos de volumen, presión, temperatura y tiempo.

### V.8.1 Primera Parte.

Objetivo: Seleccionar el grado mas productivo de ayuda de filtro de diatomita para la filtración de aceite de maíz de invernación.

Para esta parte, con excepción de la corrida No 1, la dosificación elegida para todos los ayudas de filtro fue de 1%, es decir se mantuvo una relación, Ayuda filtro: Sólidos de 1:1.

## Corrida No 1

## SIN AYUDA DE FILTRO

V (lt)	t (seg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t/\Delta V$ (seg/lt)
0	0	1.3	
1	52	1.3	52
2	104	1.3	52
3	152	1.3	58
4	224	1.3	62
5	286	1.3	62
6	349	1.3	63
7	410	1.3	61
8	472	1.3	62
9	533	1.3	61

## Corrida No 2

## Hyflo S.C. 1%

V (lt)	t (seg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t/\Delta V$ (seg/lt)
0	0	1.3	
1	24	1.3	24
2	57	1.3	33
3	93	1.3	36
4	132	1.3	39
5	173	1.3	41
6	218	1.3	45
7	270	1.3	52
8	322	1.3	52
9	375	1.3	53

## Corrida No 3

## Celite 501 1%

V (lt)	t (seg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t/\Delta V$ (kg/cm)
0	0	1.3	
1	16	1.3	16
2	36	1.3	20
3	61	1.3	25
4	89	1.3	28
5	119	1.3	30
6	152	1.3	33
7	186	1.3	34
8	221	1.3	35
9	258	1.3	37

## Corrida No 4

Celite 503 1%

V (lt)	t (seg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t/\Delta V$ (seg/lt)
0	0	1.3	
1	17	1.3	17
2	41	1.3	24
3	70	1.3	29
4	101	1.3	31
5	134	1.3	33
6	168	1.3	34
7	204	1.3	36
8	241	1.3	37
9	280	1.3	39

## Corrida No 5

Celite 535 1%

V (lt)	t (seg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t/\Delta V$ (kg/cm)
0	0	1.3	
1	19	1.3	19
2	40	1.3	21
3	64	1.3	24
4	87	1.3	23
5	113	1.3	26
6	139	1.3	26
7	167	1.3	28
8	196	1.3	29
9	227	1.3	31

## Corrida No 6

Celite 535 A.D. 1%

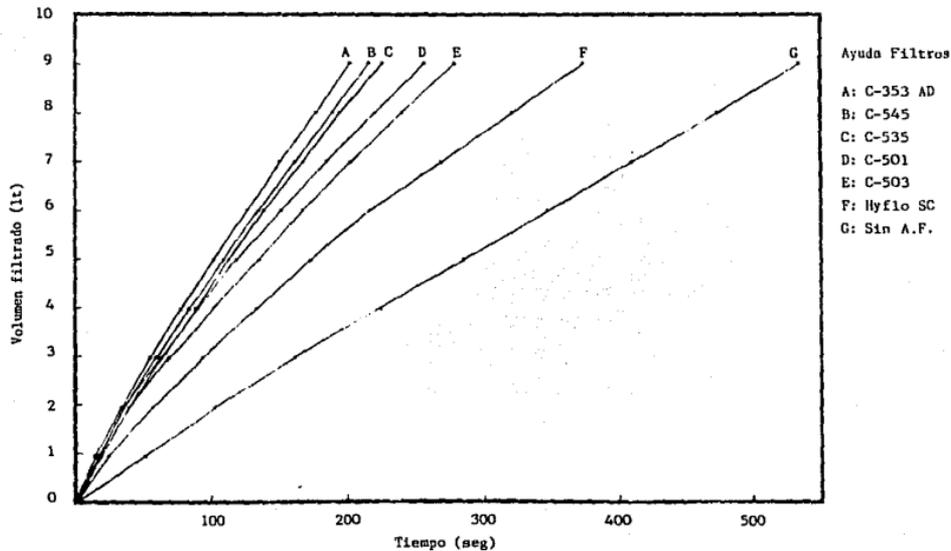
V (lt)	t (seg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t/\Delta V$ (seg/lt)
0	0	1.3	
1	16	1.3	16
2	35	1.3	19
3	56	1.3	21
4	78	1.3	22
5	102	1.3	24
6	126	1.3	24
7	151	1.3	25
8	177	1.3	26
9	204	1.3	27

## Corrida No 7

Celite 545 1%

V (lt)	t (seg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t/\Delta V$ (kg/cm)
0	0	1.3	
1	15	1.3	15
2	36	1.3	21
3	59	1.3	23
4	84	1.3	25
5	109	1.3	26
6	135	1.3	27
7	162	1.3	27
8	189	1.3	27
9	217	1.3	28

GRAFICA COMPARATIVA DE FILTRACION  
FILTRACION DE ACEITE DE MAIZ DE INVERNACION, USANDO AYUDAS DE FILTRO DIATOMACEOS



Precapa del mismo grado: 700 g/m<sup>2</sup>  
Dosificación: 1:1  
Presión: 1.3 kg/cm<sup>2</sup>

En la gráfica V.1, se encuentran graficados los datos de volumen V contra tiempo t, para cada corrida.

#### V.B.1.1 Observaciones Primera Parte.

A continuación se tabulan los tiempos y flujos que se obtuvieron con cada grado de ayuda de filtro. Como blanco se toma la corrida No 1 (SIN AYUDA DE FILTRO), sobre la que han de medirse los beneficios que se obtengan con los ayudas de filtro. El flujo que se expresa se refiere al volumen total filtrado del batch (9 lt), dividido entre el tiempo total de filtrado. Ver tablas V.1 y V.2.

Tabla V.1 Tiempos y flujos.

---

Ayuda filtro al 1% mas precapa	Tiempo de filtración		Flujo total por corrida (lt/min)
	(seg)	(min)	
SIN AYUDA DE FILTRO	533	8.88	1.00
HYFLO S.C.	378	6.25	1.44
CELITE 501	258	4.30	2.09
CELITE 503	280	4.67	1.93
CELITE 535	227	3.78	2.38
CELITE 535 A.D.	204	3.40	2.65
CELITE 545	217	3.62	2.49

---

La siguiente tabla muestra como el empleo del ayuda de filtro incrementa el flujo (vol/tiempo) hasta en más del 100%, con lo que proporciona un ahorro en el tiempo de operación. Tomando como base al tiempo final de la corrida sin ayuda de filtro (533 seg = 100%).

Tabla V.2 Como afecta al flujo y el tiempo.

---

Ayuda filtro al 1% mas precapa	Tiempo de operación (%)	Porcentaje de flujo (%)
SIN AYUDA FILTRO	100	100
HYFLO S.C.	71	144
CELITE 501	48	209
CELITE 503	53	193
CELITE 535	43	238
CELITE 535 A.D.	38	265
CELITE 545	41	249

---

De acuerdo con la información técnica, sería de esperarse que el Celite 503, resultara más rapido que el Celite 501, es decir que proporcionara mayor volumen por tiempo de filtrado.

Para corroborar estos resultados, así como también el de la corrida con Celite 535 A.D., se realizaron las dos corridas siguientes.

Corrida No 8				Corrida No 9			
Celite 535 A.D. 1%				Celite 503 1%			
V (lt)	t (seg)	P (kg/cm)	t/V (seg/lt)	V (lt)	t (seg)	P (kg/cm)	t/V (seg/cm)
0	0	1.3		0	0	1.3	
1	11	1.3	11	1	23	1.3	23
2	29	1.3	18	2	46	1.3	23
3	52	1.3	23	3	71	1.3	25
4	75	1.3	23	4	99	1.3	28
5	100	1.3	25	5	128	1.3	29
6	126	1.3	26	6	159	1.3	31
7	153	1.3	27	7	191	1.3	32
8	180	1.3	27	8	224	1.3	33
9	212	1.3	32	9	259	1.3	35

De estas dos últimas corridas se observa que el comportamiento que describen es similar al que se observó para las corridas 6 y 4, que les corresponden por estar hechas con el mismo grado de ayuda de filtro. Estos resultados llevan a considerar lo siguiente: a) la distribución de tamaño de partícula del 503 que se empleó esta cargada del lado de mayor % de partículas finas que la del celite 501, por lo que dió un flujo menor; b) el celite 501 empleado tiene una granulometría alta en comparación con la del celite 503, es decir, como el celite 535 A.D., en comparación con el celite 535 normal (de la tabla IV.2 se observa que el % de retenido en m-150 es muy similar para ambos; c) las dos razones anteriores son ciertas; d) se este fallando en la operación.

Dado que el objetivo es, aplicar el método de selección del ayuda de filtro mas productivo con la claridad aceptable, entonces consideraremos a las primeras siete corridas como representativas de cada grado empleado.

La prueba para medir la claridad del filtrado y corroborar si el filtrado cumple con los requisitos de calidad, es la prueba conocida como "cold test", la cual consiste en volver a enfriar el aceite filtrado por un tiempo de 48 a 72 hrs y volver a determinar el contenido de ceras. Dado que el aceite de invernación filtrado solo con lona, sin ayuda de filtro, cumple con la claridad deseada, entonces es normal que las filtraciones con ayuda de filtro den también la claridad esperada.

El grado de ayuda de filtro diatomaceo que dió el mayor volúmen de filtrado en el menor tiempo y con la claridad deseada, resultó el Celite 535 A.D. (alta densidad), en la misma proporción que los demás.

Es notorio el hecho de que cuando se filtra usando una lona nueva de color blanco, sin usar precapa, como es el caso de la corrida No 1, al retirarse la torta, las lonas se muestran claramente impregnadas por la cera color crema. Este hecho contrasta con el que se observa cuando se usa precapa, pues en este caso, la lona, al desprender la torta, conserva su color blanco original.

#### V.8.1.2 Determinación de las constantes de filtración.

Con la ayuda de un programa de regresión lineal, se calcularon los valores de K1 y K2 para cada corrida, tabla V.3.

Tabla V.3 Constantes de filtración.

Corrida	Ayuda de Filtro	Pendiente K1 (seg/lt <sup>2</sup> )	Ordenada K2 (seg/lt)	Coef de Correl (r <sup>2</sup> )
1	SIN A. F.	1.22	53.14	0.5938
2	HYFLD S.C.	4.04	22.43	0.9546
3	CELITE 501	2.54	16.00	0.9438
4	CELITE 503	2.58	18.50	0.8845
5	CELITE 535	1.38	18.31	0.9604
6	CELITE 535 A.D.	1.25	16.42	0.9375
7	CELITE 545	1.32	17.53	0.7947

Tabla V.4 Ecuaciones de las curvas.

Corrida	Ecuación
No	V en (lt); t en (seg)
1	$V = \frac{\sqrt{2 t * 1.22 + (53.14)^2}}{1.22} - 53.14$
2	$V = \frac{\sqrt{2 t * 4.04 + (22.43)^2}}{4.04} - 22.43$
3	$V = \frac{\sqrt{2 t * 2.54 + (16.00)^2}}{2.54} - 16.00$
4	$V = \frac{\sqrt{2 t * 2.58 + (18.50)^2}}{2.58} - 18.50$
5	$V = \frac{\sqrt{2 t * 1.38 + (18.31)^2}}{1.38} - 18.31$
6	$V = \frac{\sqrt{2 t * 1.32 + (17.53)^2}}{1.32} - 17.53$
7	$V = \frac{\sqrt{2 t * 1.25 + (16.42)^2}}{1.25} - 16.42$

Para la primera corrida la ecuación resulta válida pero solo para los puntos determinados, pues se trata de una torta compresible cuya resistencia va en aumento conforme pasa el tiempo, por lo que no se pueden extrapolar datos. Así también, para esta misma corrida sin ayuda de filtro, se observa de la tabla V.3 que, el coeficiente de correlación toma un valor de 0.5938, lo que indica que el comportamiento descrito por la variación de los incrementos ( $\Delta t/\Delta V$ ), no sigue una relación lineal, como lo presentan las tortas incompresibles.

Regresándonos a los datos experimentales de  $\Delta t/\Delta V$ , podemos notar como desde un principio, la corrida sin ayuda de filtro presenta un valor muy alto, lo que indica que la filtración será muy lenta, debido al taponamiento del medio filtrante por la cera. Esto ocasiona que la ordenada al origen  $K_2$ , así calculada, tenga un valor muy elevado (en comparación con las demás), lo que significa que existe una "alta resistencia del medio filtrante",  $R_m$ .

#### V.8.2 Segunda Parte.

Objetivo: Determinar la dosificación óptima del ayuda de filtro diatomáceo, seleccionado en la primera parte.

En esta segunda parte se corren pruebas utilizando Celite 535 A.D., pero con diferentes dosificaciones. La variación de ayuda de filtro se hace dosificando a intervalos de 0.25%, a partir de 0.0%. De tal manera que se pueda detectar cual es la dosificación óptima del grado elegido como el más productivo, sin variar la cantidad de sólidos.

## Corrida No 10

Celite 535 A.D., 0.25%

V (lt)	t (seg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t/\Delta V$ (seg/lt)
0	0	1.3	
1	17	1.3	17
2	47	1.3	30
3	95	1.3	48
4	138	1.3	43
5	178	1.3	40
6	220	1.3	42
7	267	1.3	47
8	313	1.3	46
9	360	1.3	47

## Corrida No 11

Celite 535 A.D., 0.50%

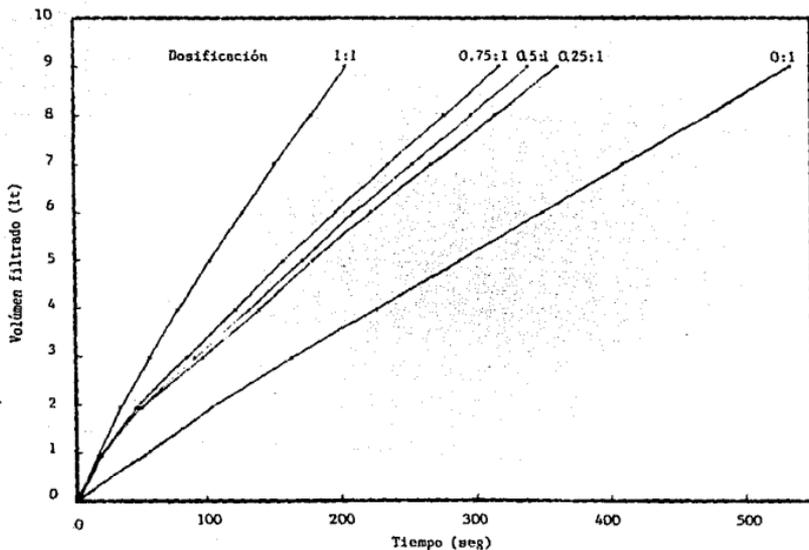
V (lt)	t (seg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t/\Delta V$ (kg/cm)
0	0	1.3	
1	20	1.3	20
2	51	1.3	31
3	89	1.3	38
4	130	1.3	41
5	169	1.3	39
6	209	1.3	40
7	252	1.3	43
8	295	1.3	43
9	338	1.3	43

## Corrida No 12

Celite 535 A.D. 0.75%

V (lt)	t (seg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t/\Delta V$ (seg/lt)
0	0	1.3	
1	18	1.3	18
2	46	1.3	28
3	84	1.3	38
4	120	1.3	36
5	156	1.3	36
6	195	1.3	39
7	234	1.3	39
8	275	1.3	41
9	318	1.3	43

FILTRACION DE ACEITE DE MAIZ DE INVERNACION  
DOSIFICANDO CELITE 535 AD EN DIFERENTES CANTIDADES



Precapa del mismo grado: 700 g/m<sup>2</sup>  
Dosificación, Ayuda de filtro : Ceras  
Presión: 1.3 kg/cm<sup>2</sup>, constante.

V.8.2.1 Observaciones Segunda Parte.

Tabulando igual que en la primera parte, se presentan los siguientes resultados.

Tabla V.5 Tiempos y flujos.

Ayuda filtro mas precapa	Tiempo de filtración		Flujo total por corrida
	(seg)	(min)	(lt/min)
SIN AYUDA DE FILTRO	533	8.88	1.00
CELITE 535 A.D., 0.25:1	360	6.00	1.50
CELITE 535 A.D., 0.50:1	338	5.63	1.60
CELITE 535 A.D., 0.75:1	318	5.30	1.70
CELITE 535 A.D., 1:1	204	3.40	2.65

Tabla V.6 Como afecta al flujo y el tiempo.

Ayuda filtro mas precapa	Tiempo de operación	Porcentaje de flujo
	(%)	(%)
SIN AYUDA FILTRO	100	100
CELITE 535 A.D., 0.25:1	68	150
CELITE 535 A.D., 0.50:1	63	160
CELITE 535 A.D., 0.75:1	60	170
CELITE 535 A.D., 1:1	38	265

La primera dosificación de 0.25:1, repercute en un aumento de 50% en el flujo, posteriormente los siguientes incrementos de cada 0.25, proporcionan un aumento de 6.6% y 6.2% sobre el

anterior inmediato, hasta que en la dosificación de 1:1, el incremento de 0.25, genera otro aumento de 55% en el flujo sobre la dosificación anterior de 0.75:1.

De aquí se concluye que de las cuatro dosificaciones probadas para el celite 535 A.D., la mas productiva es la de 1.0%, es decir, la que guarda una relación de 1 : 1 con los sólidos.

Nótese como la dosificación de 0.25 : 1 de celite 535 A.D, procura un tiempo (para filtrar los 9 lt) similar al de la corrida hecha con hyflo s.c., aunque la variación de  $\Delta t/\Delta V$ , se incrementa mas pronto para la prueba hecha con hyflo s.c.

Con el fin de corroborar el blanco, o sea la corrida sin ayuda filtro, se considerò correr otra prueba más en las mismas condiciones. Los datos obtenidos se presentan a continuación.

Corrida No 13  
SIN AYUDA DE FILTRO

V (lt)	t (seg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t/\Delta V$ (seg/lt)
0	0	1.3	
1	47	1.3	47
2	87	1.3	40
3	133	1.3	46
4	185	1.3	52
5	233	1.3	48
6	279	1.3	46
7	328	1.3	49
8	378	1.3	50
9	430	1.3	52

Aunque aparentemente resulta una filtración un poco más rápida que su similar, la corrida No 1, lo importante es notar como la variación  $\Delta t/\Delta V$ , tiende a tomar valores altos casi desde el principio, lo que nos indica que la velocidad de flujo tiende a disminuir.

#### V.6.2.2 Determinación de las constantes de filtración.

Aplicando el mismo tratamiento que en la primera parte, generamos las siguientes tablas donde se muestran los valores de las constantes y la ecuación, encontradas para cada una de estas últimas corridas. También se incluyen los valores determinados para las corridas 1 y 6 de la primera parte.

Tabla V.7 Constantes de filtración.

Corrida No	Ayuda de Filtro	Pendiente K1 (seg/lt <sup>2</sup> )	Ordenada K2 (seg/lt)	Coef de Correl (r <sup>2</sup> )
1	SIN A. F.	1.22	53.14	0.5938
10	0.25 : 1.0	3.18	24.82	0.5406
11	0.50 : 1.0	2.28	26.14	0.6797
12	0.75 : 1.0	2.40	23.33	0.7200
6	1.0 : 1.0	1.25	16.42	0.9375
13	SIN A. F.	0.74	43.93	0.2557

De nuevo se nota que para la corrida No 13, sin ayuda de filtro, el coeficiente de correlación nos indica que la variación del cociente de los incrementos  $\Delta t/\Delta V$ , no sigue un comportamiento lineal. No hay que olvidar que la torta que durante esta filtración se está formando, es una torta compresible cuyos sólidos que la componen son no porosos.

Tabla V.8 Ecuaciones de las curvas.

---

Corrida	Ecuación
No	V en (lt); t en (seg)
1	$V = \frac{\sqrt{2 t * 1.22 + (53.14)^2} - 53.14}{1.22}$
10	$V = \frac{\sqrt{2 t * 3.18 + (24.82)^2} - 24.82}{3.18}$
11	$V = \frac{\sqrt{2 t * 2.28 + (26.14)^2} - 26.14}{2.28}$
12	$V = \frac{\sqrt{2 t * 2.40 + (23.33)^2} - 23.33}{2.40}$
6	$V = \frac{\sqrt{2 t * 1.32 + (17.53)^2} - 17.53}{1.32}$

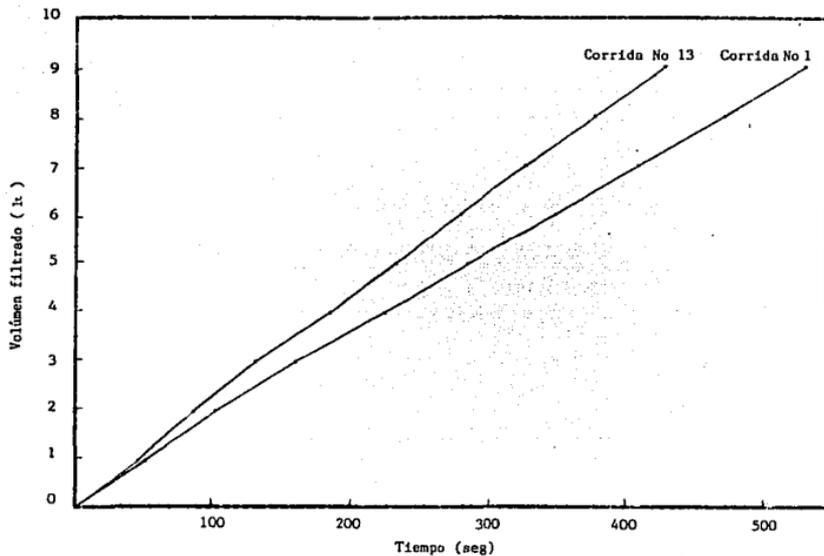
---

En la corrida No 13, se observa lo mismo que en la corrida No 1, el alto valor de K2 indica que existe una alta resistencia del medio filtrante, que se opone al flujo.

A continuación se presentan las gráficas de las corridas que se repitieron para iguales condiciones (gráficas V.3, 4 y 5).

Es de notar que la corrida No 1 y la corrida No 13, en las

FILTRACION " SIN AYUDA DE FILTRO "  
ACEITE DE MAIZ DE INVERNACION

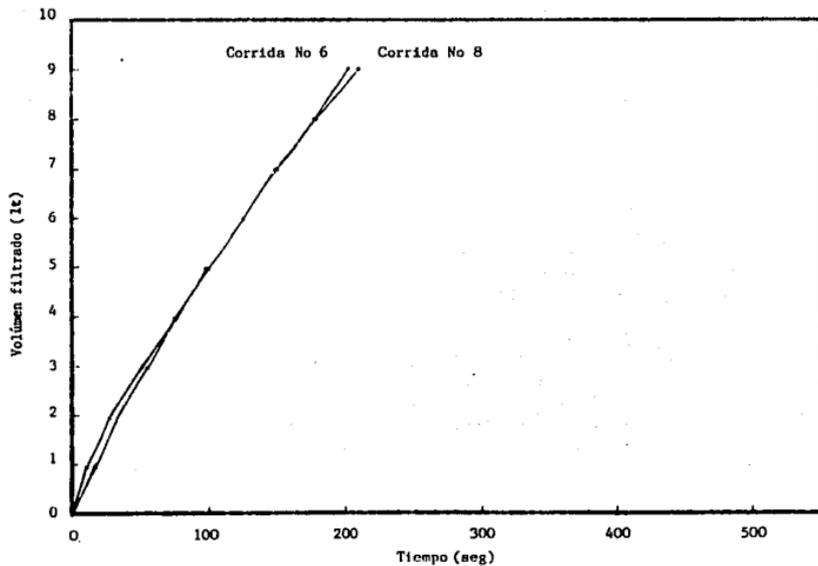


Presión: 1.3 kg/cm<sup>2</sup>, constante.

Temperatura: Corrida No 1 T = 11°C

Corrida No 13 T = 6°C

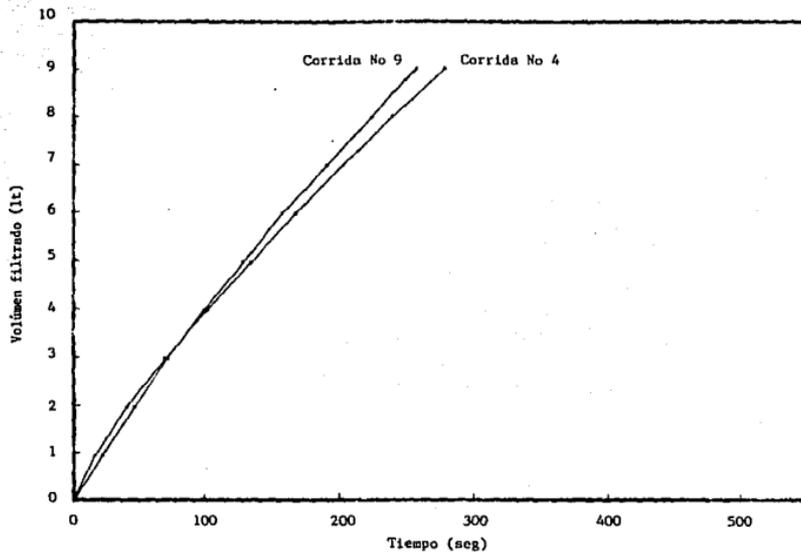
FILTRACION CON CELITE 535 AD, AL 1%  
ACEITE DE MAIZ DE INVERNACION



Precapa del mismo grado: 700 g/m<sup>2</sup>  
Dosificación, 1:1  
Presión: 1.3 kg/cm<sup>2</sup>, constante.

Temperatura: 12°C, ambas corridas

FILTRACION CON CELITE 503, AL 1%  
ACEITE DE MAIZ DE INVIERNACION



Precapa del mismo grado: 700 g/m<sup>3</sup>

Dosificación: 1:1

Presión: 1.3 kg/cm<sup>2</sup>, constante.

Temperatura: Corrida No 4, T = 8°C

Corrida No 9, T = 12°C

que no se emplea ayuda de filtro, no coinciden en la descripción gráfica que c/u hace de la filtración, aun cuando se trata del mismo aceite. Sin embargo ambas corridas reportan los valores mas altos de la ordenada al origen "K2" y los mas pequeños valores para la pendiente "K1". Aun con esto, es de notarse que, contra lo que sería de esperarse, es la corrida No 1 donde el aceite se encuentra menos frio ( $12^{\circ}\text{C}$ ) la que resulta mas lenta, y en la corrida No 13 donde el aceite estaba mas frio ( $6^{\circ}\text{C}$ ), la que dió un flujo mas rápido.

#### V.B.2.3 Selección de la Dosificación.

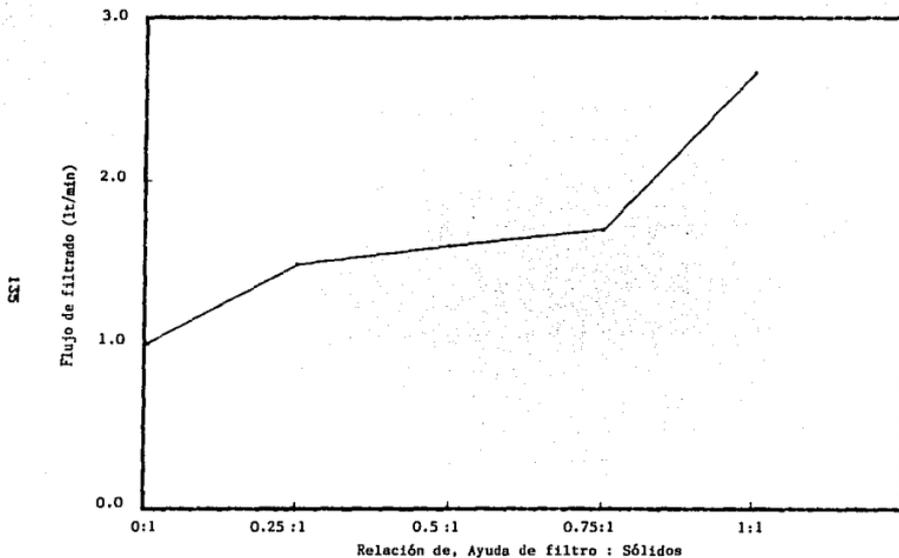
Finalmente se presenta la gráfica de "selección de la dosificación de ayuda de filtro", en la que se grafica el flujo contra la dosificación de celite 535 A.D.

#### V.9 ANALISIS COSTO VS BENEFICIO.

El precio de los ayudas de filtro aplicados en estas pruebas va en aumento conforme es mayor su velocidad relativa de flujo, excepción hecha del celite 535 A.D., cuyo precio es el mismo que el del celite 535 normal.

De acuerdo con lo anterior, resulta normal que a mayor beneficio, implique un ayuda de filtro de mayor precio. Sin embargo, como veremos a continuación, el desembolso efectuado en pesos referido a la producción, al utilizar un ayuda de filtro mas productivo, resulta en una disminución del gasto efectuado, ya que su recuperación es mas rapida.

CURVA DE SELECCION DE LA DOSIFICACION DE AYUDA DE FILTRO  
FILTRACION DE ACEITE DE MAIZ DE INVERNACION



Ayuda de filtro: Celite 535 AD.  
Precapa del mismo grado: 700 g/m<sup>2</sup>.  
Presión: 1.3 kg/cm<sup>2</sup>, constante.

Promediando las dos corridas hechas con celite 535 A.D. 1%, podemos tomar como base un ciclo de 208 seg, para filtrar los 9 lt de aceite, y cuyo costo de operaci3n por ese tiempo sin incluir el ayuda de filtro es de "X" (\$/lt filtrado). De acuerdo con esto, se hacen lecturas en las gráficas al tiempo de 208 seg para las demas corridas, y se lee la cantidad de volúmen de filtrado que para ese tiempo ha rendido cada una. Para las evaluaciones de las que se tienen dos corridas, se tomaron los valores promedio. Las unidades de volúmen (lt), se refieren a volúmen filtrado.

Tabla V.9 Analisis Costo vs Beneficio.

	Volumen filtrado (lt)	Beneficio (lt/m <sup>3</sup> )	Costo A.F. (\$/kg)	Rendimiento (lt/kg AF)	Gasto efectuado (\$/lt)
SIN A.F.	4.10	69.5			X
C-535 AD 1%	9.00	152.5	947.18	97.8	X + 9.68
C-545 1%	8.70	147.5	971.15	94.6	X + 10.27
C-535 1%	8.35	141.5	947.18	90.8	X + 10.44
C-501 1%	7.65	129.7	887.22	83.2	X + 10.67
C-503 1%	7.30	123.7	911.19	79.3	X + 11.48
Hyflo 1%	5.75	97.5	806.21	62.5	X + 12.90
535 AD 0.75%	6.30	106.8	947.18	68.5	X + 13.83
535 AD 0.5%	5.95	100.8	947.18	64.7	X + 14.65
535 AD 0.25%	5.70	96.6	947.18	61.9	X + 15.29

El hecho de que el gasto efectuado sea mayor, quiere decir que el ayuda de filtro utilizado ha rendido una cantidad menor de volúmen filtrado con respecto al desembolso inicial, en comparación con el grado mas rápido. Es decir, que el grado mas lento todavía tendrá que filtrar la diferencia de volúmen con el consecuente aumento en el tiempo de operación y desde luego en el costo de operación, que sera de, " $X + \Delta X$ ".

#### V.10 Análisis de Eficiencia.

Uno de los objetivos al emplear un ayuda de filtro, es el de mejorar o aumentar la productividad del equipo, sin tener que variar las dimensiones de éste, es decir eficientarlo. Una manera de medir el efecto de los ayudas de filtro, es lo que llamaremos el "área aparente", que se basa en el incremento del rendimiento de volúmen por unidad de área que causa el ayuda de filtro sobre la operación cuando se filtra con el equipo sólo con el tamiz filtrante (área nominal y permeabilidad del tamiz), sin emplear ayuda de filtro.

Refiriendonos otra vez al ciclo de 208 seg, para filtrar el batch de 9 lt, hacemos los calculos de eficiencia ó área aparente. Como base se toma al flujo acumulado por metro cuadrado de área filtrante, cuando no se emplea ayuda de filtro. No hay que olvidarnos que el área nominal del filtro es la misma para todos. La eficiencia para cada corrida va disminuyendo conforme pasa el tiempo. Es decir conforme el ciclo se alarga la eficiencia declina.

Tabla V.10 Eficiencia final para un ciclo de 208 seg.

---

	Flujo Acumulado (lt/m <sup>2</sup> area)	Eficiencia %	Area Aparente (m <sup>2</sup> )
SIN AYUDA DE FILTRO	69.5	100	1.00
CELITE 535 AD 0.25%	96.6	139	1.39
HYFLO S.C. 1%	97.5	140	1.40
CELITE 535 AD 0.50%	100.8	145	1.45
CELITE 535 AD 0.75%	106.8	154	1.54
CELITE 503 1%	123.7	178	1.78
CELITE 501 1%	129.7	187	1.87
CELITE 535 1%	141.5	203	2.03
CELITE 545 1%	147.5	212	2.12
CELITE 535 AD 1%	152.5	219	2.19

---

APENDICE

Características típicas de los grados usados en las pruebas.

Grado	Densidad	Retenido	pH
	Húmeda (grs/lt)	malla-150 %	
Hyflo s.c.	213	6.2	10.2
C-501	281	7.5	10.2
C-503	284	8.6	10.2
C-535	294	13.4	10.1
C-535 AD	305	28.8	10.1
C-545	290	15.2	10.1

De esta tabla se observa, principalmente, cómo el celite 535 AD es el grado de mayor granulometría, reportando un retenido en malla 150 de aproximadamente el doble del celite 545, su más cercano. Esto se debe a la reclasificación del mismo celite 535 normal, que se tamiza para obtener el 535 AD (de malla alta).

Lo mismo puede hacerse para otros grados, siempre y cuando sea justificable.

Por otra parte, se observa también la gran similitud de características que existe entre el celite 501 y el 503, los cuales pueden generar resultados similares también.

## **VI. CONCLUSIONES**

1. El empleo de los materiales ayudas de filtro fabricados, representa una alternativa que puede ser de gran utilidad en la operación de filtración, si se aplican en la forma debida.

2. La evaluación de las diferentes opciones que ofrece el mercado de los ayudas de filtro, deberá realizarse siempre que se pretenda disponer de los mismos, ya que no se puede generalizar el desempeño de los diferentes grados para la filtración de soluciones específicas. Sin embargo los fabricantes llegan a recomendar en base a su experiencia el empleo de ciertos grados para la filtración de productos específicos, tal es el caso de los productos de diatomita, calcinados directos, los cuales se recomiendan en la filtración de cerveza, ya que las partículas de levadura no logran ser retenidas eficazmente por grados mas abiertos como son los calcinados con fundente. No obstante, aún dentro de los productos calcinados, existen varias opciones de grados, y la conclusión de cual utilizar solo podrá tomarse en base a experiencias prácticas evaluatorias.

3. Los dos tipos de ayuda de filtro mas comunes y de mayor demanda, son los hechos a base de Perlita y a base de Diatomita, existiendo contrapartes en ambas tierras, con un similar desempeño, en cuanto a flujo se refiere. Incluso sus precios llegan a ser equivalentes.

4. La decisión de emplear uno u otro material, depende del rendimiento y el costo que generen (lo mismo que si se trata del mismo material pero de diferente grado), del tipo de filtro (por lo que a tamaño de torta se refiere, ya que sus densidades difieren, de las condiciones de operación (especialmente en lo

que respecta a su característica de inertes) y desde luego de la calidad de filtrado que se requiere. Esta última es una consideración muy importante, ya que puede ser la limitante para la elección. Por ejemplo se cita el caso de que no existe un grado de perlita equivalente al grado "Filter Cel" (de Manville) hecho de Diatomita. Este grado es un producto natural de diatomita, cuya granulometría no ha sido alterada, sino únicamente clasificada y estandarizada, por lo que presenta a sus partículas con su porosidad natural. En tanto, los productos de Perlita, por el solo hecho de ser una Perlita expandida, ya han sufrido la calcinación que altera a la granulometría de sus partículas, siendo más difícil el control de su finura, para lograr un grado equivalente.

5. Es muy recomendable que cuando se empleen ayudas de filtro, se cuente con equipos y personal habilitados para manejar la operación de lavado de los filtros, y segundo, que el material ya usado se remueva y descargue dentro de un medio ambiente seguro.

6. Uno de los beneficios más valiosos que reporta el empleo de los ayudas de filtro, es el considerable ahorro de tiempo que se puede llegar a tener (con la ayuda también de una operación calificada), tomando en cuenta que además de prolongar el ciclo de filtración, también los tiempos de descarga y limpieza del filtro pueden mejorarse debido a que resulta más fácil para el obrero, retirar una torta que tiene precapa que tener que raspar una capa de sólidos pegajosos, sumamente adheridos al tamiz filtrante. Esto también repercute en una mayor duración de los tamices o medios filtrantes, sin necesidad de lavarlos más a

fondo, como es el caso de las lonas que se lavan en una lavadora o se lavan y cepillan a mano, con el consiguiente desgaste; así también se pueden lavar las mallas metálicas para desincrustarlas, aunque resulta un procedimiento tardado que no puede repetirse en forma seguida.

7. Aunque la forma del filtro no mejora el desempeño del medio filtrante, por lo menos deberá estar bien diseñado para prevenir la erosión de la torta o la sedimentación del ayuda de filtro. No obstante, el diseño es de primera importancia para lograr que la operación de filtración sea un éxito.

8. Muy importante es que las normas de calidad en la fabricación de los ayudas de filtro, al tiempo que sean estandarizadas para facilitar su control en producción, también incluyan pruebas específicas de aplicación en todas aquellas aplicaciones donde el mercado lo justifique, con el fin de poder lograr la especialización de grados mas rentables, tanto para el productor como para el usuario.

9. Así también es necesario establecer los parámetros mas sensibles del proceso de fabricación de los ayudas de filtro, ya que esto facilitará la tarea de hacer los ajustes necesarios para implantar las mejoras que así se consideren en base a los resultados prácticos en sus campos de aplicación.

10. Los ayudas de filtro hechos a base de tierras diatomáceas, son el ejemplo mas común de estos materiales, y su utilidad radica en la forma de su partícula, el esqueleto del "diátomo". Además, de acuerdo a su composición química, su alto contenido de sílice asegura su estabilidad química y por lo tanto

su característica de material inerte, lo cual se vuelve un factor muy importante para la filtración de sustancias comestibles y otras.

BIBLIOGRAFIA.

Referencias Bibliograficas:  
-----

1. Biblioteca del Ingeniero Quimico.  
Volumen 5.  
Robert H. Perry, Cecil H. Chilton.  
McGraw-Hill. Quinta edición. Vol V. 1986.
2. Filtration. Principles and Practices.  
Michael J. Matterson, Clyde Orr.  
Marcel Dekker Inc, N.Y. Segunda edición, revisada y aumentada.  
1987.
3. Operaciones Básicas de Ingeniería Química.  
Warren L. McCabe, Julian C. Smith.  
Volumen II, 1978.
4. Prácticas de Laboratorio de Momentum y Calor.  
Paginas 151-170, 171-186, 187-197.  
U.N.A.M., Laboratorio de Ingeniería Química.  
1986.
5. Principios de Operaciones Unitarias.  
Alan S. Foust, Leonard A. Wenzel, Curtis W. Clump, Louis Mars  
L. Bryce Andersen.  
Editorial Continental, S.A. C.V.

6. The Economics of Diatomite.  
(La economía de la diatomita)  
Roskill 1987. Londres Inglaterra.
  
7. "Almeria Filtro-Ayudas"  
Folleto técnico. Almeria Comercial, S.A. de C.V.  
Impreso en México, 1988.
  
8. Celite. Acid Washed Filter Aids.  
(Celite. Ayudas de filtro acidulados)  
Boletín técnico FF-144A 2-84. Manville. Impreso en EU.
  
9. Celite Filter-Aids for Vegetable, Fat and Oil Filtration.  
(Ayudas de filtro Celite en la filtración de aceites vegetales  
y grasas)  
Folleto técnico DS Series 457. Johns Manville. EU.
  
10. Celite Filter-Aids for Animal Fat and Oil Filtration.  
Folleto técnico DS Series 456. Johns Manville. EU.
  
11. Diatomite. No skeletons in the cupboard.  
Industrials Minerals. Mayo 1987.
  
12. Diatomite Filtration - Optimizing the Body Feed.  
(Filtración con diatomita - Optimización de la dosificación)  
Harris G. Walton.  
Manville Research & Development Center, Denver, Colorado, EU.  
Septiembre 1981.

13. "Dicalite Filtroayudas"  
Folleto técnico. Dicalite de México, S.A. de C.V.  
Impreso en México.
  
14. Fibra-Cel Filter Aid. Cellulose/Diatomite Blends.  
(Ayuda de filtro: Fibra-Cel. Mezclas de celulosa y diatomita).  
Boletín técnico FA-305 6-82. Manville. Impreso en EU.
  
15. Filter Aids for the Brewing Industry.  
(Ayudas de filtro en la industria cervecera)  
Folleto técnico FA-382 8-85. Manville. Impreso en EU.
  
16. Filter Aids for the Winemaking Industry.  
(Ayudas de filtro en la industria vinícola)  
Folleto técnico INT-408 6-83. Manville. Impreso en EU.
  
17. Filtración con Celite.  
Folleto Técnico FYAMD-12-81. Manville Mexicana, S.A. de C.V.  
Impreso en México.
  
18. Filtroayudas de Celulosa. Fibra-Cel.  
Boletín técnico INT 310JMM. Johns Manville Mexicana.
  
19. Filtroayudas para la Filtración de Aceites y Grasas Vegetales.  
Boletín técnico FF-116A. Johns-Manville.  
Johns Manville Mexicana.

20. Laboratory Procedure and Filter for Diatomite Filtration Tests.

(Procedimiento en un filtro de laboratorio para pruebas de filtración con diatomita).

Harris G. Walton.

Johns Manville R & D Centre, Denver Colorado.

Filtration & Separation. Enero/Febrero 1978.

21. Que es Dicalite Dimesa.

Folleto técnico. Dicalite de México, S.A. de C.V.

22. Selecting the Correct Filter using Filter-aids.

Harris G. Walton. Canadian Johns Manville, Ontario.

Filtration Society's Conference on Choosing the Right Equipment for Liquid-Solid Separation at Filtech/69, Sep 1969 Olimpia Londres.

(Selección del filtro adecuado usando ayudas de filtro. Conferencia de la sociedad de filtración sobre la selección del equipo adecuado para la separación sólido-liquido).

23. "Solka-Floc". El "Filtro-Ayuda" diferente.

Folleto técnico. Brown Company. Solka Division. Nueva York EU