

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



DETERMINACION EXPERIMENTAL DE
CONSTANTES DE FILTRACION

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P R E S E N T A N

ALEJANDRO DE LA CRUZ ROGER RAMIREZ
JOSE ANTONIO BERNAL ORTEGA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

LAB. JESUS
LBO _____
FECHA 1977
PROC. ML 53
S _____





FACULTAD DE QUIMICA
DEPTO. DE PASANTES Y
EXAMENES PROFESIONALES.

FORMA C

Universidad Nacional
Autónoma de
México

(AUTORIZACION PARA ESCRIBIR DEFINITIVAMENTE EL TEMA REVISADO)

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

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

Titulado: "DETERMINACION EXPERIMENTAL DE CONSTANTES DE FIJACION

(TEMA MANCOMUNADO)

que presenta: EL SR. ALEJANDRO ROCEL RAMIREZ

Pasante de la Carrera de: INGENIERO QUIMICO

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

Presidente Prof.: CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO

V o c a l " : ANTONIO VALENTE BARRERAS

Secretario " : LUCILA C. MENDEZ CHAVEZ

1er. Suplente " : GILDARDO ACOSTA RUIZ

2o. Suplente " : LENA RUIZ DE RAMIREZ

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU" -
Cd. Universitaria D.F., a 27 de SEP de 1976

EL JEFE DEL DEPTO. DE PASANTES
Y EXAMENES PROFESIONALES.

QUIM. 
SOLITO TERAN Z.

A MIS PADRES
CON CARÍÑO Y RESPETO

A EDITH
CON AGRADECIMIENTO

A TODAS LAS PERSONAS QUE,
EN ALGUNA FORMA, HICIERON
POSIBLE LA REALIZACION DE
ESTE TRABAJO. GRACIAS

DETERMINACION EXPERIMENTAL DE
CONSTANTES DE FILTRACION

I N D I C E

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1	
TEORIA	3
CAPITULO 2	
EQUIPO	22
CAPITULO 3	
MEDIOS FILTRANTES	36
CAPITULO 4	
DATOS EXPERIMENTALES	56
CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFIA	124

I N T R O D U C C I O N

La filtración es, en la actualidad, una operación fundamental en casi todos los procesos industriales.

Ahora bien, es cierto que es fundamental el conocimiento amplio del equipo disponible pero, también, es esencial un conocimiento profundo de las ecuaciones teóricas en que se basa la filtración. Los parámetros más importantes en el diseño de equipo son los valores de la resistencia de torta y la resistencia del medio filtrante, que deben determinarse experimentalmente; sobre los cuales, desafortunadamente, existe muy poca información.

El objetivo del presente trabajo es mostrar la técnica experimental para determinar estos valores, llamados constantes de filtración, a nivel de planta piloto; así como la determinación de la permeabilidad y retención de sólidos de los diferentes medios filtrantes, que son útiles para la selección de equipo para separación líquido-sólido. Todo esto, basado en la teoría básica aplicable.

La determinación de estas constantes se llevó a ca-

bo en un filtro prensa, con área total de filtración de 0.066 m², con tres cámaras para filtración. Para la alimentación, se dispuso de un tanque con capacidad neta de 15 litros, un sistema de agitación neumática y una bomba de desplazamiento positivo, tipo turbina; que permitía una presión máxima de 4 Kg/cm².

Los datos experimentales presentados en este trabajo, comprenden un sólido amorfo; Carbonato de Calcio, y un material fibrilar; Bagazo de Caña Blanqueado. Se trabajó a una concentración de sólidos secos de 20 % de Carbonato de Calcio, condición operacional. El bagazo de caña se estudio a una concentración de 4 % de sólidos secos, debido a su naturaleza espesa, que dificulta su manejo con una bomba pequeña.

Se estudiaron 4 medios filtrantes: dos lonas de algodón; 2X y 633-JT, y dos tejidos de polipropileno; T-107 y T-45. En todos los casos, se busca una retención muy cercana al 100 %.

CAPITULO 1

T E O R I A

1.1 RELACIONES FUNDAMENTALES

1.2 ECUACIONES DE DISEÑO

1.1 RELACIONES FUNDAMENTALES

La teoría de la filtración, propiamente dicha, comienza con los trabajos de d'Arcy quien, partiendo de la relación básica de que el flujo de filtrado es directamente proporcional a la fuerza impulsora e inversamente proporcional a la resistencia, desarrolló la siguiente ecuación para flujo de aguas subterráneas:

$$U = K \xi_c \Delta P / L \quad (1.1)$$

donde:

U = Velocidad superficial del flujo (M/seg)

K = Coeficiente que depende de la permeabilidad del lecho.

L = Espesor del lecho (M)

Posteriormente, Poseuille, trabajando en términos generales de flujo laminar a través de tubos rectos de sección transversal constante, propuso la siguiente expresión:

$$U = \frac{D^2 \Delta P \xi_c}{32 \mu L} \quad (1.2)$$

donde:

U = Velocidad lineal del flujo (M/seg)

D = Diámetro del tubo capilar (M)

P = Caída de presión del flujo (Kg/M²)

L = Longitud del tubo capilar (M)

g_c = Aceleración gravitacional (9.81 M/seg²)

μ = Viscosidad del filtrado (Kg/seg-M)

La importancia de la ecuación de Poiseuille, radica en - que predice el efecto que la disminución en el tamaño de capilar tendría sobre la resistencia a la filtración.

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

$$N_{Re} = \frac{4 r_H U \rho}{\mu} \quad (1.3)$$

donde

r_H = Radio hidráulico

U = Velocidad lineal del fluido en los capilares de la torta o leche (M/seg)

ρ = Densidad del filtrado (Kg/M³)

μ = Viscosidad del filtrado (Kg/seg-M)

El radio hidráulico es función de dos parámetros: la porosidad o fracción hueca y la superficie específica, relacionadas en la forma siguiente:

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

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

donde:

D = Diámetro de partículas (M)

e = Porosidad (Adimensional)

S_v = Superficie específica de las partículas--
(M²/M³).

S = Superficie específica del lecho (M²/M³)

La ecuación original de D'Arcy fué modificada, introduciendo el término de viscosidad de filtrado. Para fines prácticos, la ecuación (1.1) se transforma con respecto al flujo volumétrico; que puede ser expresado como una diferencial de volumen de filtrado con respecto al tiempo del mismo, en la forma siguiente:

$$q = \frac{dV}{dt} = \frac{K' A \Delta P g_c}{\mu L} \quad (1.4)$$

donde:

q = Flujo volumétrico (M³/seg)

A = Area de la torta o lecho (M²)

t = Tiempo de filtración (seg)

K' = Coeficiente de permeabilidad

Esta Ec. se ajusta perfectamente a los trabajos experimentales de una torta de espesor fijo, viscosidad fija, área de torta fija y presión constante, para medir el volumen de líquido que pasa en la unidad de tiempo.

Posteriormente, Koseny y Carman modificaron la Ec. de--
D'Arcy, introduciendo los términos de porosidad y superficie
específica de las partículas, en la forma siguiente:

$$q = \frac{e^3}{K S_v^2 (1-e)^2} \frac{A \Delta P \epsilon_c}{\mu L} \quad (1.5)$$

donde

K = Constante evaluada experimentalmente con va
lor de 5 en el sistema c.g.s.

Para el caso más simple de flujo líquido a través de un
lecho empacado con partículas esféricas no porosas, la rela-
ción de Koseny y Carman se emplea con bastante exactitud pa-
ra determinar la caída de presión o el flujo volumétrico: --
aunque, en sistemas complejos, esta relación tiene sus limi-
taciones.

1.2 ECUACIONES DE DISEÑO

La resistencia total al flujo está dada por tres resistencias, las cuales están en serie y se manifiestan como caídas de presión y son:

a).- Resistencia de Buctos y Conexiones.- En un filtro bien diseñado, estas resistencias pueden desprejarse al compararlas con la 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. *Y se designa como (α) .*

c).- Resistencia del medio filtrante.- Esta resistencia suada a la resistencia de torta, nos representa la resistencia total del lecho. *Y se designa como (τ) .*

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

La filtración produce sobre la superficie del medio filtrante una capa de partículas sólidas; una vez que se forma esta capa, su superficie actúa como medio filtrante, depositándose sobre ella los sólidos y aumentando, así, el espesor de la torta. La torta está formada por una masa uniforme de partículas a través de la cual hay conductos capilares donde-

el flujo es siempre laminar.

La velocidad de filtración es función del volumen total de filtrado recolectado, del área filtrante, del tiempo de filtración y de la concentración original de la suspensión. La resistencia de la torta puede expresarse en tal forma que tome en cuenta el continuo aumento del espesor de la misma, conforme la filtración avanza.

La concentración original de la suspensión (w), que está dada por peso de torta seca por unidad de volumen de filtrado, está relacionada por la siguiente ecuación:

$$W = w V$$

Con las consideraciones anteriores, se obtiene la ecuación general de filtración, que tiene la forma siguiente:

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P \rho_c}{\mu \left(\frac{\alpha w V + r}{A} \right)} \quad (1.6)$$

Esta ecuación nos dá las condiciones instantáneas de filtración y puede integrarse para obtener datos de rendimiento para un período finito.

Es razonable suponer que las únicas variables posibles son la presión de operación, el flujo instantáneo y el tiempo. Es aceptable suponer que la presión permanezca constante

conforme cae el flujo o que el flujo se mantenga constante.-- bajo incrementos progresivos de presión. Desafortunadamente, ninguna de las suposiciones anteriores describe estrictamente las características de operación de la mayoría de los filtros industriales. Las dificultades anteriores, hacen surgir una clasificación de las operaciones de filtración en dos categorías:

(1).- Filtración Intermitente; caracterizada por un ciclo largo durante el cual se forma la torta y por una interrupción del flujo durante la descarga y limpieza. Este tipo de filtración incluye al filtro prensa, al filtro de cartucho y todos aquellos constituidos por hojas planas o elementos tubulares.

(2).- Filtración Continua; está caracterizada por ciclos cortos debido a que la torta puede descargarse desde una sección de la superficie filtrante, mientras el flujo continúa en otra sección. Ejemplos de este tipo son: Filtros a vacío de tambor rotatorio, de disco, y las variedades de banda horizontal y charolas.

1.-Filtración Intermitente o de Ciclo Largo.

La Ec. general de filtración puede rearrreglarse, para darnos la interrelación entre el flujo y el tiempo:

$$\frac{l}{A} \frac{dt}{dV} = \frac{\mu L W}{A^2 \Delta P_{gc}} V + \frac{\mu r}{A \Delta P_{gc}} \quad (1.7)$$

Empleando esta Ec. para una operación a presión constante y detallando la reducción del flujo conforme avanza la operación, al integrarla se obtendrá el volúmen como función del tiempo. Por otra parte, si se emplea para una operación a flujo constante, se encuentra la relación entre presión final y volúmen total de filtrado. Una tercera posibilidad es la variación simultánea de la presión y el flujo, que resulta ser la representativa de la filtración industrial. Existen relaciones específicas para cada uno de estos casos.

(li).- Filtración a Presión Constante. Cuando la presión permanece constante, las únicas variables son el tiempo y el volúmen de filtrado. La Ec. (1.7) puede ser integrada, así:

$$\int_0^t dt = \frac{\mu}{A \varepsilon_c \Delta P} \left[\frac{w \alpha}{A} \int_0^V v dv + r \int_0^V dV \right]$$

$$t = \frac{\mu}{\varepsilon_c \Delta P} \left[\frac{w \alpha}{2} \left(\frac{V}{A} \right)^2 + r \frac{V}{A} \right] \quad (1.8)$$

donde V es el volúmen total colectado en el tiempo t, asumiendo que el tiempo se computa desde el instante en que cae la primera gota de filtrado, de modo que cuando V = 0, t = 0.

Para evaluar las constantes α y r, para una diferencia de presión definida, se necesitan datos experimentales de V vs.-t. El tratamiento de tales datos se facilita usando la Ec. --

(1.7) en la forma de:

$$\frac{dt}{dV} = K_1 V + K_2 \quad (1.9)$$

donde

$$K_1 = \frac{w \mu \alpha}{A^2 g_c \Delta P} \quad (1.10)$$

y

$$K_2 = \frac{r \mu}{A g_c \Delta P} \quad (1.11)$$

Handwritten notes: $\frac{A r \mu}{w \mu \alpha}$ and $\frac{A r \mu}{w \mu \alpha}$

Entónces, para dos observaciones sucesivas, puede calcularse la cantidad dt/dV ; donde dt es el tiempo entre dos observaciones y dV , el incremento de volúmen colectado en este intervalo de tiempo. Evaluando la cantidad dt/dV para varios incrementos, se puede construir una gráfica para dt/dV vs. V . Se ajusta la mejor línea recta entre estos puntos; la pendiente de esta línea es K_1 , y la intersección con el eje de las ordenadas es K_2 . Puesto que se hicieron suposiciones y simplificaciones en la derivación de la Ec. (1.7), durante las primeras etapas de la filtración, los puntos pueden no caer exactamente sobre la línea; estos puntos no deben tener mucha trascendencia al ajustar la línea. Cuando se conocen K_1 y K_2 , se calculan los valores de α y r con las Ecs. (1.10) y (1.11).

Ecuaciones Empíricas para la Resistencia de Torta.

La variación de α con ΔP , puede ser encontrada efectuando experimentos a varias diferencias de presión. Si α es in-

dependiente de la presión, el material es incompresible. Ordinariamente, K_1 aumenta con ΔP , puesto que la mayoría de los lodos son compresibles en algún grado.

Pueden ajustarse ecuaciones empíricas a los datos observados de α vs. ΔP . Dos ecuaciones comunes para este fin son:

$$\alpha = \alpha_0 (\Delta P)^s \quad (1.12)$$

$$y \quad \alpha = \alpha_0 [1 + \beta (\Delta P)^{s'}] \quad (1.13)$$

donde α_0 , β , s y s' , son constantes empíricas. La Ec. (1.12) está más restringida que la Ec. (1.13), pero es de uso más simple, y sólo se necesitan dos corridas a diferentes presiones para evaluar las constantes. Esta ecuación es, obviamente, falsa para pequeñas diferencias de presión; como se nota, la resistencia vale cero a $P = 0$. Para evaluar las constantes de la Ec. (1.13) se necesitan tres experimentos, pero puede ser usada en una gama más amplia de presiones, de cero y mayores.

La constante s , usualmente, cae entre 0.1 y 1.0, este último valor para lodos muy compresibles. Esta constante es comúnmente llamada coeficiente de compresibilidad.

Ninguna de las Ecs. (1.12) y (1.13), deben ser usada en intervalos muy diferentes a los experimentados en la evaluación de las constantes.

La Ec. (1.9) se emplea para obtener el volúmen final de filtrado teniendo como datos: a) el flujo final mínimo aceptable y b) el tiempo de filtración deseado.

En el primer caso, se sustituye el flujo mínimo y se despeja el volúmen final:

$$\left(\frac{dt}{dV}\right)_f = \frac{K_1 V_f}{K_1} + \frac{K_2}{K_1}$$

$$y \quad V_f = K_1' (dt/dV)_f - K_2' \quad (1.14)$$

donde

$$K_1' = \frac{1}{K_1} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu \alpha w}$$

$$K_2' = \frac{K_2}{K_1} = \frac{r A}{\alpha w}$$

Para el segundo caso, se emplea la Ec. (1.8) en la forma siguiente:

$$t_f = \frac{K_1}{2} V_f^2 + K_2 V_f \quad (1.15)$$

y

$$V_f = \frac{(2K_1 t_f + K_2^2)^{1/2}}{K_1} - \frac{K_2}{K_1} \quad (1.16)$$

CDRA

En una filtración a presión constante, la velocidad de filtración comienza a un máximo y decae progresivamente. Esto presenta los siguientes problemas: en que punto debe terminarse el ciclo de modo que el filtro pueda ser limpiado y empezar uno nuevo. Sharbaugh, propuso un método gráfico para evaluar t_{opt} y V_{opt} , conociendo el tiempo muerto; el tiempo empleado en la limpieza y restauración de la operación.

La Fig. 1.1, muestra una gráfica típica de t vs. V ,-- que ha sido modificada para incluir el tiempo muerto; el -- cual, por conveniencia, precede al tiempo de filtración, t .-- Como se observa, la tangente a la curva desde el origen, corta a la parábola en el punto t_{opt} , V_{opt} y la velocidad instantánea final de flujo es igual a la velocidad promedio de flujo sobre la duración total del ciclo óptimo; por lo tanto es posible calcular el V_{opt} como una función de t_m . Así, la velocidad de flujo a cualquier tiempo, puede conocerse con la pendiente de la curva en ese tiempo. Por lo tanto, la tangente al punto t_{opt} , V_{opt} , nos da la velocidad. Aún más, la pendiente de esta línea es $V_{opt}/(t_m + t_{opt})$; que es, también la velocidad media del flujo sobre el ciclo total.

La velocidad final de flujo puede, también, ser encontrada a partir de la Ec. (1.9), en la forma siguiente:

$$\frac{dV_{opt}}{dt_{opt}} = \frac{1}{K_1 V_{opt} + K_2} = \frac{V_{opt}}{t_m + t_{opt}} \quad (1.17)$$

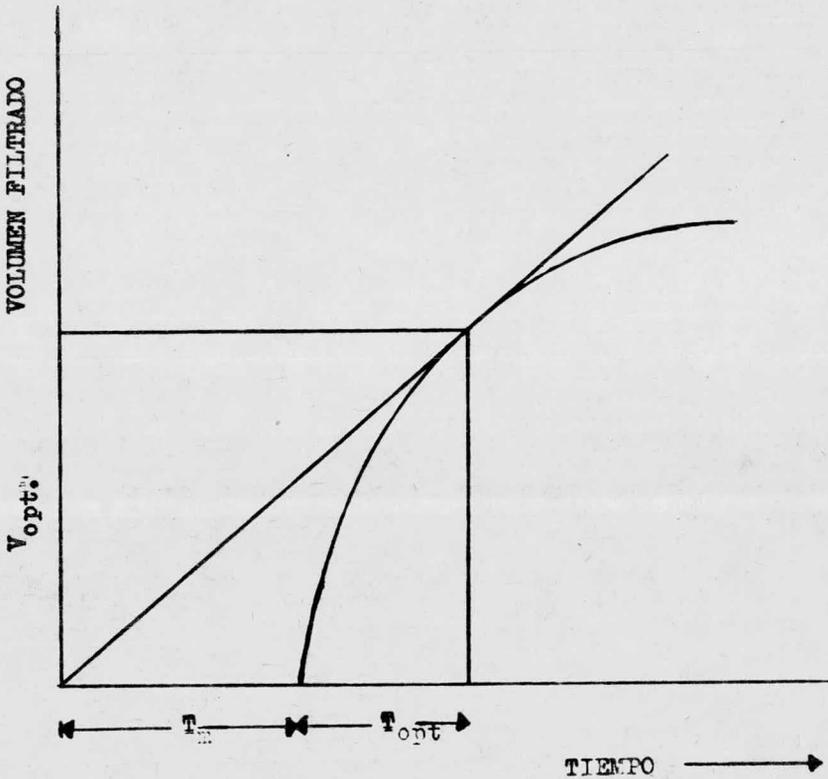


FIG. 1.1 METODO GRAFICO PARA EVALUAR V_{opt} y T_{opt} PARA FILTRACION A PRESION CONSTANTE.

Haciendo uso de la Ec. (1.15) para sustituir $(K_1/2)V_{opt}^2 + K_2V_{opt}$, en lugar de t_{opt} , se llega a la ecuación:

$$V_{opt} = \sqrt{\frac{2t_m}{K_1}} \quad (1.18)$$

donde $K_1 = (\mu \alpha w)/(A^2 \Delta P)$. El t_{opt} correspondiente puede ser calculado a partir de la Ec. (1.15), que puede combinarse -- con la Ec. (1.18) para dar:

$$t_{opt} = t_m (1 + K_2 \sqrt{2/K_1 t_m}) \quad (1.19)$$

Esta última ecuación, establece que el tiempo óptimo de filtrado es siempre mayor que el tiempo de limpieza; a menos que la resistencia del medio filtrante sea muy pequeña en -- comparación con la resistencia de la torta y pueda despre---ciarse; en cuyo caso, $t_{opt} = t_m$.

A partir del volúmen óptimo, es posible calcular el espesor de torta correspondiente, que es de particular interés puesto que, si el espesor del marco de un filtro prensa o el claro en un filtro de hojas no es el adecuado, puede ser imposible procesar el V_{opt} en un ciclo. Si la densidad de la -- torta seca es ρ_b , entónces el volúmen de la torta formada -- es $(w V_{opt})/\rho_b$ y el espesor de la torta es $(w V_{opt})/\rho_b A = E$, por lo tanto:

$$E_{\text{opt}} = \frac{w \sqrt{\rho} \sqrt{\frac{2t_{\text{opt}}}{K_1}}}{A \rho_b k_2} \quad (1.20)$$

(lii).- Filtración a Flujo Constante. En esta operación-- las variables importantes son la presión y el volumen total de filtrado. La Ec. (1.7) puede reorganizarse:

$$\left(\frac{dt}{dV}\right)_{cte} P = \frac{\mu \alpha w}{A^2 g_c} V + \frac{\mu r}{A g_c} \quad (1.21)$$

que puede escribirse como

$$P = K_1^* V + K_2^* \quad (1.22)$$

donde

$$K_1^* = (\mu \alpha w / A g_c^2) (dV/dt)_{cte}$$

$$K_2^* = (\mu r / A g_c) (dV/dt)_{cte}$$

Las Ecs. (1.21) y (1.22), son válidas para tortas no -- compresibles, para las cuales α es independiente de la presión. Para tortas compresibles, la Ec. (1.12) y la Ec. (1.21) pueden combinarse, de modo que:

$$\left[\frac{dt}{dV} \right]_{ct} P = \frac{\mu \alpha_0 w}{A^2} P^{1-s} V + \frac{\mu r}{A} \quad (1.23)$$

la cual puede escribirse como:

$$V = K_1'' P^{1-s} - K_2'' P^s \quad (1.24a)$$

si $s = 0$; $\alpha_0 = \alpha$

entonces

$$V = K_1'' P - K_2'' \quad (1.24b)$$

donde

$$K_1'' = (A^2 / \mu \alpha_0 w) (dt/dV)_c$$

$$K_2'' = (r A / \alpha_0 w)$$

¿ cómo sale

La relación entre volúmen total de filtrado y tiempo total, es más simple para operaciones a flujo constante y se expresa en la forma siguiente:

$$V_f = (dV/dt)_{ct} \times t_f \quad (1.25)$$

Como en el caso de la filtración a presión constante, es posible derivar relaciones útiles para predecir el efecto de cambio en las condiciones de operación y en la escala.

2.- FILTRACION CONTINUA O DE CICLO CORTO.

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

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

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

De las etapas mencionadas con anterioridad, las cuatro primeras estan controladas por la velocidad de operación del proceso que, a su vez, es dependiente del tipo de suspensión y de la presión de operación. Las tres úl-

timas dependen de las características de diseño del equi
po.

Dalhstrom D. A. y Pourchas D. B., han descrito téc-
nicas matemáticas para predecir la influencia del proce-
so y las variables de operación en el desarrollo e insta
lación de un filtro. También, han demostrado que las e--
cuaciones para formación de torta y de lavado, se dedu--
cen de consideraciones teóricas, modificando las ecuacio
nes desarrolladas en filtros intermitentes.

CAPITULO 2

E Q U I P O

2.1 CLASIFICACION DE EQUIPO

2.2 DESCRIPCION DE EQUIPO

2.1 CLASIFICACION DE EQUIPO

I.- FILTROS POR GRAVEDAD

(La fuerza impulsora es la presión - de la columna de líquido sobre el me dio filtrante).

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

II.- FILTROS A VACIO

(La fuerza impulsora es la succión- del lado del medio filtrante o sali da del filtrado).

- De tanque de fondo falso
- De hojas
- De banda
- De disco
- De tambor rotatorio:
 - Compartimiento simple -
 - compartimiento multiple

III.- FILTROS A PRESION

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

- Prensa
- De Hojas:
 - Horizontales
 - Verticales

2.2 DESCRIPCION DE EQUIPO

I.- FILTROS POR GRAVEDAD

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

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

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

- (A) Filtros de Medio Filtrante Fijo:
 - a) Filtros de arena o de cama
 - b) Filtros con medio filtrante colgante
 - c) Filtros de tanque de fondo falso

- (B) Filtros de Medio Filtrante Móvil:
 - a) De tamiz rotatorio
 - b) De tambor rotatorio
 - c) De disco rotatorio

II.- FILTROS A VACIO

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

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

Desde luego, existen limitaciones a la filtración al vacío, las más relevantes son: La diferencia de presión está-- limitada por la altitud, localización de pérdidas de vacío o inundaciones con suspensión más difíciles de localizar.

Una subclasificación puede presentarse en función de la la continuidad o discontinuidad de la operación; aunque, básicamente, están diseñados para operar en forma cíclica y -- continúa:

1.- Intermitentes

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

2.- Contínuos

- a) Banda
- b) Disco
 - Horizontal
 - Vertical
- c) Tambor
 - Compartimiento simple
 - Compartimiento múltiple
 - Descarga:
 - 1) Banda
 - 2) Tornillo
 - 3) Cuchilla
 - 4) Cuerda
 - 5) Precapa

III.- FILTROS A PRESION

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

Una subclasificación de estos filtros, es la siguiente:

- 1).- Filtro de Prensa
 - a) de placas y marcos
 - b) de placas cóncavas
- 2).- Filtro de Hojas
 - a) Horizontal
 - b) Vertical

A.- FILTRO DE PRENSA

- a) Filtro de placas y marcos

Esta formado por un marco y, de cada lado, dos placas--

componiendo así una cámara para filtración

b) Filtro de Placas Cóncavas

La cámara filtrante está formada por dos placas huecas adyacentes.

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

Localización de la Alimentación y de la descarga del filtrado:

- i) Esquinada
- ii) Lateral

Tipo de descarga del filtrado

Descarga abierta. En este tipo de filtro la salida del filtrado se encuentra en cada placa, con llaves de control permitiendo, así, un control más eficiente en cada cámara. Es recomendable para cuando la claridad del filtrado es importante.

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

Tipos combinados:

Alimentación inferior-Descarga superior.

Son usados principalmente para clarificación.

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

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

Alimentación y Descarga Lateral.- Son de diseño sencillo, que es satisfactorio cuando se necesita precapa. Se puede emplear ya sea para clarificación de líquidos o para recuperación de sólidos.

Alimentación Doble- Descarga Doble.- Tienen un uso muy amplio para materiales de alta viscosidad, precapa con filtro ayuda y eliminación de torta, al finalizar el ciclo.

Otros tipos de placas son los siguientes:

Placas para control de temperatura.- Son placas de metal en las que puede circular vapor, agua, aceite caliente,

salmuera o cualquier otro agente para control de temperatura. También hay placas para calentamiento eléctrico.

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

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

- i) Piramidal (el más usado)
- ii) Corrugado

Hay diseños especiales para soportar presiones hasta -- de 60 Kg/cm^2 .

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

Alimentación por Gravedad.- Es recomendable para bajas presiones o velocidades de filtración lentas, ó en donde no se requiera dureza en la torta.

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

Alimentación con Bomba.- Es el método más ampliamente empleado. La selección de este tipo dependerá de las condiciones de succión, presión de descarga, temperatura y capacidad; como, también, de las propiedades físicas y químicas del material.

a) Filtro de Prensa de Marcos y Flacas.

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

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

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

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

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

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

La alimentación de la suspensión al filtro se hace por el ducto formado por los orificios superiores de -- las unidades que penetran por la parte superior de los marcos al interior de estos, de tal manera, que los sólidos se acumulan dentro del marco y el filtrado pasa a través del medio filtrante, drenando por la superficie de la placa, hasta la descarga.

Para lavado y/o secado de la torta, se abre la línea de agua y/o aire, generalmente en contracorriente.- Cuando el aire sale sin arrastrar agua, se cierra la línea de aire y se descarga la torta, hasta restablecer - la operación con otro nuevo ciclo.

B) FILTRO DE HOJAS

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

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

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

CAPITULO 3

MEDIOS FILTRANTES

3.1 CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES

3.2 CLASIFICACION Y DESCRIPCION

3.1 CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES

El medio filtrante constituye la parte esencial de un -- filtro; de hecho, sin un medio adecuado, aún el más ingenioso filtro es inútil.

Los factores involucrados en la definición tentativa de la fineza de filtración alcanzada con un medio determinado, -- se agrupan en dos categorías:

a).- Estructura del Medio; la cual depende de las propiedades del material de que está fabricado y de la técnica empleada en su manufactura.

b).- Mecanismos de Filtración; cuya clasificación más común los agrupa en:

bi).- Filtración por Medio Filtrante o Bloqueo Completo; se presenta cuando las partículas taponean los capilares del medio filtrante. Incluye todas las filtraciones en que el tamaño de partícula retenida está determinado por el tamaño de horadación del medio filtrante.

bii).- Filtración Profunda. Como en el caso anterior, la filtración es efectuada por el medio filtrante pero, a -- diferencia de aquel, puede retener partículas más pequeñas que el tamaño de horadación, por adherencia de partículas a las paredes. Conforme se llena el filtro con só-

lidos, la resistencia a la filtración se incrementa hasta que se completa el ciclo.

biii).- Filtración por Torta. En la práctica, es el más frecuente; se manifiesta por la acumulación sucesiva de sólidos hasta formar una torta filtrante sobre el medio original. El ciclo de filtración, en la práctica, continúa hasta que la torta ocupa el 80% del volumen de la cámara y/o la resistencia de la torta alcanza la caída de presión disponible del filtro y/o la velocidad de filtración desciende a un nivel conveniente.

La filtración por torta es el caso más estudiado y abarca suspensiones de concentraciones superiores al 0.1%.

En la práctica, la selección del medio filtrante depende fundamentalmente de la velocidad de filtración y de la retención; parámetros determinados por las condiciones específicas del problema. La retención es una función, no sólo de las características del medio filtrante sino, también, de los factores siguientes:

- Propiedades físicas del fluido
- Propiedades químicas del fluido
- Tamaño y forma de los sólidos suspendidos

La capacidad de filtración de un medio filtrante está dada por las siguientes características:

Tamaño mínimo de partícula retenida

Permeabilidad o resistencia al flujo

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

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

Estabilidad dimensional y facilidad de limpieza.

La determinación precisa de las propiedades de retención de un medio filtrante, es conveniente para una selección mejor. Lo más adecuado y práctico a nivel de planta piloto.

La permeabilidad o resistencia al flujo de un medio filtrante depende tanto del tamaño de poro en particular como del número de poros por unidad de área. La proporción exacta dependerá de las propiedades físicas del medio y del método de fabricación.

La medición experimental de la permeabilidad de un medio filtrante se basa en la medición de la velocidad de flujo bajo una diferencia de presión. La Fig. 3.2 muestra las gráficas de permeabilidad para diferentes medios filtrantes y a diferentes diferencias de presión.

El equipo empleado en la determinación de permeabilidades de los tejidos empleados en este trabajo, se muestra en la Fig. 3.1.

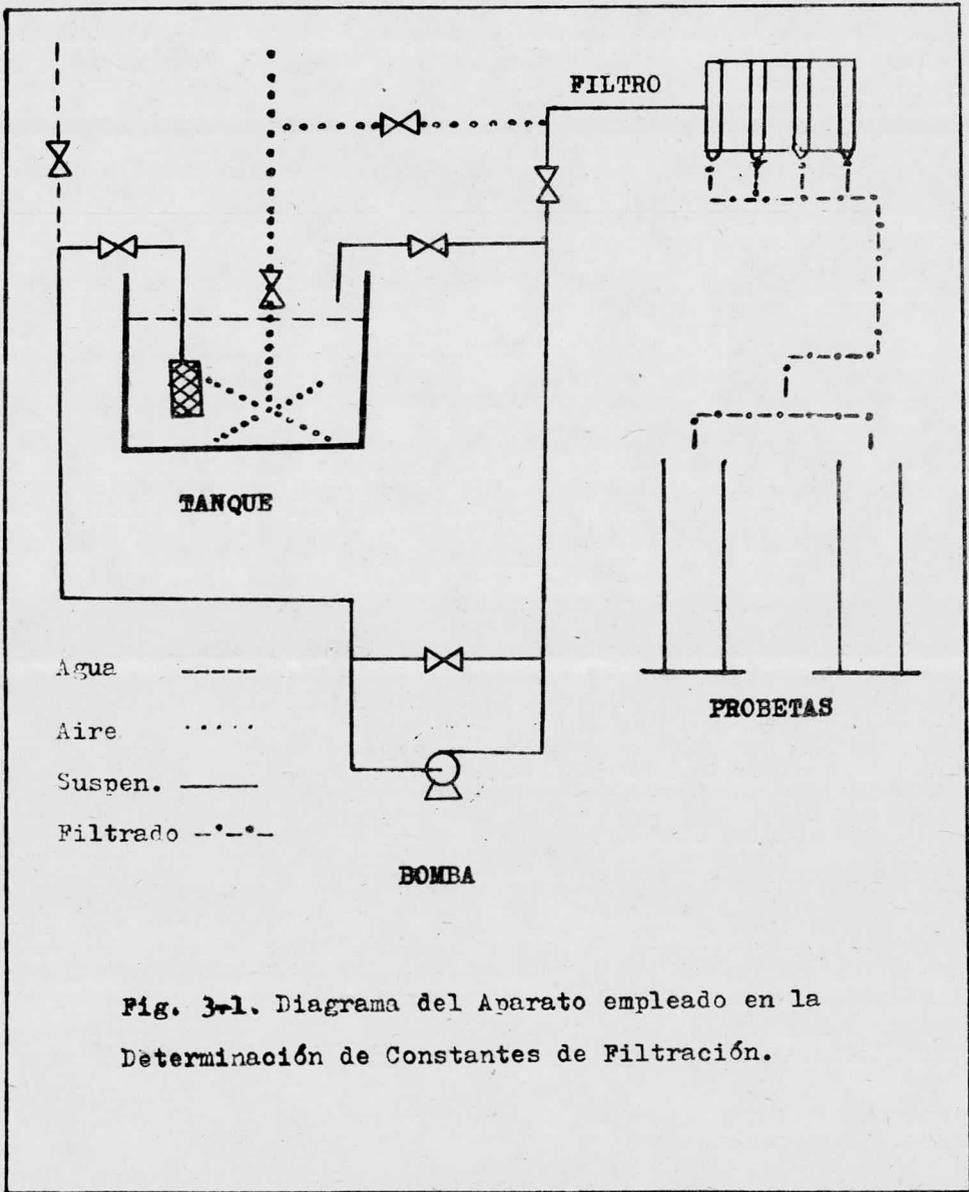


Fig. 3-1. Diagrama del Aparato empleado en la Determinación de Constantes de Filtración.

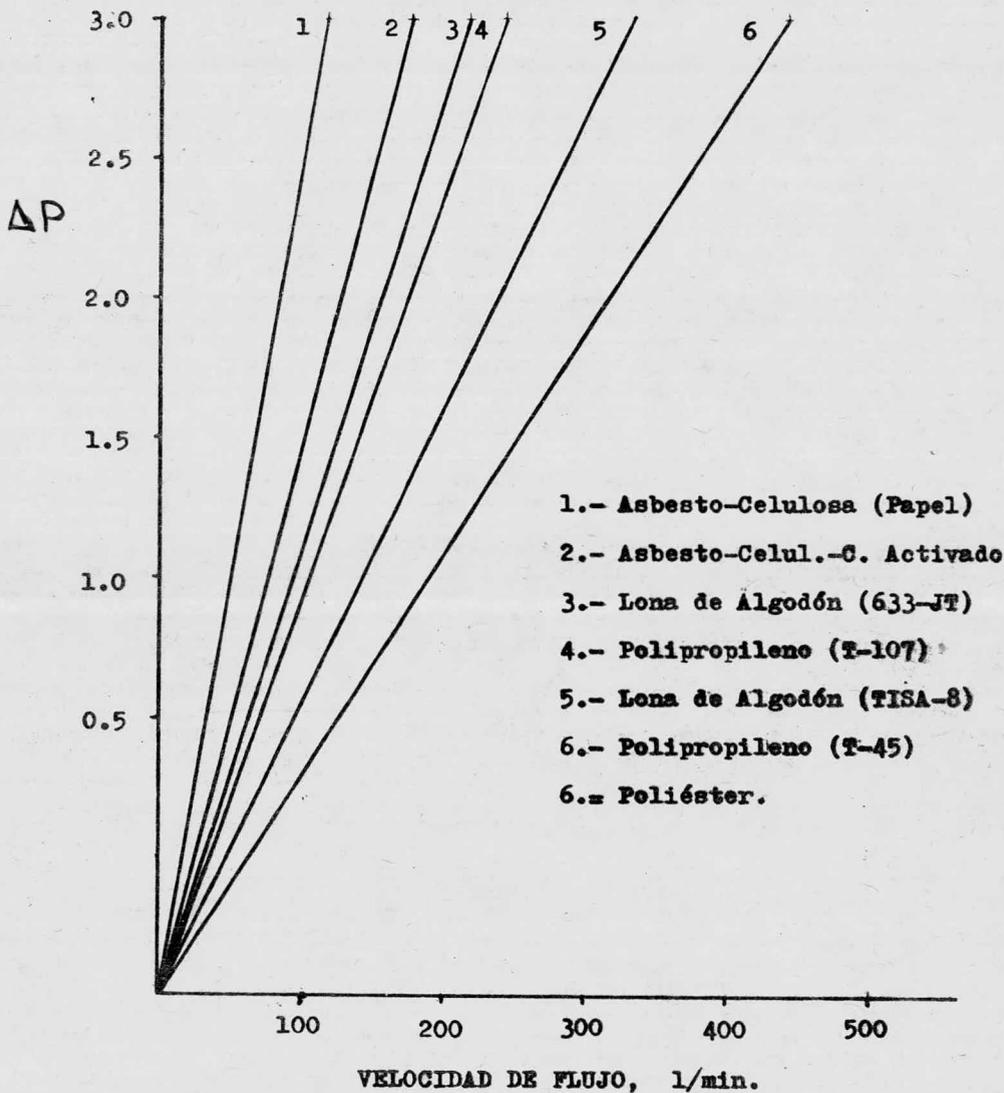


Fig. 3.2, Gráfica de Permeabilidad para diferentes medios filtrantes; para flujo de agua a diferentes valores de P .

Tanto los sólidos acumulados como los medios filtrantes difieren en variedad de tipos, lo que origina diversos problemas. Basándose en los mecanismos de filtración se tiene que, una filtración por medio filtrante formará más rápidamente una capa de sólidos que impedirá el paso del fluido; mientras que, una filtración profunda dispersará la misma cantidad de sólidos por parte o todo el espesor del medio y así se verá-- menos afectado.

3.2 CLASIFICACION Y DESCRIPCION

TELAS O TEJIDOS

Por su amplia aplicación y la gran variedad que presentan es el grupo más grande de medios filtrantes. De la variedad de telas emergen las consideraciones siguientes:

Naturaleza de la fibra: natural o sintética

Forma de la fibra: monofilamento, multifilamento o hilatura.

Número de hilos: trama longitudinal, trama transversal

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

Resistencia: al calor, rasgado, ataque químico, desgaste rotura, etc.

Las principales fibras empleadas son:

Algodón

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

principales desventajas son el ataque por ácidos débiles en caliente o concentrados en frío, su exposición a soluciones cáusticas hinchan la fibra; por otro lado, está sujeto a rompimiento, encogimiento y enmohecimiento.

Nylon

Después del algodón, es el medio filtrante de más uso. Su alta tenacidad y su resistencia a la abrasión permiten obtener esta fibra en monofilamento, filamento continuo y en hilatura. Tiene una superficie rugosa, excelente para una buena adherencia de la torta. No es atacada por el moho ni las bacterias y tiene una alta resistencia a la tensión, que disminuye en un 15% cuando está mojada. Es altamente elástico siendo ideal para flexiones continuas. Su mayor desventaja es que es degradado por agentes oxidantes y ácidos minerales concentrados en caliente.

Poliéster

Esta fibra presenta excelente estabilidad dimensional, lo que permite su uso en filtros continuos de banda o rotatorios al vacío, tiene buena resistencia a la abrasión y al ataque químico.

Tiene buena resistencia a ácidos minerales y orgánicos, con excepción de los ácidos Nítrico, Sulfúrico y Carbónico concentrados; tiene buena resistencia a la mayoría de los oxidantes.

dantes y trabaja muy bien con la mayoría de los solventes orgánicos. Sin embargo, Los álcalis lo disuelven a altas temperaturas y concentraciones, el calor húmedo lo degrada hidrolíticamente.

Polipropileno

Este material ha avanzado tan rápidamente que está desplazando al polietileno y al nylon de la filtración industrial, debido a que cuenta con la más baja densidad de todos los medios filtrantes conocidos, dando como resultado una mayor área por Kilogramo de fibra empleada, lo que repercute en un bajo costo de adquisición.

Es prácticamente inerte a los álcalis y ácidos en cualquier concentración excepto ácido nítrico y agentes oxidantes a altas temperaturas. En presencia de hidrocarburos clorados a temperatura ambiente, se hincha y pierde resistencia a la tracción y es soluble en ellos a 71°C. No es soluble en glicerina, éter ni acetona. Se obtiene en monofilamento, filamento continuo e hilatura.

Esta fibra tiene una superficie fina, excelente para descarga eficiente de la torta; su única limitación es que no puede ser trabajado arriba de 80°C.

Polietileno

Actualmente, se usa en forma de monofilamento tejido de ba

ja densidad; siendo de gran aceptación debido a dos factores-básicos: su costo y su resistencia química.

Se obtiene en monofilamento, filamento continuo e hilatura. Dependiendo del tejido, su resistencia a la abrasión es de regular a buena, su resistencia a la tracción es regular.- Es magnífica para manejar ácidos minerales y orgánicos, álcalis y soluciones salinas acuosas; se reblandece a 85°C y se derrite a 115°C. A temperatura ambiente, resiste a los agentes oxidantes y a los solventes orgánicos.

Acrílico

Su resistencia al calor húmedo es superior a la del poliéster y el nylon.. Resiste a la mayoría de los ácidos minerales y orgánicos, buena resistencia a los agentes oxidantes y excelente resistencia a solventes orgánicos. Se encuentra disponible en forma terciada y multifilamento. Se ha usado satisfactoriamente en filtración de solventes, pinturas, barnices y aceites minerales.

Orlón

Se obtiene en fibra corta y en hilado y tejida en monofilamento y multifilamento. Su resistencia a la abrasión y su tenacidad son regulares. Resiste en forma buena y excelente a los ácidos minerales y a muchas sales ácidas, a grasas y aceites, sal neutra, solventes comunes y a productos químicos oxidantes. Es resistente a altas concentraciones calientes de ga

ses corrosivos, así como al cloro.

Dinel

Sus resistencias a la tensión y a la abrasión son buenas.- Su resistencia a ácidos orgánicos es buena, incluyendo agua regia, ácido crómico, nítrico, fosfórico y sulfúrico. Su resistencia a los solventes comunes es buena, excepto acetona tibia y otros de su misma familia. Se encoge a 93°C y se suaviza entre 145°C y 163°C.

Sarán

De regular a mala es su resistencia a la tracción y a la abración. Tiene excelente resistencia a los ácidos, aunque solamente regular ante ácido sulfúrico concentrado. Excepto el hidróxido de amonio, los álcalis no le afectan. Trabaja cómodamente a temperaturas hasta de 71°C, aunque puede emplearse hasta 100°C en forma intermitente. Normalmente, se obtiene en monofilamento, pero también puede obtenerse en filamento continuo y en fibra corta o hilatura. No se quema pero se derrite. No es soluble en acetona.

HOJAS NO TEJIDAS

Fieltros

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

La tela traslapada de algodón o de lana o una mezcla de ambos materiales, es un material mecánicamente débil. La resistencia y rigidez puede aumentarse usando capas de otra tela - como la muselina, algunas veces con fibra de asbesto y resinas modificadas de fenol-formaldehído.

Los fieltros sintéticos se impregnan con resina de fenol-formaldehído; las propiedades de estos medios dependen tanto del material fibrilar de que estan hechos como de la resina usada para su impregnación. Son recomendables para soluciones alcalinas.

Se empleán algunas fibras sintéticas para fabricar telas traslapadas, como la fibra de vidrio.

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

principal aplicación es para filtración de aire.

Existen fibras naturales que soportan temperaturas mayores, la más importante es la lana mineral. Las longitudes de esta fibra van de 4 a 5 micras; la mayor cantidad se encuentra entre 6 y 12 micras. Se comprime gradualmente para formar almohadillas y puede usarse a 800°C; por lo que se emplean en esterilización de gases y filtraciones extremas de presión y temperatura.

Papel

Se pueden fabricar papeles con porosidad variada; desde impermeables hasta de consistencia abierta.

Por fibrilización, las fibras de celulosa pueden mejorar sus propiedades, no así las de fibra de vidrio; pero estos últimos se pueden obtener en fibras hasta de 0.03 u, por lo que los papeles fabricados con celulosa tienen menor poder de retención que los de fibra de vidrio. Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones industriales se usan papeles a base de celulosa, ya que son más baratos y tienen mejores propiedades mecánicas. El papel a base de fibra de vidrio se usa en filtración de líquidos en laboratorio y su mayor aplicación es en filtración de aire. Una diferencia importante entre estos papeles es que los de celulosa se hinchan cuando se humedecen y los de fibra de vidrio no.

Los papeles de celulosa y de fibra de vidrio también se-

impregnan con melamina y neopreno para aumentar su resistencia en húmedo o en seco. Se puede emplear silicón para impermeabilizar.

Placas

Las placas son similares a los papeles, la diferencia es que el espesor de las primeras está entre 2 y 6 mm, por lo que pertenecen al tipo de filtración profunda mientras que los papeles son de superficie. Generalmente, están hechas de asbesto con fibra de celulosa, esta última actúa como pegamento.

Existen, también, combinaciones de Asbesto-Diatomita, Asbesto-tierra Fuller's, Asbesto-Carbón, Asbesto-Celulosa-Carbón Activado.

La cantidad de asbesto varía de 5 a 45 %, de acuerdo a su aplicación. La finura de la fibra varía para dar grandes áreas superficiales, que van de 15 000 a 35 000-cm²/g. Otra variable es el grado de fibrilización que controla su densidad para determinar su porosidad.

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

FABRICACIONES SOLIDAS

Vasijas Lavadoras

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

Tubos Alambrados

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

CUERPOS RIGIDOS POROSOS

Cerámicos

Son de importancia por su resistencia química, bajo -- costo y estabilidad a altas temperaturas. Incluye arcillas--ricas en sílice. Se presentan como placas comprimidas con-- perforaciones de cerca de 0.65 cm. de diámetro. Sus desventajas principales son su fragilidad y el restringido número de formas disponibles.

Metal Sinterizado

Son producidos a partir de metales pulverizados compri-- midos sobre alambre tejido. Su importancia radica en el con

trol preciso y uniforme del tamaño y forma del polvo metálico que se comprime sobre el alambre que puede ser de uno o varios hilos, controlando así la porosidad; su desventaja es su elevado costo.

HOJAS METALICAS

Placas Perforadas

Puesto que las perforaciones no pueden ser menores de 75 micras, su uso como medio filtrante es limitado; aunque funcionan como soportes de medios filtrantes más finos y se emplean como tamizadores. Sin embargo, con aplicación de técnicas con rayos Lasser, se pueden obtener perforaciones finas en extremo.

Alambre Tejido

Se dispone de gran variedad de tejidos y metales. En su fabricación se emplea alambre fino para obtener una malla de tamaño mínimo y alambre grueso para mejorar sus propiedades mecánicas. Cuando los alambres se cruzan una vez por arriba y la siguiente por abajo, se produce el tejido Holandés sencillo. Cuando los alambres de la trama longitudinal cruzan a dos de la trama transversal, se produce una tela más densa y se conoce como tejido Holandés cruzado.

PLÁSTICOS POROSOS

Almohadillas

Se encuentran disponibles en gran variedad, incluyendo el PVC, Polietileno, Teflón, Poliuretano, etc. y en amplia gama de formas, desde perfiles y tubos rígidos hasta placas porosas rígidas, así como almohadillas y hojas flexibles -- con espéras que van desde 25mm. hasta unos centésimos y aún milésimos; el tamaño de poro varía desde agujeros grandes -- hasta de una micra. Para su producción se siguen técnicas -- de sinterizado así como técnicas de formación de espuma. Un producto de alta calidad es el Milli-Pore. Una desventaja -- es su elevado costo.

Membranas

Son esencialmente películas muy delgadas de porosidad -- fina; el espesor de los grados comerciales va de 150 micras a 0.2 micras. Los materiales empleados en su elaboración -- son: nitrato de celulosa, ésteres de celulosa, PVC, Polieti -- leno y fluoro carbón. Su uso se ha extendido y se emplea en -- la esterilización de cerveza.

En la actualidad, la mayoría de las membranas se manu -- facturan con ésteres de celulosa; lo cual, tiene la desven -- taja de ser disueltas por substancias como acetona, éteres, -- alcoholes, nitroparafinas y álcalis fuertes, su temperatura

límite es de aproximadamente 125° C.

Las membranas de Polietileno son de mayor estabilidad química.

Existen membranas de plata con tamaño máximo de poro de 5 micras y 0.2 micras de poro mínimo, con espesor de 2- a 4 mm.

Funcionan como medios filtrantes de superficie y su uso en filtración de líquidos es amplio.

CARTUCHOS

Estos elementos se fabrican en diferentes materiales- como cerámica, metales sinterizados, fibras y papel.

Se elaboran enredando hilo en una pantalla cilíndrica, ya sea peinando cada capa conforme se va formando ó incluyendo un material finamente pulverizado, cuidadosamente controlado mientras procede el enrollado.

En otro sistema, se agregan capas de fibra en una pantalla similar, se impregnan con diversas resinas y se someten a polimerización. La resina también evita la absorción del líquido que se filtra. Los cartuchos funcionan como filtros de profundidad.

Los cartuchos con pantalla de rayón y algodón como medio filtrante se emplean para ácidos y álcalis diluidos, - productos derivados del petróleo, gases y agentes oxidantes y no oxidantes.

Para líquidos acuosos, alcoholes polares, agua potable, bebidas, productos alimenticios y donde se requiere resistencia química, se usan cartuchos con pantalla y medio filtrante de algodón.

Son ideales para vinos, licores, jarabes, lociones, baños de galvanoplastia, los cartuchos de polipropileno. Se emplean, también, para álcalis concentrados, ácidos fuertes y otros fluidos que atacan químicamente al rayón y algodón.

SOLIDOS SUELTOS

En la filtración de líquidos se emplean una gran variedad de sólidos sueltos, en tres formas:

i).- Como precapa en medios filtrantes rígidos y flexibles, con el objeto de proteger el medio original de la contaminación del material sólidos que se está filtrando y para aumentar su capacidad de retención.

ii).- Como capas profundas, si el objeto es tal, como los filtros de arena. También se usa si se desea que el líquido entre en contacto con el material de la capa para absorción y decoloración.

iii).- Como aditivo disperso en el líquido a filtrar, para aumentar la porosidad, para facilitar el flujo y aumentar el ciclo de filtración. En este último caso, se le conoce como filtro ayuda.

CAPITULO 4

DATOS EXPERIMENTALES

4.1 ECUACIONES DE DISEÑO

4.2 TECNICA EXPERIMENTAL

4.3 DATOS EXPERIMENTALES

4.4 ANALISIS DE RESULTADOS

4.5 APLICACION DE RESULTADOS

4.1 ECUACIONES DE DISEÑO

La Ec. general de filtración, nos dá la interrelación entre el tiempo y el flujo de filtrado:

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu \alpha w}{A^2 g_c \Delta P} V + \frac{\mu r}{A g_c \Delta P} \quad (1.7)$$

Puesto que es razonable suponer a μ , α , w , A y r constantes, la Ec. (1.7), puede escribirse en la forma:

$$\frac{dt}{dV} = K_1 V + K_2 \quad (1.9)$$

que corresponde a una línea recta de pendiente K_1 y ordenada al origen K_2 , donde:

$$K_1 = \frac{\mu \alpha w}{A^2 g_c \Delta P} \quad (1.10)$$

$$y \quad \alpha = \frac{K_1 A^2 g_c \Delta P}{\mu w} \quad (1.10')$$

$$K_2 = \frac{\mu r}{A g_c \Delta P} \quad (1.11)$$

$$r = \frac{K_2 A g_c \Delta P}{\mu} \quad (1.11')$$

Para evaluar las constantes de filtración α y r , para operación a presión constante, se necesitan datos experimentales de Volumen-Tiempo.

Entonces, para dos observaciones sucesivas, puede calcularse la cantidad dt/dV ; donde dt es el tiempo entre dos observaciones sucesivas y dV , el correspondiente incremento de volumen colectado entre ese intervalo de tiempo. Evaluando la cantidad dt/dV para varios incrementos, se puede construir una gráfica para dt/dV vs. V . Se ajusta la mejor línea recta entre estos puntos; la pendiente de esta línea es K_1 , y la intersección con el eje de las ordenadas es K_2 . Puesto que se hicieron suposiciones y simplificaciones en la deducción de la Ec. (1.7), durante las primeras etapas de la filtración, los puntos pueden no caer exactamente sobre la línea; estos puntos no deben trascender al ajustar la línea recta. Cuando se conocen K_1 y K_2 , se pueden calcular los valores de α y r , con las Ecs. (1.10') y (1.11'), respectivamente.

4.2 TECNICA EXPERIMENTAL

La parte fundamental del presente trabajo fué la obtención experimental de datos de Volúmen-Tiempo, a diferentes presiones, para cada medio filtrante. A partir de estos datos, se evalúa la cantidad dt/dV , que al graficarla contra V , nos dá los valores de K_1 y K_2 , y, de esta manera, se pueden calcular los valores de α y r .

La técnica experimental empleada, se ilustra con el siguiente ejemplo:

De la Tabla (4.2), se toman los datos de Volúmen-Tiempo para una operación a presión constante de 1.0 Kg/cm^2 ; obtenidos en la filtración de una suspensión de bagazo de caña blanqueado en agua, a una concentración de 4 % de sólidos secos. El medio filtrante empleado fué lona de algodón-2X. La operación se llevó a cabo a una temperatura de 20°C .

El siguiente paso es preparar la gráfica de dt/dV vs. V . Los datos y cálculos necesarios se encuentran tabulados en la Tabla (4.1).

La Fig. 4.2, muestra la gráfica para dt/dV vs. V , para la corrida del ejemplo. Como se observa en esta figura, la gráfica tiene una zona en la que se comporta linealmente; luego una zona de transición en la que la pendiente cambia rápidamente, hasta hacerse asintótica al eje de las ordenadas, cuando $dV = 0$.

TABLA 4.1 Datos de Volúmen-Tiempo y cálculos necesarios para construir la gráfica de dt/dV vs. V ; para una filtración a presión constante.

Volúmen Filtrado (V) $M^3 \times 10^{-3}$	Tiempo Seg.	dt Seg.	dV	dt/dV
0.0	0			
0.5	3	3	0.5	6×10^3
1.0	8	5	0.5	10×10^3
1.5	15	7	0.5	14×10^3
2.0	23	8	0.5	16×10^3
2.5	32	9	0.5	18×10^3
3.0	44	12	0.5	24×10^3
3.5	56	12	0.5	24×10^3
4.0	70	14	0.5	28×10^3
4.5	84	14	0.5	28×10^3
5.0	101	17	0.5	34×10^3
5.5	120	19	0.5	38×10^3
6.0	143	23	0.5	46×10^3
6.5	165	22	0.5	44×10^3
7.0	192	27	0.5	54×10^3
7.5	222	30	0.5	60×10^3
8.0	252	30	0.5	60×10^3
8.5	285	33	0.5	66×10^3
9.0	320	35	0.5	70×10^3
9.5	360	40	0.5	80×10^3
10.0	402	42	0.5	84×10^3
10.8	535	133	0.8	156×10^3

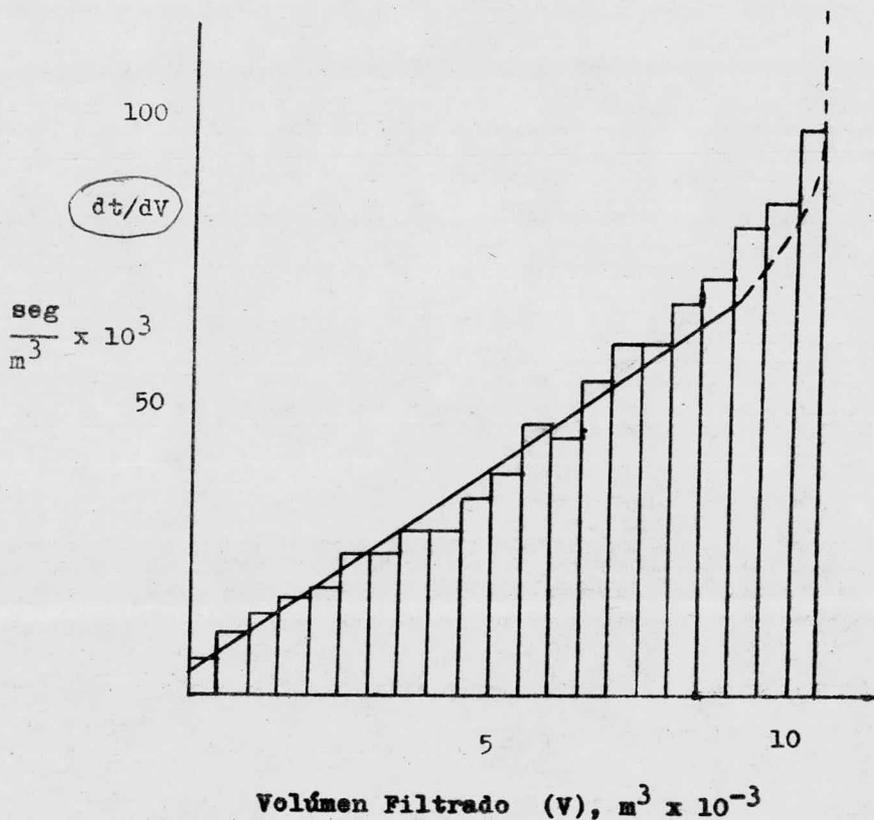


Fig. 4-2 Gráfica de dt/dV vs. V , para filtración de -- suspensión en agua de Bagazo de Caña Blanqueado, al 4 % de sólidos secos. A una temperatura de 20°C y una dife--rencia de presión, constante, de 1.0 Kg/cm². Empleando - como medio filtrante lona de algodón, 2X.

De la Fig. 4.2, se obtiene el valor de la pendiente, K_1 , igual a $10 \times 10^6 \text{ seg/m}^6$. El valor de K_2 , la ordenada al origen, es de $4 \times 10^3 \text{ seg/m}^3$.

La viscosidad del agua a 20°C , es de $1 \text{ cp} = 1 \times 10^{-3} \text{ Kg/m-seg}$. El área de filtración es de 0.066 m^2 . La concentración, w , es de 4 %, es igual a 40 Kg/m^3 .

Con la Ec. (1.10'), se calcula el valor de la resistencia de torta, :

$$\alpha = \frac{K_1 A^2 g_c \Delta P}{\mu w} = \frac{(m^2) \left(\frac{m}{\text{seg}^2}\right) (0.066^2) (9.81)}{(40) 1 \times 10^{-3}} (K_1 \Delta P) \left(\frac{\text{seg}}{m^3}\right) \left(\frac{\text{kg}}{m^3}\right) = \frac{\text{kg}}{m^3 \cdot \text{seg}}$$

$$\alpha = 1.07 K_1 \Delta P \quad (\text{Ec. 4.1}) = \frac{m}{\text{kg}}$$

sustituyendo los valores respectivos de K_1 y ΔP , en la Ec anterior, se tiene para este ejemplo:

$$\alpha = 1.07 (10 \times 10^6) (1 \times 10^4) = 1.07 \times 10^{10} \text{ m/Kg}$$

El valor de la resistencia del medio filtrante, r , - se calcula con la Ec. (1.11'), del modo siguiente:

$$r = \frac{K_2 A g_c \Delta P}{\mu} = \frac{(m^2) \left(\frac{m}{\text{seg}^2}\right) (0.066) (9.81)}{1 \times 10^{-3}} (K_2 \Delta P) \left(\frac{\text{seg}}{m^3}\right) \left(\frac{\text{kg}}{m^3}\right) = \frac{\text{kg}}{m^2 \cdot \text{seg}}$$

$$r = 6.47 \times 10^2 K_2 \Delta P \quad (\text{Ec. 4.2}) = \frac{1}{m} = m^{-1}$$

que para el ejemplo, tiene un valor de $2.59 \times 10^{10} \text{ m}^{-1}$.

4.2 DATOS EXPERIMENTALES

Se trabajó con un material fibrilar y un sólido amorfo. El material fibrilar fué Bagazo de Caña Blanqueado; - se trabajó a una concentración de 4 % de sólidos secos, - debido a las dificultades que presenta su manejo con una bomba pequeña. El sólido amorfo estudiado fué Carbonate de Calcio; a una concentración de 20 % de sólidos secos, - condición operacional.

Los medios filtrantes estudiados comprenden telas de algodón y tejidos de naturaleza sintética. Se seleccionaron dos tejidos de algodón, 2X y 633-JT; los tejidos --- sintéticos seleccionados, ambos de Polipropileno, son --- T-45 y T-107. La selección de los medios filtrantes, se --- hizo en base a su retención de sólidos, muy cercana al --- 100 %.

Se trabajó en la gama de 0.5-3.0 Kg/cm² de presión.- Los experimentos se efectuaron en un filtro prensa de --- tres cámaras para filtración, con un área total de 0.066- m². Para la alimentación se empleó una bomba de desplazamiento positivo, tipo turbina. El tanque de alimentación- contaba con un dispositivo neumático para su agitación. - Se operó a temperatura ambiente, 20°C.

Los datos obtenidos, así como los cálculos efectua--- dos, se encuentran en la siguientes páginas.

4.2.1 Bagazo de Caña

a) Lona de Algodón 2X

Los datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones, obtenidos en cada una de las operaciones, se muestran en la Tabla 4.2.

La Fig. 4.2, es la representación gráfica de los datos anteriores, esto es, son gráficas de Volúmen Filtrado vs. Tiempo.

La Fig. 4.3, es una gráfica de la cantidad dt/dV -- vs. Volúmen de Filtrado, para diferentes valores de ΔP .

A partir de la Fig. 4.3, se obtienen los valores de K_1 y K_2 , la pendiente y ordenada al origen de cada línea, respectivamente. Con los valores de K_1 y K_2 , se calculan α y r , aplicando las Ecs. (4.1) y (4.2), respectivamente.

Los valores de K_1 , K_2 , r y α , se encuentran tabulados en la Tabla 4.3.

TABLA 4.2 Datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Bagazo de Caña Blanqueado, al 4 % de sólidos secos. A una temperatura de 20°C. Usando como medio filtrante Lona de Algodón 2X.

CORRIDA	I	II	III
DIF. DE PRESION (ΔP) - Kg/cm ²	1.0	1.5	2.0
Volúmen Filtrado (V) m ³ x 10 ⁻³	Tiempo, seg.		
0.5	3	3	3
1.0	8	7	7
1.5	15	13	12
2.0	23	19	18
2.5	32	28	24
3.0	44	39	34
3.5	56	51	45
4.0	70	65	57
4.5	84	82	71
5.0	101	99	87
5.5	120	120	106
6.0	143	140	126
6.5	165	161	145
7.0	192	187	169
7.5	222	212	195
8.0	252	239	220
8.5	285	---	246

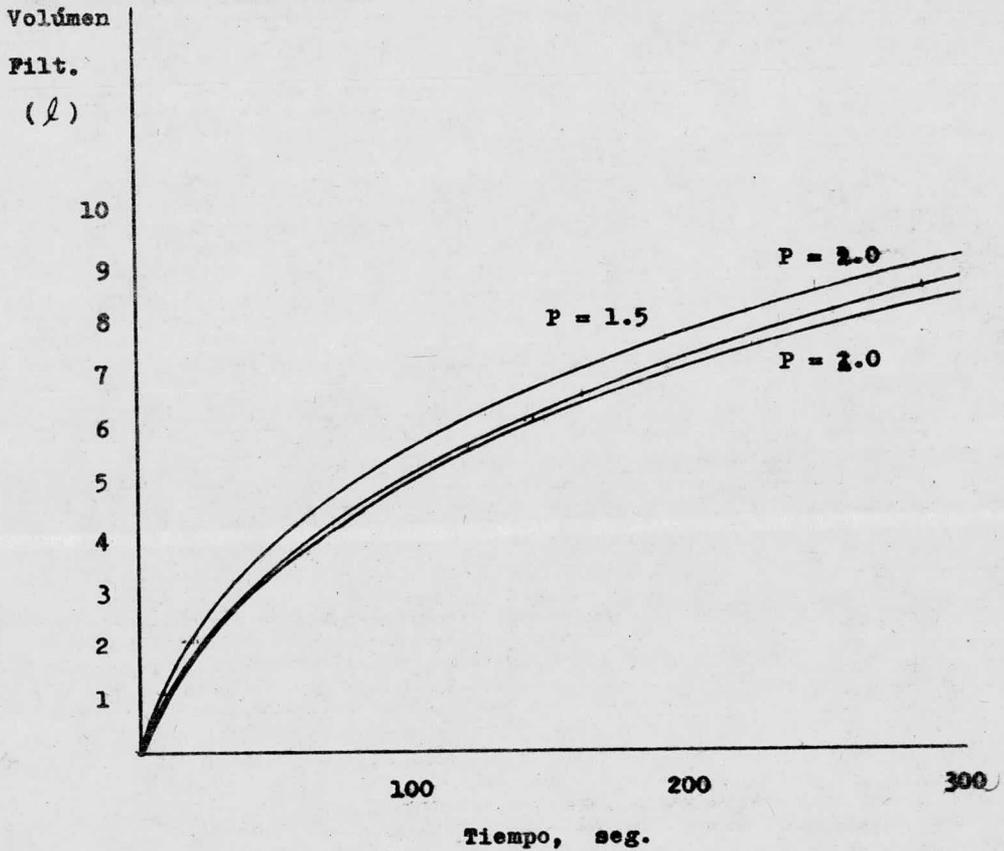


Fig. 4-2 Gráfica de Volúmen Filtrado vs Tiempo a diferentes presiones; para el sistema Bagazo de Caña- Agua Lona de algodón 2x.

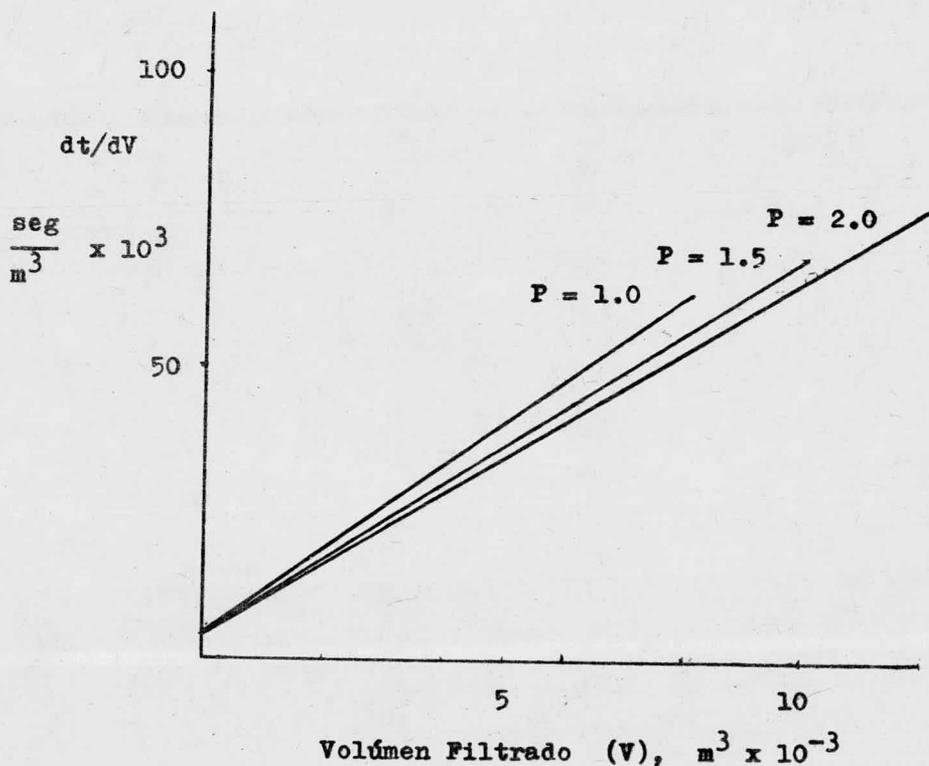


Fig. 4-3 Gráfica dt/dV vs V a diferentes presiones; obtenida por aplicación de la Ecuación (1.7) a los datos experimentales de Volumen-Tiempo; para filtración a presión constante. Para una operación a 20°C , para el sistema Bagazo de Café-Agua-Lona de algodón 2X.

TABLA 4-3 Valores de K_1 , K_2 , r y α a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Bagazo de Caña Blanqueado, al 4 % de sólidos secos. A una temperatura de 20°C. Usando como medio filtrante Lona de algodón 2X.

CORRIDA	P	K_1	K_2	r, m^{-1}	$\alpha, m/Kg$
	Kg/cm^2	$seg/m^6 \times 10^6$	$seg/m^3 \times 10^3$	$\times 10^{10}$	$\times 10^{11}$
I	1.0	10.0	4	2.59	1.00
II	1.5	7.5	4	3.90	1.75
III	2.0	6.0	4	5.176	1.20

Donde r : resistencia del medio filtrante
 α : resistencia de torta

La Fig. 4-4, muestra gráficamente la variación lineal de la resistencia del medio filtrante con la presión aplicada.

La Fig. 4-5, es una gráfica de $\log \alpha$ vs. $\log \Delta P$, que muestra la variación de la resistencia de torta con la presión. De acuerdo con la Ec. (1.12), la pendiente de la línea es s , el coeficiente de compresibilidad. En este caso, s tiene un valor de 0.3.

Fig. 4-4 gráfica r vs. ΔP para 2X.

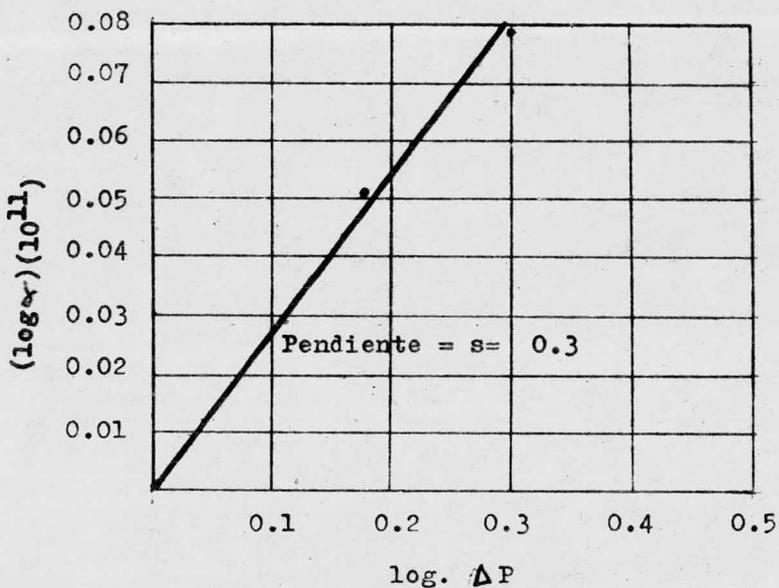
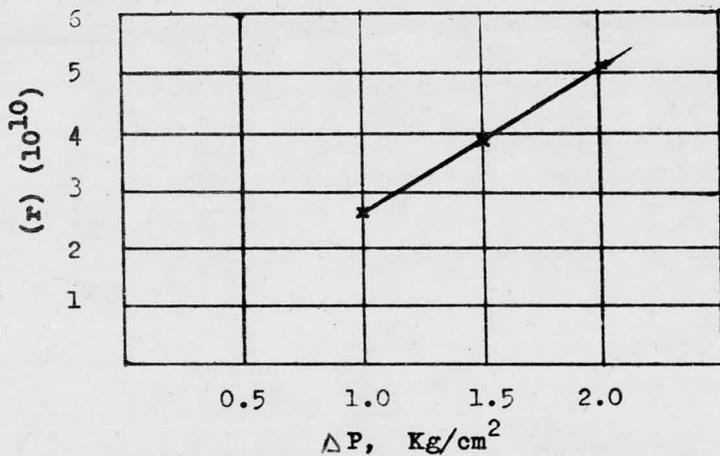


Fig. 4-5 gráfica $\log \alpha$ vs. $\log \Delta P$

4.2.1 Bagazo de Cafía

b) Lona de Algodón 633-JT

Los datos de volúmen-Tiempo a diferentes presiones, obtenidos en cada una de las operaciones, se muestran en la Tabla 4.4.

La Fig. 4.6, es la representación gráfica de los datos anteriores, esto es, son gráficas de Volúmen Filtrado vs. Tiempo.

La Fig. 4.7, es una gráfica de la cantidad dt/dV -- vs. Volúmen Filtrado, para diferentes valores de ΔP .

A partir de la Fig. 4.7, se obtienen los valores de K_1 y K_2 , la pendiente y ordenada al origen de cada línea, respectivamente. Con los valores de K_1 y K_2 , se calculan α y r , aplicando las Ecs. (4.1) y (4.2), respectivamente.

Los valores de K_1 , K_2 , V y α , se encuentran tabulados en la Tabla 4.5.

TABLA 4.4 Datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Bagazo de Caña Blanqueado, al 4 % de sólidos secos. A una temperatura de 20°C. Usando como medio filtrante Lona 633-JT.

CORRIDA NUMERO	I	II	III	IV
DIF. DE PRESION (P) Kg/cm ²	1.0	1.5	2.0	2.5
Volúmen Filtrado (V) m ³ x 10 ⁻³	Tiempo, seg.			
1.0	...	17	4	7
2.0	17	15	12	8
3.0	29	26	22	20
4.0	47	32	26	34
5.0	68	45	32	53
6.0	92	63	67	75
7.0	123	83	..	..
8.0	167	110	92	105
9.0	200	140	122	...
10.0	254	171	156	...
11.0	315	214	180	...
12.0	420	266	224	...
13.0	...	345	305	260
14.0	...	530	376	318
15.0	...	...	548	427

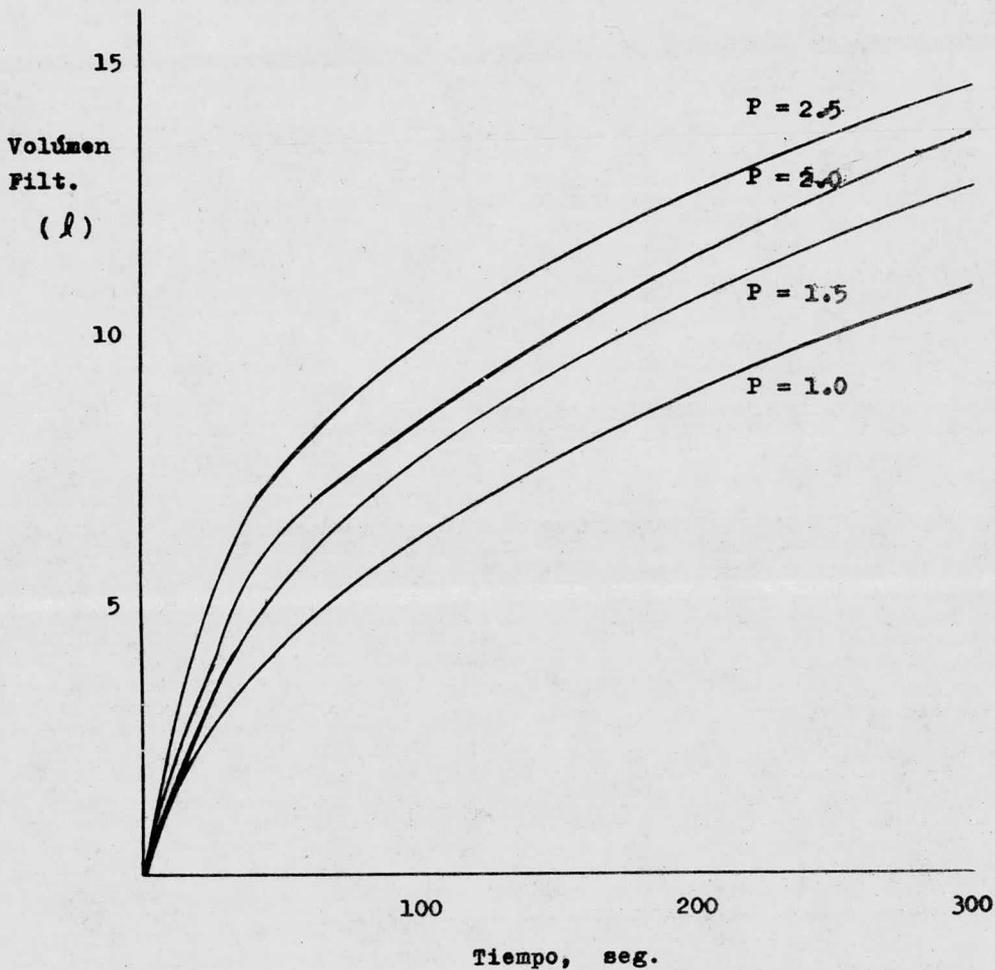


Fig. 4-6 Gráfica de Volúmen Filtrado vs Tiempo a -
diferentes presiones; para el sistema Bagazo de Caña-
Agua-Lona de algodón 633-JT.

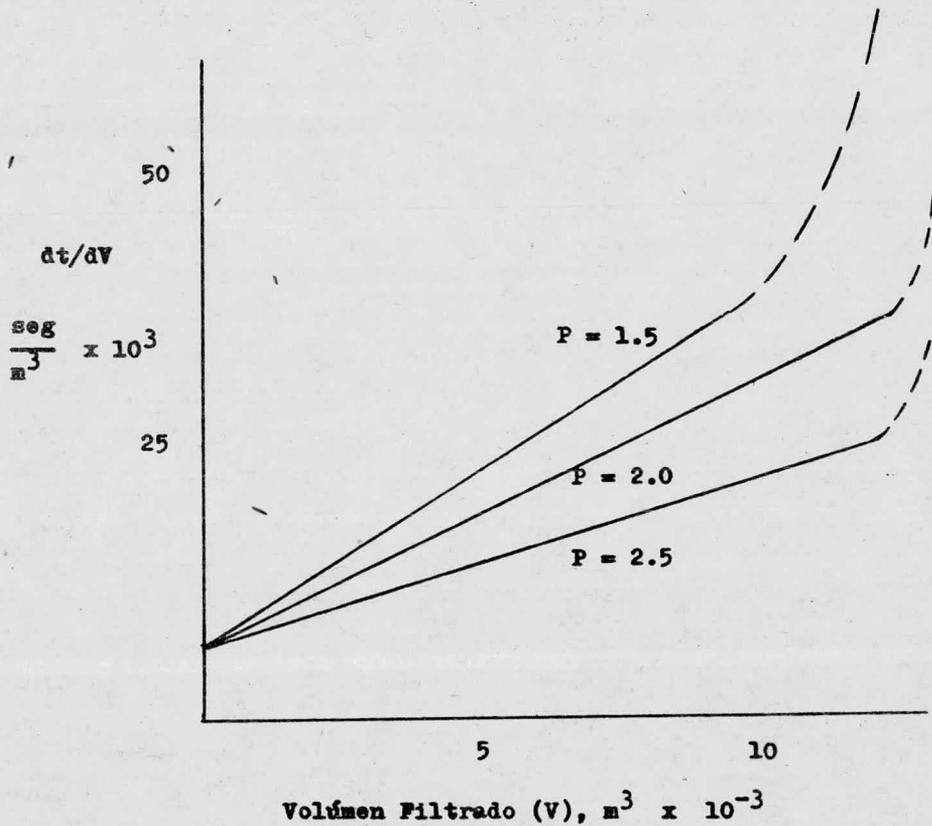


Fig. 4-7 Gráfica dt/dV vs V a diferentes presiones; obtenida por aplicación de la Ecuación (1.7) a los datos experimentales de Volumen-Tiempo, para filtración a presión constante. A una temperatura de 20°C , para el sistema Bagazo de Caña-Agua-Lona de algodón 633-JT-

TABLA 4-5 Valores de K_1 , K_2 , r y α a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Bagazo - de Caña Blanqueado, al 4 % de sólidos secos. A una temperatura de 20°C. Usando como medio filtrante Lona 633-JT.

	P	K_1	K_2	r, m^{-1}	$\alpha, m/Kg$
CORRIDA	Kg/cm^2	$seg/m^6 \times 10^6$	$seg/m^3 \times 10^3$	$\times 10^{10}$	$\times 10^{11}$
I	1.0	12.0	8.0	4.33	1.27
II	1.5	10.0	7.0	6.80	1.50
III	2.0	8.3	7.0	9.05	1.66
IV	2.5	5.4	7.0	11.32	1.96

De la observación de los datos de la Tabla 4.5, se deduce que la resistencia del medio filtrante, Lona 633-JT, varía directamente con la presión aplicada. Puesto que la ordenada al origen es una constante, para todas las líneas.

La Fig. 4.8, muestra la variación de la resistencia del medio filtrante, lona 633-JT, con la presión.

La Fig. 4.9, es una gráfica de $\log \alpha$ vs. $\log \Delta P$, que permite, a partir de la Ec. (1.12), determinar el coeficiente de compresibilidad, s ; en este caso tiene un valor de 0.4.

Fig. 4-8 Gráfica de r vs. ΔP para 633-JT

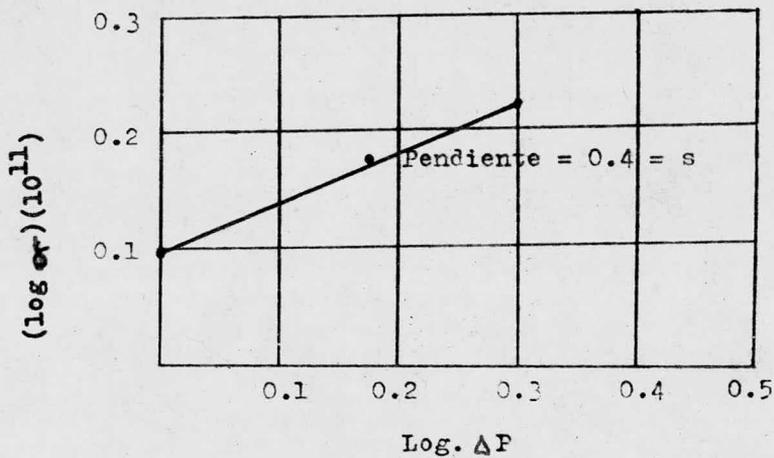
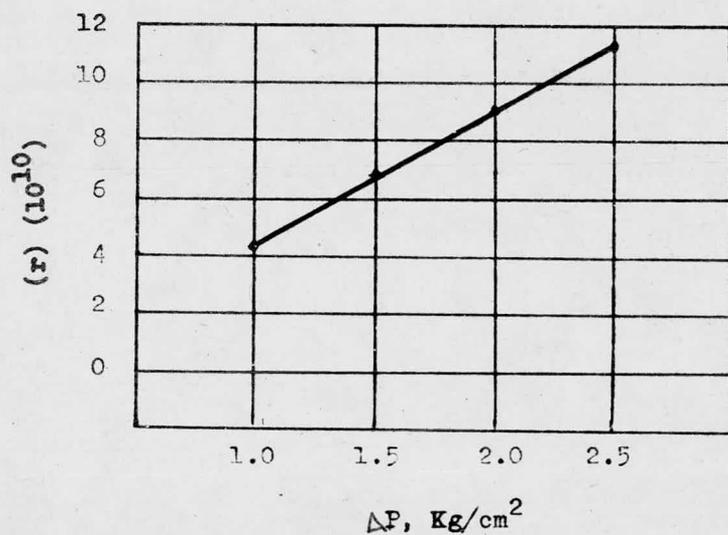


Fig. 4-9 Gráfica log. α vs. log ΔP

4.2.1 Bagazo de Caña

c) Tela de Polipropileno T-107

Los datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones, obtenidos en cada una de las operaciones, se muestran en la Tabla 4.6.

La Fig. 4.10, es la representación gráfica de los datos anteriores, esto es, son gráficas de Volúmen Filtrado vs. Tiempo.

La Fig. 4.11, es una gráfica de la cantidad dt/dV vs. Volúmen Filtrado, para diferentes valores de ΔP .

A partir de la Fig. 4.11, se obtienen los valores de K_1 y K_2 , la pendiente y ordenada al origen de cada línea, respectivamente. Con los valores de K_1 y K_2 , se calculan α y r , aplicando las Ecs. (4.1) y (4.2), respectivamente.

Los valores de K_1 , K_2 , r y α , se muestran en la Tabla 4.7.

TABLA 4-6 Datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Bagazo de Caña Blanqueado, al 4 % de sólidos secos. A una temperatura de 20°C. Usando como medio filtrante tela de Polipropileno (T-107).

CORRIDA NUMERO	I	II	.III	IV	V
DIF. DE PRESION (P) Kg/cm ²	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Volúmen Filtrado (V) m ³ x 10 ⁻³	Tiempo, seg.				
1.0	8	6	7	7	5
2.0	16	12	14	14	12
3.0	25	18	21	25	20
4.0	35	30	27	30	26
5.0	45	42	38	43	34
6.0	54	54	49	45	44
7.0	68	65	60	61	56
8.0	80	77	72	65	69
9.0	105	96	88	93	92
10.0	132	145	105	..	113
11.0	170	...	127	159	140
12.0	232	224	...	...	166
13.0	...	281	182	...	196
14.0	...	410	215	...	214
15.0	...	...	246	...	226

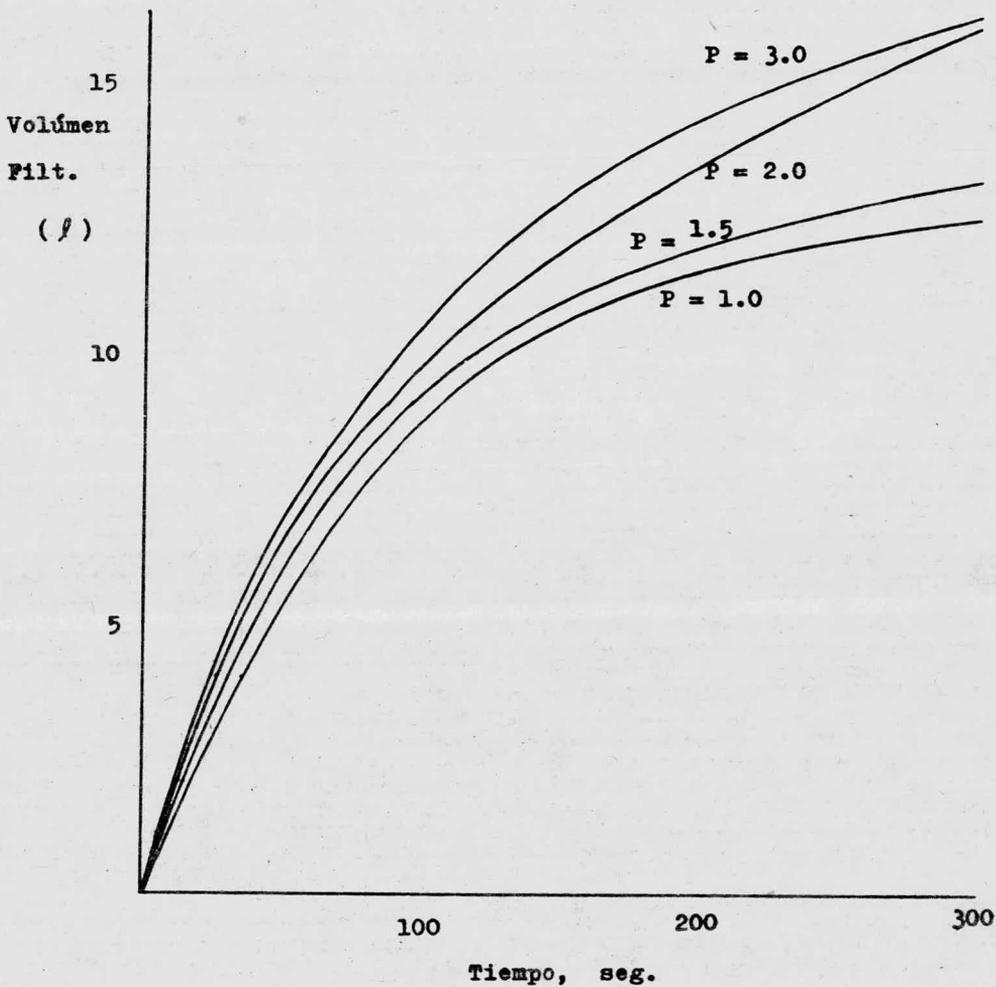


Fig. 4-10 Gráfica de Volúmen vs Tiempo a diferentes presiones; para el sistema Bagazo de Caña-Agua-T-107.

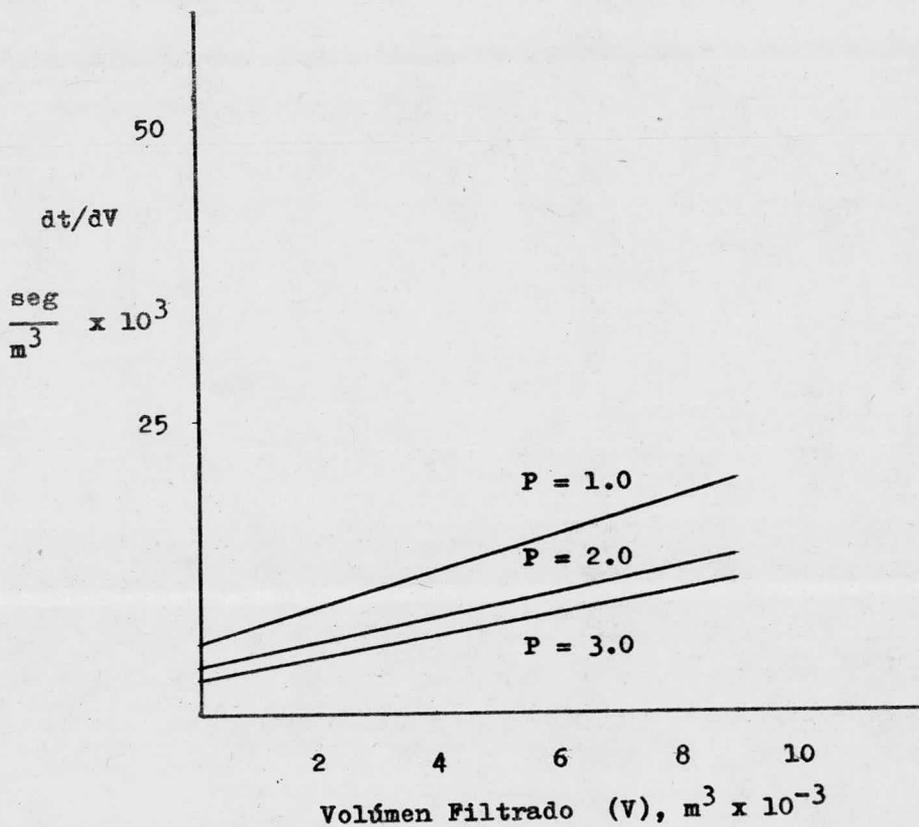


Fig-4-11 Gráfica dt/dV vs V a diferentes presiones ; obtenida por aplicación de la Ecuación (1.7) a los datos experimentales de Volúmen-Tiempo, para filtración a presión constante. A una temperatura de 20°C , para el sistema Bagazo de Caña-Agua-Polipropileno (T-107).



TABLA 4-7 Valores de K_1 , K_2 , r y α a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Bagazo de Caña Blanqueado, al 4 % de sólidos secos. A una temperatura de 20°C. Usando como medio filtrante tejido de Polipropileno, T-107.

	P	K_1	K_2	r, m^{-1}	α m/Kg
CORRIDA	Kg/cm ²	seg/m ⁶ x 10 ⁶	seg/m ³ x 10 ³	x 10 ¹⁰	x 10 ¹⁰
I	1.0	2.0	5.0	3.90	2.0
II	1.5	1.5	5.0	4.85	2.25
III	2.0	1.25	4.0	5.18	2.50
IV	3.0	1.00	4.0	7.71	3.0

La variación de la resistencia del medio filtrante, - tejido de Polipropileno T-107, con la presión, se muestra en la Fig. 4-12.

La Fig. 4.13, es una gráfica de $\log \alpha$ vs. $\log \Delta P$, que sirve para determinar el coeficiente de compresibilidad. El factor de compresibilidad en este caso, de la gráfica, - es de 0.90.

Fig. 4-12 Gráfica r vs. ΔP para T-107.

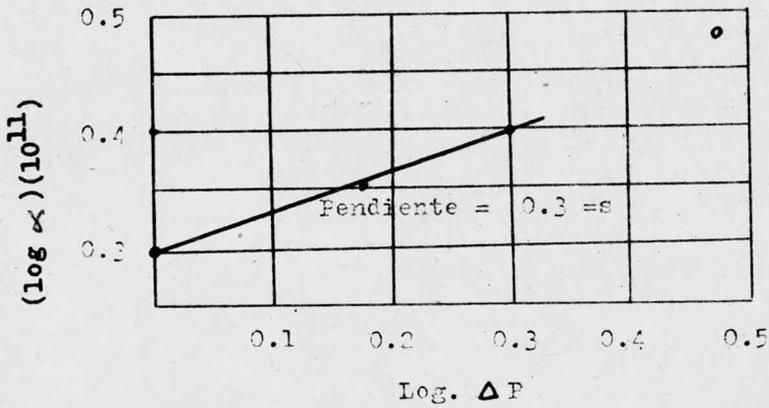
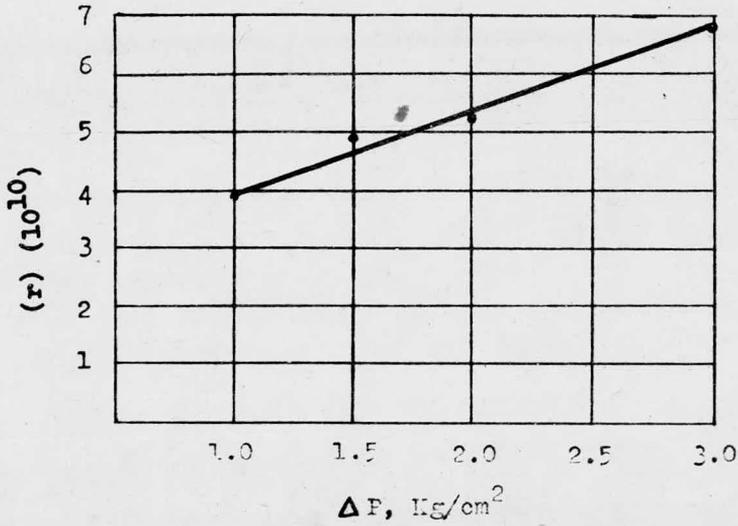


Fig. 4-13 Gráfica $\log r$ vs. $\log. \Delta P$

4.2.1 Bagazo de Caña

d) Tela de Polipropileno T-45

Los datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones, obtenidos en cada una de las operaciones, se muestran en la Tabla 4.8.

La Fig. 4.14, es la representación gráfica de los datos anteriores, esto es, son gráficas de Volúmen Filtrado vs. Tiempo.

La Fig. 4.15, es una gráfica de la cantidad dt/dV vs. Volúmen Filtrado, para diferentes valores de ΔP .

A partir de la Fig. 4.15, se obtienen los valores de K_1 y K_2 , la pendiente y ordenada al origen de cada línea, respectivamente. Con los valores de K_1 y K_2 , se calculan α y r , aplicando las Ecs. (4.1) y (4.2), respectivamente.

Los valores de K_1 , K_2 , r y α , se muestran en la Tabla 4.9.

TABLA 4-8 Datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Bagazo de Caña Blanqueado, al 4 % de sólidos secos. A una temperatura de 20°C. Usando como medio filtrante tela de Polibromileno (T-45).

CORRIDA NUMERO	I	II	III	IV
DIF. DE PRESION (P) Kg/cm ²	0.5	1.0	1.5	2.0
Volúmen Filtrado (V) m ³ x 10 ⁻³	Tiempo, seg.			
1.0	7	5	4	7
2.0	15	15	13	15
3.0	24	22	20	22
4.0	35	34	32	30
5.0	50	45	43	41
6.0	63	54	53	50
7.0	80	71	65	61
8.0	111	91	90	88
9.0	157	120	113	101
10.0	201	145	135	125
11.0	277	175	160	149
12.0	...	205	...	196
13.0	...	263	...	217
14.0	...	297	...	240

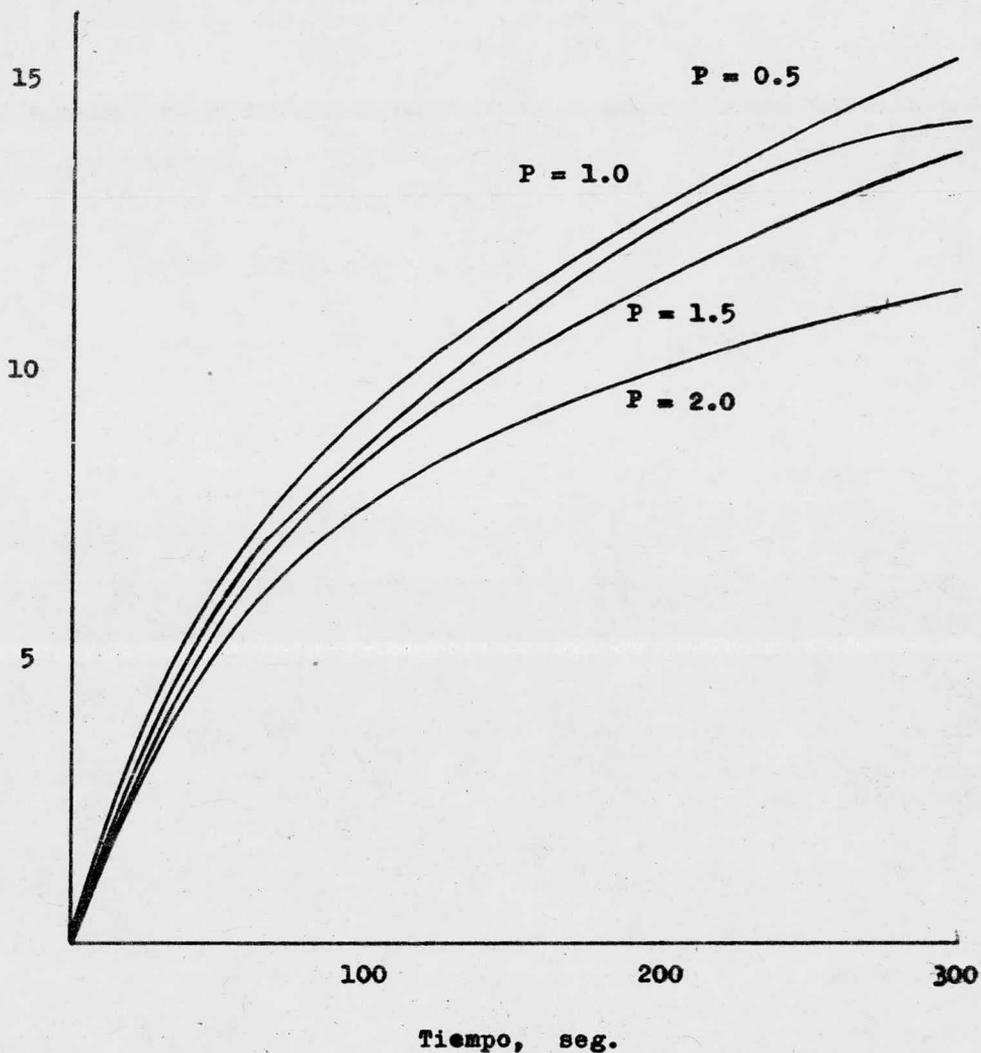


Fig. 4-14 Gráfica de Volúmen Filtrado vs Tiempo a diferentes presiones; para el sistema Bagazo de Caña- Agua--- Tejido de Polipropileno T-45.

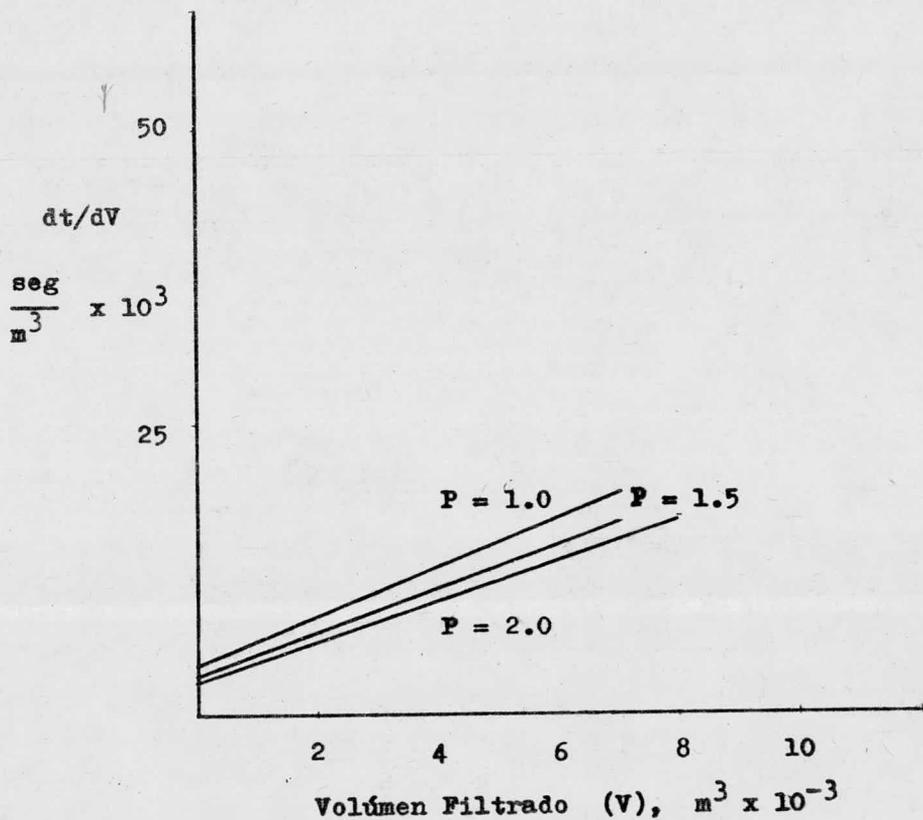


Fig. 4-15 Gráfica dt/dV vs V a diferentes presiones; obtenida por aplicación de la Ec. (1.7) a los datos experimentales de Volumen-Tiempo; para filtración a presión constante. A una temperatura de 20°C , para el sistema Bagazo de Caña-Agua-Tela de Polipropileno (T-45).

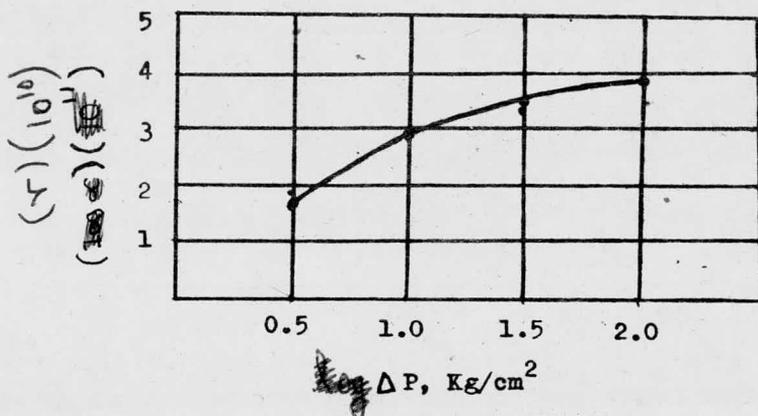
TABLA 4-9 Valores de K_1 , K_2 , r , y α a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Bagazo de Caña Blanqueado, al 4 % de sólidos secos. A una temperatura de 20°C. Usando como medio filtrante tela de Polipropileno, T-45.

	P	K_1	K_2	r, m^{-1}	$\alpha, m/Kg$
CORRIDA	Kg/cm^2	$seg/m^6 \times 10^6$	$seg/m^3 \times 10^3$	$\times 10^{10}$	$\times 10^{10}$
I	0.5	7.0	4.0	1.30	3.85
II	1.0	5.0	4.0	2.88	5.035
III	1.5	3.5	3.0	3.40	4.500
IV	2.0	3.0	3.0	3.88	5.000

Fig. 4-16 Gráfica de r vs ΔP , para T-107.

Fig. 4-17 Gráfica de $\log \alpha$ vs. $\log \Delta P$

falta grafica



4.2.2 Carbonato de Calcio

a) Lona de Algodón 2X

Los datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones, obtenidos en cada una de las operaciones, se muestran en la Tabla 4.10.

La Fig. 4.17, es la representación gráfica de los datos anteriores, estos es, son gráficas de Volúmen Filtrado vs. Tiempo.

La Fig. 4-18, es una gráfica de la cantidad dt/dV vs. Volúmen Filtrado, para diferentes valores de ΔP .

A partir de la Fig. 4-18, se obtienen los valores de K_1 y K_2 , la pendiente y ordenada al origen de cada línea, respectivamente. Con los valores de K_1 y K_2 , se calculan α y r , aplicando las Ecs. (4.1) y (4.2), respectivamente.

Los valores de K_1 , K_2 , r y α , se encuentran tabulados en la Tabla 4-11.

TABLA 4-10 Datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Carbonato de Calcio, al 20% de sólidos secos. A una temperatura de 20°C. Usando como medio filtrante Lona de algodón 2X.

CORRIDA NUMERO	I	II	III	IV	V
DIF. DE PRESION Kg/cm ²	↓ 0.5	0.7	1.0	1.5	2.5
Volúmen Filtrado m ³ x 10 ⁻³	Tiempo, seg.				
0.5	15	12	12	10	7
1.0	33	25.8	30	18.8	15
1.5	60.8	42	45	28.1	23
2.0	87.5	60	61	42.7	30
2.5	150.8	80	86.5	60	45
3.0	→ 187.0	105	103	75	60.8
3.5	238.6	132	120	90	72
4.0	295.5	165	148	111.6	88
4.5	356.0	198	195	125.6	..
5.0	424.0	236	234	151.5	116

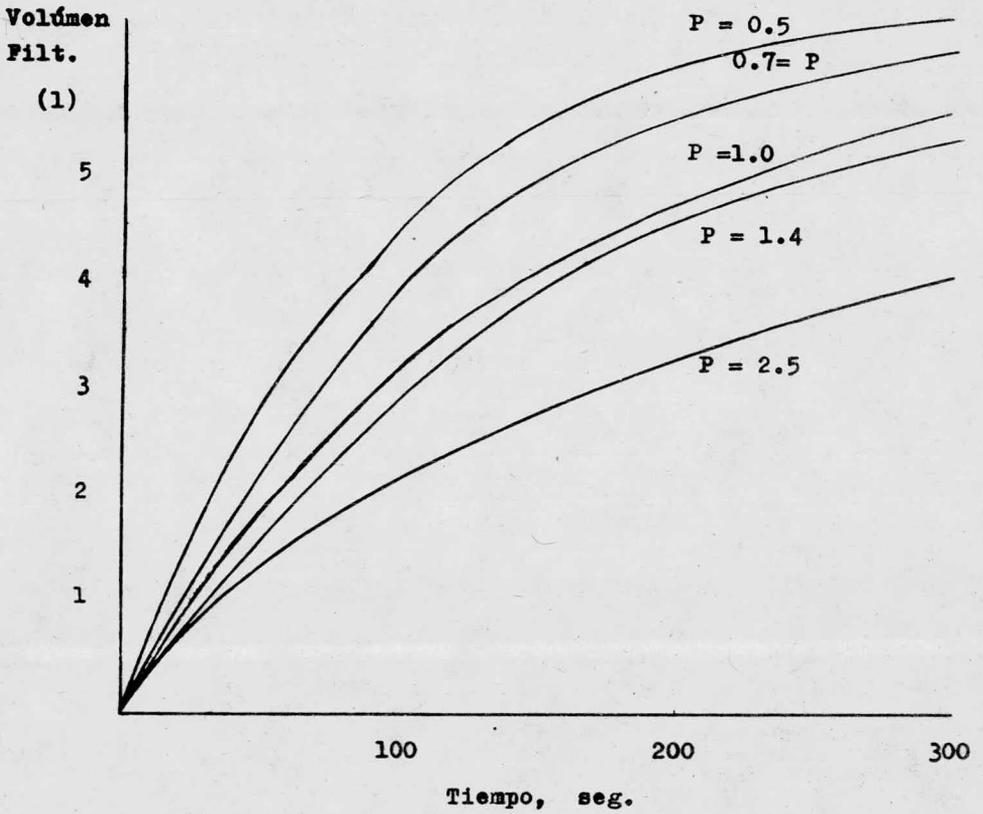


Fig. 4-17 Gráfica de Volúmen Filtrado vs Tiempo a diferentes presiones; para el sistema Carbonato de Calcio-Agua-Lona de algodón 2X.

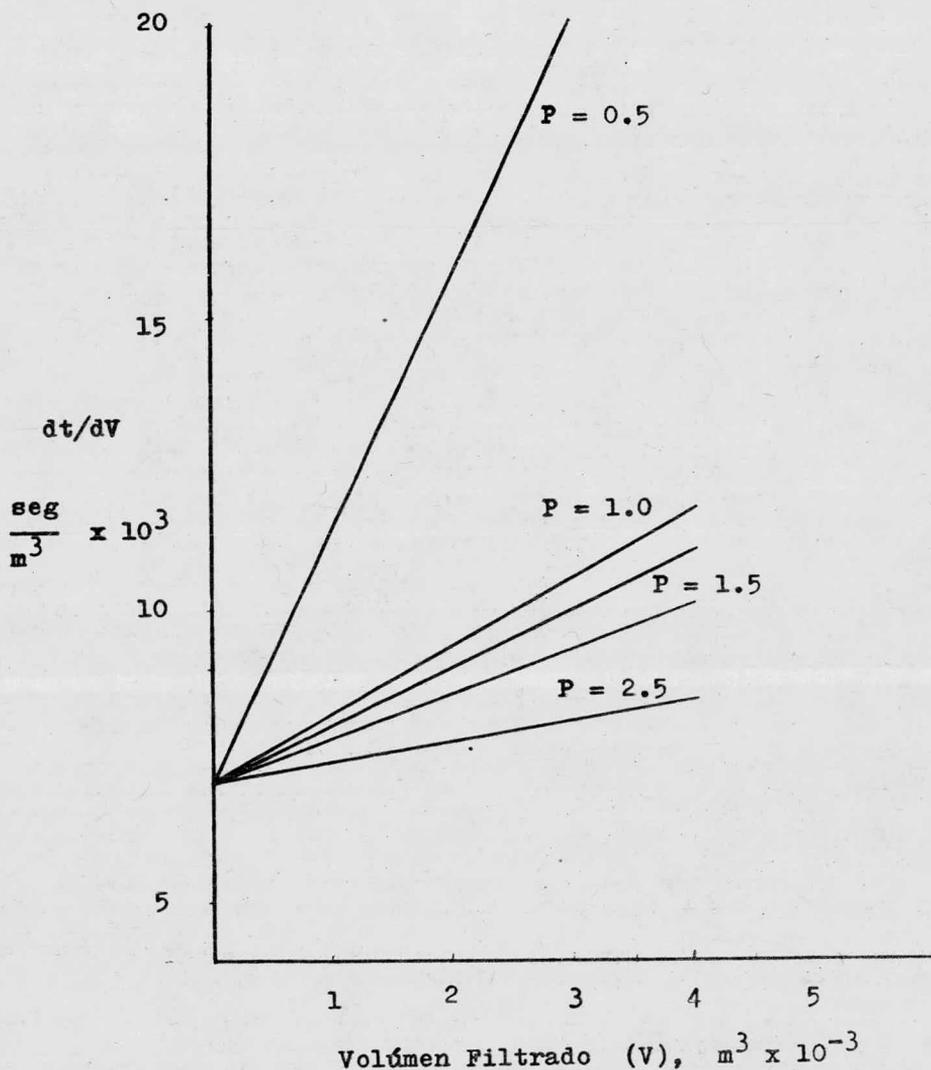


Fig. 4-18 Gráfica dt/dV vs V a diferentes presiones; obtenida por aplicación de la Ec.(1.7) a los datos experimentales de Volúmen-Tiempo; para filtración a presión constante. A una temperatura de 20°C , para el sistema Carbonato de Calcio-Agua-Lona de algodón 2X.

TABLA 4-11 Valores de K_1 , K_2 , r y α a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Carbonato de Calcio, al 20 % de sólidos secos. A una temperatura de 20°C. Usando como medio filtrante Lona de Algodón 2X.

	P	K_1	K_2	R, m^{-1}	$\alpha, m/Kg$
CORRIDA	Kg/cm^2	$seg/m^6 \times 10^6$	$seg/m^3 \times 10^3$	$\times 10^{10}$	$\times 10^{10}$
I	0.5	23.7	7.0	2.29	2.38
II	0.7	14.0	7.0	3.17	1.97
III	1.0	12.0	7.4	5.04	2.75
IV	1.4	9.2	7.1	6.89	2.80
V	2.5	4.34	6.7	10.20	2.18

La Fig. 4-19, muestra la variación de la resistencia del medio filtrante, lona 2X, con la presión. Como se puede observar, en la gráfica, varía linealmente en el intervalo de presiones estudiado.

Debido a la naturaleza errática de la gráfica de $\log \alpha$ vs. $\log \Delta P$, en la Fig. 4-20, se toma un promedio como pendiente. En este caso, el factor de compresibilidad, s , se toma como de 0.2.

Fig. 4-19 Gráfica r vs. ΔP para 2X.

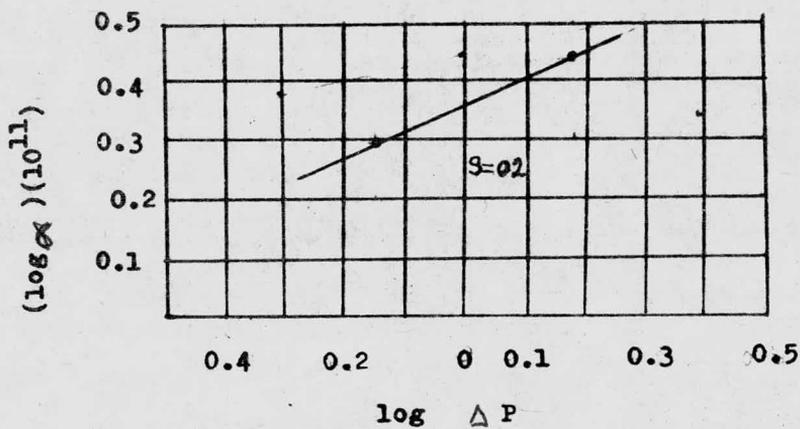
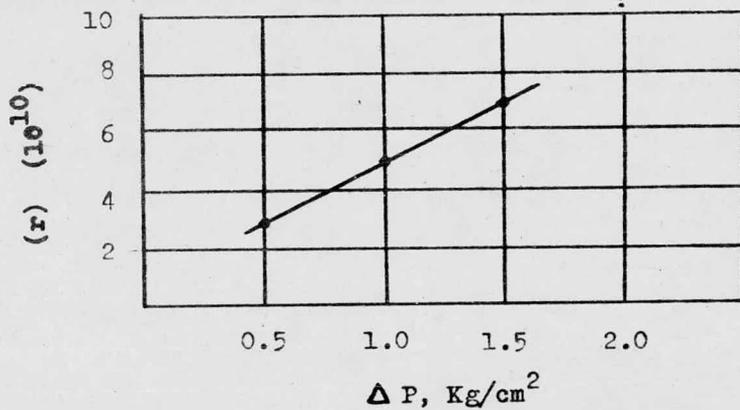


Fig. 4-20, gráfica de $\log \alpha$ vs $\log \Delta P$.

4.2.2 Carbonato de Calcio

b) Lona de Algodón 633-JT

Los datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones, obtenidos en cada una de las operaciones, se muestran en la Tabla 4-12.

La Fig. 4-21, es la representación gráfica de los datos anteriores, esto es, son gráficas de Volúmen Filtrado vs. Tiempo.

La Fig. 4-22, es una gráfica de la cantidad dt/dV vs. Volúmen Filtrado, para diferentes valores de ΔP .

A partir de la Fig. 4-22, se obtienen los valores de K_1 y K_2 , la pendiente y ordenada al origen de cada línea, respectivamente. Con los valores de K_1 y K_2 , se calculan α y r , aplicando las Ecs. (4.1) y (4.2), respectivamente.

Los valores de K_1 , K_2 , r y α , se encuentran tabulados en la Tabla 4-13.

TABLA 4-12 Datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Carbonato de Calcio, al 20 % de sólidos secos. A una temperatura - de 20°C. Usando como medio filtrante Lona de algodón 633-JT.

CORRIDA NUMERO	I	II	III:	IV
DIF. DE PRESION (P) Kg/cm ²	1.0	1.5	2.0	2.5
Volúmen Filtrado (V) m ³ x 10 ⁻³	Tiempo, seg.			
0.5	10	9	7	6
1.0	21	17	14	11
1.5	30	24.7	19	16
2.0	45	33.0	29	25.5
2.5	60.5	50.7	41	32.5
3.0	85.0	64.3	46.5	42.7
3.5	110.2	87.5	61.8	56.8
4.0	136.0	111.6	82.5	69.2
4.5	154.5	125.6	93.0	83.0
5.0	203.5	153.0	119.0	92.2

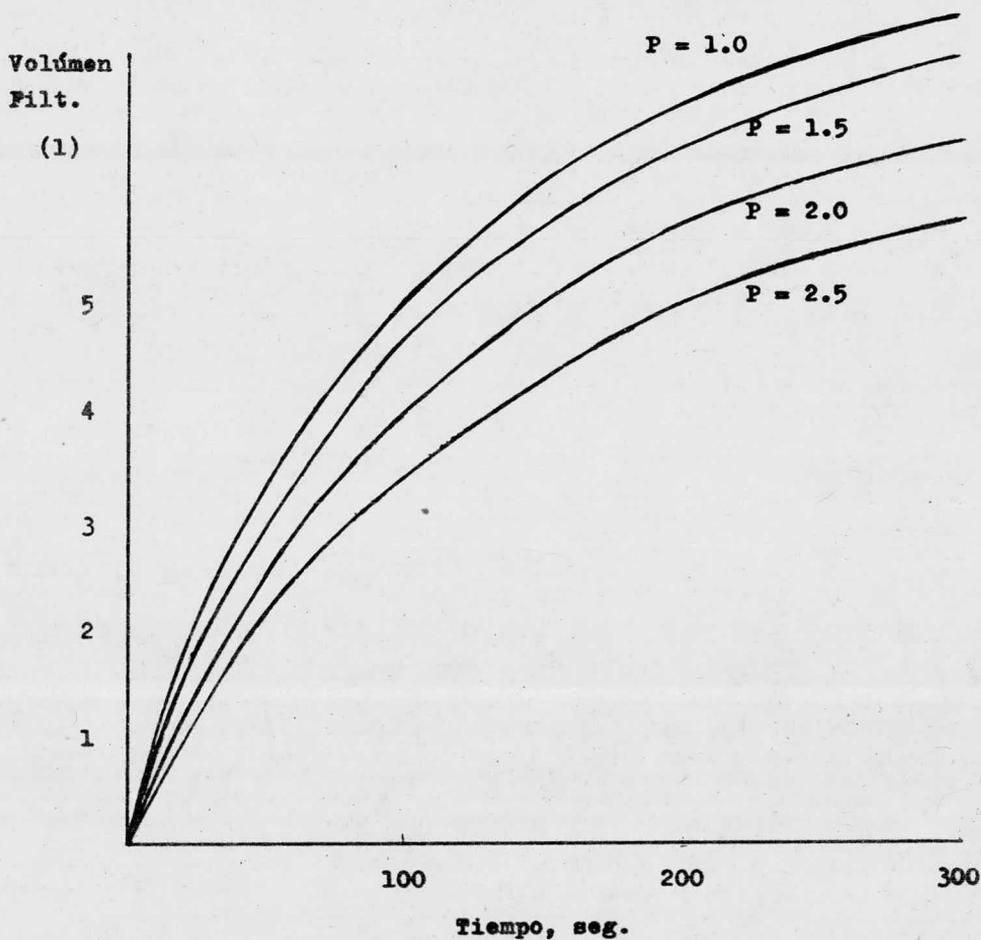


Fig. 4-21 Gráfica de Volúmen Filtrado vs Tiempo a diferentes presiones; para el sistema Carbonato de Calcio-Agua-Lona de algodón 633-JT.

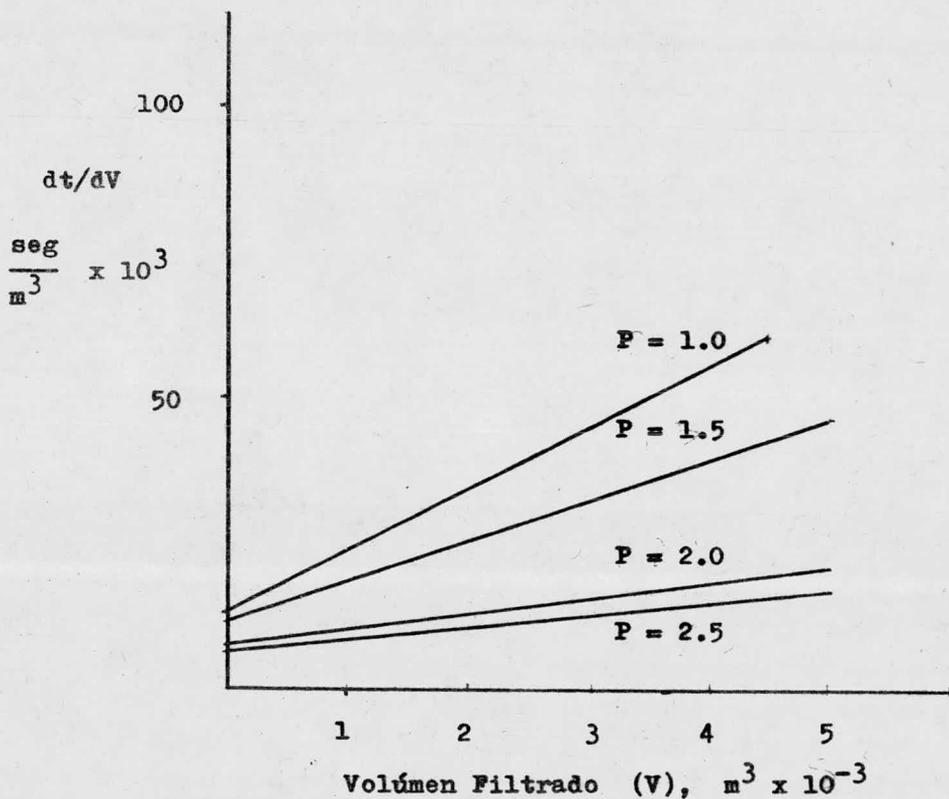


Fig. 4-22 Gráfica dt/dV vs V a diferentes presiones; obtenida por aplicación de la Ec. (1.7) a los datos experimentales de Volumen-Tiempo; para filtración a presión constante. A una temperatura de 20°C , para el sistema Carbonato de Calcio-Agua-Lona de algodón 633-JT.

TABLA 4-13 Valores de K_1 , K_2 , r y α a diferentes presiones, obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Carbonato de Calcio, al 20 % de sólidos secos. A una temperatura de --- 20°C. Usando como medio filtrante Lona de algodón 633-JT.

	P	K_1	K_2	r, m^{-1}	$\alpha, m/Kg$
CORRIDA	Kg/cm^2	$seg/m^6 \times 10^6$	$seg/m^3 \times 10^3$	$\times 10^{10}$	$\times 10^{10}$
I	1.0	10.0	12.0	7.76	2.01
II	1.5	5.0	10.0	10.67	1.50
III	2.0	4.0	6.0	7.64	1.60
IV	2.5	2.5	6.0	11.322	1.7

La variación de la resistencia del medio filtrante, lona 633-JT, con la presión, se muestra en la Fig. 4-23.

La gráfica de $\log \alpha$ vs. $\log \Delta P$, se muestra en la Fig. 4-24. La pendiente de esta línea es el factor de compresibilidad, s , igual a 0.2.

Fig. 4-23 Gráfica r vs. ΔP para 633-JT

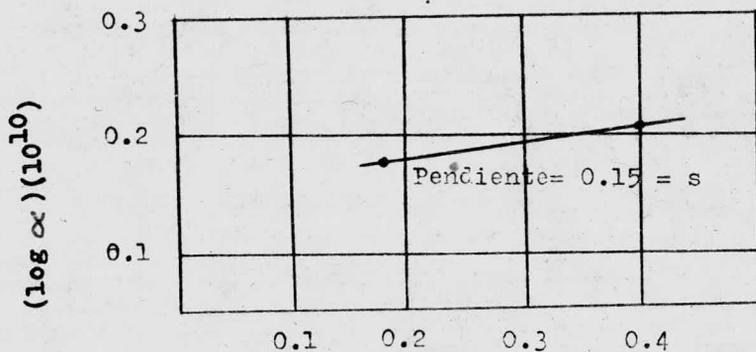
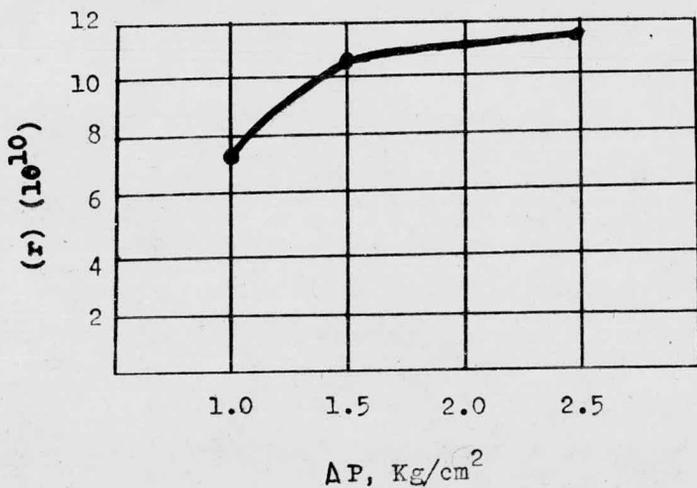


Fig. 4-24 Gráfica $\log \alpha$ vs. $\log \Delta P$

4.2.2 Carbonato de Calcio

c) Tela de Polipropileno T-45

Los datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones, obtenidos en cada una de las operaciones, se muestran en la Tabla 4-14.

La Fig. 4-25, es la representación gráfica de los datos anteriores, esto es, son gráficas de Volúmen Filtrado vs. Tiempo.

La Fig. 4-26, es una gráfica de la cantidad dt/dV vs. Volúmen Filtrado, para diferentes valores de ΔP .

A partir de la Fig. 4-26, se obtienen los valores de K_1 y K_2 , la pendiente y ordenada al origen de cada línea, respectivamente. Con los valores de K_1 y K_2 , se calculan α y r , con las Ecs. (4.1) y (4.2), respectivamente.

Los valores de K_1 , K_2 , r y α , se encuentran tabulados en la Tabla 4-15.

TABLA 4-14 Datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Carbonato de Calcio, al 20 % de sólidos secos. A una temperatura-- de 20°C. Usando como medio filtrante tela de Polipropileno- (T-45).

CORRIDA NUMERO	I	II	III	IV
DIF. DE PRESION (P) Kg/cm ²	0.5	1.0	1.5	2.0
Volúmen Filtrado (V) m ³ x 10 ⁻³	Tiempo, seg.			
0.5	8.7	9	8	6
1.0	17.4	20.8	17	13.8
1.5	26.8	31.5	28	20.0
2.0	43.0	52.0	42	27.0
2.5	62.5	65.0	57.8	37.7
3.0	90.0	93.0	71.6	48.0
3.5	121.0	119.0	88.0	57.0
4.0	163.2	150.0	112.7	75.7
4.5	208.0	167.0	132.5	93.3
5.0	.....	204.0	160.5	102.0
5.5	.....	231.0	193.5	111.0
6.0	.....	.....	300.0	120.0
6.5	.....	.....	.....	135.0
7.0	.....	.....	.....	152.0

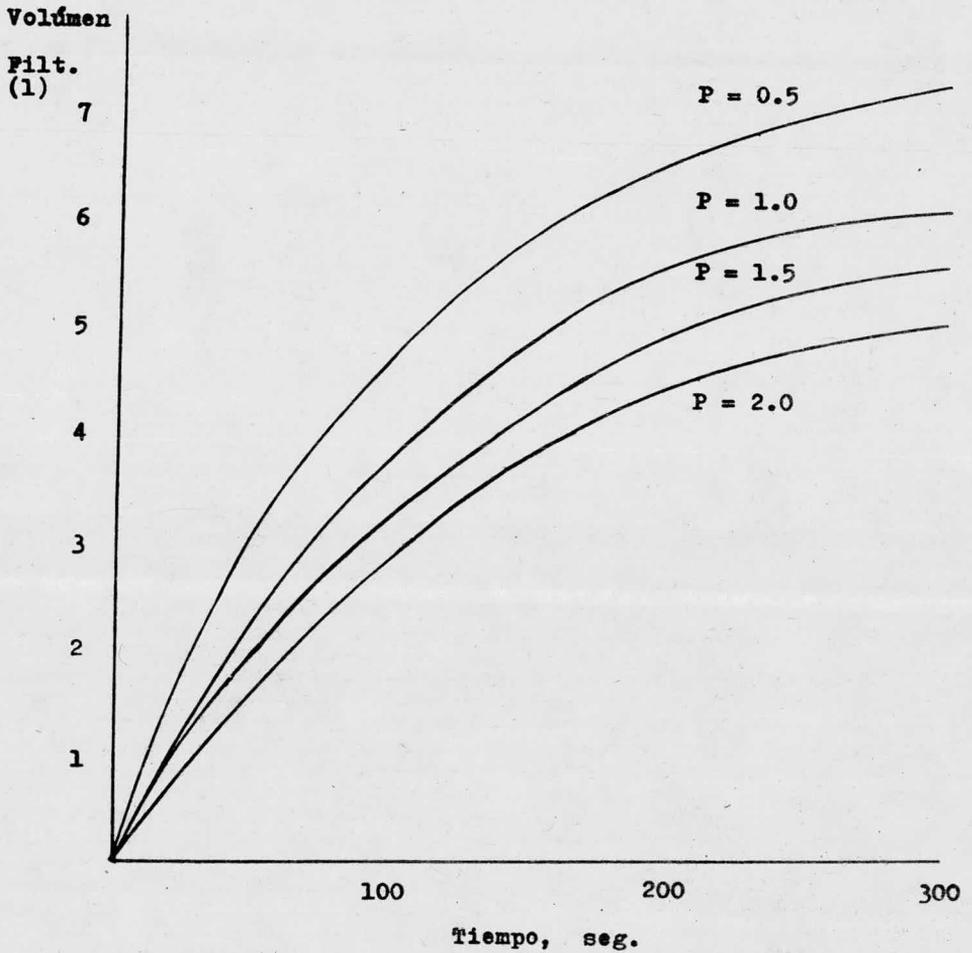


Fig. 4-25 Gráfica de Volúmen Filtrado vs Tiempo a diferentes presiones; para el sistema Carbonato de Calcio-Agua-Tela de Polipropileno T-45.

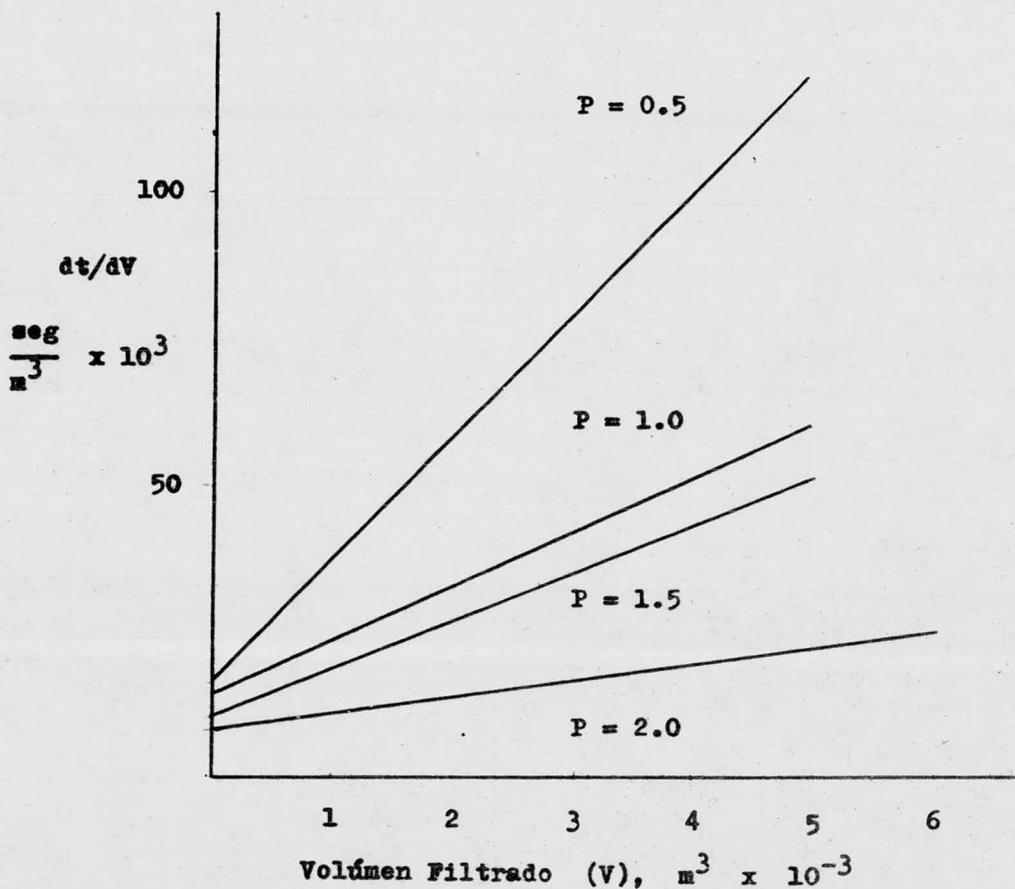


Fig. 4-26 Gráfica dt/dV vs V a diferentes presiones; obtenida por aplicación de la Ec. (1.7) a los datos experimentales de volumen-tiempo; para filtración a presión constante. A una temperatura de 20°C , para el sistema Carbonato de Calcio-Agua-Tela de Polipropileno T-45.

TABLA 4-15 Valores de K_1 , K_2 , r y α a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Carbonato de Calcio, al 20 % de sólidos secos. A una temperatura de 20° C. Usando como medio filtrante tejido de Polipropileno -- (T-45).

	P	K_1	K_2	r, m^{-1}	$\alpha, m/Kg$
CORRIDA	Kg/cm^2	$seg/m^6 \times 10^6$	$seg/m^3 \times 10^3$	$\times 10^{10}$	$\times 10^{10}$
I	0.5	25.0	16	5.176	2.512
II	1.0	12.5	14	9.058	2.512
III	1.5	10.0	10	9.705	3.015
IV	2.0	2.2	8	10.352	0.885

La Fig. 4-27, muestra la variación de la resistencia del medio filtrante, T-45, con la presión aplicada.

De la gráfica de $\log \alpha$ vs. $\log \Delta P$, Fig. 4-28, el factor de compresibilidad es la pendiente de la línea, igual a $s = 0.4$.

Fig. 4-27 Gráfica r vs. ΔP para T-45

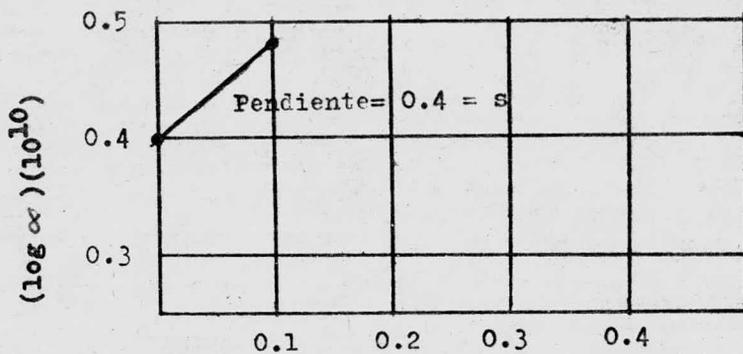
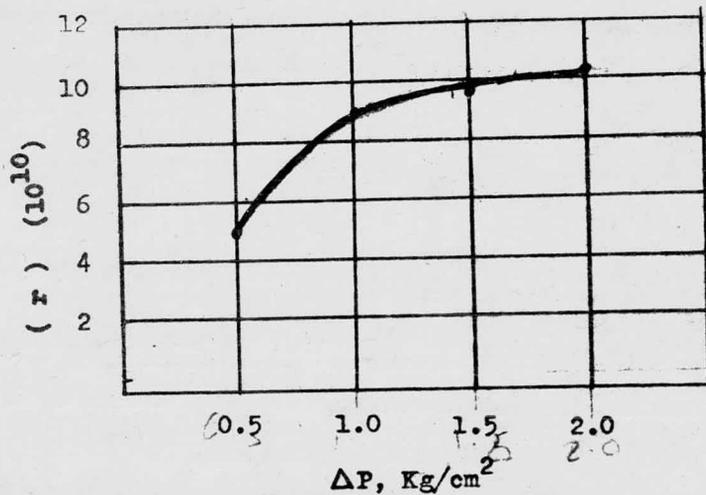


Fig. 4-28 Gráfica $\log \alpha$ vs. $\log \Delta P$

4.2.2 Carbonato de Calcio

d) Tela de Polipropileno T-107

Los datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones, obtenidos en cada una de las operaciones, se muestran en la Tabla 4-16.

La Fig. 4-29, es la representación gráfica de los datos anteriores, esto es, son gráficas de Volúmen Filtrado vs. Tiempo.

La Fig 4-30, es una gráfica de la cantidad dt/dV vs. Volúmen Filtrado, para diferentes valores de ΔP .

A partir de la Fig. 4-30, se obtienen los valores de K_1 y K_2 , la pendiente y ordenada al origen de cada línea, respectivamente. Con los valores de K_1 y K_2 , se calculan α y r , aplicando las Ecs. (4.1) y (4.2), respectivamente.

Los valores de K_1 , K_2 , r y α , se encuentran tabulados en la Tabla 4-17.

TABLA 4-16 Datos de Volúmen-Tiempo a diferentes presiones; obtenidos en la filtración de suspensión en agua de Carbonato de Calcio, al 20 % de sólidos secos. A una temperatura - de 20°C. Usando como medio filtrante tela de Polipropileno- (T-107).

CORRIDA NUMERO	I	II	III	IV	V	VI
DIF. DE PRESION Kg/cm ²	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Volúmen Filtrado m ³ x 10 ⁻³	Tiempo, seg.					
0.5	9	8	7	6	5	4
1.0	21	21	15	15	11	9
1.5	39	32	25	19	17	15
2.0	57	46.6	32	26	23	20
2.5	95	63	40	32	30	26
3.0	120	88	48	46	40	36
3.5	177	119	58	57	56	44
4.0	....	150	80	70	60	57
4.5	....	191	102	94	74	64
5.0	....	....	126	113	88	80
5.5	....	....	161	131	122	92
6.0	....	....	....	151	132	120

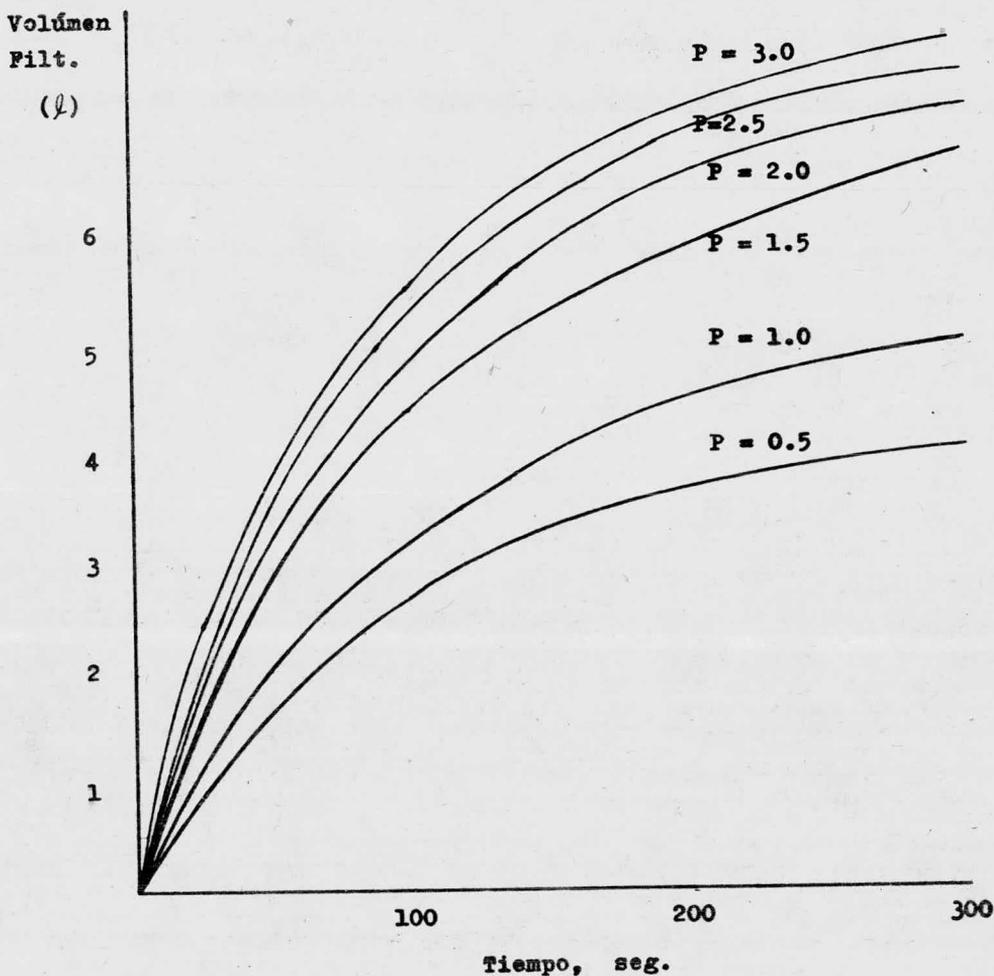


Fig. 4-29 Gráficas de Volúmen Filtrado vs Tiempo a -
diferentes presiones; para el sistema Carbonato de Cal--
cio-Agua-Tela de Polipropileno T-107.

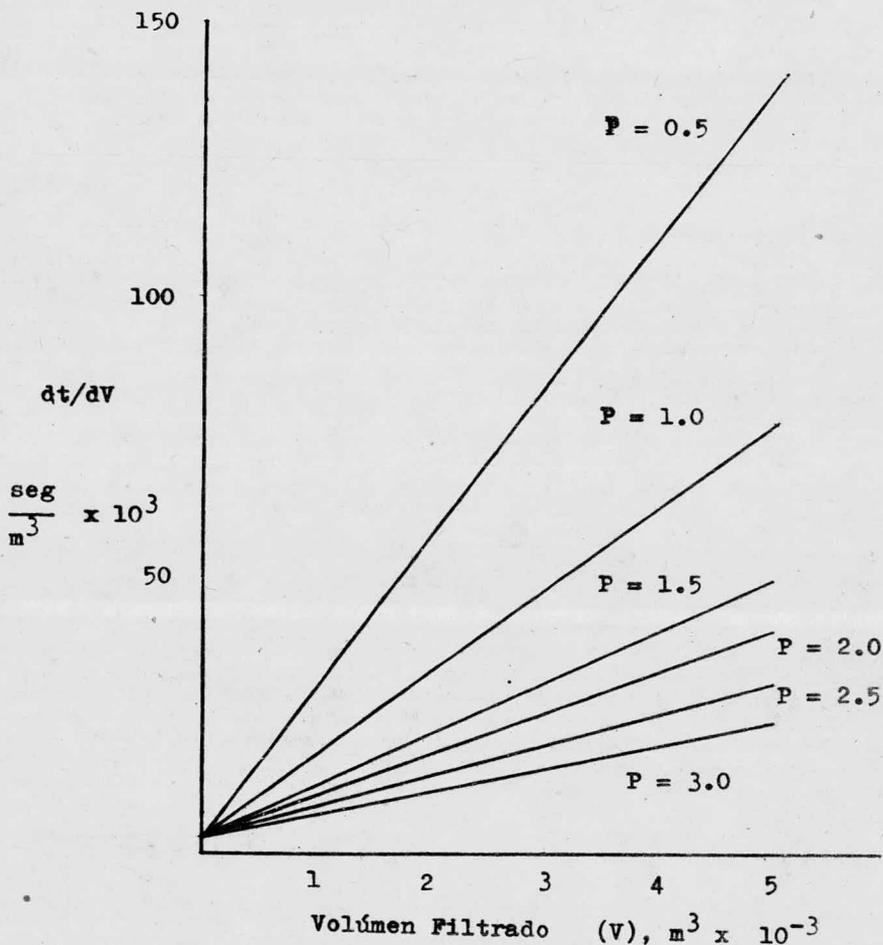


Fig. 4-30 Gráfica dt/dV vs V a diferentes presiones; obtenida por aplicación de la Ec (1.7) a los datos experimentales de Volumen-Tiempo; para filtración a presión constante. A una temperatura de 20°C , para el sistema Carbonato de Calcio-Agua-Tela de polipropileno T-107.

TABLA 4-17 Valores de K_1 , K_2 , r y α a diferentes presiones, obtenidas en la filtración de suspensión en agua de Carbonato de Calcio, al 20 % de sólidos secos. A una temperatura de 20 C. Usando como medio filtrante tejido de Polipropileno -- (T-107).

	P	K_1	K_2	r, m^{-1}	$\alpha, m/Kg$
CORRIDA	Kg/cm^2	$seg/m^6 \times 10^6$	$seg/m^3 \times 10^3$	$\times 10^{10}$	$\times 10^{10}$
I	0.5	25.0	2.0	8.057	2.512
II	1.0	15.0	2.0	12.945	2.975
III	1.5	8.7	2.0	19.450	2.663
IV	2.0	5.4	2.0	25.980	2.170
V	2.5	5.0	2.0	35.350	2.864
VI	3.0	4.4	2.0	38.820	2.653

La Fig. 4-31, muestra la variación de la resistencia del medio filtrante, T-107, con la presión. En este intervalo, va ría directamente con la presión aplicada.

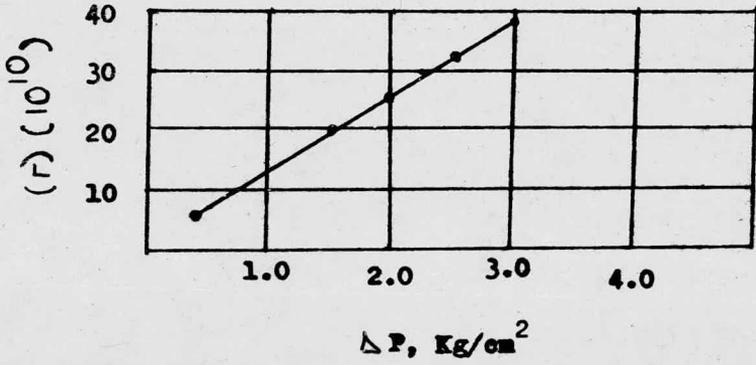


Fig. 4-31 Gráfica r vs ΔP para T-107.

4.4 ANALISIS DE RESULTADOS

A partir de los valores determinados en las Figs. - 4-5, 4-9 y 4-13, se deduce que el Bagazo de Caña es ligeramente compresible, con un factor de compresibilidad entre 0.3 y 0.4.

El valor de la resistencia específica de torta puede evaluarse, aplicando la Ec (1.12) y tomando un valor promedio para s . El valor promedio de $s = 0.35$.

Ejemplo:

A una presión de 2.0 Kg/cm^2 , de la tabla 4-3, la resistencia de la torta es de $1.2 \times 10^{11} \text{ m/Kg}$, de donde:

$$\alpha = \alpha_0 (\Delta P)^s \Rightarrow \alpha_0 = \frac{\alpha}{(\Delta P)^s}$$

$$\alpha_0 = \frac{1.2 \times 10^{11} \text{ m/Kg}}{(2.0 \times 10^4 \text{ Kg/m}^2)^{0.35}}$$

$$\alpha_0 = \frac{1.2 \times 10^{11}}{32.0} = 3.75 \times 10^9 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}_f - \text{Kg}_m}$$

$$\alpha_0 = 3.75 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{Kg}_f - \text{Kg}_m$$

El coeficiente de compresibilidad para el CaCO_3 , a partir de las Figs. 4-20, 4-24 y 4-28, puede tomarse como de 0.3. Si se elige una presión determinada y se evalúa la resistencia de torta en ese punto, con la Ec. (1.12), puede estimarse la resistencia específica del CaCO_3 .

Ejemplo:

A una presión de 2.0 Kg/cm^2 , se tiene una resistencia de torta de $2.175 \times 10^{10} \text{ m/Kg}$, de tabla 4-17. Entonces, la resistencia específica, α_0 , es:

$$\alpha_0 = \frac{2.175 \times 10^{10}}{(2.0 \times 10^4)^{0.35}}$$

$$\alpha_0 = \frac{2.175 \times 10^{10}}{19.52} = 1.52 \times 10^9$$

$$\alpha_0 = 1.52 \times 10^9 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}_f - \text{Kg}_m}$$

4.5 APLICACION DE RESULTADOS

El tamaño de filtro requerido para una operación -- particular, se basa en dos factores:

a).- El área de filtración, que gobierna la velocidad de flujo, y

b).- El volumen de torta, que determina la cantidad de sólidos que pueden ser retenidos y, por lo tanto, el volumen de suspensión que puede ser manejado en una operación.

I.- Para determinar el área de filtración requerida, se puede hacer uso de la Ec. general de filtración, (1.7):

$$\frac{dt}{dV} = \frac{1}{q} = \frac{\mu \alpha w}{A^2 \epsilon_c \Delta P} V + \frac{\mu r}{A \epsilon_c \Delta P}$$

150 GPH

ecuación que puede convertirse en:

$$\frac{dt}{dV} = \frac{1}{q} = \frac{a}{A^2} + \frac{b}{A} \quad (4.4)$$

donde:

$$a = \frac{\mu \alpha^w V}{g_c \Delta P}$$

$$b = \frac{\mu r}{g_c \Delta P}$$

V = Volúmen total de filtrado

rearrreglando la Ec. (4.4), queda en la forma siguiente:

$$\frac{1}{\frac{dt}{dV}} = q = \frac{A^2}{a} + \frac{A}{b} \quad (4.5)$$

que puede escribirse en la forma siguiente:

$$q = a'A^2 + b'A \quad (4.6)$$

donde

$$a' = 1/a$$

$$b' = 1/b$$

QUE ES UNA Ec. DE 2º. GRADO COMPLETA.

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$a'A + b'A - q = 0$$

$$a'A + b'A + c' = 0$$

$$\text{donde } c' = -q$$

El procedimiento para resolver la Ec (4.6), es el siguiente:

i).- Se evalúa el flujo, q ; a partir de los datos experimentales de Volúmen-Tiempo. Se toma el 80 % del volúmen total de filtrado y se divide entre el tiempo correspondiente.

ii).- Se calcula

$$a = \frac{\mu \alpha_w V}{\xi_c \Delta P}$$

$$b = \frac{\mu r}{\xi_c \Delta P}$$

iii).- se calcula $a' = 1/a$ y $b' = 1/b$

iv).- Como la Ec. (4.6) es una Ecuación de segundo grado, su solución es de la forma:

$$A = \frac{-b' \pm \sqrt{(b')^2 - 4a'c'}}{2a'}$$

El procedimiento anterior, se ilustra con el siguiente ejemplo:

Ejemplo 4-1

De los datos de Volúmen-Tiempo, Tabla 4-10, obtenidos en la filtración de suspensión en agua de CaCO_3 , al 20 % de sólidos secos, el 80 % del volúmen total de filtrado es de 4 litros. La operación se efectuó a una diferencia de presión constante de 0.5 Kg/cm^2 y a una temperatura de 20°C . De la Tabla 4-11, para la misma diferencia de presión, se leen los valores de $\alpha = 2.38 \times 10^{10} \text{ m/Kg}$, y $r = 2.293 \times 10^{10} \text{ m}^{-1}$.

SOLUCION:

i).-

$$q = \frac{4 \text{ litros}}{187 \text{ seg.}} = 0.0216 \text{ litros/seg.}$$

$$q = 1.3 \text{ litros/min}$$

ii).- Se calcula a y b

$$a = \frac{\left(\mu = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{seg}}\right) \left(\alpha = \frac{\text{m}}{\text{kg}}\right) \left(w = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (V = \text{m}^3)}{(1 \times 10^{-3})(2.38 \times 10^{10})(200)(4 \times 10^{-3})} = \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$$

$$(9.81)(0.5 \times 10^4)$$

$$a = 388 \quad g_c = \left(\frac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right) \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = \Delta P\right)$$

$$a = [\text{seg m}]$$

$$b = \frac{\left(\mu = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{seg}}\right) (r = \text{m}^{-1})}{(1 \times 10^{-3})(2.293 \times 10^{10})} = 468$$

$$(9.81)(0.5 \times 10^4)$$

$$g_c = \left(\frac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right) \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = \Delta P\right)$$

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{seg}} \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{seg}^2}$$

$$b = \left[\frac{\text{seg}}{\text{m}}\right]$$

iii).- Se calcula a' y b'

$$a' = 1/a = 1/388 = 0.002576 \text{ (seg m)}^{-1}$$

$$b' = 1/b = 1/468 = 0.002133 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

iv).- Se calcula el valor del área (A)

La Ec. 2º GRADO $0.002576 A + 0.002133 A - 0.0216 = 0$

$$A = \frac{-(0.0021) \pm \sqrt{(0.0021)^2 - 4(0.0027)(0.0216)}}{2(0.0027)}$$

$$A = \frac{-(0.0021) \pm \sqrt{441 \times 10^{-8} + 216 \times 10^{-8}}}{536 \times 10^{-5}}$$

$$A = 0.0736 - 0.0021 = 0.07 \text{ m}^2$$

$$A = 0.07 \text{ m}^2$$

NOTA. NO DA
EL RESULTADO
DEL ÁREA

El área de filtración experimental es de 0.066 m^2 ,
que es equivalente al área calculada de 0.07 m^2 .

Ejemplo 4-2

Se desean filtrar 10 l/min de una suspensión en agua de CaCO_3 , al 20 % de sólidos secos. A una temperatura de -20°C y bajo una diferencia de presión constante de 0.5 --- Kg/cm^2 . Si se emplea Lona de algodón 2X como medio filtrante, evaluar el área de filtración requerida y el tamaño --- del filtro, empleando la Ec. (1.7).

SOLUCION:

i).- $q'' = q' F$

donde: $F = \frac{\text{Flujo de diseño}}{\text{Flujo experimental}}$

por lo tanto,

$q'' = q' \cdot \frac{10 \frac{\text{l}}{\text{min}}}{1.3 \frac{\text{l}}{\text{min}}} = q' \times 7.7 = 0.17 \text{ l/min}$

ii).- En la evaluación de la constante a, la variable-afectada por el nuevo flujo es V. Si se toma como base de cálculo 1 minuto, el factor de conversión será $10/1.3 = 7.7$

por lo tanto;

$a' = a \cdot F = 2987.6 \leftarrow 388 \times 7.7 = a$

$b' = b$, puesto que es independiente del flujo.

iii).- Se calculan a'' y b''

$$a'' = 1/aF = a'/F = 0.002576 / 7.7 = 0.00033455$$

$$b'' = 1/b = b' = 0.0021$$

iv).- Se calcula el área (A)

$$A = \frac{-b' + \sqrt{(b')^2 - 4(a'/F)(q \times F)}}{2a'/F}$$

Puede observarse, en el segundo término dentro del radical, que a' disminuye en la misma proporción que q aumenta; por lo tanto, el término permanece constante.- El nuevo flujo afecta, únicamente, al término en el denominador, $2a'$, disminuyéndolo en la proporción de los flujos.

Por lo tanto, la Ec. anterior se reduce a:

$$A = \frac{34.5 \times 10^{-4}}{2a'/F}$$

para las condiciones del problema, que se tomó como ejemplo.

De modo que, el área de filtración requerida para esta operación, es 7.7 veces mayor que le área experimental, esto es:

$$A = 0.07 \times 7.7 = 0.54 \text{ m}^2$$

El paso siguiente es la determinación del tamaño del filtro en la forma siguiente:

Se selecciona un tamaño de marco adecuado, de la Tabla 4-21. Si seleccionamos de 17.18 cm por lado, el área de filtración efectiva es de 0.04647 m², de la misma Tabla. Por lo tanto:

$$\text{No de Cámaras} = \frac{0.54}{0.04647} = 11.6$$

TABLA 4.21
NO APARECE
AQUI

Como el volumen de cámara disponible y, por lo tanto el área de filtración, es de 80% del total, se toma un factor de seguridad de 0.2. Por lo tanto, el tamaño del filtro será:

$$\text{No de Cámaras} = \frac{11.6}{0.8} = 15 \text{ cámaras.}$$

II.- Para determinar el volumen de torta necesario, deben considerarse tres cosas:

- (1).- La cantidad total de sólidos que van a ser colectados, usualmente en peso.
- (2).- La cantidad de sólidos secos contenidos en un volumen de torta húmeda.
- (3).- El espesor práctico de torta (2.5 cm)

Para el diseño y tamaño del filtro por este factor, no se aplica la teoría de filtración.

Usualmente, el tamaño del filtro se determina por - el área de filtración y el volumen de torta necesario. Si los resultados son diferentes, se toma el filtro de mayor tamaño, independientemente del factor que lo determinó.



CONCLUSIONES

Como puede observarse en el inciso 4.3, las gráficas de dt/dV vs V tienen una zona en donde la pendiente permanece más o menos constante; sigue una zona de transición en donde la pendiente varía rápidamente, hasta hacerse asintótica al eje de las ordenadas, cuando $dV = 0$.

De lo anterior, se deduce que el ciclo de filtración debe terminarse cuando se alcanza la zona de transición, - el 80 % de llenado del volumen de cámara, lo cual representa el volumen óptimo real.

El efecto de las constantes de filtración, para un medio filtrante dado, se refleja en el flujo de filtrado. Si la resistencia de un medio filtrante es menor, permitirá un mayor flujo, que implica menor área de filtración, - lo que repercute en el costo del filtro.

Por otro lado, se observa que la resistencia al flujo de algunos medios filtrantes se incrementa proporcionalmente con la presión aplicada. La resistencia del medio filtrante, se incrementa hasta cierto valor, después del cual, permanece casi constante. De modo que, para ope

raciones a presión constante y mayor a aquella en que alcanza su valor máximo, la resistencia del medio puede considerarse constante. Lo anterior facilita, en cierta forma, la selección del medio filtrante adecuado.

Como se demostró en el inciso 4.5, la teoría de la filtración puede aplicarse, previa determinación de las constantes de filtración, para determinar el área de filtración necesaria, para una operación particular.

En la demostración del inciso 4.5, encuentra justificación la tan comunmente usada, regla de proporcionalidad directa entre el flujo de filtrado y el área de filtra—ción.

