



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUÍMICA

Diseño de un Sistema de Filtración
de Cianuro de Zinc

Tesis Mancomunada

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

Ingeniero Químico

P R E S E N T A N :

JOSE BARROSO CASTILLO

Y

JOSE DE JESUS BRAMBILA GUERRA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

I N D I C E

	PAG.
INDICE	I
I. INTRODUCCION	1
II. GENERALIDADES.	3
II.1. Objetivo de la Tesis	3
II.2. Teoría de Filtración	4
II.2.1. Desarrollo Teórico	9
II.2.2. Filtración a velocidad constante	20
II.2.3. Filtración a presión constante	23
II.2.4. Ecuación general de filtración	25
II.2.5. Tiempo total del ciclo de filtración	27
II.2.6. Capacidad de filtración.	28
II.2.7. Costo total mínimo anual	31
II.2.8. Aplicación de fórmulas	35
II.3. Aplicación práctica de la teoría de filtración	36
II.4. Significado práctico de las ecuaciones de filtración.	39
II.4.1. Efecto de la presión.	39
II.4.2. Efecto del espesor de la torta.	41
II.4.3. Efecto de la viscosidad y la temperatura.	42
II.4.4. Efecto del tamaño de partículas	43
II.4.5. Efecto del tipo de medio filtrante.	45
II.4.6. Efecto del pH	46
II.5. Obtención de datos a pequeña escala.	47
II.5.1. Pruebas del vacío	49
II.5.2. Pruebas de presión.	51
II.5.3. Pruebas de compresión-comparabilidad	52

	PAG.
II.5.4. Escalación de los datos de prueba de laboratorio y plantas piloto.	54
II.6. Equipo para filtración industrial	57
II.6.1. Clasificación de los filtros	57
II.6.2. Filtros de gravedad	59
II.6.3. Filtros a presión	61
II.6.3.1. Filtros prensa (placas y marcos).	64
II.6.3.2. Filtros de hojas	67
II.6.3.3. Filtro horizontal de - hojas verticales	71
II.6.3.4. Filtros de platos hori- zontales	73
II.6.3.5. Filtro de discos horizon- tales	77
II.6.3.6. Filtro de tubo poroso	80
II.6.3.7. Filtros a presión auto- máticos	81
II.6.3.8. Filtros de cartucho.	84
II.6.3.9. Filtros de precapa	87
II.6.3.10. Filtros de retrolavado de precapa	89
II.6.3.11. Cámaras de filtración	90
II.6.3.12. Filtros de vacío	92
II.6.3.13. Tabla comparativa de equi- pos de filtración.	96
II.7. Filtro - ayudas	98
II.8. Medios filtrantes	103
III. DISEÑO DEL SISTEMA	108
III.1. objeto de la filtración	108

	PAG.
III.2. Análisis de la solución de cianuro de Zinc	109
III.3. Condiciones de operación del sistema de <u>fil</u> <u>tración</u>	114
III.3.1. Cantidad de lodos.....	115
III.3.2. Velocidad de flujo.....	118
III.3.3. Frecuencia de filtración y purifi- cación.....	123
III.4. Hoja de datos	127
III.5. Selección del equipo de filtración.....	130
III.6. Construcción del equipo	135
III.6.1. Criterios de construcción.....	135
III.6.2. Selección de materiales de construc- ción y equipo auxiliar	136
III.6.3. Diagramas del equipo y manual de -- operación y mantenimiento.....	141
III.6.3.1. Manual de operación del- equipo de filtración....	147
III.6.3.2. Mantenimiento.....	150
III.6.4. Pruebas y resultados.....	154
III.6.5. Cálculos de diseño para las constan- tes de filtración.....	157
III.6.6. Análisis de costos.....	166
III.7. Recomendaciones de instalación.....	170
III.7.1. Criterios sobre la instalación del- filtro.....	170
III.7.2. Selección y cuidado de la bomba....	172
Cebado de la bomba.....	178
III.7.3. Sistema de sellado.....	179
IV. CONCLUSIONES.....	182
V. BIBLIOGRAFIA.....	184

I. INTRODUCCION

La Filtración en la Ingeniería Química es una de las operaciones unitarias de uso más amplio y generalizado en la mayoría de los procesos químicos a nivel industrial y de laboratorio.

Varias razones además de la anterior nos llevaron a la realización del presente trabajo, entre las que se encuentran prioritariamente las siguientes:

1.- La aplicación de procesos de Filtración en soluciones de galvanizado tales como soluciones de Cianuro de Zinc, empleadas en baños de electrorecubrimiento de uso más común y en otras soluciones empleadas para estos fines.

En estos procesos se requiere de ciclos de Filtración periódicos con el fin de mantener dichas soluciones en condiciones de operación óptimas, libres de impurezas en solución para que puedan proporcionar recubrimientos electrolíticos de alta calidad libres de rugosidades, de mayor poder adhesivo, limpios y brillantes.

2.- Desarrollar la Teoría y ecuaciones de Filtración, revisando la información más actualizada y la ya existente con el fin de obtener procedimientos de cálculo y diseño de equipos de filtración que se apegen a la realidad.

3.- Encontrar criterios de diseño para equipos de filtración en base a la Teoría, a los requerimientos de cada proceso en particular y a la información y lineamientos más importantes existentes en la actualidad para la selección de equipo de filtración.

4.- Elaborar tablas comparativas que nos permitan obtener un criterio rápido sobre las características de un determinado equipo de filtración en cuanto a sus variables principales como son: capacidad, área de filtración, velocidades de flujo, presión, etc., así como tablas de recomendación para procesos de filtración y purificación de diferentes soluciones de electrorecubrimiento, tablas de materiales de construcción de equipo, la selección de medios filtrantes, etc.

5.- Construir eficientemente el equipo que en base a la información más especializada disponible, a la experiencia adquirida, a los criterios de selección de equipo y a los conocimientos adquiridos durante nuestra formación profesional, resultase el más adecuado a nuestro caso particular, así como efectuar corridas experimentales de prueba para confirmar los aspectos teóricos.

II. GENERALIDADES

II.I.- Objetivo de la Tesis

Nuestra principal inquietud para la elaboración del presente trabajo, ha sido el poder contribuir al mejoramiento de los procesos Industriales de electrorecubrimiento, en los que se ha descuidado notoriamente el aspecto de la limpieza de las soluciones, el cual es de suma importancia principalmente en el caso del Cianuro de Zinc, ya que la filtración de estas soluciones a nivel Industrial es muy deficiente o nula en la mayoría de los casos.

El principal objetivo de la filtración de Cianuro de Zinc, - es la obtención de depósitos uniformes con un alto grado de calidad, la cual propiciara como resultado una mayor resistencia a la corrosión y al desgaste, una mayor velocidad de galvanizado, - un considerable ahorro en tiempo y dinero al evitar gases en el proceso de galvanizado por encontrarse en determinadas partes con una solución con alto contenido de Impurezas Orgánicas e Inorgánicas que originan recubrimientos de mala calidad.

En algunos casos es tal la contaminación que llega a perderse totalmente la solución, con la consiguiente pérdida económica originada por el alto costo de las soluciones de galvanizado y -- los beneficios que representa.

II-2.- Teoría de Filtración

La FILTRACION es el proceso de separación de los sólidos suspendidos de un líquido por el paso a través de un medio poroso previo.

Un filtro es un aparato que sostiene el medio filtrante (tal como una malla, cedazo, fibra u otro material poroso), el cual puede describirse como el medio a través del cual - pasa el filtrado y sobre el cual se acumulan las partículas sólidas o torta en solución.

El filtrado se mueve a través del medio filtrante como resultado de la fuerza conductora aplicada. (presión, gravedad o vacío). La cantidad de fuerza conductora aplicada, - depende de la resistencia a la filtración, que resulta de - la fricción de los pliegues sobre el fluido a medida que pasa a través del medio filtrante y los sólidos acumulados.

La presión hidrostática varía de la cantidad máxima en el punto donde entra el líquido a cero en el punto donde el líquido sale del medio filtrante. El empuje total dado por el líquido, es absorbido por los sólidos en la torta y el - medio filtrante de tal manera que en cualquier punto de la torta los dos son complementarios.

Así vemos que la suma de la presión hidrostática y la presión de compresión sobre los sólidos siempre es igual a la presión hidrostática total en la superficie de la torta.

De tal manera observamos que la presión compresiva sobre los sólidos varía de cero en la superficie de la torta a un máximo en el medio filtrante. Esto es que en el filtrado de una suspensión, el flujo del fluido a través de los espacios libres existentes entre las partículas retenidas sobre el medio filtrante corresponde a una velocidad relativamente pequeña; y por otra parte, como consecuencia de la deposición continua de materia sólida, la resistencia al flujo va incrementándose a medida que transcurre la operación. De esta manera, se considera normalmente en filtración el flujo de fluidos a través de la torta filtrante como flujo laminar.

La filtración, se puede clasificar en los siguientes tipos:

a) Filtración de la torta. (Cake Filtration).

Es el sistema más común, en este tipo de filtración, se presenta una acumulación continua de sólidos en cantidad suficiente, de tal manera que se forma una torta de filtrado sobre el medio filtrante. El ciclo del filtro se continúa normalmente hasta que la torta acumulada llena el espacio disponible de la cámara y/o la resistencia acumulada de la torta del filtro causa que la caída de presión iguale a la caída de presión permitida para el filtro y/o la velocidad de flujo disminuya abajo de un nivel aceptable.

La filtración de la torta ocurre cuando un líquido que contiene partículas sólidas es forzado a pasar a través de un medio filtrante poroso, el cual está bastante abierto para permitir el paso del líquido, pero bastante ajustado para retener las partículas sólidas, que forman una torta de filtración a medida que se acumulan sobre la superficie del medio filtrante.

La principal característica de la filtración de la topta es que, debe ser lo suficientemente porosa para permitir el flujo de fluido continuo a través de él a medida que la filtración avanza. Fig. (1.A).

Las soluciones que son clarificadas con la formación de un pequeño porcentaje de sólidos indeseables que solo se enlaman sobre el medio filtrante y causan ciclos muy cortos, - requieren la adición al líquido que será clarificado de un filtro ayuda, generalmente de tierras diatomeas.

b) Filtración profunda. (Depth Filtration)

En la filtración profunda, el líquido que contiene las partículas sólidas es forzado a pasar a través de una cama de material poroso.

Una filtración profunda puede detener partículas mucho más pequeñas que en el caso de la filtración de la torta.

Las partículas sólidas son atrapadas dentro de los in-

tersticios relativamente gruesos de la cama de material poroso, permitiendo que el líquido relativamente claro pase a través de él.

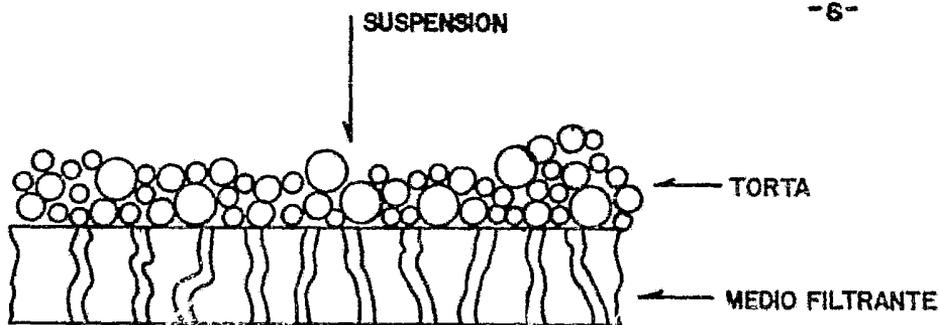
En la filtración profunda se puede utilizar un filtro de arena, un filtro de cartuchos, una cama profunda de material fibroso soportado sobre un medio filtrante grueso, una cama profunda de diatomeáceas u otros filtros ayudados soportados sobre un medio rígido, o cualquier otro tipo de configuraciones. (Fig. 1.B).

En este tipo de filtros, las partículas más grandes se recolectan en las primeras capas del filtro y las partículas más pequeñas se depositan en las últimas capas del filtro. A medida que las partículas de sólido continúan acumulándose dentro de la cama del filtro se incrementa la resistencia al paso del fluido hasta que la velocidad del fluido disminuye por abajo de los límites de velocidad aceptables.

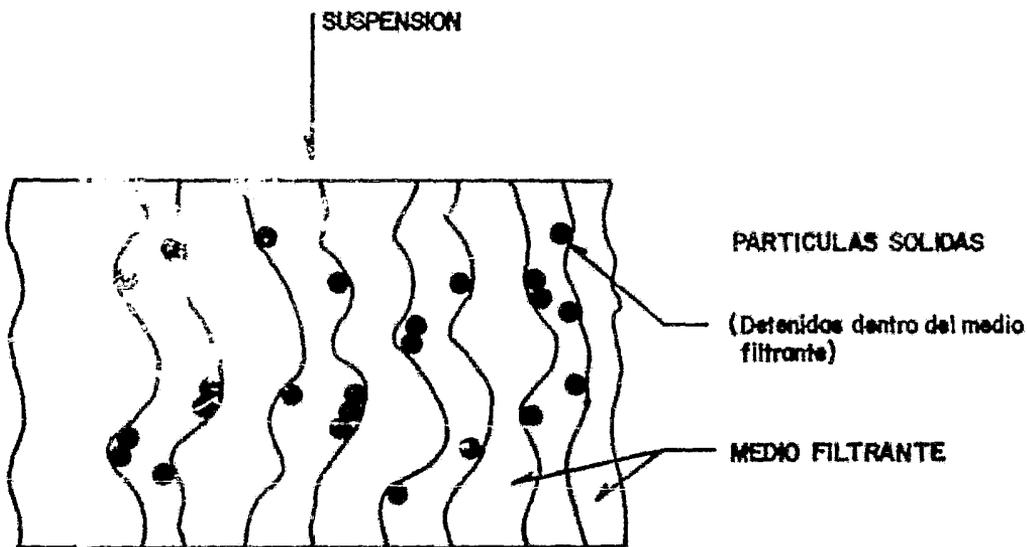
En éste punto termina el ciclo de filtración y, la cama de material poroso (filtroayudado) debe ser regenerada, y/o el cartucho deberá ser sustituido o limpiado.

c) Filtración Superficial.

Es esencialmente un mecanismo de coladas donde las partículas sólidas son detenidas por una matriz de tamaño de - poro controlado. La velocidad de flujo disminuye debido al taponamiento de la matriz. La matriz se tapa antes de que se alcance algún espesor de la torta significativa.



A) FILTRACION DE TORTA



B) FILTRACION PROFUNDA

MECANISMO USADO PARA EXPLICAR LA ACCION DE:		TESIS
A) FILTRACION DE TORTA.		1983
B) FILTRACION PROFUNDA.		FIGURA No.
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	1
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		

II-2.1. Desarrollo Teórico

En la mayoría de los procesos de filtración es muy pequeño el tamaño, de las partículas sólidas en suspensión, - que han de formar la torta filtrante, y el flujo de fluidos a través de la misma suele ser laminar.

Partiendo de la ecuación de Ergun, para flujo de fluidos a través de lechos porosos:

$$\frac{\Delta P}{L} = \underbrace{\frac{150(1-\epsilon)^2 \mu U_s}{\epsilon^3 D^2 g_c}}_{\text{Flujo Laminar}} + \underbrace{\frac{1.75(1-\epsilon) U_s^2 \rho}{\epsilon^3 D g_c}}_{\text{Flujo Turbulento}} \dots\dots\dots(1)$$

y utilizando sólo el término referida a flujo laminar, ya que en filtración el flujo de fluidos es muy pequeño, la ecuación anterior se la reduce para filtración:

$$\Delta P = \frac{150(1-\epsilon)^2 \mu U_s}{\epsilon^3 D^2 g_c} \dots\dots\dots(2)$$

que nos relaciona la pérdida de presión (ΔP) a través del lecho poroso, con su espesor (L), la velocidad U_s de fluido referida al área de sección normal del lecho (es), la densidad y viscosidad del fluido ($\rho - \mu$), la fracción sólida del lecho (ϵ) y el diámetro equivalente D de las partículas que constituyen el lecho.

Sabiendo que el Diámetro equivalente (D) tomado como dimensión característica de la partícula es:

$$D = \frac{6}{S_o} \quad \text{----- (3)}$$

Donde:

D = DIAMETRO EQUIVALENTE

S_o = SUPERFICIE ESPECIFICA DE LA PARTICULA

Sustituyendo la ec. (3) en la ec. (2), obtenemos:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{4.167 S_o^2 U_s (1-\epsilon)^2 \mu}{\epsilon^3 g_c} \quad \text{----- (4)}$$

dando el valor $k = 4.167$, ya que la fracción hueca y la superficie específica del lecho pueden variar dentro del mismo para muchos materiales, se obtiene la siguiente ecuación más generalizada.

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{k S_o^2 U_s (1-\epsilon)^2 \mu}{\epsilon^3 g_c} \quad \text{----- (5)}$$

Donde:

k = COEFICIENTE, cuyo valor depende la permeabilidad de la cama o filtrado de la torta (darcies).

ΔP = caída de presión a través de la torta (atm).

despejando U_s , tenemos:

$$U_s = \frac{\Delta P \epsilon^3 g_c}{L k S_o^2 (1-\epsilon)^2 \mu} \quad \text{----- (6)}$$

Teniendo que la velocidad U_s , referida al área de sección normal al flujo está dada por:

$$U_s = \frac{\text{caudal}}{\text{sección}} = \frac{dV}{A d\theta} = \text{velocidad de flujo} \quad \text{----- (7)}$$

igualando las ecuaciones (6) y (7), obtenemos:

$$\frac{dV}{A d\theta} = \frac{\Delta P \epsilon^3 g_c}{k S_o^2 (1-\epsilon)^2 \mu} \quad \text{----- (8)}$$

si tenemos que:

$$K = \frac{\epsilon^3}{k S_o^2 (1-\epsilon)^2} \quad \text{----- (9)}$$

Donde:

K = COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD o permeabilidad de la ter
ra del filtro (Particlos)

Sustituyendo la ec. (9) en la ec. (8), obtenemos:

$$\frac{dV}{A d\theta} = \frac{K \Delta P g_c}{\mu L} = \frac{K \Delta P}{\mu L} \quad \text{----- (10)}$$

o bien:

$$q = \frac{dV}{d\theta} = \frac{KA\Delta P}{\eta L} \quad \text{----- (11)}$$

en donde:

- q = Velocidad de flujo, $\frac{dV}{d\theta}$, (lt/min.)
- θ = Tiempo de Filtración (min)
- A = Area de filtración (cm²)
- V = Volumen de filtrado (l)
- K = Coeficiente de permeabilidad (darcies)
- ΔP = Caída de presión a través del medio y de la torta (atm)
- η = Viscosidad del líquido (cp)
- L = Espesor de la torta del filtro y la cama (cm)
- Us = velocidad superficial de flujo

Las ecuaciones anteriores (10) y (11) son las ECUACIONES DE DARCY MODIFICADAS que describen el flujo de fluidos a través de la torta del filtro.

Para el caso de la filtración de la torta (cake filtration) que nos representa la ecuación anterior, debemos suponer - que las partículas sólidas se depositan sobre la torta del filtro, y que permanecen sin migración, suponiendo también que la torta del filtro es dura e incompresible

La ecuación (11) nos relaciona que la velocidad referida - al área de sección normal al flujo es directamente proporcional a la diferencia de presiones entre la parte supe--

rior e inferior del lecho, e inversamente proporcional a la viscosidad del fluido y al espesor del lecho.

Esta ecuación se emplea para trabajos en los que el espesor de la torta, la viscosidad, el área de filtración y la presión son constantes, únicamente el tiempo necesita ser medido.

La permeabilidad de la torta (K) se define como la facilidad con la cual pasa el líquido a través del medio filtrante.

La resistencia de la torta (α) se define como la dificultad con la cual pasa el líquido a través del medio filtrante y la torta depositada en él.

De esto tenemos:

$$K = \frac{1}{\alpha} \quad \text{----- (12)}$$

Sustituyendo la ecuación (12) en la ecuación (11), tenemos:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A \Delta P}{\alpha \mu L} \quad \text{----- (13)}$$

donde α es la resistencia específica promedio de la torta que representa la resistencia por unidad de masa de la torta seca depositada sobre la unidad de área de sección normal al flujo a través de la torta.

Rearreglando la ec. anterior, tenemos que:

$$\alpha = \frac{d\theta A \Delta P}{dV \mu L} \quad \text{----- (14)}$$

Esta ecuación es suficiente en la determinación de la permeabilidad a través de una torta de espesor fijo (L), - pero en una filtración de torta donde el espesor (L) cambia continuamente, éste factor debe ser eliminado. Si se supone que cada capa de torta depositada es idéntica, entonces el espesor (L) puede sustituirse de la siguiente -- manera:

$$\text{Volumen de la torta} = L = vV$$

donde v es el volumen de torta por unidad de volumen de filtrado y V es el volumen total de filtrado.

El término $\mu L/K$ de la ecuación (11) expresa la resistencia constante al flujo a través del medio poroso que se debe sustituir por los términos, correspondientes uno a la resistencia ofrecida por el medio filtrante y el otro a la resistencia ofrecida por la torta que se va formando, - cuando el fluido que circula a través del lecho lleva partículas sólidas en suspensión que son retenidas por el lecho o medio filtrante, aumentando progresivamente la resistencia ofrecida al flujo e incrementando el espesor de la torta (L). La ec. (13) se transforma en:

$$\frac{dV}{A d\theta} = \frac{\Delta P_{(TORTA + MEDIO)} g_c}{r_{TORTA} + r_{MEDIO}} \quad \text{---- (15)}$$

La resistencia del medio filtrante se considera que permanece constante, y se representa por:

$$r_m = \mu R_m \quad \text{---- (16)}$$

La resistencia de la torta está en función del espesor y de la naturaleza de la torta y aumenta conforme la filtración transcurre, y se representa por:

$$r_t = \mu R_t = \frac{\mu L_{TORTA}}{K} \quad \text{---- (17)}$$

La masa de sólido depositada sobre el filtro será igual a la masa de sólido contenida en el volumen V de filtrado más la masa de sólido contenido en el volumen de suspensión retenida por la torta:

Sustituyendo las ecs. (16) y (17), en la ecuación (15) obtenemos:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A \Delta P}{\mu (R_t + R_m)} = \frac{A \Delta P}{\mu R_t + \mu R_m} \quad \text{---- (18)}$$

la cuál establece que la velocidad de producción de filtra
do es directamente proporcional al área de filtración dis-
ponible (A) y a la diferencia de presión (ΔP) de la
fuerza conductora e inversamente proporcional a la viscosi-
dad del filtrado (μ) y a la resistencia combinada de
la torta y el medio filtrante ($R_t + R_m$).

La resistencia de la torta (R_t) varía directamente --
con el espesor de la torta (L), y la proporcionalidad se --
puede expresar como:

$$R_t = CL \quad \text{----- (19)}$$

donde C es una constante de proporcionalidad y L es el es-
pesor de la torta en el tiempo θ .

Es conveniente expresar la resistencia del medio fil-
trante (R_m) en términos del espesor de una torta ficticia
con resistencia igual a la del medio filtrante, de la si-
guiente forma:

$$R_m = Cl_f \quad \text{----- (20)}$$

donde C es una constante de proporcionalidad y l_f es el -
espesor de la torta ficticia.

Designando W como los gramos de sólidos de torta seca por unidad de volumen de filtrado, ρ_c como la densidad de la torta expresada como gramos de sólidos de torta seca por unidad de volumen de torta de filtrado húmeda y V_f como el volumen ficticio de filtrado por unidad de área de filtración necesarias para almacenar una torta de espesor L_m ; así tenemos que el espesor de la torta (L) más el espesor ficticio de la torta (l_f) es:

$$l + l_f = \frac{w (V + AV_f)}{A \rho_c} \quad \text{----- (21)}$$

Combinando las ecuaciones (18) a la (21) obtenemos:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A \Delta P}{\frac{C w (V + AV_f)}{\rho_c}} \quad \text{----- (22)}$$

si hacemos

$$\frac{C}{\rho_c} = \alpha$$

donde α es la resistencia específica de la torta, la ec. (22) se transforma en:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A^2 \Delta P}{\alpha w (V + AV_f) H} \quad \text{----- (23)}$$

La resistencia específica de la torta (α) representa la resistencia al flujo ofrecida por la unidad de masa

de torta seca depositada por unidad de área de sección normal al flujo a través de la torta.

El valor de la resistencia específica promedio de la torta (α) varía a lo largo del proceso de filtración ya que la superficie específica de la partícula (S_0) y la porosidad (ϵ) dependen de la presión aplicada sobre las partículas que forman la torta y del grado de floculación de la suspensión, de lo cual se deriva que el valor de (α) en los cálculos de filtración sea el valor promedio correspondiente a la deposición de la masa de sólidos sobre el filtro.

En los lechos de partículas rígidas S_0 y ϵ no se afectan por la compresión aplicada sobre el lecho y permanece constante el valor de (α) durante el proceso de filtración y la torta se denomina incompresible, pero si (α) depende de la presión de filtración, la torta se denomina compresible.

La resistencia específica promedio de la torta (α) en el rango usual de condiciones de operación (intervalo de presiones limitadas) está relacionado a la diferencia de presión por la expresión empírica, que tiene la forma:

$$\alpha = \alpha' (\Delta P)^5 \quad \text{----- (24)}$$

en donde:

(α^1) es la resistencia específica de la torta si fuera totalmente incompresible, determinada por el tamaño de las -partículas que forman la torta.

(s) es el factor de compresibilidad de la torta, que es --una constante característica de la resistencia a filtrar y está afectada por la presión. Su valor varía de 0 para -tortas incompresibles, tales como arena fina y diatomita, a 1.0 para tortas altamente compresibles.

Para la mayoría de las lechadas industriales, s fluctúa entre 0.1, 0.8 y 0.15 (para los coadyuvantes) y 0.9 --(para las sustancias altamente compresibles como los hidróxidos).

Graficando α contra ΔP de la ecuación (23) en una escala logarítmica, s es la pendiente de la recta :

$\log \alpha = \log \alpha_0 + n \log \Delta P$. Ver figura 2.

II.2.2. FILTRACION A VELOCIDAD CONSTANTE

Sustituyendo la ecuación (24) en la ecuación (23), --
obtenemos:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A^2 (\Delta P)^{1-s}}{\alpha' w (V+AV_f) \mu} \quad \text{----- (25)}$$

donde:

A = Area de filtración, (cm²)

ΔP = Caída de presión a través del filtro, (Kg-f/cm²)

s = Constante definida por la ec. (23), (cm²h²/g²)

W = peso de los sólidos de la torta seca por unidad de volumen filtrado (g/cm³).

V = Volumen de filtrado, (cm³/ciclo)

V_f = Volumen ficticio de filtrado, por unidad de área - filtrante (cm³/cm²).

μ = Viscosidad del filtrado (kg/m.h) o (cp)

$\frac{dV}{d\theta}$ = Velocidad de filtración.

La ecuación (25) se aplica al caso de filtración a velocidad constante.

Integrando la ec. (25) a velocidad constante, obtenemos:

$$\theta^r = \frac{\alpha' w \mu V^2}{\Delta P^{1-s} A^2 g_c} + \frac{\alpha' w \mu V_f V}{\Delta P^{1-s} A g_c} \quad \text{----- (26)}$$

si hacemos

$$K_1^r = \text{constante de la resistencia de la torta a velocidad constante} = \frac{\alpha' W M}{(\Delta P)^{1-s} A^2 g_c} = \left[\frac{\text{min}}{\text{m}^6} \right] \quad \text{----- (27)}$$

$$K_2^r = \text{constante de la resistencia del medio filtrante a velocidad constante} = \frac{\alpha W M V_f}{(\Delta P)^{1-s} A g_c} = \left[\frac{\text{min}}{\text{m}^3} \right] \quad \text{----- (28)}$$

sustituyendo las ecuaciones (27) y (28) en la (26), obtenemos:

$$\theta^r = K_1^r V^2 + K_2^r V \quad \text{----- (29)}$$

ésta ecuación nos relaciona el tiempo de filtración a velocidad constante.

de la ecuación (26)

$$\theta^r = \frac{\alpha' W M V^2}{(\Delta P)^{1-s} A^2 g_c} + \frac{\alpha W M V_f V}{(\Delta P)^{1-s} A g_c}$$

si hacemos:

$$k_1 = \frac{\alpha' W M}{A^2 g_c} \quad \text{y} \quad k_2 = \frac{\alpha W M V_f}{A g_c}$$

y las sustituimos en la ecuación (26), obtenemos:

$$\theta^r = \frac{k_1 V^2}{\Delta P} + \frac{k_2 V}{\Delta P} \quad \text{----- (30)}$$

sabiendo que: $V = q_0 \theta$; donde q_0 es la velocidad de flujo volumétrico , la ecuación (30) se transforma en:

$$\theta^r = \frac{k_1 (q_0 \theta)^2}{\Delta P} + \frac{k_2 (q_0 \theta)}{\Delta P} = \frac{k_1 q_0^2 \theta^2 + k_2 q_0 \theta}{\Delta P} \dots\dots\dots (31)$$

que nos dá el tiempo de filtración a velocidad constante.

Despejando ΔP , de la ecuación anterior, obtenemos:

$$\Delta P = k_1 q_0^2 \theta^r + k_2 q_0 \dots\dots\dots (32)$$

donde:

ΔP = caída de presión en el filtro: (kg/cm² man.)

θ^r = tiempo de filtración: (min)

q_0 = velocidad volumétrica de flujo: (l/m²)

Los valores de K_1 y K_2 los podemos encontrar mediante las siguientes ecuaciones:

$$K_2 = \frac{\Delta P}{q_0} = \frac{\alpha^i w \mu V_f}{A q_c} \dots\dots\dots (33)$$

$$K_1 = \frac{\Delta P - K_2 q_0}{q_0^2 \theta} = \frac{\alpha^i w \mu}{A^2 q_c} \dots\dots\dots (34)$$

II.2.3. FILTRACION A PRESION CONSTANTE

En la filtración a presión constante, se puede suponer que, A , ΔP , s , α' , w , V_f y η se mantienen constantes con cambio en el volumen de filtrado (V) y la ecuación (25) puede ser integrada entre los límites de cero y V para obtener:

$$\theta^P = \frac{\alpha' w \mu V^2}{2(\Delta P)^{1-s} A^2 g_c} + \frac{\alpha' w \mu V_f V}{(\Delta P)^{1-s} A g_c} \quad \text{----- (35)}$$

si hacemos:

$$K_1^P = \text{constante de la resistencia de la torta a presión constante} = \frac{\alpha' w \mu}{2(\Delta P)^{1-s} A g_c} \quad \text{----- (36)}$$

$$K_2^P = \text{constante de la resistencia del medio filtrante a presión constante} = \frac{\alpha' w \mu V_f}{(\Delta P)^{1-s} A g_c} \quad \text{----- (37)}$$

sustituyendo las ecuaciones (36) y (37) en la ecuación (35), obtenemos:

$$\theta^P = K_1^P V^2 + K_2^P V \quad \text{----- (38)}$$

si de la ecuación (35)

$$\theta^P = \frac{\alpha' w \mu V^2}{2(\Delta P)^{1-s} A^2 g_c} + \frac{\alpha' w \mu V_f V}{(\Delta P)^{1-s} A g_c}$$

hacemos:

$$i_1 = \frac{\alpha' K \mu}{A^2 g_c} \dots\dots (39)$$

$$k_2 = \frac{\alpha' w V_f \mu}{A g_c} \text{-----} (40)$$

y sustituimos las ecuaciones (29) y (40) en la ecuación (35), obtenemos:

$$\theta^r = \frac{k_1 V^2}{2 \Delta P} + \frac{k_2 V}{\Delta P} \text{-----} (41)$$

de esta ecuación podemos calcular K_1 y K_2

$$k_1 = \frac{2 \theta^r \Delta P - 2 k_2 V}{V^2} \text{-----} (42)$$

y

$$k_2 = \frac{2 \theta^r \Delta P - k_1 V^2}{2 V} \text{-----} (43)$$

Si sabemos que $V = q_o \theta$ y lo sustituimos en la ecuación (41), tenemos:

$$\theta^r = \frac{k_1 q_o^2 \theta^2 + 2 k_2 q_o \theta}{2 \Delta P} \text{-----} (44)$$

Así tenemos finalmente las ecuaciones de filtración para:

1. Filtración a velocidad constante la ecuación (29) y (31).
2. Filtración a presión constante la ecuación (38) y (44).

II.2.4 ECUACION GENERAL DE FILTRACION

Podemos generalizar las ecuaciones (29) y (38) en -- una sola ecuación, la cual es:

$$\theta_f = n k_1 V^2 + k_2 V \quad \text{----- (45)}$$

donde:

- θ_f = Tiempo de filtración (min)
- V = Volumen de filtrado (cm^3/ciclo)
- K_1 = Constante de la resistencia de la torta
- K_2 = Constante de la resistencia del medio filtrante
- $n = 1$ (para filtración a presión constante)
- $n = 2$ (para filtración a velocidad constante)
- n = Constante de filtración (adimensional)

Diferenciando la ecuación (45), obtenemos la velocidad de filtración:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{1}{2n k_1 V + k_2} \quad \text{----- (46)}$$

la velocidad de lavado está relacionada a la ecuación de la velocidad de filtración por la siguiente ecuación:

VELOCIDAD DE LAVADO = VELOCIDAD DE FILTRACION

$$= \frac{\frac{dV}{d\theta}}{m} = \frac{dV}{m d\theta} = \frac{1}{m(2n k_1 V + k_2)} = \left[\frac{\text{m}^3}{h} \right] \quad \text{----- (47)}$$

donde: m = constante de lavado (adimensional) y
 $m = 1$ (para filtros de hojas, y filtros rotatorios
de vacío y centrífugos)
 $m = 4$ (para filtros de placas y marcos, y filtros
de cartuchos).

El tiempo de lavado está en función de si el volumen
de fluido de lavado es constante o no.

a) Si el volumen de agua de lavado (V_w) es constante,
el tiempo (θ_w) de lavado es:

$$\theta_w = \frac{V_w}{\left\{ 1/[m(2nK_1V + K_2)] \right\}} = V_w m (2nK_1V + K_2) = [\text{hr}] \quad \text{----- (28)}$$

II.2.5. TIEMPO TOTAL DEL CICLO DE FILTRACION (θ_t)

El tiempo total del ciclo de filtración (θ_t) es la suma del tiempo de filtración (θ_f), el tiempo de lavado (θ_w) y el tiempo de limpieza del filtro (θ_c).

$$\theta_t = \theta_f + \theta_w + \theta_c = [\text{hr}] \quad \text{----- (49)}$$

sustituyendo las ecuaciones (45) y (48) en la ecuación - (49) obtenemos la ecuación del tiempo de lavado como:

$$\theta_t = nK_1V^2 + K_2V + V_w m(2nK_1V + K_2) + \theta_c = [\text{hr}] \quad \text{----- (50)}$$

FIG. 2.6 CAPACIDAD DE FILTRACION

Es el volumen de la solución a filtrar (V) dividido por el tiempo total del ciclo de filtración (θ_f) y se define por la siguiente ecuación:

$$C = \frac{V}{\theta_f} = \frac{V}{nk_1 V^2 + K_2 V + V_w m (2nk_1 V + K_2) + \theta_c} =$$

$$= \frac{V}{nk_1 V^2 + (K_2 + 2nmk_1 V_w) V + V_w m K_2 + \theta_c} \quad \text{----- (51)}$$

Diferenciando en la ecuación (51) a C con respecto a V, igualando la ecuación a cero y llamando a V = V_{opt}, tenemos:

$$V_{opt} = \sqrt{\frac{V_w m K_2 + \theta_c}{n K_1}} \quad \text{----- (52)}$$

que no dá el volumen de filtrado óptimo o la producción máxima de filtrado.

Calculamos el tiempo de filtración óptimo (θ_f opt.)- sustituyendo V por V_{opt}. en la ecuación (45) y tenemos:

$$\theta_f \text{ opt.} = nk_1 V_{opt}^2 + K_2 V_{opt} \quad \text{----- (53)}$$

Finalmente el tiempo total óptimo del ciclo de filtración ($\theta_{t \text{ opt}}$) de la ecuación (50) es:

$$\theta_{t \text{ opt}} = nK_1 V_{\text{opt}}^2 + K_2 V_{\text{opt}} + V_w m (2nK_1 V_{\text{opt}} + K_2) + \theta_c \quad \text{----- (54)}$$

b) Si el volumen de agua de lavado (V_w) es una fracción de volumen de filtrado recolectado, esto es $V_w = bV$, - de aquí el tiempo de lavado de la ecuación (48) se transforma en:

$$\theta_w = bVm (2nK_1 V + K_2) \quad \text{----- (55)}$$

el tiempo total del ciclo de filtración es:

$$\theta_c = nK_1 V^2 + K_2 V + bVm (2nK_1 V + K_2) + \theta_c \quad \text{----- (56)}$$

la capacidad del filtro es:

$$C = \frac{V}{(nK_1 + 2bnmK_1)V^2 + (K_2 + K_2 bm)V + \theta_c} \quad \text{----- (57)}$$

Diferenciando en la ecuación (57) C con respecto a V, igualando la ecuación a cero y despejando el volumen óptimo de filtrado (v_{opt}), obtenemos la ecuación siguiente:

$$V_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{\theta_c}{nK_1 (1 + 2bm)}} \quad \text{----- (58)}$$

que nos dá el volumen óptimo o máximo de filtrado.

En los casos a) y b) tratados anteriormente, podemos obtener finalmente la ecuación de la capacidad óptima o - máxima de filtración:

$$C_{\text{máx.}} = \frac{V_{\text{opt}}}{\theta_t \text{ opt}} \quad \text{----- (59)}$$

II.2.7 COSTO TOTAL MINIMO ANUAL

El costo total anual de filtración es la suma del -- costo fijo del filtro y el costo de operación del ciclo - de filtración.

El costo fijo (CF) es:

$$C_F = AC_a K_f \quad \text{----- (60)}$$

donde:

CF = costo fijo

A = área de filtración requerida

Ca = costo unitario del filtro por unidad de área de filtración

Kf = fracción del costo inicial por depreciación, amorti- zación, seguros, etc.

Si Va es el volumen de filtrado requerido por año, - entonces el número de ciclos por año es Va/V, donde V es el volumen de filtrado por ciclo y si Co es el costo uni- tario de operación durante el período de filtración y la- vado en \$/h y Cc es el costo unitario durante el período de tiempo de limpieza del filtro, el costo anual total - (C_t) es:

$$C_t = \frac{V_a}{V} \left[(\theta_f + \theta_w) C_o + C_c \theta_l \right] + AC_a K_f \quad \text{----- (61)}$$

Si rearrreglamos la ecuación (45) para filtración a presión constante obtendremos el área de filtración:

$$\theta_f = K_1' (V/A)^2 + K_2' (V/A) \quad \text{----- (62)}$$

donde:

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

Diferenciando y rearrreglando la ecuación (62), se obtiene la velocidad de filtración como:

$$\frac{dV}{d\theta_f} = \frac{A^2}{2K_1' + K_2' A} \quad \text{----- (63)}$$

la velocidad de lavado es:

$$\frac{dV}{m d\theta_f} = \frac{A^2}{m(2K_1' V + K_2' A)} \quad \text{----- (64)}$$

donde:

$m = 4$ (para filtros de placas y marcos y de cartuchos)

$m = 1$ (para otros filtros)

Si la cantidad de agua de lavado es bV , donde b es la fracción del volumen de filtrado, entonces el tiempo de lavado es:

$$\theta_w = \frac{\frac{bV}{A^2}}{m(2K_1'V + K_2'A)} \quad \text{----- (65)}$$

El tiempo total del ciclo θ_t es:

$$\begin{aligned} \theta_t &= \theta_f + \theta_w + \theta_c = \\ &= K_1'V^2/A^2 + K_2'VA/A^2 + bVm(2K_1'V + K_2'A)/A^2 + \theta_c \quad \text{----- (66)} \end{aligned}$$

rearrreglando esta ecuación obtendremos:

$$A^2 - \frac{K_2'V(1+bm)}{\theta_t - \theta_c} A - \frac{(1+2bm)K_1'V^2}{\theta_t - \theta_c} = 0 \quad \text{----- (67)}$$

Esta es una ecuación cuadrática que puede ser resuelta para A.

Si tenemos que:

$$N = \frac{V_a}{V} = \frac{H}{\theta_t} \quad \text{----- (68)}$$

donde:

- n = Número de ciclos
- V_a = Volumen de solución a filtrar
- V = Volumen de filtrado
- H = Horas/año de operación
- θ_t = Tiempo total del ciclo

El área de filtración es también una función del tiempo θ_t . El costo mínimo puede ser determinado por un método gráfico de la siguiente forma:

- 1 Suponga θ_t y calcule $V = V_a \theta_t / H$
- 2 Calcule A de la ec. (67)
- 3 Calcule θ_f de la ec. (62)
- 4 Calcule θ_w de la ec. (63)
- 5 Calcule C_t de la ec. (51)

para cada valor de θ_t , hay un valor de C_t . graficamos los puntos y el valor de C_t que sea mínimo es la solución.

Si la resistencia del medio filtrante es despreciable

$$k_2^1 = 0.$$

II.2.8. APLICACION DE FORMULAS

Las ecuaciones (25) y (26) y todas las generales a partir de ellas son aplicables directamente al diseño de los filtros intermitentes. Las constantes α' , s y V_p deber ser evaluadas experimentalmente, y las ecuaciones generales pueden aplicarse en condiciones de variación de A , ΔP , V , θ , W y μ .

En las situaciones más usuales, las constantes se evalúan experimentalmente en un laboratorio o en un filtro en planta piloto. Las constantes determinadas así, se pueden emplear para diseñar un filtro similar con probablemente 100 veces el área de la unidad experimental. Para reducir los errores en la estimación del diseño, las constantes o deben obtenerse experimentalmente con la misma relación, el mismo filtro piloto y la misma caída de presión ΔP a la más conveniente, que se empleará en el diseño final del filtro.

Bajo estas condiciones, los valores de α' y S aplicarían adecuadamente a cualquier filtro más grande.

El volumen fractal (V_p) es normalmente bastante pequeño para que algunas variaciones en su valor debidas a la oscilación del diseño tengan un efecto mínimo en los resultados finales.

II.3.- APLICACION PRACTICA DE LA TEORIA DE LA FILTRACION

Las expresiones de velocidad de filtración, derivadas en su mayor parte de la ecuación de Hagen-Poiseuille, y de varias correlaciones empíricas pueden ser usadas confiablemente en el diseño de sistemas de filtración continua, particularmente se dispone de muestras frescas para la elaboración de pruebas.

Las ecuaciones de la filtración nos ayudan a predecir los efectos de un cambio en cualquier variable si las constantes son determinadas de los datos tomados de la solución a filtrar.

Asimismo, las ecuaciones de filtración nos permiten determinar el efecto del espesor de la torta o el tiempo del ciclo sobre la velocidad de filtración total y en función de las pruebas de filtración a pequeña escala, aplicar los datos obtenidos para el estimado de las dimensiones, ciclo de operación y tipo de filtro que serán usados en un determinado proceso.

De los datos obtenidos en las pruebas a presión constante, en donde se deben mantener constantes la presión y la temperatura a fin de que el contenido de sólidos permanezca constante durante la corrida completa, -

teniendo cuidado de que las lecturas de tiempo comiencen en el arranque exacto de la filtración, obteniendo valores de volumen y peso de filtración así como tiempo de operación.

Con el área de filtración conocida, pueden calcularse valores de θ/V para varios valores de V , los cuales, cuando se grafican con $\Delta\theta/\Delta V$ como la ordenada y V como la abscisa resulta en una línea recta que tiene la pendiente:

$K_1 = \alpha w \mu / A^2 \Delta P g_c$ y una intercepción sobre el eje vertical de: $K_2 = \alpha w \mu V_f / A \Delta P g_c$. Ver figura 2.A.

Conociendo los valores de $w, \mu, A, \Delta P$; α y V_f pueden calcularse de:

$$\alpha = \frac{K_1 A^2 \Delta P g_c}{w \mu} \dots\dots\dots (69)$$

$$V_f = \frac{K_2 A \Delta P g_c}{\alpha w \mu} \dots\dots\dots (70)$$

Para determinar el efecto de un cambio en la presión, es necesario correr pruebas a tres o más presiones medidas preferiblemente en el rango de interés. Graficando α contra P en papel log log (ó log α contra

log P en coordenadas cartesianas) resulta aproximadamente una línea recta Fig. 2 b, de la cual podemos estimar valores de α a magnitudes interpoladas o razonablemente extrapoladas de P. La pendiente de la línea es - el índice de una fuerte relación entre α y P.

II.4.- SIGNIFICADO PRACTICO DE LAS ECUACIONES DE FILTRACION

En las ecuaciones de filtración intervienen varios factores que pueden variar las condiciones en el diseño de los filtros debido a los efectos de cada una de sus variables, las cuales detallaremos enseguida.

II.4.1. EFFECTO DE LA PRESION

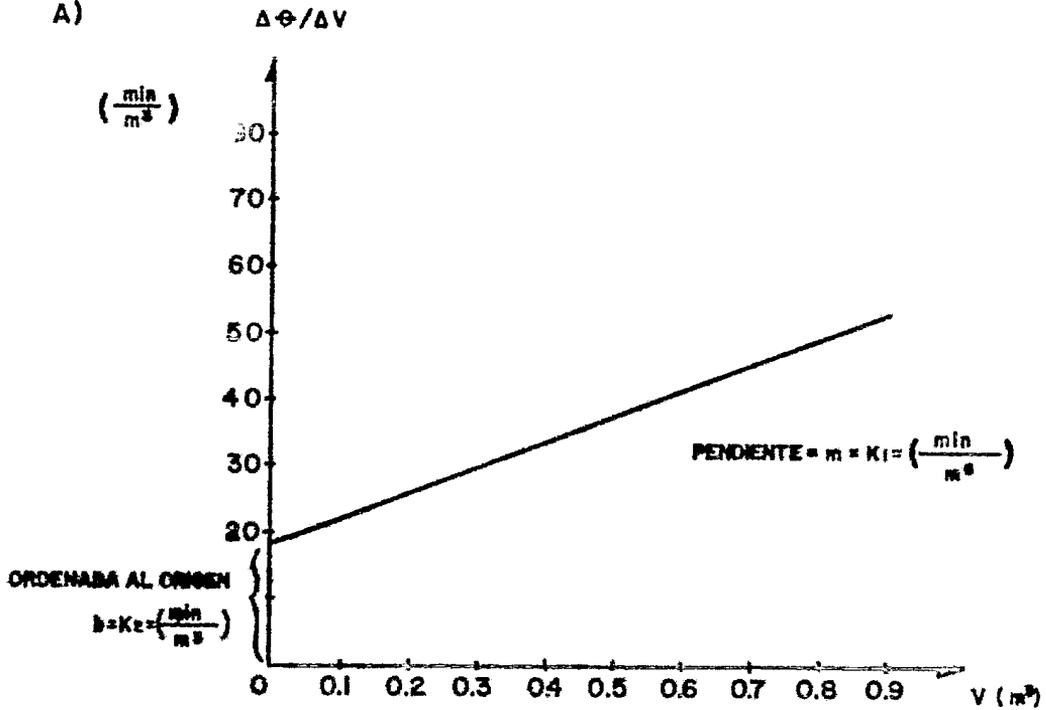
La Presión es variable en la mayoría de los procesos de filtración industrial, en donde la compresibilidad de la torta se encuentra usualmente entre 0.1 y 0.3.

En la filtración de sólidos cristalinos o granulares un incremento en la presión causa un incremento proporcional en la velocidad de flujo.

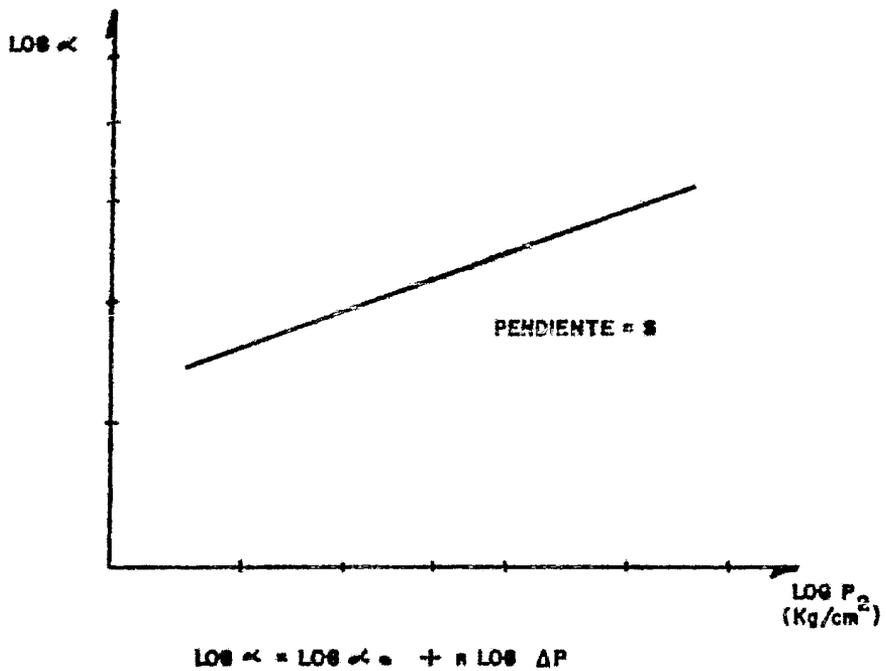
Los precipitados viscosos o floculantes, tienen un incremento en las velocidades de filtración únicamente por un ligero incremento de presión. Algunos materiales tienen una presión crítica por encima de la cual un incremento adicional en la presión resultará en un decremento en la velocidad de flujo.

La filtración de la mayoría de los lodos incompresibles es más satisfactorio cuando se usa una baja presión en el comienzo de la corrida, lo que es especial--

A)



B)



A) GRAFICA DE $\Delta\phi/\Delta V$ V.S. V		TESIS
B) GRAFICA DE LOG. κ V.S. LOG. P		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA No.
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		2

mente importante en la filtración de lechadas de bajo contenido de sólidos.

Considerando que la mayor parte de los filtros a presión son alimentados por bombas centrífugas, su operación es raramente a presión constante o a velocidad constante, aunque de acuerdo con las características de la bomba es esencialmente a velocidad constante durante sus primeras etapas y a presión constante durante la última parte del ciclo.

Las bombas que tienen características de cabeza de descarga excesivas no operan a velocidad constante o a presión constante durante ninguna parte del ciclo, pero operan siempre bajo condiciones intermedias de incremento de presión y disminución de la velocidad de flujo.

II.4.2. EFEECTO DEL ESPESOR DE LA TORTA.

Para la determinación de la capacidad y el diseño de un filtro este efecto es un factor importante y sobre el cual depende el ciclo de operación.

De la teoría de filtración vemos que la resistencia debida al medio filtrante es despreciable y que la velocidad promedio de flujo durante la filtración es inversamente proporcional al cuadrado del área filtrante. Así vemos que la velocidad promedio de filtración

para una cantidad de filtrado dada, o torta, es inversamente proporcional al cuadrado del espesor de la torta al final de la filtración.

En la práctica la selección económica de un filtro es aquél que forma una torta de espesor apreciable.

Cuando una torta es lavada, la velocidad de lavado a través de ella es la misma que la velocidad de filtración final (excepto en un filtro prensa de placas y marcos que emplea la forma de lavado constante, en la cual la velocidad de lavado será la mitad de la velocidad de filtración final), si la presión de lavado es la misma que la presión de filtración final y si el licor de lavado tiene las mismas propiedades mecánicas que el filtrado y no interfiere apreciablemente con el flujo de la torta.

La ecuación 23 indica, por lo tanto, que la velocidad de lavado será inversamente proporcional al espesor de la torta, si la resistencia del medio filtrante es despreciable.

II.4.3. EFFECTS OF THE VISCOSITY AND THE TEMPERATURE

La velocidad del flujo del filtrado en cualquier instante es inversamente proporcional a la viscosidad.

La viscosidad de la mayoría de los líquidos decrece con siderablemente con el incremento de la temperatura. El incremento de la temperatura aumenta la fluidez del licor y reduce la fricción al avance a través de los cana les vacíos de la torta y el medio filtrante, lo que resulta en velocidades de filtración más elevadas. Con-- trariamente, con el descenso de la temperatura, la velo cidad de flujo decrece y la viscosidad aumenta.

Si es necesario mantener una baja temperatura, se puede aumentar la fluidez del fluido por otros métodos tales como la adición del licor con otro fluido de viscosidad menor, lo que produce una mezcla que contenga - la velocidad media de los dos fluidos, y la viscosidad de la mezcla es menor, con lo que se logra mantener baja la temperatura.

11.3.4. EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTICULAS

Es considerable este efecto sobre la resistencia - de la torta y del medio filtrante.

Los cambios pequeños en el tamaño de la partícula afectan el coeficiente α' en la ecuación para resisten cia de la torta:

$\alpha = \alpha' (\Delta P)^{1-S}$ y cambios más grandes afectan la compresibilidad S . La disminución del tamaño de -

partícula resulta en velocidades de filtración más bajas y contenidos de humedad mayores de la torta y algunas veces en mayor eficiencia de lavado.

Es importante controlar el tamaño de partículas en la alimentación de los filtros.

La influencia de la estructura de las partículas en la estructura de la torta depende del tamaño y forma de la partícula y grado de compresibilidad.

La forma individual de cada partícula tiene una influencia considerable sobre la permeabilidad y estructura de la torta formada; las partículas esféricas usualmente se depositan estrechamente en la formación de la torta, dando espacios vacíos individuales relativamente pequeños y menor permeabilidad que la de las partículas de forma irregular. La mayor permeabilidad de la torta ocurre en las tortas compuestas de partículas irregulares y alargadas.

Cuando la estructura de la torta está compuesta de partículas que llegan a ser fácilmente deformadas o reorganizadas bajo la presión, las estructuras generalmente son llamadas tortas compresibles, aquellas que no son deformadas fácilmente son llamadas semicompresibles, y aquellas que únicamente llegan a ser deformadas a un ligero grado son consideradas incompresibles. La gran

importancia de la compresibilidad es la reducción en la permeabilidad de la torta a través de la restricción de los huecos, de tal modo que se reducen las velocidades de flujo, construcción de la torta, lavado y efectividad de descarga y secado.

Técnicamente, la compresión de la torta de los filtros pueden ser el resultado de varias causas diferentes, la mayoría de las cuales tienen solo una ligera influencia sobre la compresión total.

La compresión también puede ocurrir en todas las tortas cuando son lavadas, si están presentes sólidos solubles en el licor de lavado ya sea como impurezas o debido a la solubilidad parcial de los sólidos que son manejados. La disolución de esos sólidos de la estructura de la torta puede causar roturas en la pared y en varios puntos de la torta resultando en compresión de la torta y un rearrreglo completo de la estructura.

II.4.5.- EFFECTO DEL TIPO DE MEDIO FILTRANTE

Este efecto frecuentemente no es considerado completamente. El efecto del taponamiento de la tela (medio filtrante) sobre la velocidad de filtración es tan grande, que usualmente es la causa del reemplazamiento de la tela, o medio filtrante, lo que se refleja en la

necesidad de emplear un factor de seguridad en la deter-
minación de las capacidades de filtración.

II.4.6. EFFECTO DEL PH

La alteración del pH es uno de los medios más po-
sitivos de cambiar las velocidades de filtración desde
que afecta las características de los sólidos que son
manejados. Existe un pH óptimo para la filtración de
la mayoría de los materiales y en el caso de algunas --
mezclas puede haber más de un punto óptimo.

II.5.- OBTENCION DE DATOS A PEQUEÑA ESCALA

El factor principal en el diseño de filtros es la resistencia o permeabilidad de la torta. Dicho valor - solo puede ser determinado en base a datos experimentales, siendo necesarios estudios de laboratorio o pruebas en plantas piloto para suministrar la información - necesaria para el diseño de un filtro.

Debido a la sensibilidad de las partículas a las - condiciones del proceso, es común la variación en la resistencia de la torta. La agitación, el pH, los flocu- lantes, la temperatura y el tiempo, están entre las va- riables que pueden cambiar la permeabilidad de la torta, en ocasiones, favorablemente y en otras adversamente.

Métodos analíticos pueden ser empleados para el di- mensionamiento de filtros antes de la instalación y eva- luación subsecuente del funcionamiento.

Las mismas sustancias químicas pueden tener permea- bilities ampliamente diferentes, dependiendo del proce- so y del acondicionamiento. Las partículas varían su - tamaño y forma con el tratamiento, envejecimiento y bom- bes de las soluciones.

Las resistencias de filtración promedio son afectadas por la concentración de la lechada.

Las ecuaciones de filtración son útiles en la predicción del efecto de un cambio en cualquier variable, si las constantes son determinadas de los datos tomados sobre la lechada en cuestión.

Las pruebas de laboratorio o de las plantas piloto son importantes para la obtención de datos, tales como los siguientes:

- a) Estimado del tamaño del filtro (área de filtración).
- b) Espesor de la torta.
- c) Velocidad total de filtración.
- d) Ciclo de operación (continuo o intermitente).
- e) Tiempo de operación transcurrido.
- f) Peso y volumen de filtrado.
- g) Concentración de la lechada.
- h) pH de la lechada.
- i) Velocidad de lavado.
- j) Tendencia a la formación de espuma.

k) Presión de operación.

l) Tipo, eficiencia y concentración de filtroayudas.

En las pruebas de laboratorio o de plantas piloto a pequeña escala, se deberá conocer de antemano si la filtración a efectuarse será a presión o a vacío, en caso contrario, se deberán efectuar estudios preliminares para saberlo. Ocasionalmente se efectúan pruebas completas a presión y a vacío para establecer comparaciones.

Entre las pruebas que se efectúan tenemos las siguientes:

II.6.1. PRUEBAS DE VACÍO

Se usan las pruebas de hojas, para probar el funcionamiento de los filtros de disco o de tambor rotatorio.

Usualmente unas pocas pruebas aproximadas en el nivel de vacío seleccionando indicarán el rango de tiempo apropiado sobre el cual se formarían tres tortas de diferente espesor. Podrán hacerse después pruebas cuidadosas explorando las variaciones en temperatura, concentración y preacondicionamiento de la lecnada, nivel de vacío, lavado o cualquier otra variable que sea de interés.

Durante esas pruebas, la obtención de datos principales son tiempo de filtración total, Volumen de filtrado, espesor y uniformidad de la torta, masa de torta formada (seca y húmeda) y lectura de vacío. La temperatura y concentración de la lechada siempre deberán ser conocidas por algún método analítico previo. Otras observaciones de importancia son la velocidad y efectividad de lavado, el comportamiento de secado, si la torta se agrieta y en que momento; características de la descarga, pH y tendencia espumante del filtrado.

Para las pruebas de embudo, la prueba de papel filtro se sustituye por un embudo Buchner en el cual se coloca un pedazo del medio filtrante apropiado de tal manera que minimice las fugas alrededor de él.

Con el vacío encendido, la cantidad de lechada en la cantidad predeterminada para producir una torta de espesor adecuado se vacía rápidamente en el embudo. La lechada se añade así para que la torta no se seque durante la filtración y tampoco sea dañada por la resaca del líquido. Pueden efectuarse observaciones de lavado, secado y descarga como en las pruebas de hoja o papel filtro.

Las pruebas de embudo simulan el funcionamiento de filtros continuos de vacío superficiales horizontales (bandas, tablas y cacerolas).

II.5.2. PRUEBAS DE PRESION

Las pruebas de hojas a pequeña escala son efectuadas para simular el funcionamiento de los filtros de hojas a presión (5 x 9 cm), cubiertos con medios filtrantes apropiados, suspendidos en una celda bastante grande para contener suficiente lechada para formar la torta deseada, la lechada puede ser agitada por un rotador de aire.

Aunque el incremento de tiempo y volumen de filtrado pueden ser tomados durante un ciclo de formación de torta a una presión seleccionada para construir una gráfica semejante a la de la Fig. 2 (a) de una sola corrida, puede ser más satisfactorio efectuar varias corridas rápidas sucesivas a la misma presión para diferentes períodos de tiempo, registrando valores finales de tiempo y volumen de filtrado y masa de la torta.

Debería efectuarse pruebas a varias presiones para determinar la compresibilidad de los sólidos de la torta.

Las pruebas de placas y marcos deberán ser efectuadas si se prevé el uso de un filtro prensa en la planta, al menos se aconseja efectuar algunas pruebas de confirmación después de las pruebas de hojas preliminares, a menos que la solución sea filtrable rápidamente.

Puede usarse un filtro prensa de tamaño laboratorio consistente de dos placas y un marco sencillo, el cual permitirá la observación de asentamiento de sólidos, empaque de la torta y comportamiento de lavado, el cual puede ser muy diferente para un marco que para una hoja.

II.5.3. PRUEBAS DE COMPRESION-PERMEABILIDAD

Las pruebas experimentales de compresión-permeabilidad pueden ser empleadas para sólidos apreciablemente compresibles. Como en el caso de filtración a velocidad constante, una sola corrida proporciona los datos equivalentes a los obtenidos de una serie de corridas a presión constante pero evita la complejidad del tratamiento de datos de pruebas a velocidad constante.

El equipo consiste de una celda cilíndrica con un fondo permeable y una tapa abierta, el cual está equipado con un espacio libre, estrecho, hueco y un pistón cilíndrico con un fondo permeable.

La solución de lechada se vacía dentro de la celda y se forma una torta por la aplicación ligera de vacío a la línea de descarga del filtrado. Después de que la celda está llena con filtrado y con el contrapeso del -

pistón disminuye al nivel de la torta.

Se aplican incrementos sucesivos de esfuerzos mecá-
nicos a los sólidos, en cada uno de los cuales la per-
meabilidad de la torta es determinada por el paso de --
filtrado a través del pistón a presión baja.

II.5.4. ESCALACION DE LOS DATOS DE PRUEBA DE LABORATORIO Y PLANTAS PILOTO.

Los datos obtenidos a pequeña escala en laboratorio, se determinan como peso seco de sólidos o volumen de filtrado, por unidad de área de filtración, por ciclo de filtración. Esta cantidad multiplicada por el número de ciclos de filtración por día, permite el cálculo del área de filtración requerida para una capacidad diaria establecida o la capacidad diaria de un filtro específico.

El área de filtración así obtenida, deberá ser incrementada en un 25% como un factor de seguridad. En el cálculo de la longitud del ciclo de filtración se deberá efectuar una estimación apropiada del tiempo de paro de un filtro intermitente o el "tiempo muerto" (entre la descarga de la torta y el inicio del nuevo ciclo de filtración) de un filtro continuo.

Las soluciones de prueba deberán ser representativas de la solución que se filtrará, ya que se ha encontrado que las muestras que han sido almacenadas durante días, se comportan diferente obteniendo datos un tanto variados, con respecto a la realidad.

Todas las pruebas se deberán efectuar bajo condiciones que simulen, tan estrechamente como sea posible, las condiciones que se presentarán en las operaciones a escala industrial.

La ecuación 25 es directamente aplicable para su uso en el diseño de filtros intermitentes. Las constantes α^1 , s y V_p deberán evaluarse a través de corridas de prueba (como se procede en el punto III.6.3. Pruebas y Resultados de esta Tesis), y las ecuaciones generales de filtración (26) (35) o (40) pueden ser aplicadas para condiciones de variación de A , ΔP , V , B , v y 4 .

En general, las constantes de filtración evaluadas experimentalmente pueden ser usadas directamente para escalar un filtro similar, quizás 100 veces el área de la unidad experimental, por lo que para minimizar los errores en la escalación, es conveniente resaltar que las pruebas de laboratorio deben ser efectuadas con la misma mezcla a filtrar, el mismo filtro arena y arcilla y tanto el mismo caudal de presión que se usará en el diseño final del filtro.

Bajo esas condiciones, los valores de α y s aplicarán adecuadamente a cualquier unidad más grande. El volumen ficticio del medio filtrante (V_f) es normalmente bastante pequeño (como se verá en el punto III.6.3. Pruebas y Resultados) por lo que no produce variaciones ni siquiera significantes que puedan ejercer un pequeño efecto en la escalación para los resultados finales.

En cualquier caso, antes de efectuar pruebas de filtración es aconsejable consultar uno o varios fabricantes de filtros, --

proporcionándoles toda la información que sea posible acerca de la solución a filtrar y los objetivos de la filtración, a fin de obtener información adecuada y buenos resultados.

En nuestro caso particular para el diseño del equipo de filtración, empleamos información especializada (referencia No. 15), la cual nos facilitó la selección del equipo, sus dimensiones, -- área de filtración requerida, materiales de construcción, por lo que no fue necesario efectuar pruebas a pequeña escala, sino únicamente correr pruebas con el mismo equipo, para determinar su capacidad de filtración, así como para determinar las constantes de -- filtración α , K_1 , K_2 , V_f ya que eran conocidas el área de -- filtración (A), la ΔP , la μ de la solución, el volumen a filtrar, etc.

Dicha información se proporciona más adelante en la tabla 10 "Recomendaciones para Filtración y Purificación de soluciones de -- Galvanizado" y en otros puntos tratados en este trabajo.

II.6. EQUIPO PARA FILTRACION INDUSTRIAL

II.6.1.- Clasificación de los filtros.

Los equipos para filtración Líquido-Sólido pueden dividirse en forma general de la siguiente manera:

- a) Por su fuerza directriz o conductora.
- b) Por el mecanismo de filtración.
- c) Por su función.
- d) Por el ciclo de operación.
- e) Por la naturaleza de los sólidos.

a) Por su fuerza directriz: En la presente clasificación se en-
uentran principalmente:

a-1.- Filtros de gravedad: En estos equipos el filtrado fluy
a través de un medio filtrante por medio de una ca-
haza hidráulica.

a-2.- Filtros de presión: Estos equipos operan a una pre---
sión superior a la atmosférica en el lado de carga -
del medio filtrante.

a-3.- Filtros de Vacío: En esta clasificación se encuentran
los equipos que trabajan a una presión inferior a la
atmosférica en el lado opuesto del medio filtrante.

filtradores centrífugos: Son equipos en los que actúa una fuerza centrífuga a través del medio filtrante.

b) Por el mecanismo de la filtración: En esta clasificación se encuentran dos tipos de equipo principalmente:

b-1.- Cuando los sólidos retenidos sobre el medio filtrante llegan a formar varias capas las cuales se conocen como torta.

b-2.- Cuando los sólidos son retenidos dentro del poro o cuerpo del medio filtrante, en esta clasificación se encuentran: La clarificación, filtración micrónica y la ultrafiltración, cuando el tamaño de las partículas es extremadamente pequeño.

c) Por su función: En la presente clasificación debe considerarse el valor de los productos de filtración como finalidad.

c-1.- Lo que interesa es la recuperación de la torta.

c-2.- Lo que interesa es el filtrado.

c-3.- Ambos productos interesan.

d) Por el ciclo de operación: Pueden ser intermitentes (batch) o continuos

e) Por la naturaleza de los sólidos: la torta de filtración - puede involucrar una acumulación de sólidos los cuales pueden ser compresibles o substancialmente incompresibles, correspondiendo a partículas rígidas o deformables.

II.6.2.- Filtros de gravedad: En un filtro de gravedad el flujo del filtrado resulta de la presión hidrostática de una columna del prefiltrado más alta que la superficie del medio filtrante o torta.

Esta presión es siempre relativamente baja y va de unos cuantos centímetros como es el caso de un estudio de laboratorio a un máximo de unos cuantos metros de fluido en un filtro de planta. Por lo anterior los filtros de gravedad son usados solamente para materiales relativamente fáciles de filtrar y en casos en donde no se requieren altas velocidades de filtración.

Los filtros industriales de gravedad frecuentemente consisten de una caja abierta en su parte superior teniendo un medio filtrante soportada por un recipiente colector abierto a la atmósfera, y el cual es normalmente adecuado en tamaño para coleccionar todo el filtrado que pasa a través del medio filtrante. Las ventajas de este tipo de filtros son:

- 1).- Su extrema simplicidad.
- 2).- Su dependencia en solamente un accesorio.
- 3).- Por su bajo costo.

1.- Su facilidad de construcción en casi cualquier material

Las principales desventajas son:

- 1).- Su relativa baja velocidad de filtración.
- 2).- Su excesiva área de piso ocupada por unidad de área de filtro.
- 3).- El alto trabajo que incurre su carga.
- 4).- La dificultad y problemática de su manejo.

El filtro de arena es el tipo más sencillo de filtros de gravedad que se conoce en la Industria. Ver fig. 3.

Estos filtros son utilizados generalmente cuando se tratan flujos grandes de partes muy diluidas en los que tanto el producto sólido como el líquido no tienen un alto valor unitario.

Este tipo de filtros constan de una serie de capas de piedra, -grava y arena sostenidas por una rejilla la cual funciona como recolectora y el fluido pasa en flujo laminar variando la velocidad de $0.08 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ (min)}$ hasta $0.2 \text{ m}^3 / (\text{m}^2) \text{ (min)}$.

El lavado de estos filtros se realiza por medio de un flujo de agua a contracorriente a una velocidad de aproximadamente $0.6 \text{ m}^3 / (\text{m}^2) \text{ (min)}$.

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

II.6.3.- Filtros a presión

Son filtros a presión aquellos que operan bajo una presión superior a la atmosférica en la superficie del medio filtrante; esta presión es impuesta por una bomba que puede ser: centrífuga, de diafragma, de tornillo, de engranes, etc.

DISTRIBUIDOR DE ENTRADA
Y RETROLAVADO

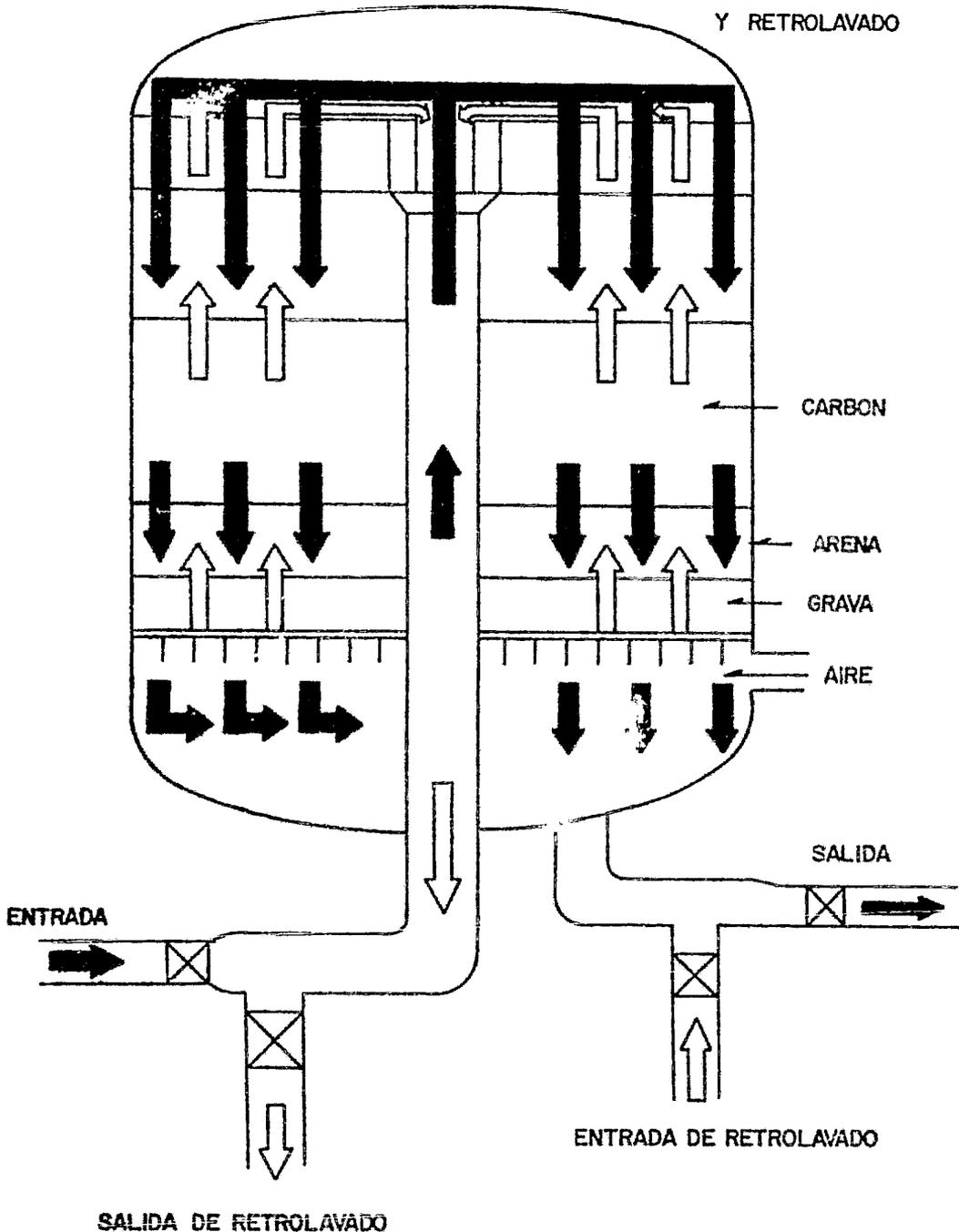


DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL FILTRO DE ARENA		TESIS
		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA No.
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		3

En su gran mayoría los filtros a presión son exclusivamente intermitentes y aún cuando actualmente se fabrican filtros a presión continuos, éstos presentan como principal desventaja la dificultad para descargar la torta desde una presión superior a la atmosférica lo cual limita considerablemente su uso por lo que en su gran mayoría continúan siendo operados en forma intermitente.

Las ventajas de estos equipos son:

- 1.- La aplicación de alta presión permite filtraciones relativamente rápidas y permite separaciones difíciles que de otra manera serían muy lentas.
- 2.- Su compactación provee grandes áreas de filtración por unidad de espacio de planta ocupadas por el filtro.
- 3.- Los filtros a presión intermitentes ofrecen una flexibilidad más grande que los de cualquier otra clase a relativamente menor costo.

Las desventajas principales son:

- 1.- El buen desarrollo que depende de los filtros a presión intermitente es difícil de adaptar a procesos continuos y en muchas aplicaciones es costoso operar.
- 2.- Los filtros continuos a presión son algo inflexibles y el equipo es caro.

A la fecha se han desarrollado una gran variedad de estos equipos, a continuación damos una pequeña descripción de los filtros a

operación más comúnmente utilizados en la Industria.

II.6.3.1.- Filtros Prensa: (Placas y Marcos).

El filtro prensa ha sido el mejor conocido y quizá el más utilizado de los filtros intermitentes a presión; ocupa menor espacio de piso por unidad de área que cualquier otro filtro, ver tabla 1.

Los materiales de construcción son muy variados entre los más comunes: Hierro, Aceros, Madera y algunos Plásticos.

Este tipo de filtro es versátil para la filtración de sustancias de diferentes características; pueden manejarse satisfactoriamente soluciones viscosas mediante aplicación de alta presión; el sellado entre placas y marcos es un problema serio cuando se filtran líquidos tóxicos o volátiles.

Su costo de operación se hace elevado por el trabajo que implica su descarga y limpieza.

El diseño más usual de este equipo consiste en placas y marcos alternados los cuales se soportan sobre un bastidor y se unen aplicando presión por medio de un mecanismo de cierre el cual puede ser de torta o tornillo hidráulico. Fig. 4.

En muchos casos de filtración resulta conveniente hacer uno o varios lavados a la torta a fin de remover el solvente atrapado en

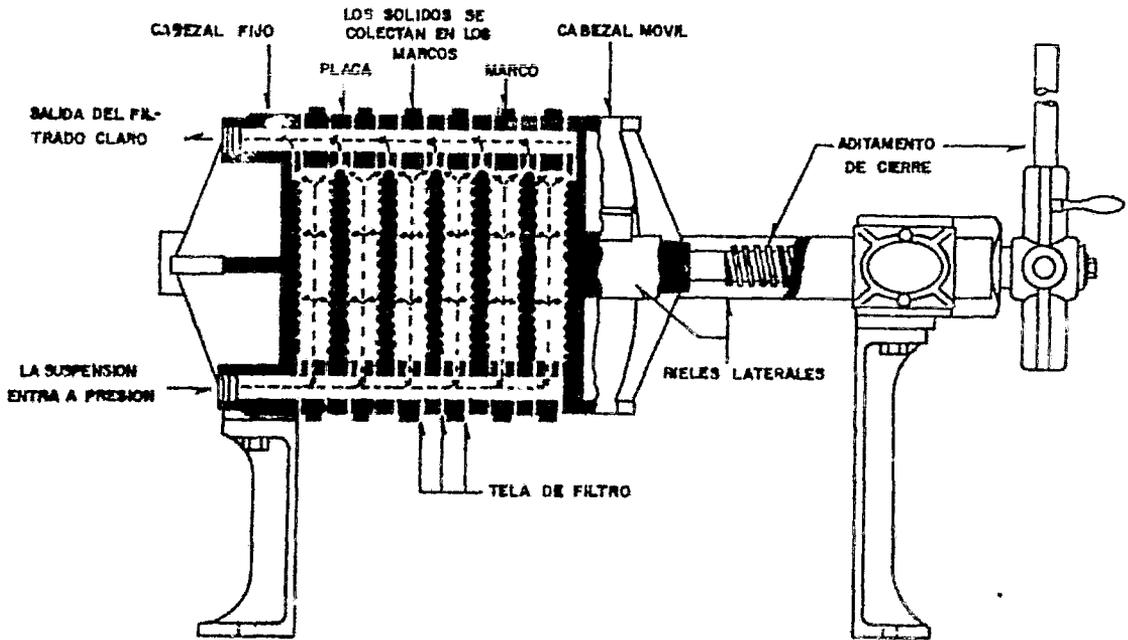
la torta o disolver impurezas principalmente en casos en los que lo importante es la recuperación de la torta.

Existen filtros prensa provistos de un sistema de lavado a con tracorriente o bien puede hacerse utilizando los propios ductos de alimentación y descarga.

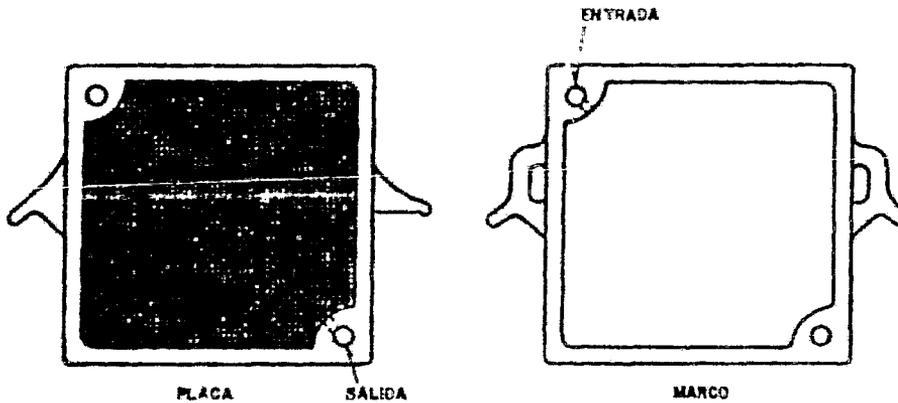
Tabla 1.

Area y Capacidad Volumétrica en filtros Prensa.

MEDIDA	NO. PLACAS	AREA DE FILTRACION m ²	CAPACIDAD EN CONSIDERANDO 2.54 cm (1")	m ³ POR PLACA ESFACIOS DE 5.08 cm (2")
15.24 cm	5	0.1840	0.0047	0.0009
25.4 cm	5	0.5574	0.0071	0.0142
	9	0.9290	0.0119	0.0235
	5	0.8528	0.0093	0.0216
30.5 cm	10	1.5654	0.0199	0.0398
	15	2.2761	0.0289	0.0578
	20	2.9868	0.0379	0.0759
45.7 cm	20	7.1999	0.0915	0.1829
	30	10.8696	0.1385	0.2769
	40	14.3999	0.1832	0.3664
60.9 cm	20	13.0993	0.1665	0.3330
	30	19.3238	0.2458	0.4916
	40	25.5483	0.3256	0.6513



A) ESQUEMA DE FILTRO PRENSA SECCIONADO



B) PLACA

C) MARCO

A) FILTRO PRENSA		TESIS
B) PLACA C) MARCO		
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA No
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		4

Los medios filtrantes que pueden ser utilizados en estos filtros son muy diversos como son: lona, tela sintética, papel filtro o malla de alambre. Estos medios filtrantes se recortan al tamaño de la placa y marco y se le hacen los agujeros para permitir la -- formación del canal que atraviesa las placas y los marcos; el medio filtrante se coloca entre cada cara de la placa y el marco, funcionando a la vez como empaquetadura.

La suspensión a filtrar es bombeada por el ducto de alimenta-- ción el cual tiene salidas en cada uno de los marcos, la suspensión llena la cavidad dejada por los marcos, la presión inducida al fluido obliga a que fluya la solución a través del medio filtrante mientras que los sólidos se acumulan sobre el medio filtrante formando la torta.

El filtrado fluye entre la tela o medio filtrante y la cara de la placa hacia el ducto de salida.

Conforme continúa la filtración, la formación de la torta se - incrementa hasta que las tortas formadas a cada lado del marco se - unen en el centro, en tanto esto sucede el flujo de filtrado va disminuyendo hasta convertirse en goteo, aunque normalmente en la práctica la filtración se detiene antes de llegar a este goteo.

II.6.3.2.- Filtros de Hojas:

Este tipo de filtros son también muy utilizados en la industria

para las separaciones sólido-líquido se construyen en dos variantes: Horizontal y Vertical. A continuación se describen brevemente ambos equipos.

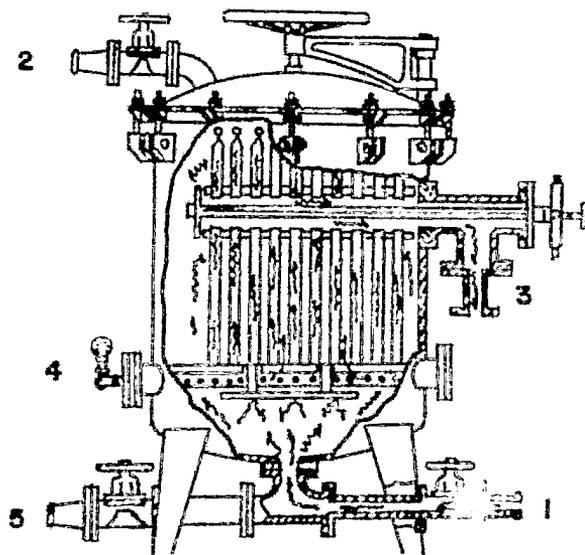
En la figura (5) se muestra un diseño de estos filtros los cules consisten básicamente en:

a).- Cámara filtrante provista de tapa en la parte superior lo cual debe permitir el acceso para remover las placas, cuando sea necesario efectuar cambio de medio filtrante u otra operación de mantenimiento, se debe de cerrar herméticamente a fin de evitar fugas de solución al efectuar la filtración ya que son filtros a presión. - Asimismo la cámara está provista de una entrada de aire comprimido (en algunos diseños).

b).- Hojas que bien pueden ser placas rígidas ranuradas o bien huecas las cuales sirven como soporte al medio filtrante y permiten el flujo de filtrado hacia la descarga.

c).- Soporte: sobre el cual descansan las hojas y que a la vez funciona como ducto de descarga de filtrado.

Operación: la solución a filtrar es impulsada por un equipo de bombeo de acuerdo a la capacidad y diseño del filtro y entra a la cámara filtrante por la válvula (1), la presión de operación obliga el paso de filtrado a través del medio filtrante canalizando por el soporte a la descarga (3), los sólidos son retenidos por el medio filtrante y se acumulan hasta formar la torta de saturación de acuerdo al diseño del equipo.



- 1) VALVULA DE ENTRADA A LA CAMARA FILTRANTE
- 2) PURGA
- 3) DESCARGA
- 4) ENTRADA DE AIRE COMPRIMIDO
- 5) VALVULA DE DRENE

FILTRO DE HOJAS VERTICALES		TESIS
		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA No
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		5

Estos equipos de filtración generalmente están provistos de una purga (2) a fin de eliminar el aire contenido en la cámara filtrante previa la filtración.

Algunos diseños de estos equipos incluyen una entrada de aire - comprimido para el secado y eliminación de torta sin haber necesidad de destapar el filtro para su limpieza; lo anterior se logra colocando una válvula en la descarga (3), la cual debe ser cerrada al igual que (1) y (2); se introduce el aire comprimido por (4) haciendo que la torta caiga de las bolcas y sea descargada por la válvula de drenaje (5) lo anterior implica el no tener que destapar el filtro sino hasta que exista la necesidad de cambiar las bolcas o efectuar alguna reparación, lo anterior significa un considerable ahorro en tiempo dentro de un ciclo de filtración.

En la tabla (2) se dan algunos datos típicos de rendidas y capacidades de estos equipos:

Tabla 2.

Area Filtrante m^2	Espacio de Torta m^3	Velocidad de Filtración $m^3/h.$
0.3252	0.0021	0.467
0.6503	0.0042	0.931
0.9290	0.0059	1.330
1.6723	0.0159	2.394
2.2297	0.0212	3.192
3.5303	0.0337	5.054
5.5742	0.0530	7.980
8.8258	0.1133	12.654
12.0074	0.1529	17.290

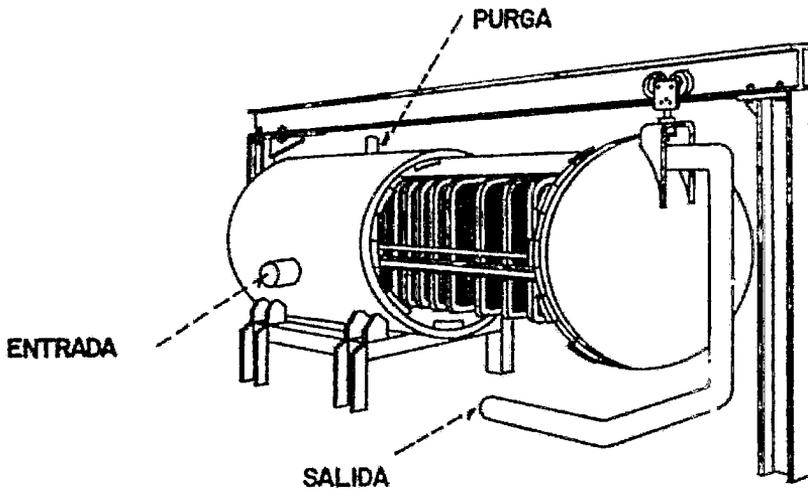
Area Filtrante m ²	Espacio de Torta m ³	Velocidad de Filtración m ³ /h.
15.7935	0.2010	22,800
21.3677	0.2718	30,400
28.2425	0.3596	41,940
39.4838	0.5012	56,600

* En base a una velocidad de 1.425 m³/m² hr.

II.6.3.3.- Filtro horizontal de hojas verticales.

La operación del filtro de hojas verticales es muy similar al descrito anteriormente siendo su principal variante el tanque horizontal; estos equipos se construyen en tamaños considerablemente -- grandes y pueden abrirse rápidamente para limpieza, en la figura 6 se muestra un tipo de estos equipos.

Los filtros a presión de hojas son usados para la separación - de muchos tipos de fluidos ligeros en los que igualmente pueden ser utilizados los filtros prensa teniendo ventajas sobre estos últimos principalmente cuando se requiere una filtración con filtrosayudas o clarificaciones donde permite largos tiempos de producción a condiciones de filtración casi constantes; cuando se trata de fluidos volátiles y vapores; cuando se requiere de un lavado de torta se evita el goteo y las fugas debido a las condiciones de la cámara, si no es necesario efectuar cambio de medio filtrante con frecuencia se reduce considerablemente el tiempo de trabajo en cada ciclo de limpieza lo cual los hace considerablemente más convenientes que los filtros prensa.



FILTRO DE HOJAS VERTICALES		TESIS
TANQUE HORIZONTAL		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA No.
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		6

II.6.3.4.- Filtros de Platos horizontales.

En este otro tipo de filtro a presión el cual es muy utilizado principalmente para la clarificación final de soluciones que contienen cantidades mínimas de sólidos, la facilidad para aplicar una capa inicial de algún tipo de filtro ayuda los hace aún más aplicables en Industrias tales como: Galvanoplastia, alimenticia, farmacéutica, pinturas, etc.

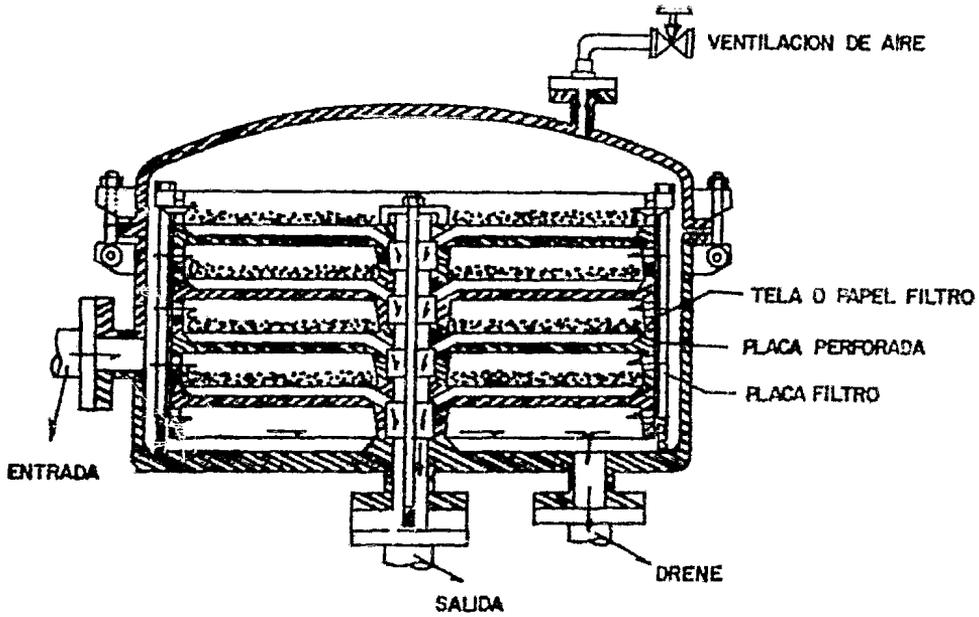
En la figura (7a) se ilustra este filtro el cual consiste básicamentemente en:

a).- Cámara filtrante: con tapa en la parte superior, esta puede - ser quitada totalmente o desplazada 90° permitiendo el acceso al interior de la cámara; sobre esta tapa se coloca una purga y en algunos diseños también un manómetro; la tapa debe ser sellada herméticamente utilizando algún empaque y aplicando presión mediante tornillaría.

La cámara se ahueca en el centro de la parte inferior, donde - se coloca el soporte de los platos y que a la vez funciona como ducto de descarga; la alimentación se hace generalmente lateral; algunos diseños incluyen un drene en la parte inferior de la cámara.

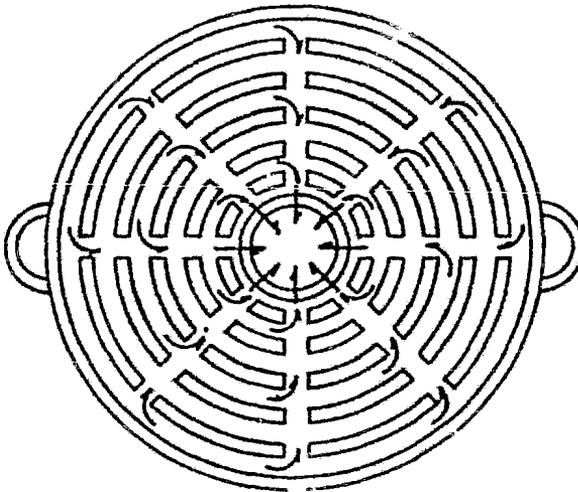
b).- El plato, que consiste en un disco ranurado y con canales de - recolección hacia el centro donde es ahuecado, los tamaños más usuales de construcción de estos discos son en el rango de 20 a 80 cm. de diámetro. Fig. (7b.).

A)



TORTA

B)



A) FILTRO DE PLATOS HORIZONTALES		TESIS
B) PLATO		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA No.
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		7

c).- el medio filtrante se coloca sobre cada plato y se utilizan: papel filtro, tela de algodón y otras telas sintéticas.

d).- Varilla central para sujeción de los platos y a su vez ejercer una presión para lograr un buen sellado entre plato y plato; esta se auxilia para tal efecto con otras varillas distribuidas en la periferia del plato, pueden ser 2 o más en función del diámetro del plato.

La principal ventaja que presentan estos filtros es la formación de una torta uniforme sobre los platos horizontales, permitiendo parar el filtro sin que la torta caiga, (como sería el caso del filtro de hojas), lo que facilita la colocación de una precapa con filtroayudas cuando se requiere. Su principal desventaja es que para su limpieza se requiere de sacar fuera de la cámara los platos - lo cual implica un tiempo de trabajo y hace que el ciclo de filtración sea más tardado.

En la tabla (3) se muestran las medidas y capacidades más comunes de estos filtros.

Tabla 3.

Area Filtrante m ²	Espacio de Torta m ³	Velocidad de Filtración l/h.
0.0929	0.0021	140.0
0.2973	0.0059	418.0
0.5760	0.0255	824.6
0.8547	0.0382	1216.0

Area Filtrante m ²	Espacio de Torta m ³	Velocidad de Filtración l/h.
1.1427	0.510	1634.0
1.7187	0.0765	2470.0
3.7161	0.0850	5320.0
5.5742	0.1388	7980.0
7.0142	0.1784	9994.0
9.2903	0.2407	13300.0
13.1922	0.3568	19000.0

* Basado en una velocidad de 1.425 m³/m² hr.

Estos equipos son muy utilizados en la Industria de Galvano--plastía debido principalmente a la gran versatilidad que presentan por el simple hecho de hacer cambio de medio filtrante el cual puede ser; papel filtro el cual nos dá una gran gama de porosidades y resistencia a gran cantidad de Compuestos; tela de algodón u otras telas sintéticas de acuerdo al tipo de aplicación específicos.

Otra de las ventajas que presentan estos equipos es la facilidad para obtener una capa uniforme de filtroayuda sobre la superficie filtrante de tal forma que aún cuando se deje de ejercer la presión proporcionada por la unidad de bombas; esta capa permanece sostenida sobre el medio filtrante.

Los materiales de construcción de estos equipos son muy diversos y pueden encontrarse combinaciones que resulten óptimas en suan

to a resistencia mecánicas y químicas así como a la inversión inicial y costos de mantenimiento.

Estos equipos resultan muy convenientes para la filtración de soluciones galvánicas ácidas desde la mayor permeabilidad, menor viscosidad y por lo tanto menor resistencia al flujo por área filtrante.

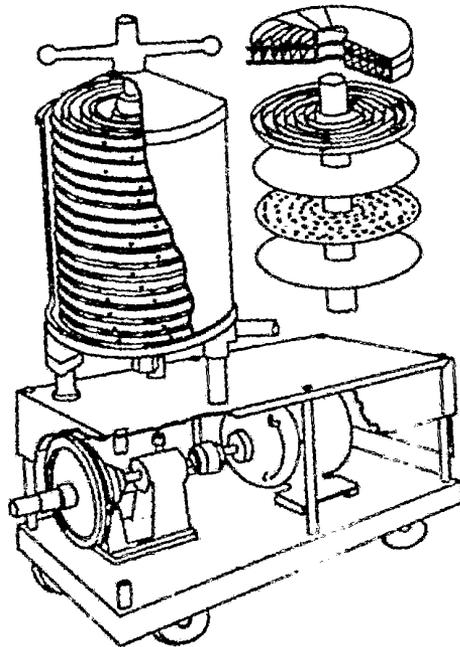
Los costos de mantenimiento en estos equipos resultan bastante económicos ya que una buena elección del medio filtrante significaría un tiempo de vida útil muy considerable y el único material de desecho serían los filtroayuda una vez lograda la saturación del filtro.

II.6.3.5.- Filtro de Discos Horizontales.

Al igual que el filtro de platos horizontales es muy utilizado para clarificaciones básicamente en la Industria alimenticia y farmacéutica.

En la fig. (8) se ilustra un tipo de filtro a presión de múltiples discos, se asemeja al filtro de hojas en que la formación de la torta se logra en ambos lados (arriba y abajo) de los discos filtrantes.

La solución a filtrar entra a la cámara por un ducto lateral colocado al fondo de esta y fluye por el exterior de los discos en-



FILTRO DE DISCOS HORIZONTALES		TESIS
		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA No
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		8

samblados y pasa a los anillos colectores a través de las perforaciones laterales de los discos, atraviesa el medio filtrante y fluye hacia el centro donde los discos forman el ducto de descarga que está conectado al centro del fondo de la cámara filtrante.

El filtro puede ser desarmado completamente para su limpieza y reensamblado para un nuevo ciclo de filtración. Las medidas y capacidades de estos filtros son mostradas a continuación en la tabla 4.

Tabla 4.

Area Filtrante m ²	Velocidad de Filtración lt/hr.
0.1301	190.0
0.2601	380.0
0.5203	760.0
1.9324	1976.0
3.8648	3952.0

En base a una velocidad de 1.425 m³/m²/h.

Los materiales de construcción más comúnmente utilizados en estos filtros son: Hierro fundido, Acero, Acero Inoxidable, Monel, Níquel.

Este equipo es muy similar al de platos horizontales, su principal ventaja sobre este, es que en un mismo volumen de cámara fil-

trante se puede obtener casi el doble de área filtrante ya que en un disco se aprovechan ambas caras, la desventaja en este sentido es la posibilidad de desprendimiento de la precapa que ha sido retenida en las caras inferiores, cuando se deja de ejercer presión en la cámara filtrante al parar la bomba; sin embargo, esto puede evitarse con la colocación de una válvula Check a fin de mantener la presión interna en la cámara filtrante.

II.6.3.6.- Filtro de Tubo Poroso

Estos filtros se fabrican utilizando uno o varios tubos de diversos materiales, siendo los más comunes: Cerámica, Aceros, Polipropileno, etc. Con un área abierta de 38 a 40 utilizan como medio filtrante bolsas de tela o lona con retención controlada y más comúnmente se utilizan como filtros de precapa aplicando algún tipo de filtro-ayudas para lograr una filtración más eficiente. La solución es bombeada a la cámara, las impurezas son retenidas en la precapa o el medio filtrante y el filtrado fluye por el interior del tubo hacia una cámara de recolección a la que se conecta la descarga.

Algunos diseños de estos filtros incluyen sistema para retrolavado, así como secado y eliminación de torta, utilizando aire comprimido en forma similar a la descrita en los filtros de Hojas.

Los diámetros y largos más utilizados para los tubos de estos filtros son: (6,35 x 25.4), (8.9 x 25.4), (8.9 x 35.6), (11.5 x 71.1) cm. con un gasto de 380 a 1140 litros por hora cada tubo.

Tienen la misma desventaja que el disco horizontal cuando se utiliza precapa.

Se considera su principal ventaja la simplicidad en su construcción e inversión inicial.

II.6.3.7. Filtros a Presión Automáticos.

Recientemente ha sido introducido un filtro automático el cual es aplicable principalmente para clarificaciones. Con este equipo se logra eliminar o reducir considerablemente la mano de obra, así como el tiempo necesario para limpieza y mantenimiento por lo que los ciclos de filtración se hacen más eficientes. Los materiales de construcción más utilizados en estos equipos son el Acero Inoxidable y Aceros recubiertos de hule.

En la fig. (9) se muestra un diagrama de estos equipos.

Ciclo de Filtración: la misma operación de limpieza pone en marcha el equipo automáticamente; las tapas laterales (1) son selladas contra los extremos de la cámara filtrante (2); la bomba (3) extrae la solución a filtrar por la línea de succión (4) y la alimenta al interior de la cámara filtrante bajo una presión continua. A través de la línea de entrada (13) la solución es forzada a pasar el medio filtrante (5) el cual descansa sobre una placa perforada en el fondo de la cámara del filtro: la solución filtrada es descargada por la línea de salida (6).

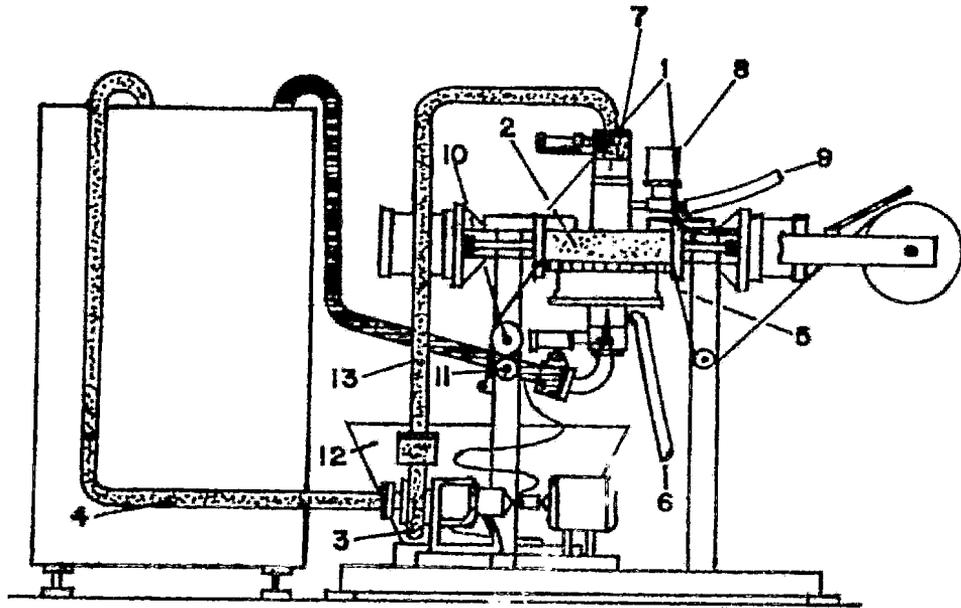


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN FILTRO AUTOMATICO		TESIS
		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA N.º
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		9

El motor y la bomba (3) paran automáticamente a una señal del medidor de tiempo (timer) o un control de presión en la cámara, la válvula (7) cierra impidiendo el paso de la solución a la cámara -- filtrante, se abre la válvula de aire (8) permitiendo la entrada de éste por la línea (9); el aire fuerza a la solución remanente a la cámara a pasar a través del medio filtrante y secando a su vez la torta, el filtrado sale por la línea (6). Una vez desalojada la solución de la cámara filtrante se cierra la válvula (8) del aire, las tapas laterales (1) se abren y el rodillo matriz (10) estira el medio filtrante usado sobre la placa y lo saca de la cámara, quedando sobre la placa un nuevo medio filtrante limpio; la torta es removida por una hoja raspadora (11) y separada del medio filtrante, el medio filtrante usado y la torta caen dentro de la caja (12), cuando el nuevo medio filtrante cubre la placa el rodillo matriz (10) para. Las puertas laterales (1) cierran, se abre la válvula (7) y se arranca nuevamente la bomba para repetir el ciclo de filtración.

Se fabrican rollos de medio filtrante en varios grados de porosidad que van desde las 4 microneas así como también se fabrican con impregnación de carbón activado para aquellos procesos en que se requiere de este tratamiento. En la tabla (3) se muestran algunas de las especificaciones de estos filtros.

Tabela 5.

Ancho del medio filtrante cm.	Area Filtrante m ²	Velocidad de flujo m ³ /hr.
32.38	0.1858 - 0.4645	13.680 - 34.200
57.15	0.5574 - 1.1148	38.000 - 82.080
91.44	1.3935 - 1.9510	102.600 -143.640

II.6.3.8.- Filtros de Cartucho.

Los filtros de cartucho del tipo de canales son adecuados para retención de partículas de 1 a 100 micrones y debido a la variedad de porosidades disponibles, son los más apropiados para operar a condiciones altas de carga de lodos. Esto es un resultado de la forma en la que se fabrican los filtros de cartucho tipo profundos. Básicamente, consisten de una serie de capas, las cuales están formadas por un acanalamiento alrededor de un núcleo para formar una abertura de diamante. Las fibras que se tienden a través de la abertura de diamante, son el medio filtrante. Las capas subsiguientes enganchan a las fibras previas en su lugar y, desde el momento que hay el mismo número de aberturas de diamantes en cada capa, las aberturas llegan a ser más grandes debido al incremento en la circunferencia.

Durante la filtración, las partículas más grandes son retenidas

en las capas más externas del cartucho donde las aberturas son más grandes, mientras que las partículas más pequeñas son retenidas selectivamente por las aberturas más pequeñas en las siguientes capas interiores. Esto hace posible que un cartucho individual tenga una capacidad de retención de lodos igual a 0.32516 m² de área superficial de la misma densidad. Los cartuchos que tienen una retención de 15 a 30 micrones, a menudo retienen de 170 a 226.8 gms. de sólidos secos antes de que sea necesaria la sustitución del mismo, mientras que los cartuchos de 10 micrones a 1 micrón, tendrán una capacidad de retención de quizá 85 gms. o menos de 14.2 gms.

Esto indica que los cartuchos más gruesos y amplios, tienen una capacidad de retención mayor, son más económicos y pueden ser usados por períodos de tiempo mayores, antes de que sea necesario sustituirlos.

Un factor importante a considerar en el diseño de los filtros de cartucho, es que las cargas de lodos, varían en función del tipo de baño y tamaño del tanque, y los cartuchos deberán ser seleccionados de acuerdo a los requerimientos individuales. Un cartucho compacto, tiene menos capacidad de retención de lodos, se saturará más rápidamente, aumentando la presión y por lo tanto reducirá el flujo.

Usando cartuchos más gruesos (> 30 micrones) por ejemplo -- para Zinc, tienen una mayor capacidad de retención de lodos y proporcionan una mayor vida de servicio, lo que puede hacer posible clarificar el tanque de solución de galvanizado más rápidamente de-

bido a la alta velocidad de flujo obtenida. Esto, va acompañado de un costo menor. Usualmente se recomienda utilizar dos cartuchos - por cada 378.5 lts. (100 gal.) de capacidad del Tanque (para soluciones de Zinc, Estaño y Cadmio, se recomiendan 2 cartuchos).

La bomba deberá suministrar a una velocidad de bombeo de 380 - LPH (2 vueltas por hora) para cada cartucho. Normalmente se puede esperar que la vida de un cartucho sea de 6 semanas para Nickel o 4 semanas para Zinc, con una solución de galvanizado de 18 semanas de operación, sin embargo, ésto depende de la carga de lodo de la solución, el tiempo (horas) de galvanizado, etc. Con el uso de cartuchos, se puede retener una alta cantidad de lodo en la cámara del filtro debido a la constitución del medio filtrante. Puede emplearse mayores velocidades de flujo durante la extensión de vida del - cartucho. Esto se debe en parte a las cabezas de presión más altas de las bombas, empleadas sin riesgo de la ruptura de un cartucho. - Desde que todos los lodos son retenidos sobre y dentro del cartucho los filtros de cartucho pueden ser desconectados y encendidos al - mismo tiempo, a menos que los cartuchos sean de precapa. Los cartu - chos se cambian con bajo costo de mantenimiento y ninguna pérdida - de solución. Sin embargo, su simplicidad de uso es quizá el factor predominante en su selección.

II.6.3.9.- Filtros de Precapa.

Los filtros de precapa consisten de una membrana (hoja, malla o tamiz) tal como un papel, tela, cerámica, metal sintetizado, malla de alambre o cartuchos devarados. Estas membranas soportan la diatomita o filtroayuda tipo fibrosa, que ha sido mezclada en una lechada acuosa de solución de galvanizado y recozida por las aberturas de la membrana. Los lodos son retenidos sobre la otra superficie de la torta. Cuando la presión se ha incrementado y la velocidad de flujo disminuye a un punto donde la filtración es ineficiente los lodos y la torta son lavados en la membrana. Las membranas de papel son desechadas y sustituidas.

La capacidad de obtener corridas más largas depende de la selección apropiada del cemento del medio, acoplada con filtroayudas más asperos de lo usual no fibrosos (se usarán cuando ésto sea posible) Adicciones periódicas (si es posible diariamente) de pequeñas cantidades de filtroayuda se deberán hacer al extender el ciclo entre cada servicio. La capacidad de retención de lodos de éste tipo de filtro se mide usualmente en ft^2 o m^2 de superficie filtrable. (Si se usa el cartucho de tamaño standard de 6.35 cm. (2.5 in) de diámetro por 25.4 cm. (10 in) de largo, en superficie exterior cuando se utiliza precapa será equivalente a cerca de 0.0506 m^2 de área) La velocidad de flujo y la capacidad de retención de lodos de las diferentes membranas de precapa o cartucho serán aproximadamente iguales.

Antes de la precapa, el operador deberá conocer o determinar -
el área de filtración que será cubierta. La cantidad de filtroayuda
usado depende de su tipo y de la solución que será filtrada. Ge-
neralmente, 60.84 a 267.4 $\frac{\text{Ppm}}{\text{m}^3}$ de filtro son suficientes.

Las recomendaciones del fabricante para el tipo y cantidad de
filtroayuda deberán seguirse, para obtener resultados óptimos. Una
lecnada de filtroayuda y solución de galvanizado o agua es mezclada
en un recipiente separado el cual será una parte integral del siste-
ma de filtración. La mezcla de precapa se bombea a través del me-
dio filtrante para dejar un depósito de torta de precapa en el me-
dio filtrante.

El rango de velocidades de flujo usual, es de 20.4 a 81.5 -
 $\frac{1 \text{ pm}}{\text{m}^2}$ de superficie del filtro. La velocidad más baja indica reten-
ción de los finos, y las partículas más pequeñas serán eliminadas.
Se deberá apuntar que el rango de selectividad de las partículas -
que son eliminadas están entre 0.5 y 5 micrones, lo cual es la ma-
yor diferencia de significancia entre los cartuchos de precapa y -
los de tipo profundo, los cuales ofrecen una opción más amplia de
porosidad.

La formación de la torta será gradual, y la recirculación se -
deberá continuar hasta que la solución esté totalmente clara. La -
torta se deberá dispersar uniformemente a través del medio antes de
que la solución de galvanizado fluya a través del filtro.

Es conveniente la instalación de una válvula entre el tanque -
de la solución y el sistema de filtración lo que reduce el tiempo y

la operación del mantenimiento del filtro.

La lechada puede prepararse con solución de galvanizado, en lugar de agua, para evitar que la dilución del baño sea crítica. A través de la válvula, la solución es conducida al tanque de lechada para muestreo, preparación de la lechada y adición de químicos. En forma similar, la solución es recirculada al tanque de galvanizado. Este método elimina la necesidad de intercambiar mangueras entre los tanques, con el consiguiente riesgo de pérdidas de la torta o pérdida por cebado de la bomba. Los tanques de lechada o precapa integrados al sistema de filtración es un almacenamiento conveniente para la recirculación de agua.

II.6.3.10.- Filtros de Retrolavado de Precapa.

Operan de la misma forma que los descritos en el punto anterior y tienen el mismo propósito funcional que los de precapa ordinarios, con la ventaja de que se puedan limpiar rápidamente al invertir el flujo a través del medio filtrante. La eliminación por recirculación del filtro ayuda y los lodos, permite que el medio filtrante esté inmediatamente en condiciones de ser operado, añadiéndole nuevamente la lechada de precapa.

La ventaja principal de éste tipo de filtros, es la de que la cámara del filtro no necesita ser abierta cada vez que el filtro requiere limpieza.

II.6.3.11.- Cámaras de Filtración.

El tamaño de la cámara de filtración cuerpo del filtro o porta cartuchos, depende del volumen de solución o caudal deseado, la viscosidad del fluido, la carga de lodos y la velocidad de los ciclos de filtración. Con estos datos, se determinan el número de tubos filtrantes o cartuchos necesarios que proporcionen el área de filtración requerida y con ello el tamaño del cuerpo o cámara de filtración que alojará a los cartuchos o elementos filtrantes.

En la práctica se ha determinado que para 3785 lts. (1000 gal.) de solución de galvanizado en condiciones normales de pureza, se requieren 20 cartuchos con un tanque de dos ciclos por hora. Este filtro, tendrá una capacidad máxima de retención de lodos de 4.53 Kg. (10lb) (15 micrones de porosidad).

Con los filtros más finos a altas cargas de lodos o sólidos flocculantes, el tamaño de la cámara se deberá incrementar a una capacidad de 30 cartuchos con el fin de operar con un mínimo de mantenimiento por limpieza al filtro. Si se prefiere un filtro de prepa, serán necesarios para 380 litros (100 gal.) de una solución de galvanizado en condiciones normales de pureza, por lo menos 0.93 cm² (10 ft²) de área superficial de filtrado.

Se ha encontrado que la vida efectiva de los cartuchos puede a menudo ser triplicada al duplicar el número de cartuchos, y por consiguiente el área de filtración. Al incrementar la capacidad de retención de lodos y reducir la frecuencia del servicio y sustitu--

ción de cartuchos del filtro, se reduce substancialmente el costo de la filtración en una base mensual o anual. Duplicar el tamaño de la cámara de filtración puede hacerse con un incremento en costo relativamente pequeño.

Los materiales de construcción de la cámara de filtración dependen del tamaño, corrosividad del fluido, y de las condiciones de operación como la temperatura y la presión, además a otras propiedades y características del fluido. La mayoría de los fabricantes, en la práctica, usan una variedad de plásticos o metales compatibles con las diferentes formulaciones de las emulsiones de glic variando a milímetros.

Así tenemos que se emplea el acero para soluciones al alcohol y acero o acero inoxidable con plásticos para emulsiones ácidas, que con los intermedios y ácidos para soluciones de filtración grandes (más de 60 cartuchos).

Los filtros de membranas por utilizar cámaras de acero con PVC, recubrimiento de óxido y fosfatos, se debe de resistir temperaturas comúnmente es con soluciones de glic. Para cámaras de filtración pequeñas hasta 60 cartuchos se recomienda el uso de recubrimientos de PVC. Para cámaras pequeñas se emplean materiales como polipropileno, CPVC, acrílico y plásticos AES o Pyrex. El uso de los materiales plásticos proporciona: buen servicio y alta resistencia a un costo menor que el empleo de acero. En algunos casos para soluciones, puede justificarse el uso de acero inoxidable.

Para soluciones a alta temperatura, el mejor plástico es el PVC, y en seguida el polipropileno.

Recientemente, algunos fabricantes han tenido excelentes resultados al emplear mezclas de poliéster y fibra de vidrio, obteniendo una alta resistencia para una amplia gama de soluciones.

II.6.3.13.- Filtros de Vacío.

El filtro de vacío más simple es el utilizado en laboratorio: un embudo Erlenmeyer; industrialmente existe gran variedad de tipos que tienen como característica principal el tener un espacio de vacío, la cual se emplea para retirar la presión atmosférica a fin de aumentar el poder de filtración del medio filtrante.

A continuación se describen los dos tipos de filtros más comunes que se emplean más generalmente en la industria química y mineral.

Estos pueden ser los tipos de vacío y presión y están divididos en dos categorías: de vacío y de presión. Los de vacío se emplean para los comprimidos sobre la periferia del tanque. El vacío se aplica a todo el interior del tanque.

La mayoría de estos equipos utiliza la primera categoría ya que representa una mayor versatilidad.

El principal elemento de este filtro consiste de un tambor cilíndrico horizontal de 3 a 4.5 m. de diámetro y de 1.5 a 2.5 m. de largo, la periferia del tambor está dividida en compartimientos y cada uno de ellos está provisto con un número de láminas de drenaje, las cuales están colocadas en el interior del tambor y terminan en un espejo cubierto con la válvula rotatoria; por la que se aplica el vacío, la superficie del tambor está cubierta con un sistema de drenaje y el medio filtrante.

El tambor se acciona en rotación y rota parcialmente sumergido (hasta un 10%) dentro del tanque conteniendo el material a ser filtrado. La velocidad de rotación se determina de acuerdo al tamaño, al segmento que se emplea, al tiempo que se requiere para renovar la corte sobre el medio filtrante.

El accionar de la corte es una función de la velocidad del segmento sumergido, del grado de vacío y de las características de la suspensión a ser filtrada. La velocidad de giro del tambor es generalmente de 1 a 1.5 RPM, para velocidades altas las que exceden de este rango, cuando se trata de materiales de fácil filtración se utilizan velocidades de hasta 2 RPM.

Cada compartimiento gira con el tambor efectuando el mismo ciclo de operación, el tiempo de cada operación está determinado

por la velocidad y el arreglo de la válvula.

Un ciclo normal de Operación consiste en:

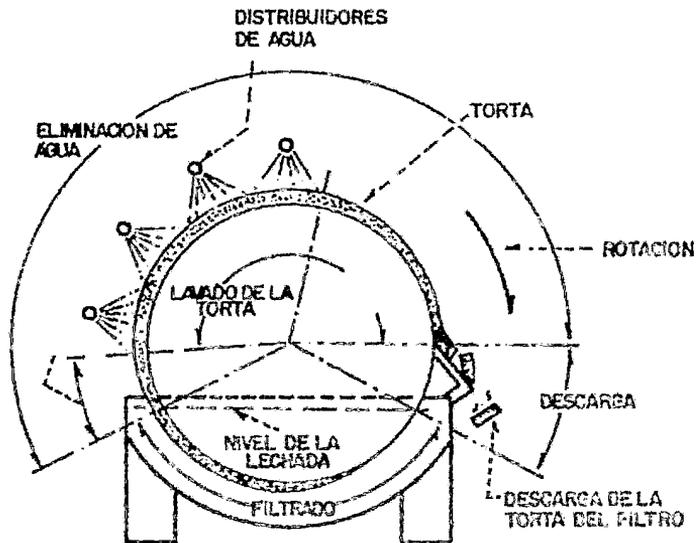
- a).- Filtración.
- b).- Lavado.
- c).- Secado.
- d).- Descarga.

Para obtener una buena operación continua, es necesario mantener el medio filtrante en óptimas condiciones de limpieza, por lo que se hace necesario una descarga total de la torta; para esto es necesario determinar la resistencia efectiva de los filtros y de acuerdo a esto, diseñar el sistema más adecuado de descarga. Existen varios sistemas los más comunes:

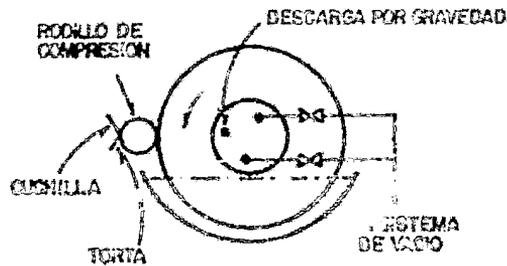
- a).- Descarga por cuchilla: utiliza una cuchilla la cual está colocada de tal manera que el tambor gira muy cerca de la arista de la cuchilla; la torta es removida por su propio peso o por aplicación de aire comprimido para auxiliar la descarga. Fig. 106.
- b).- Descarga por raíllos: en este sistema la torta es transferida del tambor al raíllo de descarga y posteriormente separada por una cuchilla. Fig. 107.

Cuando se requiere operar la filtración de un líquido conteniendo sólidos extremadamente finos o sólidos tipo tapón (tal es el caso de clarificaciones) se hace necesario la utilización de --

A)

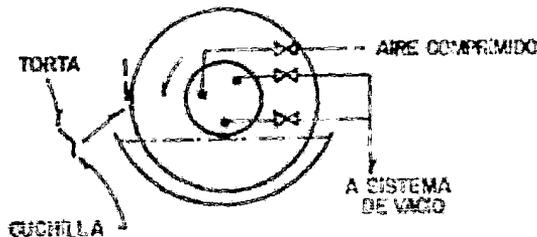


B)



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

C)



FILTRO ROTATORIO DE VACIO, SISTEMA DE DESCARGA POR CUCHILLA

PRINCIPIO BASICO DE OPERACION DE FILTRACION AL VACIO ROTATORIA CONTINUA (A)		TESIS 1983
FILTROS ROTATORIOS DE VACIO CON SISTEMA DE DESCARGA CON CUCHILLA Y RODILLO DE AVANCE (B) Y SIST. DE DESCARGA POR CUCHILLA (C)		
JOSE BARRERO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA NO
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		10

una precapa. El establecimiento de la precapa debe efectuarse utilizando una suspensión que contenga baja concentración de sólidos y el filtro-ayuda para la formación de la precapa; se requiere de altas velocidades del tambor y baja sumergencia a fin de obtener una capa delgada en cada revolución, asegurando una cama uniforme y compacta la cual no se deteriore fácilmente en la operación. Para lograr una máxima economía en la operación de un filtro de vacío de tambor de precapa debe ofrecer lo siguiente:

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

Actualmente se utilizan sistemas mecánicos e hidráulicos -- para lograr el control de avance de la cuchilla.

El presente informe describe el funcionamiento de los equipos de filtración.

A continuación, en la Tabla 6, se presenta una tabla comparativa de Equipos de Filtración.

Esta tabla puede ser incrementada de acuerdo con las variables y equipos de interés para cada proceso de filtración.

TABLA 6

TABLA COMPARATIVA DE EQUIPOS DE FILTRACION

CARACTERISTICA EQUIPO	TIPO DE OPERACION 1 INTERMITENTE 2 CONTINUA	RECUPERAR 1 TORTA 2 FILTRADO 3 AMBOS	% DE SOLIDO DE LA SOLUCION	VELOCIDAD DE FILTRACION	SOLIDO 1 COMPRESIBLE 2 INCOMPRESIBLE	ESPACIO DE PISO	COSTO INICIAL	COSTO DE MANTE-NIMIENTO	AREA DE FILTRACION	FACILIDAD PARA UTILI-ZAR PRECA-PA.	FACILIDAD DE OPERACION	DISPONIBILIDAD DE MA-TERIALES DE CONSTRUC-CION.
1) FILTROS DE GRAVEDAD :												
FILTRO DE ARENA	1	2	< 1 %	B	2	A	B	A	B	N	B	A
2) FILTROS A PRESION :												
FILTRO PRENSA	1	3	10-20 %	M-A	1	B	A	M	A	B	M	A
FILTRO DE HOJAS	1	3	10-20 %	M	1	B	M	M	A	B	M	A
FILTRO HORIZONTAL DE HOJAS VERTICALES	1	3	10-20 %	M	1	B	M	M	A	B	M	A
FILTRO DE PLATOS HORI-ZONTALES	1	2	< 10 %	B	2	M	M	B	M	A	A	A
FILTRO DE DISCOS HORI-ZONTALES	1	2	< 20 %	B	2	M	B	B	M-A	B	A	A
FILTRO DE TUBO POROSO	1	2	< 20 %	B	2	A	B	B	B	B	A	A
FILTROS AUTOMATICOS A PRESION	2	3	≤ 10 %	M-A	(1) (2)	B	A	A	A	A	A	A
FILTRO DE CARTUCHOS	1	2	< 1 %	B	2	B	M	M	A	M	M	A
3) FILTROS DE VACIO:	1	3	> 20 %	M-A	(1) (2)	M	A	M	M	A	A	M
NOTAS	H = NULA B = BAJA A = ALTA M = MEDIA											

II.7. FILTRO - AYUDAS

Los filtro-ayudas son muy utilizados principalmente en clarificaciones y filtración de soluciones que contienen sólidos muy finos que actúan como sólido tapón, cuya retención en un medio filtrante común se hace muy difícil debido a una rápida saturación con la formación de una torta de apenas unas cuantas milésimas de cm., con lo que la velocidad de filtración baja muy rápidamente y los ciclos de limpieza son muy frecuentes haciendo tediosa la operación de filtración.

Un buen filtro-ayuda contiene partículas de baja densidad, con el fin de minimizar la tendencia a la sedimentación, debe ser poroso y capaz de formar una torta porosa; debe ser inerte químicamente al filtrado en que se aplique. Los filtro-ayudas más comerciales y que reúnen estas características son:

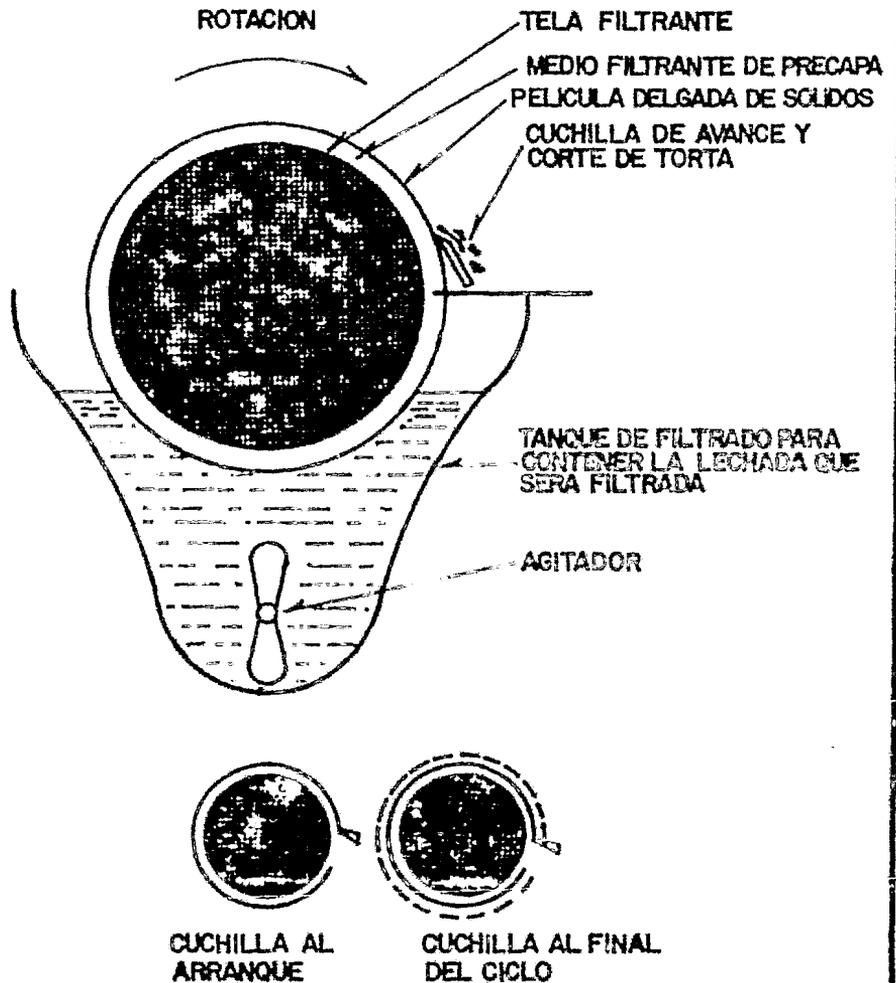
Silica diatomacea (también llamado diatomita y tierra diatomacea) que es un silica preparado de depósitos de esqueletos diatómicos; son principalmente silicatos de aluminio alcalinos.

Las fibras celulósicas y los asbestos tienen también un uso considerable como filtro-ayudas, estos se utilizan mucho en combinación con diatomitas, para lograr una mayor porosidad en la torta y mayor adhesión de esta sobre el medio filtrante.

El Carbón, la Arcilla, Magnesia, Sal y Yeso son también usados en casos muy especiales y con menor grado de efectividad que los -- anteriores. Para decoloraciones de aceites, grasas, soluciones dulces son muy utilizados Arcilla y Carbón activado en combinación con silica diatomacea. El carbón activado es el principal absorbente - usado en purificaciones químicas para remover contaminantes orgánicos. Ver figs. (11), (12) y (13).

El filtro-ayuda de silica diatomacea seca tiene una densidad - de volumen de 120.2 a 196.3 $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ y contiene partículas menores a los 50 micrones. El peso recomendada de filtro-ayuda para la formación de precapas varía desde 70.3 a 510 g/cm² de área filtrante resultando de precapas de 0.24 a 0.32 cm.

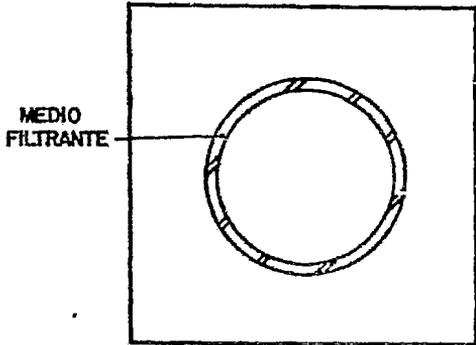
Para comprobar una buena retención del filtro-ayuda o carbón - sobre el medio filtrante se puede efectuar una simple prueba de la- boratorio utilizando un conito y papel filtro negro para observar - el filtro-ayuda o papel blanco para carbón.



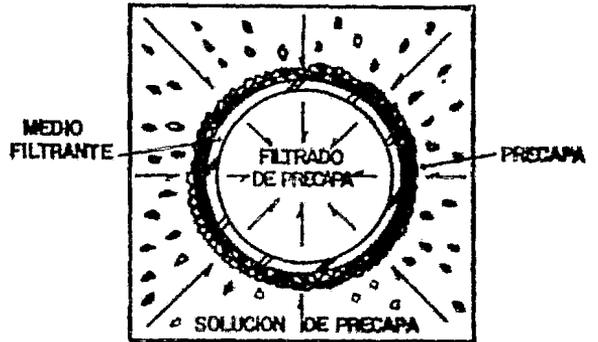
PRINCIPIO DEL FILTRO DE PRECAPA		TESIS
		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA No
JOSE DE J BRAMBILA GUERRA		11

I:- FILTRO

II:- DEPOSITO DE PRECAPA EN EL MEDIO FILTRANTE



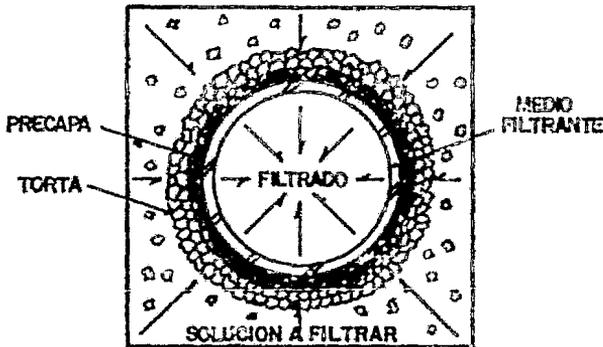
FILTRO LIMPIO



LA MEMBRANA DE FILTRO AYUDA SE DEPOSITA SOBRE LA SUPERFICIE EXTERNA DEL MEDIO FILTRANTE. EL LIQUIDO ATRAVIEZA EL MEDIO FILTRANTE Y REGRESA AL TANQUE DE PRECAPA.

III:- FILTRACION DE LA SOLUCION

IV:- LAVADO DEL FILTRO

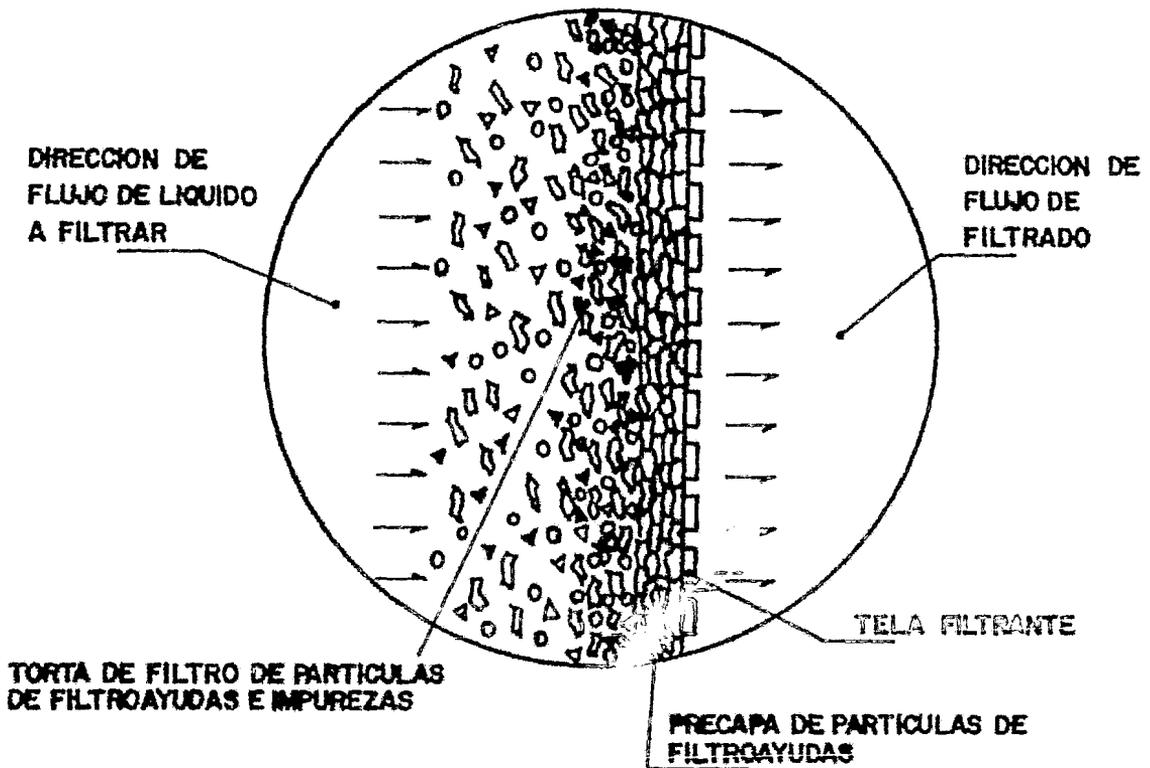


UNA VEZ QUE LA PRECAPA HA TERMINADO, SE INICIA LA FILTRACION DE LA SOLUCION Y LAS PARTICULAS SOLIDAS DE ESTA SE DEPOSITAN SOBRE LA SUPERFICIE DE LA PRECAPA. EL LIQUIDO LIMPIO, O FILTRADO, SE DESCARGA POR EL FONDO DE CADA MEDIO FILTRANTE.



PARA LAVAR EL FILTRO, SE HACE CIRCULAR EL FLUIDO DE LAVADO EN SENTIDO INVERSO, EL CUAL ROMPE LA TORTA DEL FILTRO DEBIDO A LA ALTA PRESION Y VELOCIDAD DEL FLUIDO CAYENDO AL FONDO DE LA CAMARA DE FILTRACION. (PARA EQUIPOS QUE CUENTEN CON SISTEMA DE RETROLA-VADO).

MECANISMO DE FILTRACION DE CARTUCHOS		TESIS
		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA No. 1 12
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		



FILTROAYUDAS 

IMPUREZAS 

MECANISMO DE ACCION DE LOS FILTROAYUDAS		TESIS
		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA No
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		13

II.8. MECIOS FILTRANTES

En la actualidad son utilizados como medios filtrantes una gran variedad de texturas de tejidos de fibras naturales o sintéticas, tejidos de alambre, papel filtro, carbón poroso o cartuchos de hilo enrollado.

A continuación se muestra una tabla con algunos de los medios más comúnmente utilizados en la actualidad así como sus propiedades más importantes.

Algodón: La mayoría de los fabricantes de filtros cubren una mayor parte de su demanda con filtros de algodón debido principalmente a su bajo costo, además de que provee excelente consistencia mecánica y buena resistencia a la abrasión, también ofrece buena retención de partículas por ser de filamento fino.

El algodón es completamente resistente al calor de degradación en una prueba típica, resiste 9 horas de uso continuo a 150° C antes que la tela se decompone.

El algodón no es afectado por los ácidos diluidos en frío, pero sí lo es por ácidos débiles en caliente o ácidos concentrados; la exposición a álcalis causa protuberancia pero no deteriora.

Poliéster: Las fibras poliéster como el cartrón presentan buena resistencia a la abrasión, excelente retención de sólidos y larga vida.

El Dacón tiene alta resistencia a los agentes Oxidantes, buena resistencia a la mayoría de los ácidos excepto para ácido Nítrico concentrado y soluciones de ácido Sulfúrico.

Nynel: Tiene buena retención, propiedades de Empaque y resistencia a la tensión, tiene también alta solubilidad dimensional. - muestra un encogimiento de 9.5 a 11 en agua hirviendo.

Es virtualmente inafectado por la mayoría de ácidos minerales concentrados y alkalis, pero es inestable para usarlo con cetonas, - algunas aminas e hidrocarburos aromáticos a elevadas temperaturas, tiene poca resistencia a la mayoría de los solventes.

Vidrio: La fibra de vidrio tiene buena resistencia como medio filtrante por su excelente resistencia a los ácidos y a temperaturas elevadas, es completamente resistente a los álcalis, excepto al ácido fluorhídrico y ácido fosfórico calientes en sus formas más concentradas. Tiene ataque por alkalis fuertes a temperatura ambiente o por alkalis débiles a temperaturas elevadas.

Aunque el vidrio tiene alta resistencia a la compresión, no es muy resistente a la abrasión ni a la flexión.

Nylon: Después del algodón el Nylon es el más utilizado como medio filtrante, tiene muy buena resistencia a la abrasión, provee una superficie extremadamente lisa para una buena descarga de torta, no es afectado por hongos o bacterias.

El Nylon es degradable por agentes Oxidantes y ácidos minera-- les, el grado se incrementa con la concentración y la temperatura; es resistente a los alkalis más comunes y ácidos orgánicos, no es - afectado por la mayoría de los Solventes a excepción del m-Cresol.

Acrílico (Orlon): Proporciona buena resistencia a la abrasión y a temperaturas altas, ofrece buena resistencia a los ácidos mine-- rales. Se disuelve en ácido sulfúrico en concentraciones superio-- res al 80%; su resistencia a los alkalis va de excelente a bueno, - no es dañado con solventes comunes, aceites, grasas, sales natura-- les y la mayoría de sales ácidas.

Polietileno: Este material se empezó a usar en filtración debi-- do a su precio económico y resistencia química; resiste alkalis y - ácidos inorgánicos a temperatura ambiente.

Su elasticidad provee particular atractivo para usarlo en fil-- tros horizontales continuos. Es recomendable para cristales grues-- sos y pulpas fibrosas.

Polipropileno: Presenta una textura lisa para una buena des-- carga de torta y retarda su saturación, el Polipropileno es recomen-- dado para ser operado a temperatura de 70.5º C.

Sus propiedades químicas incluyen buena resistencia a los áci-- dos y alkalis así como también para la mayoría de los solventes -- excepto a los aromáticos e hidrocarburos clorados.

El Polipropileno tiene baja absorción de humedad en rango menor al 0.03%.

La producción de fibras de Polipropileno se está incrementando considerablemente, esta fibra promete ser un tipo universal que -- reemplace a muchas otras fibras sintéticas usadas actualmente.

Saran: Este material es resistente a los ácidos minerales, a la mayoría de los álcalis, Cloro y Alcoholes. Tiene excelente durabilidad en exposición con ácidos particularmente hipoclorito y álcalis, con excepción del hidróxido de amonio. Puede ser limpiado con la mayoría de los solventes.

Cloruro de Polivinilo PVC: Esta fibra posee una superficie -- extremadamente lisa para descarga de tierra una excelente resistencia a temperaturas ambiente de álcalis fuertes concentrados, también tiene buena resistencia a ácidos fuertes en altos grados de concentración.

En la tabla 7 se muestran las propiedades físicas de otros medios filtrantes, además de los aquí descritos.

PROPIEDADES FISICAS DE LOS MEDIOS FILTRANTES

TABLA No. 7

	①	①	①	①	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	
	ALGODON	LANA	VIDRIO	POLESTER	POLIPROPILENO	NYLON	NOMEX (NYLON ALTA TEMP)	RAYON	DYNEL	TEFLON	PAPEL	METAL SINTERIZADO	TELA DE ALAMB.	CERAMICA POROSA	ACETATO	ACRILICO	POLIETILENO	SARAN	FLUORURO DE CARBONO	
RETENCION DE PARTICULAS	①	2x100 A	2x100 A	3x100 A	2x100 >100A	2x100 >100A	2x100 >100A	2x100 >100A	2x100 >100A	2x100 >100A	3x100 100A	1x100 40A	2x100 >300A	1x100 >40A	—	—	—	—	—	—
CAPACIDAD DE RETENCION DE CONTAMINANTES	①	GaE	E	FaG	GaE	FaE	FaE	FaE	FaE	GaE	G	FaG	FaG	FaG	—	—	—	—	—	—
PERMEABILIDAD	①	G	G	F	G	G	G	G	G	G	G	F	G	F	—	—	—	—	—	—
COMPATIBILIDAD QUIMICA	①	F	F	G	G	E	G	G	F	E	E	P	E	E	—	—	—	—	—	—
LIMITE DE TEMP. (°C)	①	95	95	320	149	105	110	232	110	93	232	93	649	649	1093	99	149	74	71	288
TENSION	①	G	F	G	G	G	G	F	G	G	P	E	E	G	—	G	—	G	—	—
RESISTENCIA A LA ABRASION	①	G	G	P	E	E	E	E	G	G	F	F	E	E	G	G	G	G	G	F
FACILIDAD DE MAQUINADO	①	E	E	F	E	E	E	E	G	E	E	F	F	F	—	—	—	—	—	—
FACILIDAD DE LIMPIEZA	①	G	G	P	G	E	G	G	E	E	P	P	G	P	—	—	—	—	—	—
RESISTENCIA A LOS ACIDOS	②	P	F	E	G	E	F-P	—	F	G	G	—	—	—	F	G	G	G	G	E
RESISTENCIA A LOS ALCALIS	②	F	P	P	G-F	E	G	—	F-P	G	G	—	—	—	P	F	G	G	G	E
RESISTENCIA A LOS AGENTES OXIDANTES	②	G	—	E	G	G	F-P	—	F	—	—	—	—	—	G	G	F	F	F	E
RESISTENCIA A LOS SOLVENTES	③	E-G	F	E	G	G	G	—	G	G	G	—	—	—	G	E	G	G	G	G
TENACIDAD A LA RUPTURA g / DENIER	④	33- 64	—	3.0- 7.3	2.2- 7.8	4.8- 8.8	3.8- 9.2	—	1.8- 8.7	—	—	—	—	—	12- 18	2.0- 4.8	1.0- 7.0	1.0- 2.3	1.0- 2.0	1.0- 2.0
GRAVEDAD ESPECIFICA	⑤	1.55	—	2.54	1.38	0.90	1.14	—	1.52	—	—	—	—	—	1.35	1.18	0.92	1.70	2.30	—
COSTO	⑥	L	L	M	M	L	M	M	L	L	H	L	H	M	H	—	—	—	—	—

NOTAS:

P - POBRE F - REGULAR G - BUENO E - EXCELENTE
L - BAJO M - MEDIO H - ALTO

REFERENCIAS:

- ① APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PLANTS ERNEST E. LUDWIG VOL. I 2nd ED. GULF PUBLISHING Co
- ② CHEMICAL ENGINEERS HANDBOOK ROBERT H. PERRY 5th ED. Mc GRAW HILL Co.

III. DISEÑO DEL SISTEMA

III.1.- OBJETO DE LA FILTRACION

La razón principal para la filtración de las soluciones de recubrimiento o galvanizado es la obtención de soluciones libres de impurezas para la prevención de depósitos rugosos o ásperos y obtener un mayor y eficaz poder de penetración con menor peligro de quemado de la pieza que será metalizada.

Además de los sólidos suspendidos, deberá tenerse un buen control de las impurezas inorgánicas (metálicas) y orgánicas que son introducidas en la solución principalmente por arrastre interno. Si se permite que ésta contaminación se forme en alta concentración, afectará la apariencia del depósito.

Una purificación continua o periódica de la solución con carbón activado o electrólisis a baja densidad de corriente, eliminará esas impurezas antes de que sea necesario parar la línea de galvanizado.

La mayor parte de los sistemas de Filtración consisten de una cámara de filtración conteniendo el medio filtrante y una bomba accionada por un motor para transferir o circular la solución desde el tanque de galvanizado a través del filtro.

Cuando se efectúa la Ingeniería de un sistema de filtración para una instalación de galvanizados, es necesario establecer los objetivos principales, los cuales pueden ser:

- 1.- Alta calidad de terminado - Máxima tersura y brillo.
- 2.- Propiedades Físicas óptimas - Tamaño de grano, resistencia a la corrosión y al desgaste.
- 3.- Máxima eficiencia y control de proceso - Poder de cobertura, velocidad de galvanizado, purificación y clasificación.

Se deben considerar posteriormente los siguientes factores antes de seleccionar el tamaño y materiales necesarios para el medio filtrante, la cámara del filtro, la bomba y el motor.

- a).- Cantidad de lodos (polvo y suciedad): tamaño, clase y cantidad de sólidos suspendidos, así como impurezas orgánicas e inorgánicas solubles.
- b).- Velocidad de flujo. Número de vueltas por hora para un X volumen de solución necesario para mantener la claridad.
- c).- Frecuencia de filtración y purificación: intermitente o continuo requerido para eliminar la suciedad y la contaminación.

III.2.- ANALISIS DE LA SOLUCION DE CIANURO DE ZINC.

El electrolito cianuro ha encontrado un campo de aplicación inmensamente abierto en el galvanizado de Zinc, debido a su capacidad -

para dar cualquier tipo de depósito, desde el blanco mate con excelente ductilidad hasta los depósitos brillantes tipo espejo. El depósito tipo Zinc mate se usa generalmente donde la ductilidad y la protección a la corrosión es de principal importancia, mientras que los baños de galvanizado brillante encuentran extensa aplicación en artículos que requieren tanto protección a la corrosión como apariencia visual. Los baños de cianuro son versátiles en la producción de depósitos de apariencia ampliamente variable y tienen un excelente poder de adherencia. Esos factores han establecido firmemente la alta posición del galvanizado de cianuro de Zinc en la industria.

Los baños de cianuro son usados actualmente en una extensión limitada para el galvanizado de piezas de acero, y su aplicación se espera en aumento. El galvanizado de Zinc brillante de los baños de cianuro llena las necesidades como un medio de prevenir la corrosión sobre partes de metales ferrosos, a relativamente bajo costo.

En numerosos casos, el galvanizado por cianuro de Zinc ha sustituido el galvanizado brillante de cadmio, con buena ventaja, en función de su bajo costo, su mayor disponibilidad y versatilidad. Muchas más partes metálicas son galvanizadas en la actualidad y las propiedades que imparte el Zinc han dado a este metal un elevado lugar en la industria del galvanizado.

De la química del cianuro de zinc se ha concluido que el zinc puede ser depositado satisfactoriamente de soluciones de cianuro alcalino de la siguiente manera: una muestra de los compuestos cianatos de sodio -

y cianuro de sodio y zinc, con un exceso de cianuro de sodio o hidróxido de sodio o ambos.

La filtración y la purificación de las soluciones de cianuro de zinc son necesarias, ya que existen trazas de metales tales como cobre, plomo, cadmio, plata o estaño que harán que el depósito de recubrimientos brillantes sea muy difícil si no es que imposible.

La eliminación de los metales contaminantes se completan químicamente o electrolíticamente o por medio de ambas operaciones.

El grado de purificación requerida está determinado por la calidad deseada de los depósitos.

Los metales tales como cadmio y plomo pueden ser precipitados por la adición de sulfuro de sodio o preferiblemente por polisulfuro de sodio.

Los sulfuros insolubles permanecen en la solución como un lodo el cual se colecta en el fondo del tanque. Debido a que el sulfuro de cobre es soluble en la solución de cianuro de zinc, el cobre es eliminado por desplazamiento con polvo de zinc finamente dividido.

Cuando está presente una cantidad de cobre relativamente grande, puede ser necesario repetir la purificación con polvo de zinc varias veces. La purificación electrolítica se usa para la eliminación de las últimas trazas de impurezas. Este método tiene la ventaja de eliminar preferentemente ciertos tipos de impurezas. Por ejemplo, Cr^{+6} puede ser reducido a Cr^{+3} y el plateado eliminado -

por alta densidad de corriente a electrólisis de baja eficiencia, -- mientras que el estaño y el cobre pueden ser eliminados efectivamente por electrólisis de baja densidad de corriente y alta eficiencia. El método electrolítica de purificación es excelente, ya que no introduce sales inertes y no cambia materialmente la composición básica de la solución.

Los baños de cianuro consisten de soluciones de cianuro de zinc con cierta cantidad de cianuro de sodio y sosa cáustica. La cantidad exacta de los componentes varía dependiendo de los requerimientos precisos para el trabajo, algunas composiciones se muestran enseguida y no son limitativas, en la tabla 8.

Tabla 8. COMPOSICIONES DE CIANURO DE ZINC PARA GALVANIZADO.

NO. SOLUCION	1	2	3	4	5
COMPONENTE	g/lt	g/lt	g/lt	g/lt	g/lt
OXIDO DE ZINC	_____	_____	46.01	61.63	_____
CIANURO DE ZINC	65.74	87.10	_____	_____	52.59
CIANURO DE SODIO	46.01	41.08	101.07	115.09	46.01
SOSA CAUSTICA	86.28	127.37	41.08	60.80	86.28
AGENTE DE ADICION	(COMO SEA REQUERIDO)				
ZINC METALICO	36.97	49.30	36.97	49.30	28.76
CIANURO DE S. TOTAL	101.07	115.04	101.07	115.04	101.07

Después de la purificación electrolítica, la mayoría de los baños de cianuro son analizados y corregidos para la composición deseada (utilizando solamente cianuro de sodio y sosa cáustica para ésta corrección). En este punto los agentes de adición son introducidos para la purificación de la estructura del cristal. Normalmente se adiciona cerca de 1.02 g/lit de polisulfuro de sodio en adición a otros abrillantadores orgánicos o metálicos.

Los agentes metálicos de adición consisten de molibdeno, cobalto, níquel, etc.

Los agentes de adición no-metálicos consisten de varios alúcalos, gomas y aldehidos. Algunos de esos son dextrina, pyrogalol, betanftol, goma arábiga, goma tragacant, etc.

Existen varios métodos de análisis químicos para las soluciones de galvanizado.

En nuestro país está reglamentada la calidad para CIANURO DE ZINC en la NORMA MSP - K - 78 - 1969 que se emplea para la preparación y mantenimiento de soluciones de galvanizado electrolítico de tipo alcalino y en la preparación de baños de Latón. La calidad de éste cianuro de zinc está clasificada en un solo tipo y grado denominado grado técnico. El producto considerado en ésta norma debe cumplir con las especificaciones de la siguiente tabla.

Tabla 4.

COMPOSICION ANALITICA

CIANURO DE ZINC.....	Zn (CN) ₂	95.3%	mínimo
ZINC TOTAL	Zn	53.8%	mínimo
FIERRO	Fe	0.006%	máximo
COBRE	Cu	0.02 %	máximo
PLOMO	Pb	0.004%	máximo
CADMIO	Cd	0.0019%	máximo
MERCURIO	Hg	0.001%	máximo
HUMEDAD	H ₂ O	0.7%	máximo
MATERIA INSOLUBLE		0.04%	máximo

Los métodos de análisis y prueba para la verificación de las especificaciones del cianuro de zinc se encuentran en las referencias (10), (15) y (19).

III.3.- CONDICIONES DE OPERACION DEL SISTEMA DE FILTRACION.

Como ya mencionamos anteriormente, los factores de operación -- que se deberán considerar para la selección del tamaño y los materiales de construcción necesarios para el medio filtrante, la cámara, - el motor y la bomba del sistema de filtración son:

- 1.- CANTIDAD DE LODOS
- 2.- VELOCIDAD DE FLUJO
- 3.- FRECUENCIA DE FILTRACION Y PURIFICACION
- 4.- TEMPERATURA
- 5.- PRESION

III.3.1.- Cantidad de lodos.

Las impurezas en un baño de galvanizado se pueden originar por el arrastre interno, desgaste de los ánodos, por el agua o por transporte del aire. Para una eficiente eliminación de dichas impurezas, el sistema deberá ser diseñado de acuerdo a la cantidad y tipo de contaminantes presentes en el tanque de galvanizado, los cuales variarán para cada instalación. Aún sin experiencia anterior en la operación, deberá efectuarse un estudio de la cantidad de lodos por revisión de la limpieza del proceso de galvanizado, a fin de seleccionar el tamaño del equipo necesario para su eliminación.

Un filtro con una capacidad de retención insuficiente, requerirá de limpieza y cambio frecuente. El rápido aumento de la presión en el sistema de filtración a medida que son retenidos los sólidos, incrementará la tensión y el desgaste de los sellos de la bomba. Al disminuir la calidad de lodos, el mantenimiento del filtro y la bomba puede ser reducido considerablemente. Aún después de un lavado y engrase completo algunos sólidos y contaminantes se ---

adhieren a las partes de los colgadores (racks) y barriles de galvanizarlos y éstos sólidos son arrastrados como impurezas a la solución de galvanizado. La cantidad de contaminante introducido a la solución depende principalmente del tipo de material y forma de las partes, del método de galvanizado (colgado o barril) y la eficiencia de los ciclos de limpieza y enjuague. El tipo y la cantidad de partes que son procesadas puede variar considerablemente. Para una operación libre de turbiedad, el sistema de filtración deberá ser diseñado para las cargas de trabajo más pesadas y la limpieza de las partes más difíciles.

La contaminación por arrastre interno con barriles es alta, debido al drenado incompleto de los limpiadores y la dificultad que presenta el enjuague de las cargas.

La filtración y purificación en línea de barriles automáticos debe ser continua, y el equipo de tamaño suficiente para minimizar el mantenimiento y la interrupción del trabajo.

La filtración depende de la naturaleza, cantidad y tamaño de las partículas suspendidas, las cuales son usualmente debidas al tipo químico de la solución de recubrimiento. Generalmente las soluciones alcalinas tales como los baños de cianuro son viscosas o flocculantes son insolubles difíciles de filtrar, mientras que la mayoría de los baños ácidos contienen más partículas sólidas, las cuales son relativamente fáciles de filtrar aún con medios filtrantes más densos (cerámicos).

Una prueba rápida de filtración de una muestra representativa - con papel filtro en un embudo, determinará la naturaleza y cantidad de sólidos presente. También indicará el medio filtrante más apropiado. Encerrar los ánodos solubles, reducirá la cantidad de lodos que entren al baño de galvanizado. El polvo arrastrado por el aire de los sopladores, los ventiladores de los motores, de los elevadores o de las operaciones cercanas de pulimentado o abrillantado, pueden caer al tanque de galvanizado y causar recubrimientos defectuosos. El buen cuidado y mantenimiento del equipo anterior, reducirá la cantidad de lodos y contaminación de la solución de galvanizado. Cuando las soluciones se agitan con aire, se emplean usualmente sopladores de baja presión. Esto hace virtualmente imposible alcanzar -- una buena filtración y se notará que la solución de galvanizado, trabajará muy similarmente a un burbujeador de vapor. El uso de aire comprimido es más costoso, pero puede ser usado más adecuadamente para la eliminación de todos los aceites y sólidos, y por lo tanto es preferible para propósitos de agitación.

Si es necesario desde un punto de vista de control ambiental, - eliminar o reducir los sólidos suspendidos totales (SST) de las aguas de desecho, la cantidad de efluentes que son descargados por hora o turno pueden ser fácilmente determinados.

Por ejemplo: 100 GPM. de efluente conteniendo 100 PPM de SST - (100 mg/l) generarán 5 lbs. de sólidos por hora, como se calcula enseguida.

$$100 \text{ gpm} \times 3.79 \frac{\text{lt}}{\text{gal}} \times \frac{100 \text{ mg/l} \times 60 \text{ min/hr}}{1000 \text{ mg/g} \times 454 \text{ g/lb}} = 5 \text{ lbs/hr} \text{ (2.3 Kg/hr)}$$

Por lo tanto el filtro deberá tener capacidad suficiente para -retener cerca de 40 lbs (18.14 Kg) por 8 horas de operación.

III.3.2.- Velocidad de Flujo

En años recientes la velocidad de flujo a través del filtro ha sido referida en vueltas de tanque, y se ha incrementado en dos veces por hora para la mayoría de las soluciones de recubrimiento. Esto significa que 1000 galones requieren una velocidad de flujo de 2000 a 3000 galones por hora 7.6 a 11.5 m³/hr. Las soluciones alcalinas pueden requerir velocidades de flujo aún más grandes para eliminación más efectiva de sólidos por recirculación. Son deseables las velocidades de flujo en el rango de 21 a 86 m³/hr por m² de área superficial del filtro, dependiendo del medio filtrante y su eficiencia de retención de lodos.

Una alta velocidad de flujo es esencial para recoger las partículas en el filtro tan prontamente como sea posible y prevenir la sedimentación de impurezas en las partes que están siendo recubiertas. Aunque el recubrimiento en una solución completamente libre de sólidos sería óptimo, ésta idealidad puede ser aproximada solo en el laboratorio, ya que siempre existe alguna contaminación. La filtración continua a una alta velocidad de flujo puede mantener un alto -

nivel de calidad del producto, conservando los sólidos suspendidos - a un mínimo.

En la figura (14b) se indican de 4 a 5 vueltas por hora completas del tanque para eliminar efectivamente el 97% por hora de todos los materiales filtrables, si no son introducidos sólidos adicionales.

Puesto que, en la mayoría de las instalaciones, la velocidad a la cual es introducida la contaminación es más alta que la velocidad a la cual ésta es eliminada, las impurezas y sólidos se incrementarán gradualmente con el tiempo, a menos que la filtración se continúe aún durante períodos sin recubrimiento. La mayor parte de los contaminantes de las soluciones de galvanizado, son introducidas con las partes que serán recubiertas y por lo tanto, al el momento de la inmersión el grado de contaminación se incrementa violentamente hasta que es removido nuevamente por la acción de los filtros.

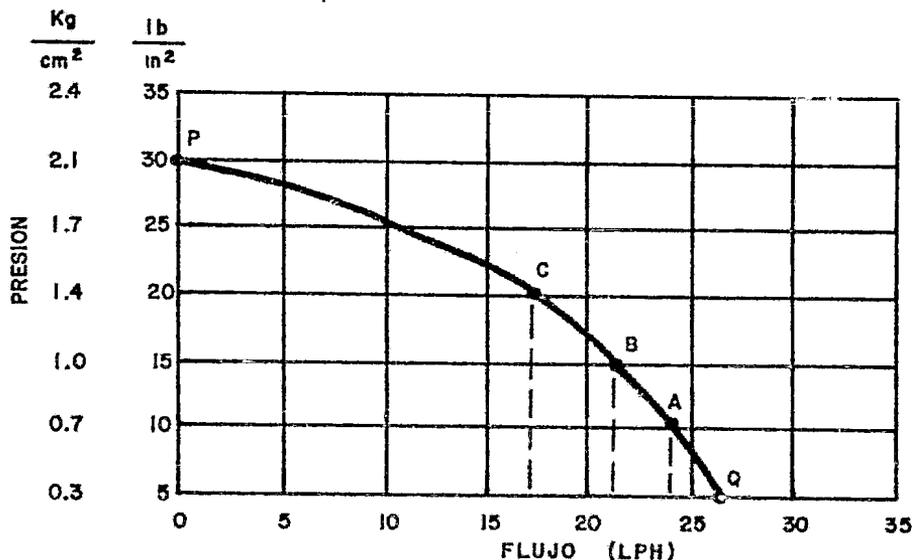
Después se vuelve a incrementar el contenido de impurezas, cuando se introducen más partes en el tanque para recubrimiento y la acción de los filtros removerá nuevamente las impurezas y así sucesivamente.

La figura 15 indica que la reducción en el flujo causada por el aumento de la suciedad en el filtro sobre una base diaria, donde se detendrá efectuar una filtración de una semana antes de que llegue a ser incapaz dar servicio al filtro. Esta reducción en la velocidad del filtro podría también haber sido representativa de un intervalo de -

tiempo mayor entre la limpieza del filtro.

Gráficamente indica, porque los plateados pueden experimentar rugosidades en varios intervalos en el ciclo de filtración del recubrimiento. La cantidad de sólidos se incrementa en el tanque a medida que la velocidad de flujo disminuye a un nivel que puede causar rechazos por una mala limpieza de la solución después de que al filtro se le ha efectuado mantenimiento, el incremento en la velocidad de flujo, agita cualquier tipo de sólidos asentados. Por lo tanto, es conveniente retrasar el recubrimiento de las partes, hasta que el nivel de contaminantes sea otra vez reducido por la filtración dentro de los límites tolerables. Este fenómeno ocurre generalmente en un tanque de alembique, donde los lodos tienen más oportunidad de asentamiento. Por esta razón, cuando la solución es bombeada dentro de un tanque de tratamiento, los lodos pueden encontrarse en el fondo del tanque de galvanizado. Los lodos en un tanque agitado por aire pueden presentarse en cualquier tiempo después de que el aire es cerrado. Si se usa carbón o filtro-ayudas en el filtro durante el ciclo de filtración continua, deberá tenerse en mente, que como esos sólidos son recolectados sobre el medio, la presión se incrementa apreciablemente, reduciendo la velocidad inicial de flujo en casi 25% y el volumen total bombeado a través del filtro se reduciría a cerca de un 50% antes de que el servicio sea necesario (Fig. 14 a). Chequeos de laboratorio frecuentes verificarán la cantidad de insolubles presentes en el tanque de recubrimiento, los cuales nos dirán si se está manteniendo un grado de claridad uniforme, o si

FIG. a)



CURVA TIPICA FLUJO VS. PRESION. "Q" REPRESENTA EL FLUJO DE BOMBEO MAXIMO SIN RESTRICCION. "P" REPRESENTA LA PRESION QUE PUEDE DESARROLLAR LA BOMBA A CERO FLUJO. "A" PUEDE INDICAR LA CAIDA DE PRESION A TRAVES DE UN MEDIO FILTRANTE TIPO PROFUNDO O UNA MEMBRANA DE SOPORTE SIMPLE. LOS PUNTOS "B" Y "C" INDICAN LA REDUCCION EN EL FLUJO CAUSADA POR LA ADICION DEL FILTRO-AYUDA Y CARBON ACTIVADO RESPECTIVAMENTE.

FIG. b)

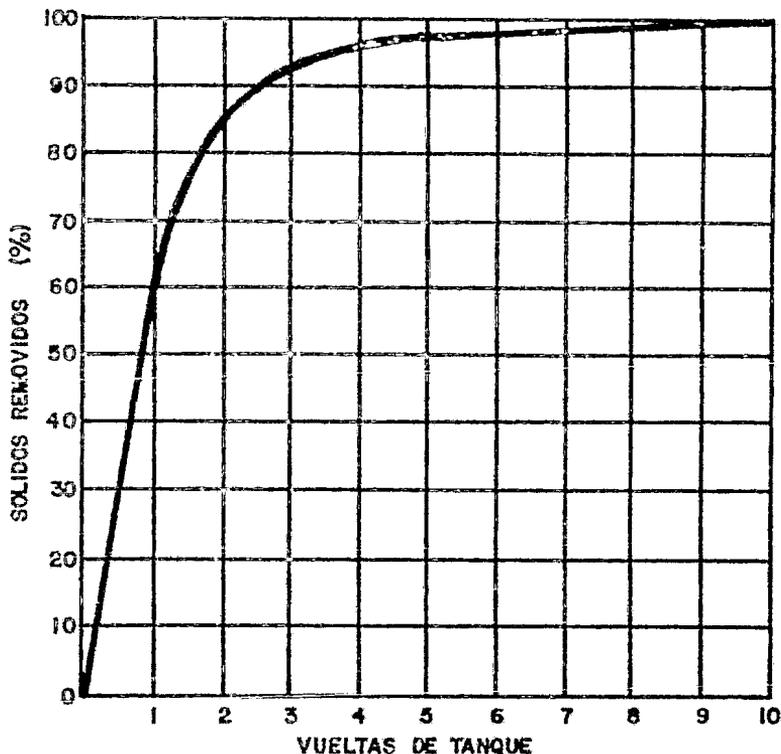
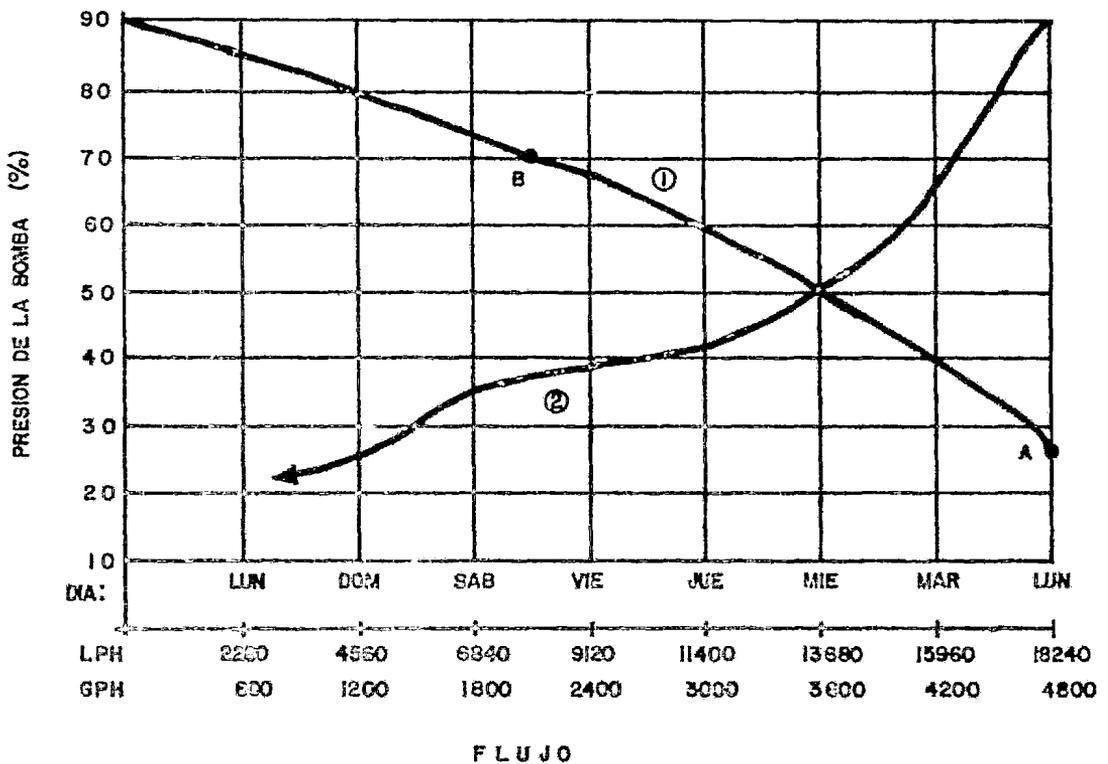


FIG. a) CURVA TIPICA FLUJO vs. PRESION (Q vs. P)		TESIS
FIG. b) GRAFICA DE % DE SOLIDOS REMOVIDOS POR VUELTAS DE TANQUE DE FILTRACION.		
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	1983
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		FIGURA No. 14



EN EL PUNTO "A" EL FILTRO ESTA LIMPIO, EL FLUJO SERA MAXIMO 18240 LPH (4800 GPH) Y LA RETENCION DE SOLIDOS SERA MAXIMA. CUANDO LA VELOCIDAD DE FLUJO DISMINUYE A 7600 LPH (2000 GPH) EN EL PUNTO "B", REPRESENTA UNA REDUCCION EN EL FLUJO DEL TANQUE DE $2\frac{1}{2}$ VUELTAS DE TANQUE POR HORA A UNA VUELTA DE TANQUE POR HORA DURANTE UN INTERVALO DE TIEMPO DE UNA SEMANA DE TRABAJO. SI EL FILTRO CONTINUA TRABAJANDO SIN MANTENIMIENTO, LA VELOCIDAD DE LODOS RETENIDOS PRONTO SERA MENOR QUE LA VELOCIDAD DE LODOS INTRODUCIDOS AL SISTEMA. EL INTERVALO DE TIEMPO DURANTE EL CUAL EL FILTRO ESTA FUNCIONANDO A FILTRACION EFECTIVA SERA DETERMINADA POR LAS CONDICIONES DE TRABAJO.

- ① CURVA DE FLUJO DE LA BOMBA
- ② CURVA DE DISMINUCION DE VELOCIDAD DE RETENCION DE LODOS.

VELOCIDADES DE FLUJO DE FILTRACION Y RETENCION DE LODOS		TESIS 1983
		FIGURA No. 15
JOSE BARROSO CASTILLO JOSE DE J BRAMBILA GUERRA	FACULTAD DE QUIMICA	

se está acercando lentamente hacia el nivel de rechazo. La mayor frecuencia de mantenimiento del equipo de filtración existente, incrementará el volumen de bombeado total y a su vez, mantendrá el nivel más bajo posible de contaminación minimizando la necesidad para tratamiento intermitente.

III.3.3.- Frecuencia de Filtración y Purificación.

Es deseable recubrir con una solución lo más libre de sólidos suspendidos que sea posible. La forma más rápida de alcanzar la purificación es bombear la solución de un tanque, pasándola por el filtro a otro tanque (tratamiento batch). Sin embargo, para mantener la claridad y la calidad uniforme del depósito, es más efectiva una recirculación continua a través del filtro. Aunque la filtración continua es lo más deseable hay algunas instalaciones para recubrimiento que requieren únicamente filtración intermitente, debido a las cantidades relativamente pequeñas de sólidos presentes. En otros casos, es necesario filtrar y purificar el baño de recubrimiento aún cuando no se utilice.

La Filtración y/o purificación durante las horas sin producción hace posible eliminar los lodos cuando no se están introduciendo contaminantes adiales, tales como insolubles de los ánodos, adiciones químicas, más aquellas que serían arrastradas del limpiado apropiado del trabajo en otras áreas del proceso. Por otra parte, -

las características de operación y la economía individuales del tanque, determinarán el nivel final de calidad aceptable.

La contaminación por otros sólidos insolubles, tales como compuestos orgánicos o solubles (sales inorgánicas, agentes humectantes, aceites), no son eliminados por filtración, pero sí por absorción sobre carbón activado. Algunas de las soluciones de recubrimiento, tales como baños de níquel brillante, generan subproductos orgánicos durante el recubrimiento. No puede suponerse que ambos tipos de contaminación se incrementan a la misma velocidad. Un tratamiento batch, por lo tanto, puede eventualmente llegar a ser necesario, debido a las impurezas solubles o insolubles. Un chequeo de la claridad, la velocidad de flujo y la apariencia del trabajo, indicará la necesidad de un tratamiento de carbón y/o una filtración.

Si el análisis muestra que las ppm. de insolubles se han incrementado, será una indicación de que la solución no está siendo filtrada adecuadamente. Por lo tanto, el bombeo de la solución a través del filtro es la forma más rápida de conseguir que todos los sólidos sean eliminados inmediatamente, a la vez que se vuelve a enviar la solución limpia al tanque de recubrimiento. Las impurezas solubles pueden ser detectadas por inspección del trabajo.

Los agujeros, la mala adhesión, o las apariencia manchada indicarán la necesidad de utilizar carbón fresco. Aquí nuevamente, sería deseable el tratamiento batch completamente a la solución para restituirle la buena calidad de galvanizado. Sin embargo, desde que éste necesita el paro en la línea de recubrimiento o galvanizado y

requiere trabajo considerable, deberán encausarse todos los esfuerzos a mantener la pureza y calidad de la solución sin tener que recurrir a tratamientos tan drásticos.

En la tabla 10 se presentan algunas recomendaciones para la filtración y purificación de soluciones de galvanizado.

TABLA No. 10

RECOMENDACIONES PARA FILTRACION Y PURIFICACION DE SOLUCIONES DE GALVANIZADO

PROCESO	pH	TEMPERATURA °C	FILTRACION	VUELTAS * POR HORA	CARTUCHOS * 578.5 LTS. (100 gal)	FIBRA/ NUCLEO	POROSIDAD MICRONES	TRATAMIENTO CON CARBON	
ANODIZADO	1	16 a 32	OPCIONAL	1	1	PP / PP	15	NO	
ANODIZADO SELLO DE NIQUEL	5.5	93	DESEABLE	2	2	PP/SS	15	INTERMITENTE	
BRONCE, LATON	10	38 a 93	COMO SE REQUERA	—	—	PP/PP	15	NO	
CADMIO	12	38	COMO SE REQUERA	2	2	PP/PP	30	NO	
CROMO HEXAVALENTE	1	43 a 54	OPCIONAL	1-2	1-2	PP/PP	15	NO	
CROMO TRIVALENTE	2-3.5	24	CONTINUA	2	3	PP/PP	1-5	NO	
COBRE ACIDO	1	-7 a 49	CONTINUA	2-3	3	PP/PP	15	PERIODICA	
CIANURO DE COBRE	11-13	49 +	CONTINUA	2-3	3	PP/PP	15	CUANDO SEA NECESARIO	
COBRE ELECTROLESS	14	38 a 60	CONTINUA	1-2	2	ALGODON/PP	3	NO	
FLUOROBORATO DE COBRE	1	21 a 30	COMO SE REQUERA	—	—	PP/PP	15	CUANDO SEA NECESARIO	
PIROFOSFATO DE COBRE	8-9	43 - 54	CONTINUA	2-5	2	PP/PP	10-20	CUANDO SEA NECESARIO	
ORO ACIDO	3-5	27 - 52	CONTINUA	2	2	PP/PP	1-5	PERIODICO	
CIANURO DE ORO	7-12	24	CONTINUA	2	2	PP/PP	5	PERIODICO	
FLUOROBORATO DE PLOMO	1	38	COMO SE REQUERA	—	—	PP/PP	15	NO	
NIQUEL BRILLANTE	3-5	52 a 66	CONTINUA	2-3	2-3	ALGODON/PP	15	SI	
NIQUEL SEMIBRILLANTE	2-5	54	CONTINUA	2-3	2	ALGODON/PP	15	SI	
CLORURO DE NIQUEL	2	49 a 66	CONTINUA	2-3	2	PP/PP	15	SI	
NIQUEL ELECTROLESS	4-11	38 a 93	CONTINUA	2-3	2	ALGODON/PP	15	CUANDO SEA NECESARIO	
SULFAMATO DE NIQUEL	3-5	38 a 60	CONTINUA	2-3	2	ALGODON/PP	15	SI	
NIQUEL VARIOS	4	49 a 71	CONTINUA	2-3	2	ALGODON/PP	15	CUANDO SEA NECESARIO	
PIERRO-NIQUEL	3.5-4	57	CONTINUA	2-3	2-3	PP/PP	15	SI	
CLORURO DE FIERRO	1	91	CONTINUA	2-3	2	PP/PP	15	SI	
RODIO ACIDO	1	38 a 49	COMO SE REQUERA	—	—	PP/PP	5	PERIODICO	
CIANURO DE PLATA	12	21 a 49	CONTINUA	2	—	ALGODON/PP	5	PERIODICO	
ESTAÑO ACIDO	0.5	21	COMO SE REQUERA	—	—	PP/PP	15	CUANDO SEA NECESARIO	
ESTAÑO ALCALINO	12	60 a 82	COMO SE REQUERA	—	—	ALGODON/PP	30	NO	
ESTAÑO-PLOMO	0.5	38	COMO SE REQUERA	—	—	PP/PP	15	PERIODICO	
ESTAÑO-NIQUEL	2.5	66	CONTINUA	1-2	2	PP/PP	15	SI	
ZINC ACIDO	**	3-5	21 a 60	CONTINUA	2	3	PP/PP	15	NO
ZINC ALCALINO	**	14	24 a 38	COMO SE REQUERA	2-3	3	PP/PP	30-50	NO
CIANURO DE ZINC	**	14	24 a 32	CONTINUA	2-3	3	PP/PP	30	NO

* CON ALTA CARGA DE LODOS Y BUEN CICLO DE LIMPIADO

** OBJETO DE ESTE TRABAJO

PP = POLIPROPILENO
SS = ACERO INOXIDABLE

126-

III.4.- HOJA DE DATOS

De acuerdo con las necesidades de diseño del equipo de filtración, se deberá llenar la siguiente hoja de datos de filtros - (fig. 16), en la cual se presentará la información principal de soporte para el diseño del equipo de filtración.

Esta hoja de datos de filtros se deberá adaptar y completar para otros procesos, con la información necesaria según el tipo de equipo de filtración que se requiera, a fin de cumplir con las condiciones y características específicas del proceso de filtración deseado.

La hoja de datos de filtros presentada aquí, contiene toda la información necesaria para el diseño del equipo de filtración de nuestro caso específico: filtro de cartuchos para filtración de soluciones de galvanizado.

U. N. A. M.

-128-

HOJA DE DATOS
DE FILTROS

BARROSO GAS

BRAMBILA GUERRA JOSE DE J.

FACULTAD DE QUIMICA

TESIS 1983

REV.

HOJA DE

PROPIEDADES DEL FLUIDO

FLUIDO A FILTRAR: _____ COMPOSICION QUIMICA DEL FLUIDO: _____
 CONC. DE SOLIDOS: _____ (g/l) (% PESO) _____
 pH: _____
 CORROSIVIDAD: ALTA MEDIA BAJA
 TAMAÑO DE PARTICULA: _____ (MICRAS) _____
 VISCOSIDAD: _____ (CP) _____
 DENSIDAD: _____ (g/cm³) _____
 PRESION DE VAPOR @ P.T.: _____

TIPO DE EQUIPO DE FILTRACION

FILTRO PRENSA FILTRO DE CARTUCHOS
 FILTRO ROTATORIO: FILTRO DE HOJAS:
 DE VACIO VERTICALES
 DE PRESION HORIZONTALES
 FILTRO DE PLATOS OTROS: _____

CONDICIONES DE OPERACION

CONTINUA INTERMITENTE
 TEMP.: MIN. _____ MAX. _____ NORMAL _____ (°C)
 PRESION: MIN. _____ MAX. _____ NORMAL _____ (Kg/cm²MAN.)
 ΔP: MIN. _____ MAX. _____ (Kg/cm²MAN.)
 FLUJO: MAX.: _____ (m³/h) (l/min)
 MIN.: _____ (m³/h) (l/min)
 NORMAL: _____ (m³/h) (l/min)
 AREA DE FILTRACION: MIN.: _____ MAX.: _____ (m²)

PRODUCTO A RECUPERAR

FILTRADO TORTA AMBOS
 CALIDAD REQUERIDA DE FILTRADO
 BRILLANTE CLARO TURBIO
 OTRO: _____

CARACTERISTICAS DE LA TORTA

QUEBRADIZA COMPACTA, ESPESOR: _____ (cm)
 % DE HUMEDAD PERMISIBLE: _____

USO DE COAGULANTES: _____

LAVADO DE LA TORTA

FLUIDO DE LAVADO: _____
 TEMP. (°C), PRESION: _____ (Kg/cm²MAN.)
 FLUJO (m³/h), TIEMPO DE LAVADO: _____ (MIN)

FILTRO AYUDAS

TIPO DE FILTRO AYUDAS: _____
 CONCENTRACION: _____ (g/l)

CONDICIONES DE DISEÑO

TEMP DE DISEÑO: _____ (°C)
 PRESION DE DISEÑO: _____ (Kg/cm²MAN.)
 CAPACIDAD DE DISEÑO: _____ (l/min) (m³/h)
 PRUEBA HIDROSTATICA SI NO _____ (Kg/cm²MAN.)

MATERIALES DE CONSTRUCCION: (SEGUN EL TIPO DE FILTRO)

CODIGO DE DISEÑO: _____
 MATERIALES RECOMENDADOS: _____
 CUERPO: _____ BASE: _____
 TAPA: _____ CONEXIONES: _____
 EMPAQUES: _____ VEDTEO: _____
 RESORTES DE COMPRESION: _____
 SOPORTERIA: _____ TORNILLOS: _____
 TANQUE DE PRECAPA: _____ VALVULAS: _____
 TUBO DISTRIBUIDOR: _____
 SELLOS DE LAS CONEXIONES: _____

EQUIPO AUXILIAR

BOMBA: _____
 HP: _____ NPSH: _____
 MATERIALES: IMPULSOR _____ CARCASA _____
 BELLOS: _____
 ACCIONADOR: MOTOR: _____ HP _____
 No. POLOS: _____ R. P. M. _____ CICLOS _____
 C. A. C. D. VOLTS: _____

MATERIALES DEL MEDIO FILTRANTE

CARTUCHO: NUCLEO _____ FIBRA: _____
 MALLA _____
 POROSIDAD _____ (MICRAS)
 OTRO: _____

OBSERVACIONES:

U. N. A. M.

-129-
**HOJA DE DATOS
DE FILTROS**

FACULTAD DE QUIMICA

BARROSO CASTILLO JOSE

BRAMBILA GUERRA JOSE DE J.

TESIS 1983

REV.

HOJA ___ DE ___

PROPIEDADES DEL FLUIDO

FLUIDO A FILTRAR: CIANURO DE ZINC

CONC. DE SOLIDOS: 0.1 (g/l) (% PESO)

pH: 14

CORROSIVIDAD: ALTA MEDIA BAJA

TAMAÑO DE PARTICULA: 5 a 20 (MICRAS)

VISCOSIDAD: 58 (cP)

DENSIDAD: 1.86 (g/cm³)

PRESION DE VAPOR @ P.T.:

COMPOSICION QUIMICA DEL FLUIDO:

CIANURO DE ZINC 65.74 g/l

CIANURO DE SODIO 46.01 "

SOSA CAUSTICA 86.28 " "

AGENTE DE ADICION (CUANTO SE REQUIERA)

ZINC METALICO 36.97 g/l

CIANURO DE SODIO TOTAL 101.07 g/l

TIPO DE EQUIPO DE FILTRACION

FILTRO PRENSA FILTRO DE CARTUCHOS

FILTRO ROTATORIO: FILTRO DE HOJAS:

DE VACIO VERTICALES

DE PRESION HORIZONTALES

FILTRO DE PLATOS OTROS: _____

CONDICIONES DE OPERACION

CONTINUA INTERMITENTE

TEMP.: MIN. 20 MAX. 40 NORMAL 30 (°C)

PRESION: MIN. 0.2 MAX. 1.5 NORMAL - (Kg/cm² MAN.)

Δ P: MIN. 0.2 MAX. 1.3 (Kg/cm² MAN.)

FLUJO: MAX. 6 (m³/h) (l/min)

MIN. 1.5 (m³/h) (l/min)

NORMAL: 3 (m³/h) (l/min)

AREA DE FILTRACION: MIN. _____ MAX. 2.926 (m²)

PRODUCTO A RECUPERAR

FILTRADO TORTA AMIGOS

CALIDAD REQUERIDA DE FILTRADO

BRILLANTE CLARO TURBIDO

OTRO: _____

CONDICIONES DE DISEÑO

TEMP. DE DISEÑO: 60 (°C)

PRESION DE DISEÑO: 3 (Kg/cm² MAN.)

CAPACIDAD DE DISEÑO: 2 a 3 m³/h (l/min) (m³/h)

PRUEBA HIDROSTATICA SI NO (Kg/cm² MAN.)

CARACTERISTICAS DE LA TORTA

QUEBRADIZA CONTACTA, ESPESOR: 0.1 (cm)

% DE HUMEDAD PERMISIBLE: _____

USO DE COAGULANTES: _____

LAVADO DE LA TORTA

FLUIDO DE LAVADO: NO SE REQUIERE

TEMP. (°C), PRESION: _____ (Kg/cm² MAN.)

FLUJO (m³/h), TIEMPO DE LAVADO: _____ (MIN)

FILTRO AYUDAS

TIPO DE FILTRO AYUDAS: NO SE REQUIERE

CONCENTRACION: _____ (g/l)

MATERIALES DE CONSTRUCCION: (SEGUN EL TIPO DE FILTRO)

CODIGO DE DISEÑO: _____

MATERIALES RECOMENDADOS: PVC, PP, NEOPRENO

CUERPO: PVC BASE: PVC

TAPA: PVC CONEXIONES: PVC

EMPAQUES: NEOPRENO VENTEO: PVC

RESORTES DE COMPRESION: S.S. 316

SOPORTERIA: FIERRO TORNILLOS: S.S. 304

TANQUE DE PREGAPA: PVC VALVULAS: PVC

TUBO DISTRIBUIDOR: PVC

SELLOS DE LAS CONEXIONES: CINTA DE TEFLON

EQUIPO AUXILIAR

BOMBA: CENTRIFUGA HORIZONTAL

HP: 1 HP NPSH: _____

MATERIALES: IMPULSOR: EPOXI CARGASA: EPOXI

SELLOS: VITON, CERAMICA, CARBON Y SS-316

ASIGNACION: MOTOR: TRIFASICO HP: 1 HP

No. POLOS: 2 R.P.M.: 3325 CICLOS: 60

W.C.A. _____ V.C.D. _____ VOLTS: 220/440

MATERIALES DEL MEDIO FILTRANTE

CARTUCHO: NUCLEO PP FIBRA: PP

MALLA: _____

POROSIDAD: 30 (MICRAS)

OTRO: _____

RESERVACIONES: PVC, CLORURO DE POLIVINILO ; PP, POLIPROPILENO ; SS, ACERO INOXIDABLE

III.5.- SELECCION DEL EQUIPO DE FILTRACION.

En la selección de los filtros, los factores identificados - así como las necesidades de trabajo deberán ser considerados, junto con las características asociadas al equipo y al medio filtrante.

Los factores de trabajo que se deberán considerar son los siguientes:

- Características de la solución a filtrar.
- Cantidad de producción.
- Condiciones de trabajo.
- Requerimientos de temperatura y operación.
- Materiales de construcción.

Los factores más importantes relacionados con el equipo son:

- Tipo de ciclo (intermitente o continuo).
- Fuente de fuerza motriz (eléctrica, vapor, agua, etc.).
- Velocidad de rotación de las unidades más grandes y pesadas.
- Eficiencia de la filtración y recuperación.
- Capacidad de flujo.
- Tipo de motor de fuerza.
- Materiales de construcción.
- Precio.

El estimado de costos debe incluir depreciación (plusvalía - del costo instalado), costos de mantenimiento, costos de opera--- ción (mano de obra, servicios y sustitución y limpieza del medio filtrante) y recargos de las pérdidas de producción (en caso de - que se presenten).

Otros factores importantes son las consideraciones de:

- Preacondicionamiento de la solución.
- Selección y uso de filtro-ayudas.

Las características de la solución determinan si un filtro - con producción de torta o un clarificador es el adecuado, si es - del tipo de producción de torta, las características de la solu-- ción, determinarán la velocidad de formación y naturaleza de la - torta. Estas características afectan la selección de la fuerza - conductora y del ciclo de filtración así como el diseño específi-- co del equipo.

La conveniencia de los tipos de filtros más comunes para va-- rias clases de soluciones se resume en las tablas 11 y 12.

Los requerimientos de lavado de la torta también pueden afec-- tar significativamente la selección del equipo, ya que la capaci-- tad de lavado varía grandemente con el tipo de filtro. La efi-- ciencia relativa de lavado de un número de tipos de filtros se -- presenta en la tabla 12.

Para estimar la velocidad de filtración la presión de operación

y el dimensionamiento del filtro, las características de lavado - y otras características importantes, son esenciales. Las pruebas a pequeña escala, como ya lo hemos tratado anteriormente.

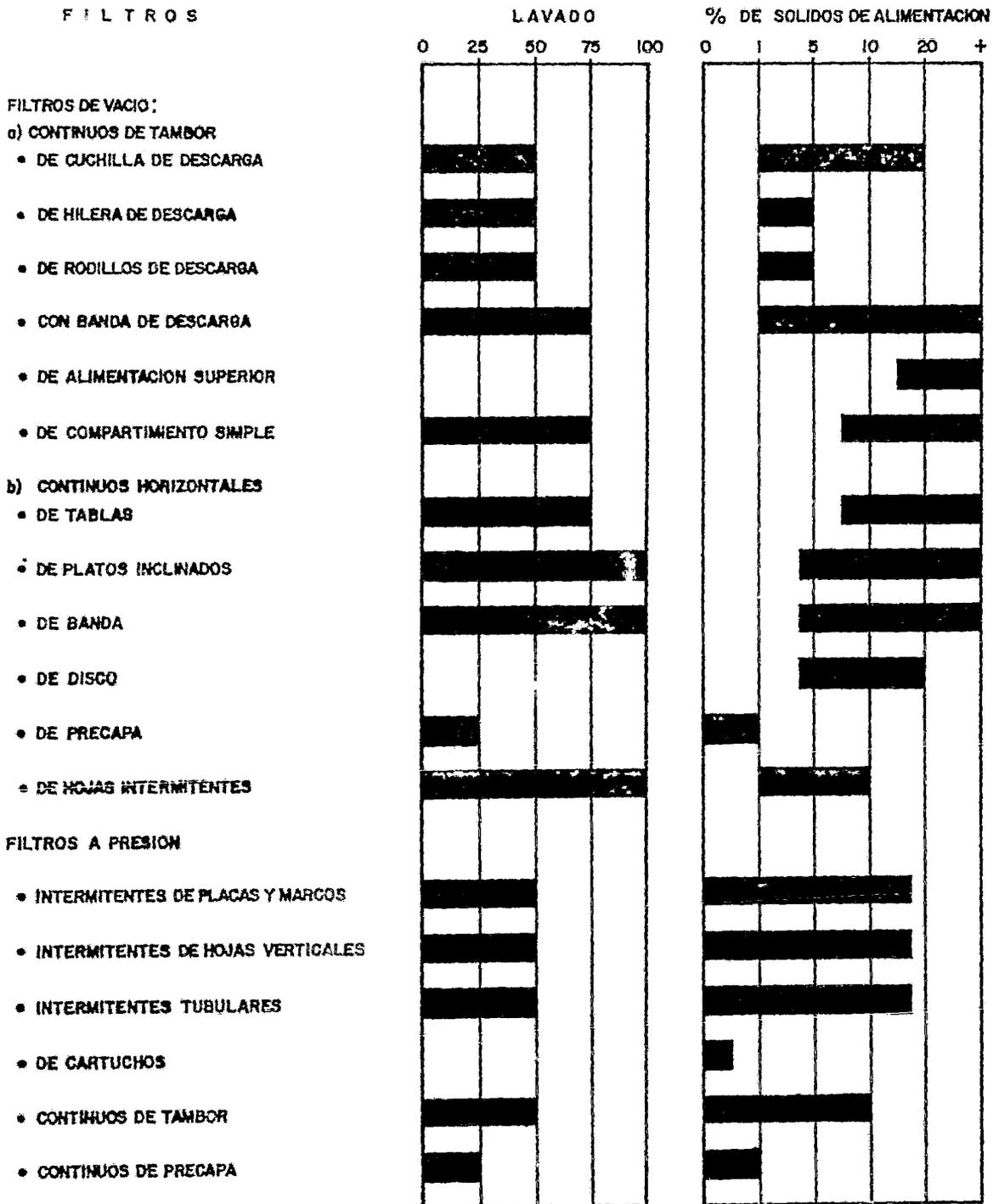
TABLA II

SELECCION DE FILTROS: CARACTERISTICAS DE LA SOLUCION

CARACTERISTICAS DE LA SOLUCION	VELOCIDAD DE FILTRADO	FILTRADO RAPIDO	FILTRADO MEDIO	FILTRADO LENTO	DILUIDO	MUY DILUIDO
VELOCIDAD DE FORMACION DE TORTA		CM / SEG	CM / MIN	0.05 - 0.25 CM / MIN	< 0.05 CM / MIN	NO HAY TORTA
CONCENTRACION NORMAL DE SOLIDOS		> 20 %	10 - 20 %	1 - 10 %	< 5 %	< 0.1 %
VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO		MUY RAPIDA	RAPIDA	LENTA	LENTA	—
VELOCIDAD DE PRUEBA SM / (HR) (CM ²)		> 240	24 - 240	2.4 - 24	< 2.4	—
VELOCIDAD DE FILTRADO N / (MM) (CM ²)		> 0.02	.0008 - 0.2	4×10^{-5} - 8×10^{-5}	4×10^{-5} - 0.008	4×10^{-5} - .008
FILTROS :						
FILTROS CONTINUOS DE VACIO :						
DE TAMBOR DE MULTICOMPARTIMIENTOS		X	X	X		
DE TAMBOR DE UN COMPARTIMIENTO		X				
DORRICO		X				
DE ALIMENTACION SUPERIOR		X				
DE MESA HORIZONTAL		X	X			
DE PLATOS INCLINADOS		X	X			
DE SANDA HORIZONTALES		X	X			
DE DISCO			X	X		
DE PRECAPA					X	X
FILTROS INTERMITENTES DE VACIO DE HOJAS						
FILTRO NUTSCHE INTERMITENTES		X	X	X	X	X
FILTROS INTERMITENTES A PRESION:						
DE PLACAS Y MARCOS			X	X	X	X
DE HOJAS VERTICALES			X	X	X	X
TUBULAR			X	X	X	X
DE PLATOS HORIZONTALES		X	X	X	X	X
DE CARTUCHOS						X
FILTROS CONTINUOS A PRESION:						
DE TAMBOR			X	X		
DE PRECAPA					X	X

TABLA No. 12

SELECCION DE FILTROS: CAPACIDAD DE LAVADO Y % DE CONTENIDO DE SOLIDOS EN LA ALIMENTACION.



III.6. CONSTRUCCION DEL EQUIPO

III.6.1.- Criterios de Construcción

La selección de un filtro de cartuchos, se apoya en los siguientes conceptos:

- 1.- Permite altos flujos a baja presión de operación.
- 2.- Son de fácil manejo.
- 3.- Operan a temperaturas continuas hasta 2000 F.
- 4.- Fácilmente desmontables en todas sus partes para mantenimiento.
- 5.- Ideales para filtración y brillantado de soluciones con contenidos de sólidos menores a 0.01% en peso.
- 6.- Materiales de construcción apropiados para el manejo de soluciones corrosivas tales como soluciones ácidas y alcalinas incluyendo Cianuros, altos Cloruros, Fluoroboratos, Pirofosfatos, Sulfamatos y en general soluciones de Electrorecubrimiento.
- 7.- Diámetros y tamaños de mangueras Standard para las conexiones de entrada y salida.
- 8.- Montado en una base rotante para fácil desplazamiento de lugar a otro.
- 9.- Este tipo de Filtros son de una gran versatilidad de aplicaciones, tales como la filtración de soluciones para la Industria Farmacéutica, Alimenticia, Gaseos, Lubricantes Hidráulicos, Combustibles líquidos, Aceites, Pinturas, - Fotografía, Bebidas, Petroquímicos, Soluciones de Galva-

nizado, Agua, Aire comprimido, etc., que requieren de una alta calidad y claridad óptica.

10.- Los cartuchos proporcionan una alta área de filtración, además, el equipo presenta una gran versatilidad al poder emplearse cartuchos de diferentes porosidades (Micras) y de diferentes materiales de construcción de acuerdo con el tipo de solución a Filtrar.

A continuación, presentamos la hoja de datos llena para el diseño del equipo de filtración de cartuchos para la filtración de soluciones de galvanizado en general y en particular para soluciones de cianuro de zinc.

La selección final de éste tipo de equipo, se apoya en todo lo anteriormente mencionado y en la información básica presentada en la tabla 10, así como en la selección de materiales y equipos auxiliar descrita enseguida.

III.6.2.- Selección de Materiales de Construcción y Equipo Auxiliar.

a).- Materiales de Construcción: tomando en consideración los datos de Resistencia a la Corrosión de la tabla 13, seleccionamos como principal componente, para la construcción de nuestra cámara de filtración, el PVF, ya que tiene una buena resistencia para nuestro caso particular, así como para la gran mayoría de Procesos de Electrorecubrimiento, en los que la temperatura no Excede

TABLA No. 13

TABLA DE RESISTENCIA A LA CORROSION

SOLUCIONES DE ELECTRORECUBRIMIENTO

A -- EXCELENTE
B -- BUENO
D -- EFECTO MODERADO
E -- NO RECOMENDABLE
F -- AUTOCATALITICO

SOLUCION	TEMPERATURA (°C)	P V C	POLIPROPILENO	EPOXI	POLIESTER	S.S. 316	HASTELLOY C	NEOPRENO	VITON	ALGORIN	NYLON	CERAMICA
LATONADO:												
BAÑO DE LATON REGULAR	38	A	A	B	E	A	A	A	A	A	A	B-D
BAÑO DE LATON ALTA VELOCIDAD	43	A	A	B	E	A	A	A	A	E	A	E
BRONCEADO:												
BAÑO DE BRONCE COBRE - CADMIO	25	A	A	B	B	A	A	A	A	B	-	B-D
BAÑO DE BRONCE COBRE - ESTAÑO	70	E	A	D	B	A	A	B	A	-	-	E
BAÑO DE BRONCE COBRE - ZINC	43	A	A	B	B	A	A	A	A	B	A	B-D
CADMIO:												
BAÑO DE CIANURO	33	A	A	B	B	A	A	A	A	B	-	B-D
BAÑO DE FLUOROBORATO	43	A	A	B	B	A	A	B-D	A	E	E	E
CROMO:												
BAÑO CROMICO - SULFURICO	55	A	A	E	E	D	A-B	E	D	E	E	A
BAÑO DE FLUOROSILICATO	35	A	A	E	E	D	A-B	E	D	E	E	B
COBRE ACIDO:												
BAÑO DE SULFATO DE COBRE	25	A	A	B	B	D	A	A	A	D	E	A
FLUOROBORATO DE COBRE	50	A	A	B	B	D	A	B-D	A	E	E	B
COBRE ALCALINO:												
BAÑO DE ALTA VELOCIDAD	80	E	A	D	B	A	A	B	A	E	A	E
DORADO:												
ALCALINO	65	E	A	B	B	A	A	A	A	B	A	B
ACIDO	25	A	A	B	B	D	A	A	A	A	-	A
NIQUELADO:												
FLUOROBORATO	40-80	E	A	B	B	D	A	B-D	A	D	E	E
SULFAMATO	40-60	A	A	A	B	D	A	A	A	A	-	A
ELECTROLESS	95	E	E	B	B	F	F	E	A	A	-	E
ZINCADO:												
CLORURO ALCALINO	60	A	A	B	B	E	E	A	A	E	E	A
SULFATO ACIDO	25	E	A	B	B	D	A	B	A	D	E	A
FLUOROBORATO ACIDO	25	A	A	B	B	D	A	B	A	E	E	B-D
CIANURO ALCALINO	25	A	A	B	B	A	A	A	A	E	A	E

de los 60% C. Además el PVC presenta gran facilidad de trabajo - (maquinado, pegado, ligero), facilidad de localización en el mercado, costo accesible., etc.

Como auxiliares se seleccionaron: Neopreno para empaques. - Acero Inoxidable tipo 316 para resortes de compresión que fueron requeridos para retención y sellado de los cartuchos, estos materiales son los que están en contacto directo con la solución.

De acuerdo a las recomendaciones expuestas en la tabla 10 en contramos que requerimos de cartuchos con núcleo de Polipropileno y Fibra de Polipropileno con porosidad de 30 micrones por lo que serán utilizados este tipo de cartucho. Asimismo se nos recomienda utilizar 3 cartuchos por cada 100 galones (378 lts.) por lo que para efectuar una filtración de una tina de 1000 lts. requeriríamos de 8 cartuchos.

Al tratar de distribuir estos 8 cartuchos dentro de la cámara de filtración, encontramos que podían ser colocados 2 cartuchos por lo que decidimos dejar los 6 ya que con ello podríamos prolongar los ciclos de filtración debido a que tendríamos una mayor área de filtración. La distribución que se encontró como óptima para estos cartuchos dentro de la cámara de filtración se muestra en la Fig. No. 18.

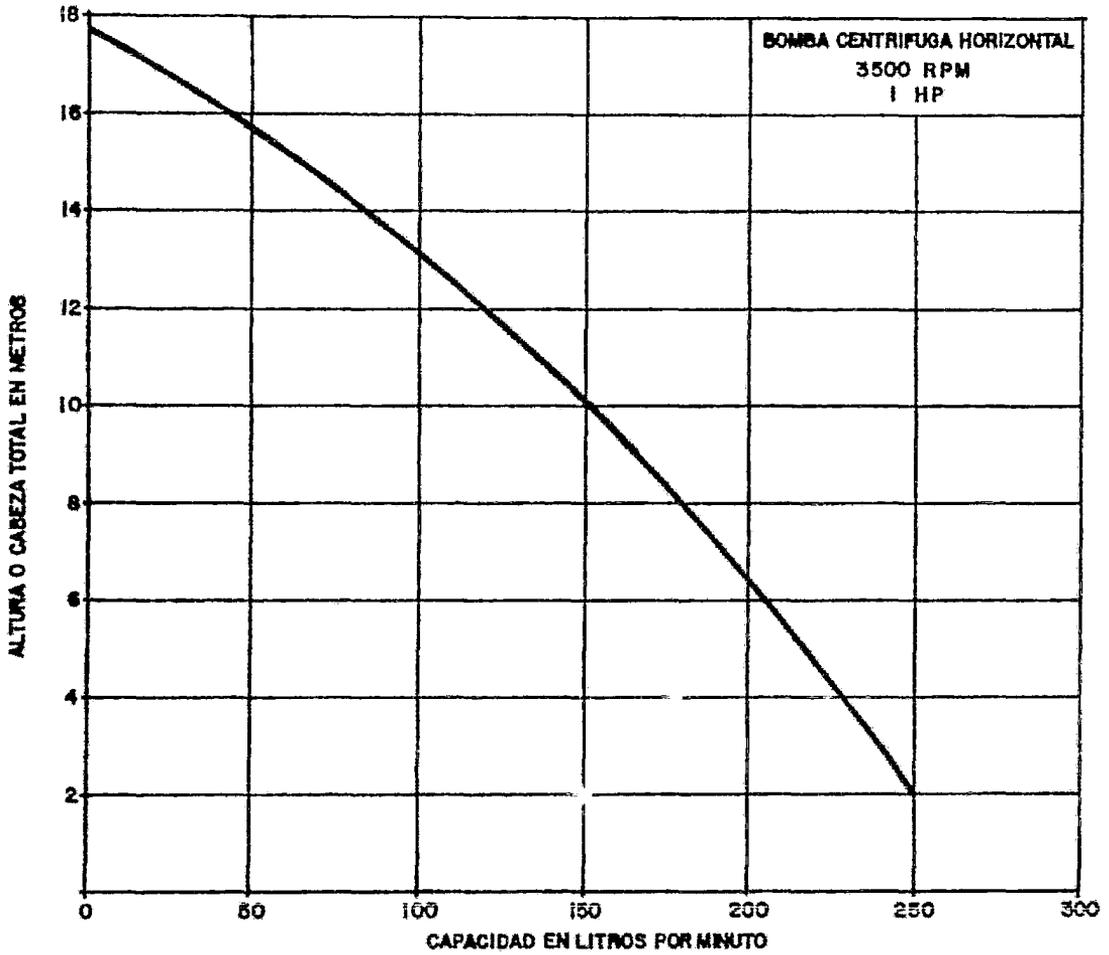
b).- Selección de la bomba: requerimos de una unidad de bombeo que nos proporcione un gasto de 2000 a 2000 litro/hora dentro

del rango de presión de 0.5 a 1.5 Kg/cm² de igual forma que para la cámara, necesitamos que sus materiales de construcción tengan versatilidad, a fin de poder ser aplicado para diversos procesos de Electrorecubrimiento; encontramos en el mercado una bomba cuyos materiales de construcción son: Resina epóxica para la carcasa y el impulsor, flecha de acero inoxidable tipo 316, provista de sello mecánico cuyos materiales de construcción son: Vitón, Cerámica, Carbón y Acero Inoxidable tipo 316, este tipo de materiales son resistentes a la mayoría de las aplicaciones de electrorecubrimientos, además del caso específico de Cianuro de Zinc.

Se seleccionó una bomba modelo Apolic 100C la cual cubre los requerimientos de Costo-Presión para la Unidad Filtrante.

Esta bomba debe ser acoplada a un motor de 1 H.P., 2 polos -- 220/440 Volts. Las características de la bomba se muestran en la fig. No. 17, obtenidos con agua.

A fin de integrar un equipo de filtración más completo el cual nos facilite la operación de carga del filtro así como poder efectuar agregados de filtro-ayuda en los casos que sean requeridos, se integró un tanque auxiliar y líneas que permiten efectuar la carga del filtro así como recirculación para agregados de filtro-ayuda. Las líneas están provistas de válvulas de cambio rápido que nos -- permiten pasar de una operación a otra sin tener que parar el equipo de bombeo; la cámara filtrante se provee con un indicador de presión y una válvula para purga, el diagrama completo del equipo se muestra en la Fig. No. 19. El material de construcción de las líneas y válvulas es PVC, por las características ya descritas anteriormente.



CURVA DE OPERACION DE LA BOMBA DEL EQUIPO DE FILTRACION. (PROPORCIONADA POR EL FABRICANTE)		TESIS
		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA No. 17
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		

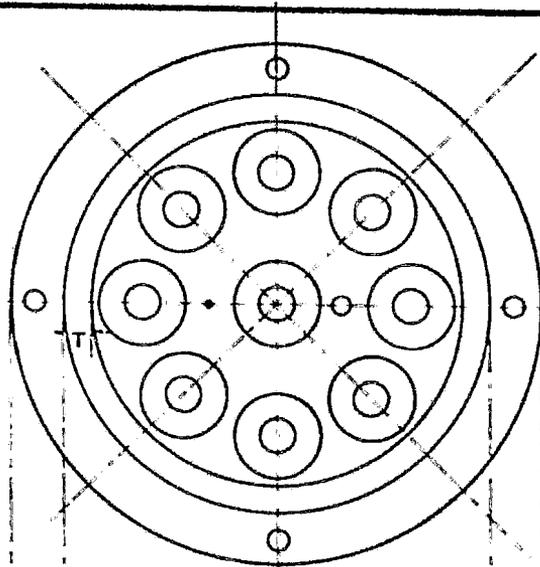
III.6.3. DIAGRAMAS DEL EQUIPO Y MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.

En las figuras siguientes se muestran los diagramas de la Cámara Filtrante y Equipo de Filtración así como sus respectivas tablas; igualmente se presenta un diagrama de Operación y Mantenimiento así como una descripción de los mismos.

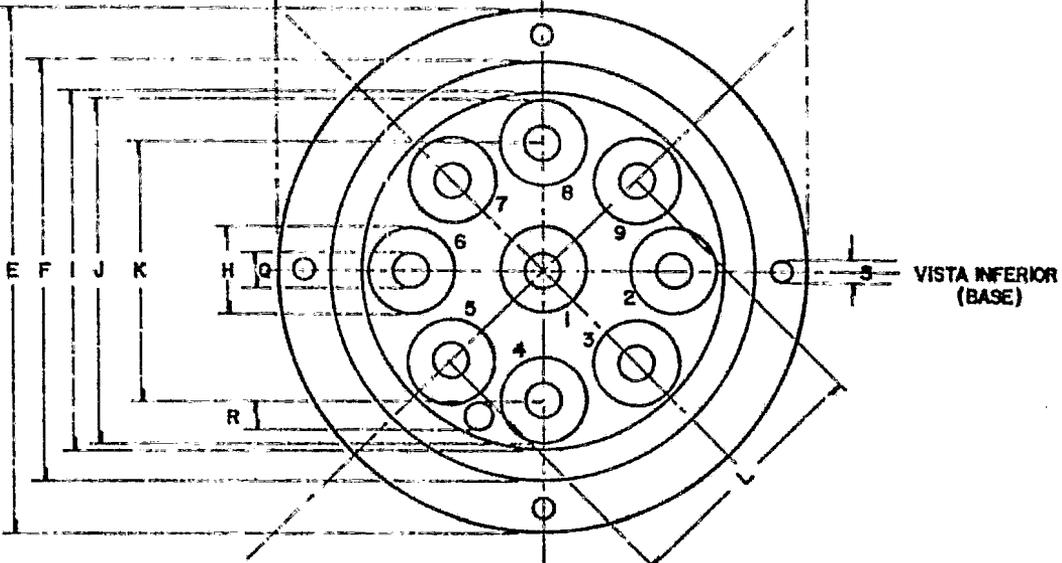
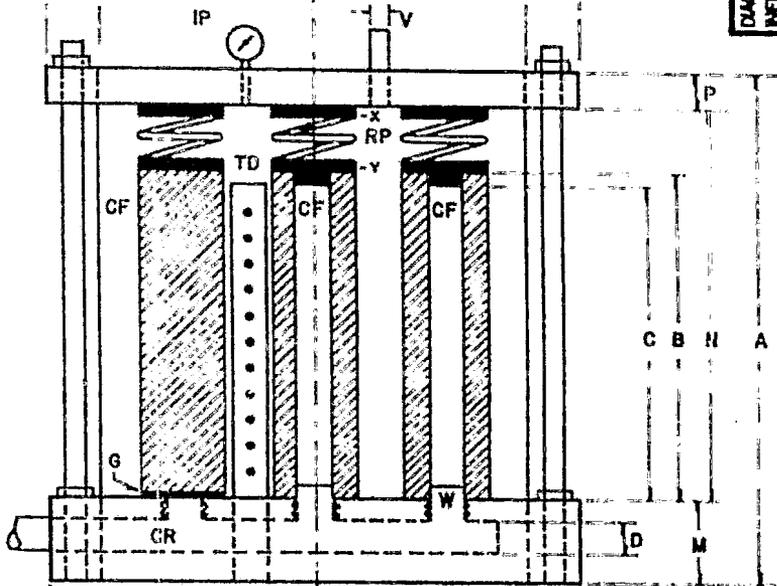
DIAGRAMA SECCIONAL DE CÁMARA FILTRANTE VISTA SUPERIOR E INFERIOR. DIMENSIONES Y PARTES (VER TABLA 13)

JOSE BARROSO CASTILLO	TESIS
JOSE DE J. BARRUELA GUERRA	1983
FACULTAD DE QUIMICA	
FIGURA N.º 18	

VISTA SUPERIOR (TAPA)



VISTA FRONTAL FC-001



VISTA INFERIOR (BASE)

CLAVE	DESCRIPCION	DIMENSIONES	
		CM.	PULG.
A	ALTURA TOTAL DE LA CAMARA DE FILTRACION	37.8	14.9
B	ALTURA DE LOS CARTUCHOS	25.0	10.0
C	ALTURA DEL TUBO DISTRIBUIDOR	24.0	9.45
D	ESPESOR DE LA CAMARA DE RECOLECCION	2.54	1.0
E	Ø DE LA TAPA Y BASE DEL FILTRO	39.4	15.5
F	Ø EXTERNO DE LA CAMARA DE FILTRACION	31.75	12.5
H	Ø EXTERNO DEL CARTUCHO DE FILTRACION (9 ELEMENTOS)	6.35	2.5
I	Ø DE LA CAMARA DE RECOLECCION	27.0	10.6
J	Ø A LOS EXTREMOS DE LOS CARTUCHOS MAS EXTERNOS	26.85	10.5
K	Ø ENTRE CENTROS DE LOS CARTUCHOS 4-8 Y 2-6	20.5	8.0
L	Ø ENTRE CENTROS DE LOS CARTUCHOS 5-9 Y 3-7	20.0	7.85
M	ESPESOR DE LA BASE	6.5	2.5
N	ALTURA INTERIOR DE LA CAMARA DE FILTRACION	28.5	11.2
P	ESPESOR DE LA TAPA	2.8	1.1
Q	Ø INTERIOR DEL CARTUCHO DE FILTRACION	2.54	1.0
R	Ø NOMINAL DEL TUBO DISTRIBUIDOR	1.9	0.75
S	Ø DE LOS BIRLOS DE SUJECION (4)	1.27	0.5
V	Ø DEL VENTEO O DRENE	2.54	1.0
W	Ø DEL NIPLE CENTRADOR DE CARTUCHOS (9)	2.54	1.0

CLAVE	DESCRIPCION		Ø EXT.	Ø INT.	ESPESOR
			CM	PULG.	CM
G	EMPAQUE DE NEOPRENO (9)	CM	6.35	2.54	0.635
		PULG.	2.5	1.0	0.25
T	EMPAQUE DE NEOPRENO (2)	CM	32.0	27.0	0.635
		PULG.	12.5	10.6	0.25
X	GUIA DE RESORTES (9)	CM	6.35	—	0.635
		PULG.	2.5	—	0.25
Y	TAPA DE CARTUCHO Y GUIA DE RESORTE DE PVC	CM	6.35	—	0.635
		PULG.	2.5	—	0.25

CF	CARTUCHO DE FILTRACION (9)
CR	CAMARA DE RECOLECCION DE FILTRADO
IP	MANOMETRO
RP	RESORTES DE COMPRESION DE ACERO INOX. T-316 (9)
TD	TUBO DISTRIBUIDOR DE ALIMENTACION

ACOTACIONES DE LA CAMARA DE FILTRACION DE LA		TESIS
FIGURA No. 18		
JOSE BARROSO CASTILLO		1983
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		
FACULTAD DE QUIMICA		TABLA No.
		14

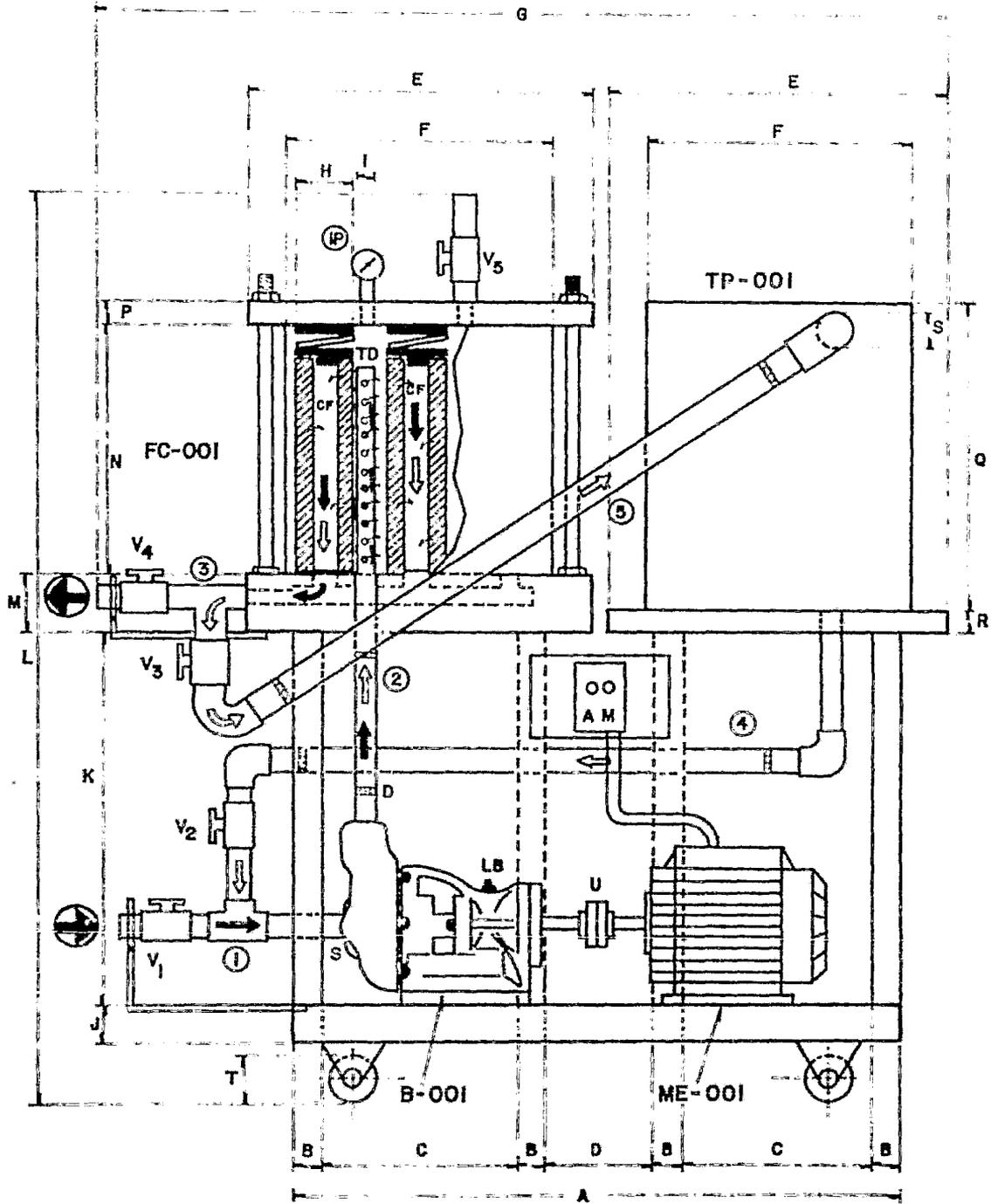


DIAGRAMA MECANICO Y DE FLUJO DEL EQUIPO, CON CORTE SECCIONAL DE LA CAMARA Y CARTUCHOS DE FILTRACION (ACOTACIONES EN TABLAS 14 Y 15)		TESIS
		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA No.
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		19

A.1. SIMBOLOGIA DE EQUIPO

CLAVE	DESCRIPCION
B-001	BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL 1 HP.
S	SUCCION DE LA BOMBA $\phi = 1$ PULG. (2.54 cm)
D	DESCARGA DE LA BOMBA $\phi = 1$ PULG. (2.54 cm)
LB	LUBRICACION DE LA BOMBA
U	ACOPLAMIENTO BOMBA - MOTOR
ME-001	MOTOR ELECTRICO TRIFASICO 1 HP, 220/440 V, 2 POLOS
FG-001	CAMARA FILTRANTE
CF	CARTUCHOS DE FILTRACION (3)
TD	TUBO DISTRIBUIDOR DE ALIMENTACION
TP-001	TANQUE DE PRECAPA D= 31.75 cm L=36.5 cm V=28 li.

A.2. SIMBOLOGIA DE VALVULAS E INSTRUMENTOS

CLAVE	DESCRIPCION
V ₁	VALVULA DE BOLA MANUAL P.V.C., 2.54 cm (1.0 PULG.) NOMINAL
V ₂	" " " " " " " "
V ₃	" " " " " " " "
V ₄	" " " " " " " "
V ₅ (VENTEO)	" " " " " 1.27cm (0.5 PULG.) NOMINAL
IP	MANOMETRO 2 Kg/cm ²
AM	ARRANQUE MANUAL CON ELEMENTOS TERMICOS

SIMBOLOGIA DE EQUIPO, DE VALVULAS E INSTRUMENTOS DE LA FIGURA No. 19		TESIS
		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	TABLA No.
JOSE DE J. DRAMBILA GUERRA		15

B.1 DESCRIPCION DE LINEAS				
CLAVE	DESCRIPCION	DIAMETRO		MATERIAL
		C M.	PULG.	
1	LINEA DE SUCCION DE LA BOMBA	2.54	1.0	P V C
2	LINEA DE DESCARGA DE LA BOMBA	"	"	"
3	LINEA DE FILTRADO	"	"	"
4	LINEA DE RECIRCULACION TP-001-B-001	"	"	"
5	LINEA DE RECIRCULACION FC-001-TP-001	"	"	"

B.2 ACOTACIONES			
CLAVE	DIMENSIONES (CM)	CLAVE	DIMENSIONES (CM)
A	70.0	K	43.5
B	3.3	L	114.5
C	25.2	M	6.5
D	13.0	N	28.5
E	39.4	P	2.8
F	31.75	Q	36.5
G	110.0	R	2.54
H	6.35	S	4.45
I	2.54	T	7.62
J	4.5		
	DIRECCION DE FLUJO DE LA SOLUCION DE PRECAPA		ENTRADA DE SOLUCION A FILTRAR
	DIRECCION DE FLUJO DE LA SOLUCION A FILTRAR		SALIDA DE FILTRADO

DESCRIPCION DE LINEAS Y ACOTACIONES DE LA FIGURA No. 19		TESIS
		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	TABLA No.
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		16

III.6.3.1.- Manual de Operación del Equipo de Filtración (Fig. No.19)

Tabla 17.

Tabla de Operación.

NUM. FASO	O P E R A C I O N	TIEMPO (MIN)	VALVULAS					BOMBA MOTOR
			V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	
1	Llenado de Cámaras y cebado con agua limpia o solución	10	●	○	○	●	○	▲
2	Colocación de Precapa	10	●	○	○	●	●	△
3	Venteo o Purga	<1	●	○	○	●	○	△
4	Filtrado de Solución	Variable	○	●	●	○	●	△
5	Purga con Solución	<1	○	●	●	○	○	△
6	Limpieza	30	●	●	●	○	○	▲

Símbolos: ○ Abierto △ Encendido
 ● Cerrado ▲ Apagado

Descripción de la Operación.

1.- Llenado de Cámara y cebado de la bomba:

En el equipo, motivo de la presente tesis esta operación se hace muy simple ya que se utiliza el tanque de Precapa que está integrado al equipo por lo que manteniendo cerradas V₁ y V₄ y abiertas V₂, V₃ y V₅ el líquido fluye por gravedad, cebando la bomba y llenando la cámara de filtración, esto se logra una vez

que el nivel de líquido en el tanque de Precapa se mantenga cons
tante a unos 5 cm. abajo del borde.

2.- Colocación de Precapa:

Cuando sea necesario efectuar esta operación se cierra V_5 y se enciende el motor, el líquido se recircula por las líneas (4) - (1) (2) (3) y (5), se abre V_5 para eliminar el aire que haya quedado dentro de la cámara de filtración, una vez eliminado se cierra V_5 y se van haciendo los agregados del filtro-ayuda, -- cuidando que se obtenga una suspensión uniforme, una vez agrega da la cantidad necesaria de filtro-ayuda, se deja operando el -- equipo en recirculación, hasta que haya sido retenido totalmen-- te el filtro-ayuda, cuando se utiliza agua limpia para este pa-- so, estará retenido todo el filtro-ayuda, cuando el agua vuelva a ser transparente y limpia, en este momento se apaga el motor.

3.- Venteo o Purga:

Se efectúa al abrir V_5 para eliminar aire dentro de la cámara -- de filtración.

4.- Filtrado de la Solución:

Se cierra V_3 ; si la línea de succión no ha sido retada previa-- mente se puede hacer de la siguiente forma: (Normalmente se u-- tilizan mangueras en la línea de succión y descarga por lo que consideramos sea este el caso).

Se abre V_1 y por gravedad el líquido llenará la manguera, una -- vez llena se tapa el extremo de ésta cuidando que no entre aire y se introduce en la tina con solución; se cierra V_2 y se abre V_4 y se arranca el motor obteniéndose circulación del tanque de -- solución (línea 1) a la bomba y de ésta a la cámara de filtra-- ción (línea 2) y retorno del filtrado al tanque de solución --

(por la línea 3).

5.- Purga de Solución:

A fin de que la filtración sea completa, es necesario eliminar el aire de la cámara de filtración si es que lo hay, para verificarlo se abre V_5 hasta que fluya solución en este momento se volverá a cerrar. El tiempo de filtración será variable en función de la cantidad y tipo de sólidos que contenga la solución y que deben ser retenidos por el filtro.

El rango de presiones de operación, de acuerdo a las pruebas efectuadas fueron las siguientes: con cartuchos de filtración nuevos, la presión inicial es de 0.2 Kg/cm² y la presión de saturación es de 1.8 Kg/cm². Con Cianuro de Zinc; de ninguna manera es recomendable llegar a este punto de saturación ya que por una parte, se tiene una mayor compactación de los lechos, lo cual hace más difícil la operación de limpieza, por otra parte, el flujo de solución en este punto es menor del requerido, por lo que se recomienda suspender la operación, cuando la presión en la cámara sea de 1.5 a 1.6 Kg/cm² y el flujo de solución sea de: 1 a 1.4 m³/hr.

6.- Limpieza:

Una vez llegado al límite de presión (saturación) predeterminado (de acuerdo a los criterios del párrafo anterior) se para el motor.

Se cierra V_4 y se procede a descargar el filtro, para lo cual se saca la manguera de descarga del tanque de solución y se --

abre V_5 para que por gravedad se descargue.

Se quitan las tuercas con que se sella la tapa del filtro y se quita ésta, los cartuchos se sacan de la cámara y se procede a lavarlos con agua, a contra corriente hasta eliminar los sólidos retenidos.

Una vez limpios los cartuchos se vuelven a colocar en la cámara cuidando que los empaques queden bien colocados, se pone la tapa cuidando que los resortes queden dentro de las guías, que para tal efecto se encuentran en la tapa; se colocan las tuercas y se aprietan hasta que esté bien sellada la cámara; inician dose nuevamente el ciclo de filtración.

III.6.3.2.- Mantenimiento

El equipo de Filtración se mantendrá siempre en buen funcionamiento y proporcionará una alta eficiencia de operación si se le da un buen mantenimiento, para lo cual se deberá seguir el siguiente - PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

a).- El equipo deberá limpiarse y lavarse bien después de cada servicio de Filtración que se efectúe, tal y como se menciona en el punto anterior.

Cuando sea necesario y en función del rendimiento obtenido, -
cambiar los cartuchos de Filtración, ya que su vida útil promedio -
es de 3 a 6 semanas en Filtración continua en función del tipo de -
solución a filtrar, como se menciona en el inciso 11.6.3.8

b) Revisar en forma periódica el acoplamiento de la bomba y el
motor de tal manera que los acoplamientos absorban las pequeñas vi-
braciones en el alineamiento, evitando así que se produzca daños -
en el motor y la bomba.

Generalmente los fabricantes de equipo de bombeo proporcionan
los detalles de mantenimiento preventivo como son: Lubricación de -
Rodamientos, Alineación, Especificaciones de Conexiones, etc.

c) Revisar el sistema de sellos de la bomba, evitando que exis-
tan fugas de fluido. En el caso de detectar fallas en el sistema -
de sellos, enviar de inmediato la bomba al servicio de mantenimien-
to para el reemplazamiento o reacondicionamiento de las partes afec-
tadas.

d) En términos generales, se deberá proporcionar un programa de
revisión periódica de la bomba en la que se revisarán todas sus par-
tes, anexando a las ya mencionadas, el impulsor, los anillos de des-
gaste, la carcasa, la flecha, el sistema de lubricación, chequeando -
asimismo que la vibración se encuentre entre los límites permi-
bles.

e) Revisar el correcto funcionamiento del motor, para lo cual -

se deberá programar en forma periódica su revisión y su conexión al arrancador manual, revisando así todo el sistema eléctrico, evitando los falsos contactos que pueden provocar no sólo la defectuosa o mala operación del equipo, sino accidentes humanos de consideración.

f) Revisar el buen funcionamiento de todas las líneas y válvulas, detectando fugas ocasionadas por rotura en las líneas o por aflojamiento de las conexiones, que repercutan en pérdida del fluido manejado.

g) Se recomienda llenar el siguiente formato de mantenimiento en la figura Núm. 20.

CONTROL Y REPORTE DE MANTENIMIENTO

- 153 -

REPORTE No. : _____ FECHA: _____

EQUIPO: _____

DESCRIPCION DEL SERVICIO	FECHA	EFECTUO	REVISO	TIEMPO EMPLEADO
<p><input type="radio"/> LIMPIEZA Y LAVADO</p> <p><input type="radio"/> REVISION GENERAL DE LA BOMBA</p> <p><input type="radio"/> REVISION GENERAL DEL MOTOR</p> <p><input type="radio"/> REVISION DEL SISTEMA ELECTRICO</p> <p><input type="radio"/> REVISION DE LINEAS Y VALVULAS</p> <p><input type="radio"/> OTRO _____</p> <p>_____</p>				

FALLAS LOCALIZADAS :

TRABAJO EFECTUADO:

MATERIAL Y PARTES SUSTITUIDAS :

OBSERVACIONES:

FECHA PROXIMO MANTENIMIENTO:

AUTORIZO:

III.6.4.- PRUEBAS Y RESULTADOS

Se efectuaron varias corridas de prueba con el Equipo con soluciones de Cianuro de Zinc con un alto contenido de impurezas en solución, debido a que la solución había sido utilizada para baños de Galvanizado durante períodos de tiempo muy grandes sin efectuar ninguna Filtración para limpiarla, además de que dicha solución se encontraba fuera de servicio en un perrón circular abierto de aproximadamente 1,200 litros, en donde se positaban además una gran cantidad de tierra y polvo del medio ambiente así como impurezas que provenían de otras áreas del taller, haciendo que la solución estuviera altamente contaminada con una concentración de lodos fuera de lo normal para este tipo de soluciones (de 0.1 a 0.5% de impurezas en solución).

La solución filtrada se pasaría a un tanque vacío que tenía las siguientes dimensiones:

1.20 m. de ancho

1.50 m. de largo

1.00 m. de profundidad

cubicando lo anterior, el volumen del tanque por un cm. de altura era de 18 litros, por lo que marcamos la tina cada 100 litros que correspondían a 5.5 cm. de altura, para elaborar nuestras lecturas cada 100 lts. con rangos de volumen de filtrado constantes.

Primeramente procedimos a la obtención de datos para la elaboración de una gráfica presión contra volumen por unidad de tiempo, a fin de conocer la capacidad real de nuestro equipo de filtración en los diferentes puntos de presión del manómetro, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 18.

Presión Kg/cm ²	Volumen de Filtrado	Tiempo Seg.	Volumen lt/min.	m ³ /h
0.2	19	11	103.6	6.2
0.5	18	12	90	5.4
0.7	16	12	80	4.8
1.0	16	14	68	4.1
1.2	16	18	53	3.2
1.4	16	23	41	2.5
1.6	18	46	23.5	1.4
1.75	18	134	8	0.48
1.8	16	240	4	0.24

de los cuales se obtuvo la siguiente gráfica. Fig. 21a

De la gráfica se observa que conforme se incrementa la presión disminuye el gasto.

Durante esta primera prueba nos percatamos de que la solución

tenía un alto contenido de sólidos ya que se llegó a la saturación total en un lapso de tiempo muy corto, aproximadamente 20 minutos - por lo que decidimos recircular la solución al porrón que la contenía inicialmente a fin de eliminar una mayor cantidad de impurezas.

Se procedió a dar limpieza al equipo, lo cual nos tomó 30 min. aproximadamente, considerando desde el inicio del desarme del equipo hasta dejarlo listo para su operación.

Se efectuó una segunda corrida, pasando la solución del tanque al porrón siendo ésta filtración más rápida que la primera por el menor contenido de impurezas, observándose un mejor comportamiento del equipo, sin llegar a la saturación.

Como en la primera corrida había quedado en el porrón solución sin filtrar decidimos efectuar una recirculación en el porrón con el objeto de eliminar una cantidad mayor de impurezas y poder así efectuar otra corrida con una solución que nos proporcionara datos más confiables para la obtención de las constantes de filtración para el equipo. Una vez saturado el filtro, se procedió a lavarlo nuevamente para iniciar la tercera corrida con el filtro limpio, de la cual obtuvimos los siguientes datos:

Tabla 19

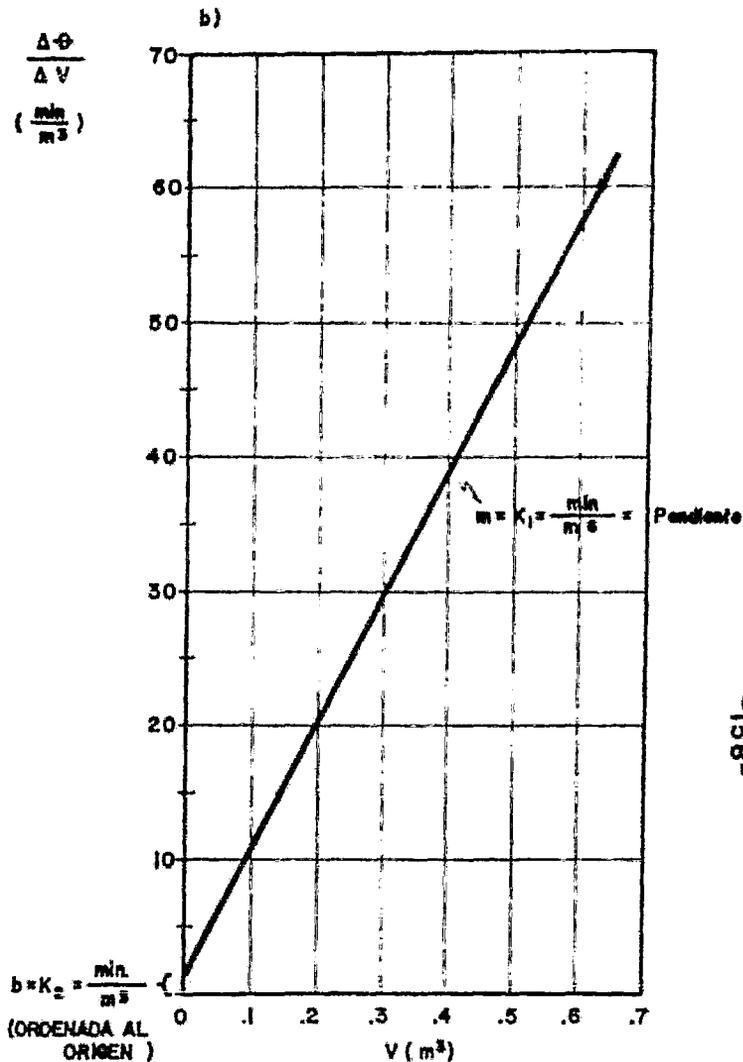
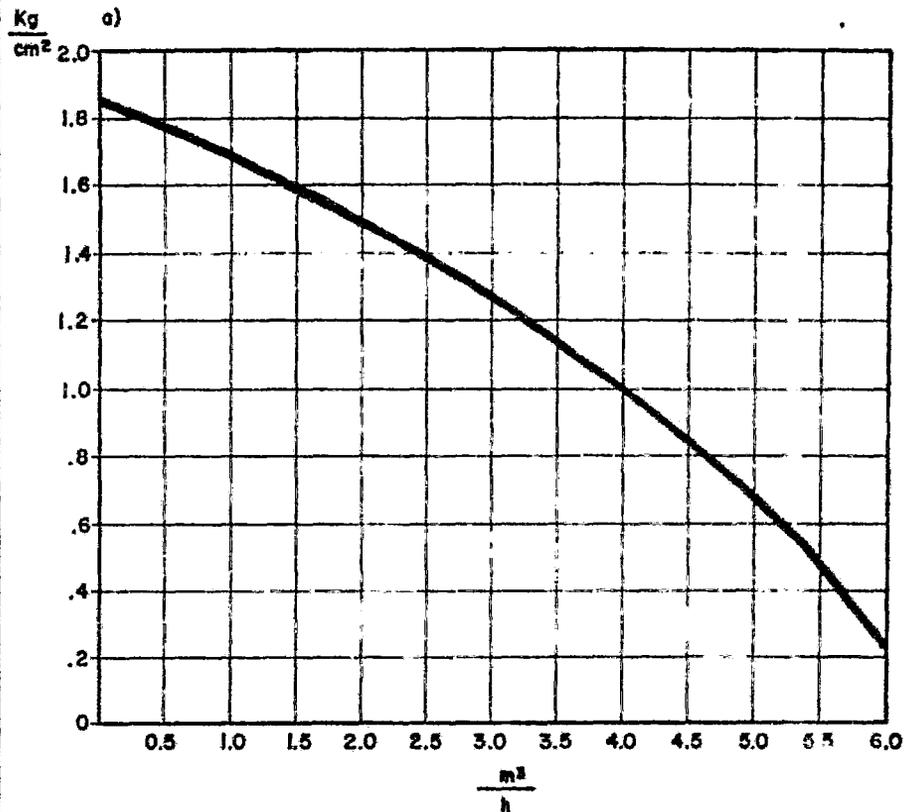
- θ - min.	I	V acumulado m ³	ΔV	$\Delta \theta$	$\frac{\Delta C}{\Delta V}$	$\frac{\Delta V}{\Delta C}$	P
1.1	100	0.1	0.1	1.1	11	0.09	0.2
2.9	200	0.2	0.1	1.8	18	0.055	0.7
5.9	300	0.3	0.1	3.0	30	0.033	0.9
9.8	400	0.4	0.1	3.9	39	0.0256	1.0
14.7	500	0.5	0.1	4.9	49	0.020	1.1
20.3	600	0.6	0.1	5.6	56	0.0178	1.2
27.1	700	0.7	0.1	6.8	68	0.0147	1.5

De los resultados obtenidos en ésta tabla, obtenemos la gráfica, mostrada en la Fig. 21 b.

III.6.5.- CALCULOS DE DISEÑO PARA LAS CONSTANTES DE FILTRACION

Con los datos obtenidos en la última corrida de prueba y tabulados en el punto anterior se construye la siguiente gráfica θ/V como ordenadas y v como abscisas, obteniendo así las constantes de filtración, de las ecuaciones (26) y (35), de acuerdo con lo establecido en la figura 2a.

La gráfica obtenida se muestra en la Fig. 21. b.



a) CURVA DE PRESION (Kg/cm²) CONTRA VOLUMEN (m³/h) DEL EQUIPO DE FILTRACION.

TESIS

b) GRAFICA DE $\Delta\Phi/\Delta V$ (min/m³) CONTRA V (m³) DE LOS DATOS DE PRUEBA PARA OBTENER LAS CONSTANTES DE FILTRACION $K_1 = \text{PENDIENTE} = \frac{\text{min}}{\text{m}^3}$ Y $K_2 = \text{ORDENADA AL ORIGEN} = \frac{\text{min}}{\text{m}^3}$

1983

JOSE BARROSO CASTILLO

FACULTAD DE QUIMICA

FIGURA No.

JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA

21

Los datos de la solución y de la operación son los siguientes:

$$\mu_{zn(cN)} = 58 \text{ cp} \left(0.001 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}} \right) = 0.058 \frac{\text{Kg}}{\text{m.s}}$$

$$\Delta P = (1.5 - 0.2) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = (1.3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}) \left(10^4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2} \right) = 1.3 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$W = \text{Peso de torta seca recolectada} = 1.89 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Area de filtración de un cartucho de 6.35 cm (2.5 pulg.) de diámetro exterior, 2.54 cm. (1 pulg.) de diámetro interior y 2.54 cm. (10 pulg.) de altura es de 0.3251 m² (3.5 ft²).

Si tenemos 9 cartuchos, el área total del filtro es:

$$A_{\text{tot.}} = (0.3251 \text{ m}^2) (9 \text{ cartuchos}) = 2.9264 \text{ m}^2$$

$$G_c = 9.81 \frac{\text{Kg. m}}{\text{Kg. s}^2}$$

De la gráfica 21 b obtenemos el valor de las constantes de filtración K_1 - (constante que involucra la resistencia de la torta en $\frac{\text{min}}{\text{m}}$) y K_2 (constante que involucra la resistencia del medio filtrante en $\frac{\text{min}}{\text{m}^2}$).

Así, tenemos que K_1 es la pendiente de la tecta, que podemos calcular con dos puntos de ella de la siguiente forma:

$$P_1 = \left[V_1, \left(\frac{\Delta \theta}{\Delta V} \right)_1 \right] = (0.2, 18)$$

$$P_2 = \left[V_2, \left(\frac{\Delta \theta}{\Delta V} \right)_2 \right] = (0.5, 49)$$

sustituyendo en la ecuación de pendiente de una recta:

$$K_1 = m = \frac{(\frac{\Delta q}{\Delta V})_2 - (\frac{\Delta q}{\Delta V})_1}{V_2 - V_1} = \frac{49-18}{0.5 - 0.2} = \frac{31 \frac{\text{min}}{\text{m}^3}}{0.3 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^6}} = 103.3 \frac{\text{min}}{\text{m}^6}$$

$$K_1 = 103.3 \frac{\text{min}}{\text{m}^6}$$

K_2 es la ordenada al origen, en donde la recta interseca al eje (q/V) y de la gráfica leemos directamente su valor:

$$K_2 = b = 1 \frac{\text{min}}{\text{m}^3}$$

Con K_1 podemos calcular la resistencia específica de la torta $\alpha = \left(\frac{\text{m}}{\text{kg}} \right)$ para cualquiera de los casos de filtración a presión constante ó a velocidad constante; despejando α de la ecuación correspondiente (36) o (27) respectivamente.

Con K_2 podemos calcular el volumen ficticio V_f , $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \right)$ ocupado para formar la torta ficticia que representa el medio filtrante, para cualquiera de los casos de filtración a velocidad constante empleando la ecuación (28) o para filtración a presión constante aplicando la ecuación (37), despejando de ambas ecuaciones a V_f , que siempre es muy pequeño.

Aquí presentamos los cálculos para ambas situaciones: filtración a velocidad constante y a presión constante.

Cálculo de α y V_f para el caso de filtración a velocidad constante.

De la ecuación (26) resulta

$$q^r = \frac{\alpha W \mu}{\Delta P A^2 gc} V^2 + \frac{\alpha W \mu V_f}{\Delta P A gc} V$$

$$q^r = K_1^r V^2 + K_2^r V$$

Donde:

$$K_1^r = \frac{\alpha W \mu}{\Delta P A^2 gc} \dots \dots \dots (27)$$

$$K_2^r = \frac{\alpha W \mu V_f}{\Delta P A gc} \dots \dots \dots (28)$$

De la ecuación (27) despejamos

$$\alpha = \frac{K_1 \Delta P A^2 gc}{\mu W}$$

sustituyendo valores:

$$\alpha = \frac{(103.3 \frac{\text{min}}{\text{m}^6}) (60 \frac{\text{s}}{\text{min}}) (13,000 \frac{\text{kg.f}}{\text{m}^2}) (2.9254)^2 \text{ m}^4 (9.81 \frac{\text{kg.m}}{\text{kg.f. s}^2})}{(1.89 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}) (0.058 \frac{\text{Kg}}{\text{m.s}})}$$

$$\alpha = \frac{6.7691059 \times 10^9 \text{ m}}{0.10962 \text{ Kg}} = 6.175 \times 10^{10} \frac{\text{m}}{\text{Kg}}$$

de la ecuación (28) despejamos V_f

$$V_f = \frac{K_2 A \Delta P}{\alpha W \mu} \frac{gc}{gc}$$

sustituyendo valores:

$$V_f = \frac{(1 \frac{\text{min}}{\text{m}^2}) (60 \frac{\text{seg}}{\text{min}}) (2.9264 \text{ m}^2) (13,000 \frac{\text{kg-f}}{\text{m}^2}) (9.81 \frac{\text{kg-m}}{\text{kg f. s}^2})}{(6.175 \times 10^{10} \frac{\text{m}}{\text{kg}}) (1.89 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) (0.058 \frac{\text{kg}}{\text{m-s}})}$$

$$= \frac{22392228.0}{6.7691059 \times 10^9} = 3.308 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

El volumen ocupado por el medio filtrante es:

$$V = (V_f) (A) = (3.308 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}) (2.9264 \text{ m}^2) = 9.6805 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V = 9.68 \text{ lt.}$$

Cálculo de α y V_f para el caso de filtración a Presión Constante.

De la ecuación (35)

$$\theta^P = \frac{\alpha W \mu}{2 A^2 \Delta P^{1-s}} \frac{gc}{gc} V^2 + \frac{\alpha W \mu V_f}{A \Delta P^{1-s}} \frac{gc}{gc} V$$

$$\theta = K_1^P V^2 + K_2^P V$$

donde:

$$K_1^P = \frac{\alpha W \mu}{2 A^2 \Delta P gc} \dots \dots \dots (36)$$

$$K_2^P = \frac{\alpha W \mu V_f}{A \Delta P gc} \dots \dots \dots (37)$$

De la ecuación (36) despejamos α y sustituimos valores:

$$\alpha = \frac{2 K_1^P A^2 \Delta P gc}{W \mu}$$

$$= \frac{2(103.3 \frac{\text{min}}{\text{m}^6}) (60 \frac{\text{kg}}{\text{min}}) (13,000 \frac{\text{kg f}}{\text{m}^2}) (2.9264)^2 \text{ m}^4 (9.81 \frac{\text{kg.m}}{\text{kg f.s}^2})}{(0.058 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}) (1.89 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}$$

$$= \frac{1.35382 \times 10^{10}}{0.10962} = 1.2350 \times 10^{11} \frac{\text{m}}{\text{kg}}$$

$$\alpha = \text{Resistencia específica de la torta} = 1.235 \times 10^{11} \frac{\text{m}}{\text{kg}}$$

de la ecuación (37) despejamos V_f y sustituimos valores:

$$V_f = \frac{k_2 A \Delta P gc}{\alpha W \mu}$$

$$V_f = \frac{(1 \frac{\text{min}}{\text{m}^3}) (60 \frac{\text{s}}{\text{min}}) (2.9264 \text{ m}^2) (13,000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}) (9.81 \frac{\text{kg.m}}{\text{kgf.s}^2})}{(1.2350 \times 10^{11} \frac{\text{m}}{\text{kg}}) (1.89 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) (0.058 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}})} = \frac{22392228}{1.3538 \times 10^{10}}$$

$$= 1.654 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$$

$$V = (V_f) (A) = (1.654 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}) (2.9264 \text{ m}^2) = 4.84 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 4.84 \text{ lbs.}$$

Cálculo de V_{opt} , $\theta_{f opt}$, $\theta_{t opt}$ y C_{opt} a Presión Constante $n=1$, $m=4$,

$\theta_c = 30$ min.

$$1.- V_{opt} = \sqrt{\frac{V_w m k_2 + \theta_c}{n k_1}} = \sqrt{\frac{0 + \theta_c}{n k_1}} = \sqrt{\frac{30 \text{ min}}{(1)(103.3 \frac{\text{min}}{\text{m}^3})}} = 0.5389 \text{ m}^3 = 538.9 \text{ lt}$$

$$2.- \theta_f \text{ opt} = n k_1 V_{opt}^2 + V_{opt} = (1)(103.3 \frac{\text{min}}{\text{m}^3})(0.5389 \text{ m}^3)^2 + (1 \frac{\text{min}}{\text{m}^2})(0.5389 \text{ m}^3)$$

$$= 30.53 \text{ min.}$$

$$3.- \theta_{f opt} = n k_1 V_{opt}^2 + k_2 V_{opt} + v_w m (2 n k_1 V_{opt} + k_2) + \theta_c$$

$$= (1)(103.3 \frac{\text{min}}{\text{m}^3})(0.5389 \text{ m}^3)^2 + (1 \frac{\text{min}}{\text{m}^2})(0.5389 \text{ m}^3) + 3 + 30 \text{ min} = 60.538 \text{ min.}$$

$$4.- c_{opt} = \frac{V_{opt}}{\theta_{f opt}} = \frac{0.5389 \text{ m}^3}{60.538 \text{ min}} = 0.0089 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 8.9 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$$

Cálculo de V_{opt} , $\theta_{f opt}$, $\theta_{t opt}$ y C_{opt} a Velocidad Constante.

$n = 2$, $m = 4$, $\theta_c = 30$ min.

$$1.- V_{opt} = \sqrt{\frac{V_w m k_2 + \theta_c}{n k_1}}$$

$V_w m k_2 = 0$ (ya que no es necesario lavar la torta en nuestro caso).

$$V_{opt} = \sqrt{\frac{0 + \theta_c}{n k_1}} = \sqrt{\frac{30 \text{ min}}{(2)(103.3 \frac{\text{min}}{\text{m}^3})}} = 0.381 \text{ m}^3 = 381 \text{ lt}$$

$$2.- \theta_f \text{ opt} = n k_1 V_{opt}^2 + k_2 V_{opt} = (2) (103.3 \frac{\text{min}}{\text{m}^3})(0.381 \text{ m}^3)^2 + (1 \frac{\text{min}}{\text{m}^2})$$

$$(0.381 \text{ m}^3) = 30.381 \text{ min.}$$

$$\begin{aligned} 1.- \theta_{f \text{ opt}} &= nk_1 V_{\text{opt}}^2 + k_2 V_{\text{opt}} + V_w m / (2nk_1 V_{\text{opt}} + k_2) + \theta_c = \\ &= 30.381 \text{ min} + 0 + 30 \text{ min} = 60.381 \text{ min}. \end{aligned}$$

$$4.- C_{\text{opt}} = \frac{V_{\text{opt}}}{\theta_{f \text{ opt}}} = \frac{0.381 \text{ m}^3}{60.381 \text{ min}} = 0.0063 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 6.3 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$$

III.6.6. ANALISIS DE COSTOS

ANALISIS DEL COSTO HORA-HOMBRE (H/H)

Tabla 20.

NUM.	OPERACION	EJECUTANTE	COSTO \$/(H/H)
1	Cortar	Obrero A	103.23
2	Tornear	Tornero	170.44
3	Roscar	Tornero	170.44
4	Sellar	Obrero B	120.24
5	Soldar	Soldador	154.28
6	Acoplar	Obrero B	120.24
7	Colocar	Obrero B	120.24
8	Pegar	Obrero A	103.23
9	Pintar	Obrero A	103.23
10	Perforar	Obrero A	103.23

Para evaluar el Costo real de la H/H de cada empleado se consideraron los siguientes criterios:

Obrero A:	Sueldo fijo diario	\$ 364.00
	Sueldo fijo semanal	\$2,548.00

*Por Factor de Prestaciones del IMSS 4.52% = \$ 2,003.16.

Considerando un rendimiento del 80% sobre 40 horas semanales, se obtienen 32 horas/semana, por lo que:

$$H/H = 2,663.16/32 = 83.223$$

Cuota IMSS sin riesgo profesional=	13.125%
Cuota IMSS por riesgo prof. Actividad =	3.93 %
Cuota IMSS por guardería	= 1.00 %
Cuota INFONAVIT	= 5.00 %
Cuota INFONAVIT	= 1.00 %
	<hr/>
Total a aplicar sobre el costo	= 24.005%

$$\text{Costo real H/H} = 83.223 \times 1.2405 = \$ 103.23$$

Siguiendo el mismo procedimiento encontramos que para:

	Sueldo fijo diario	H/H Real
Obrero B	\$ 424.00	\$ 120.24
Soldador	\$ 544.00	\$ 154.28
Tornero	\$ 600.00	\$ 170.44

* Por Aguinaldo y Prima Vacacional

** Todo el análisis de costos se hizo a precios de junio de 1982.

ANALISIS DE COSTOS
FILTRO DE CARTUCHOS

JOSE BARROSO CASTILLO
JOSE DE J. ERAMBILA G.

FACULTAD DE QUIMICA
TESIS 1983 TABLA 21

	APLICACION PARA CIANURO DE ZINC	UNIDAD	CANTI- DAD	COSTO UNITARIO	COSTO DE MATERIAL	CONCEPTO DE MANO DE OERA	TIEMPO H / H	COSTO DE MANO DE OERA	COSTO TOTAL
01	TUBERIA PVC 30.5 cm Ø	mt.	0.7	2,200.00	1,540.00	(1)(2)	(0.5)(2.0)	392.50	1,932.50
02	DISCO FIERRO DE 38 cm Ø x 6.3 mm ESPESOR	Pza.	2	450.00	900.00	(2)(10)(9)	(0.5)(1)(0.5)	240.00	1,140.00
03	DISCO PVC DE 38 cm Ø x 2.5 cm ESPESOR (3 Pzas.)	Kg.	20	430.00	8,600.00	(1)(2)(10)(8)(3)	(1)(2)(.5)(.5)(.5)	632.55	9,232.55
04	DISCO PVC DE 38 cm Ø x 1.9 cm ESPESOR (2 Pzas.)	Kg.	13	430.00	5,590.00	(1)(2)(10)(8)(3)	(.7)(1.5)(.3) (.3)(.3)	441.00	6,031.00
05	TUBERIA PVC DE 1.9 cm Ø NOMINAL	mt.	0.5	83.95	42.00	(1)(2)(3)(10) (4)(8)	(.1)(.2)(.2) (.3)(.2)(.2)	154.10	196.10
06	TUBERIA PVC DE 2.5 cm Ø NOMINAL	mt.	1.5	134.00	201.00	(1)(2)(3)(4)	(1)(2)(2)(1)	905.23	1,106.23
07	TUBERIA PVC DE 1.2 cm Ø NOMINAL	mt.	0.2	62.50	12.50	(1)(2)(3)(4)	(.1)(.1)(.2)(.1)	73.45	85.95
08	BARRA SOLIDA PVC DE 5 cm Ø	Kg.	1.2	650.00	780.00	(1)(2)(8)(4)	(1)(2)(.5)(.5)	595.84	1,375.84
09	VARILL AC. INOX. TIPO 304 REDONDO DE 1.25 cm Ø	Kg	2	423.50	847.20	(1)(2)(3)	(.2)(.3)(.3)	122.90	970.10
10	NEOPRENO DE 6.2 mm ESPESOR	Kg	0.8	774.00	619.00	(1)(8)	(.3)(.3)	61.90	681.10
11	NEOPRENO DE 3.1 mm ESPESOR	Kg	0.6	774.00	464.40	(1)(7)	(1.2)(.1) (.8)(.8)	135.90	600.30
12	VALVULA BOLA PVC ROSCADA DE 25 mm NOMINAL	Pza.	4	931.00	3,934.00	(4)(7)		192.40	4,126.40
13	VALVULA BOLA PVC ROSCADA DE 12 mm NOMINAL	Pza.	1	742.00	742.00	(4)(7)	(.2)(.2)	48.00	790.00
14	TEE DE PVC ROSCADA DE 25 mm NOMINAL	Pza.	2	125.00	250.00	(4)(7)	(.4)(.4)	95.20	345.20
15	CODO 90º DE PVC ROSCADO DE 25 mm NOMINAL	Pza.	5	84.00	420.00	(4)(7)	(1)(1)	240.50	660.50
16	BASE DE FIERRO	Pza.	1	800.00	800.00	(5)(9)	(1)(.5)	210.90	1,010.90
17	RODAJA DE MULE DE 7.5 cm Ø CON PLACA	Pza.	4	22.00	88.00	(9)	(.5)	79.65	1,036.65
18	TUBERIA DE FIERRO DE 25 cm NOMINAL	mt.	4	170.00	680.00	(1)(2)(5)(9)	(.4)(.6)(.6)(.2)	255.80	935.80
19	CARTUCHO DE FPP 6.3 cm Ø x 25.4 cm LARGO POROSIDAD 30	Pza.	9	225.00	2,015.00	(7)(4)	(.2)(.2)	48.00	2,063.00
20	RESORTE DE COMPRESION SS TIPO 316 4 cm Ø EXT. 3 ESPIR. ESPESOR 2.6 mm	Pza.	9	120.00	1,080.00	(7)	(.2)	24.04	1,104.04
21	MANOMETRO DE 0 A 2 KG/cm²	Pza.	1	1,183.00	1,180.00	(7)	(.2)	24.04	1,204.04
22	BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL	Pza.	1	15,400.00	15,400.00	(6)(7)	(1)	120.24	15,520.24
23	MOTOR ELECTRICO 1 H.P. 220/440 V. 2 POL OS	Pza.	1	8,850.00	8,850.00	(6)(7)			8,850.00

ANALISIS DE COSTOS
FILTRO DE CARTUCHOS

JOSE BARROSO CASTILLO
JOSE DE J. BRAMBILA G.

FACULTAD DE QUIMICA
TESIS 1983 TABLA 21

	APLICACION PARA CIANURO DE ZINC	UNIDAD	CANTI- DAD	COSTO UNITARIO	COSTO DE MATERIAL	CONCEPTO DE MANO DE OBRA	TIEMPO H / H	COSTO DE MANO DE OBRA	COSTO TOTAL
24	CORLE FLEXIBLE No. 1	Pza.	1	270.00	270.00	(2)	(.5)	65.20	355.20
25	ABRAZADERA DE TORNILLO SIN FIN No. 24	Pza.	4	32.00	128.00	(7)	(.4)	48.10	176.10
26	ARRANCADOR MANUAL	Pza.	1	3,412.50	3,412.50	(5)(7)	(.1)(.3)	51.50	3,464.00
27	ELEMENTOS TERMICOS	Pza.	2	484.00	968.00	(7)	(.1)	12.00	980.00
28	MANGUERA NEOPRENO REFORZADA CON LONA DE 3.2 cm Ø INT.	Mt.	0.5	600.00	300.00	(1)(7)	(.1)(.2)	44.40	344.40
29	MANGUERA PVC 3.2 cm Ø INT.	Mt.	0.6	90.00	54.00	(1)(7)	(.1)(.2)	44.40	98.40
30	TUERCA HEXAGONAL DE 12.7 mm STD.	Pza.	12	2.30	27.60	(7)	(.1)	10.30	37.90
31	RODANA PLANA GALVANIZADA DE 12.7 mm Ø	Pza.	12	0.80	9.60	(7)	(.1)	10.30	19.90
32	TORNILLO CABEZA HEXAGONAL DE 12.7 mm x 50 mm	Pza.	4	3.60	14.40	(7)	(.1)	10.30	54.70
33	OTROS VARIOS IMPREVISTOS	Estimado	.	.	890.00	.	(3.9)	537.30	1,427.30
	TOTAL.....			60,983.40	(43.1)	5,910.03	66,923.46

NOTA: LOS DATOS DE LA PRESENTE
TABLA FUERON HECHOS A
PESOS CONSTANTES DE 1982.

III.7. RECOMENDACIONES DE INSTALACION

III.7.1.- Criterios sobre la instalación del filtro.

El equipo de filtración se deberá instalar lo más cerca posible al tanque de solución de galvanizado y en un área que ofrezca facili-dad de acceso para mantenimiento y servicio. Cuando por limitacio--nes de espacio o requerimientos del proceso sea necesario instalar - el equipo de filtración a una distancia mayor de 3 m. del tanque de la solución de galvanizado, se deberán chequear las capacidades de succión de la bomba e incrementar el tamaño de la tubería de succión a fin de compensar las pérdidas de presión. La línea de succión deberá tener siempre un diámetro más grande que el de la línea de descarga para evitar la cavitación de la bomba.

Las mangueras de hule y plásticas se deberán chequear, para que - sean compatibles con las diferentes soluciones que sean manejadas, - como para soluciones fuertemente alcalinas a altas temperaturas y para ciertos soluciones ácidas, tales como soluciones de bromo, que -- son altamente corrosivas. El empleo de PVC o Polipropileno o Tereftal de otro plásticos resistentes son de los muy comunes en la actualidad en el trabajo con estas sustancias.

Se recomienda en el aspecto de la resistencia y de la temperatura - son excelentes. La tubería de acero recubierta con hule o plástico, es ideal, pero su uso se limita fuertemente para tanques muy grandes que justifiquen su inversión.

Es conveniente recalcar que se tendrá una instalación más segura si todas las tuberías utilizadas dentro o fuera del tanque son colocadas de una manera permanente, eliminando el cambio excesivo de mangueras de uno a otro lado, lo que ocasiona que se aflojen los accesorios, conexiones y golpes y rajaduras en las mangueras.

La succión se deberá localizar lejos de las bolas protectoras de los ánodos, para evitar que sean atraídas dentro de la línea y causen cavitación. Es conveniente colocar coladeras de succión. Asimismo se recomienda que la línea de descarga se coloque lo más distante de la línea de succión, a fin de lograr una recirculación óptima.

Es deseable, perforar un pequeño orificio dentro de la tubería de succión abajo del nivel de operación normal de la solución en las instalaciones permanentes de tal manera que para cualquier fuga, en horarios no hábiles, que ocurra en el sistema, sea detenida la acción del sifón en la succión de la bomba cuando el nivel alcanza la perforación.

La adición de un manómetro de presión es altamente recomendable para determinar la presión inicial requerida para conducir la solución a través del filtro, y también para determinar cuando se deberá sustituir el medio filtrante. Cuando se arranque un nuevo sistema de filtración, o después de dar servicio a uno ya existente, es aconsejable cerrar completamente la válvula del lado de descarga del filtro, en ésta forma, la bomba desarrollará su máxima presión y se puede determinar inmediatamente si hay fugas en el sistema. Algunas

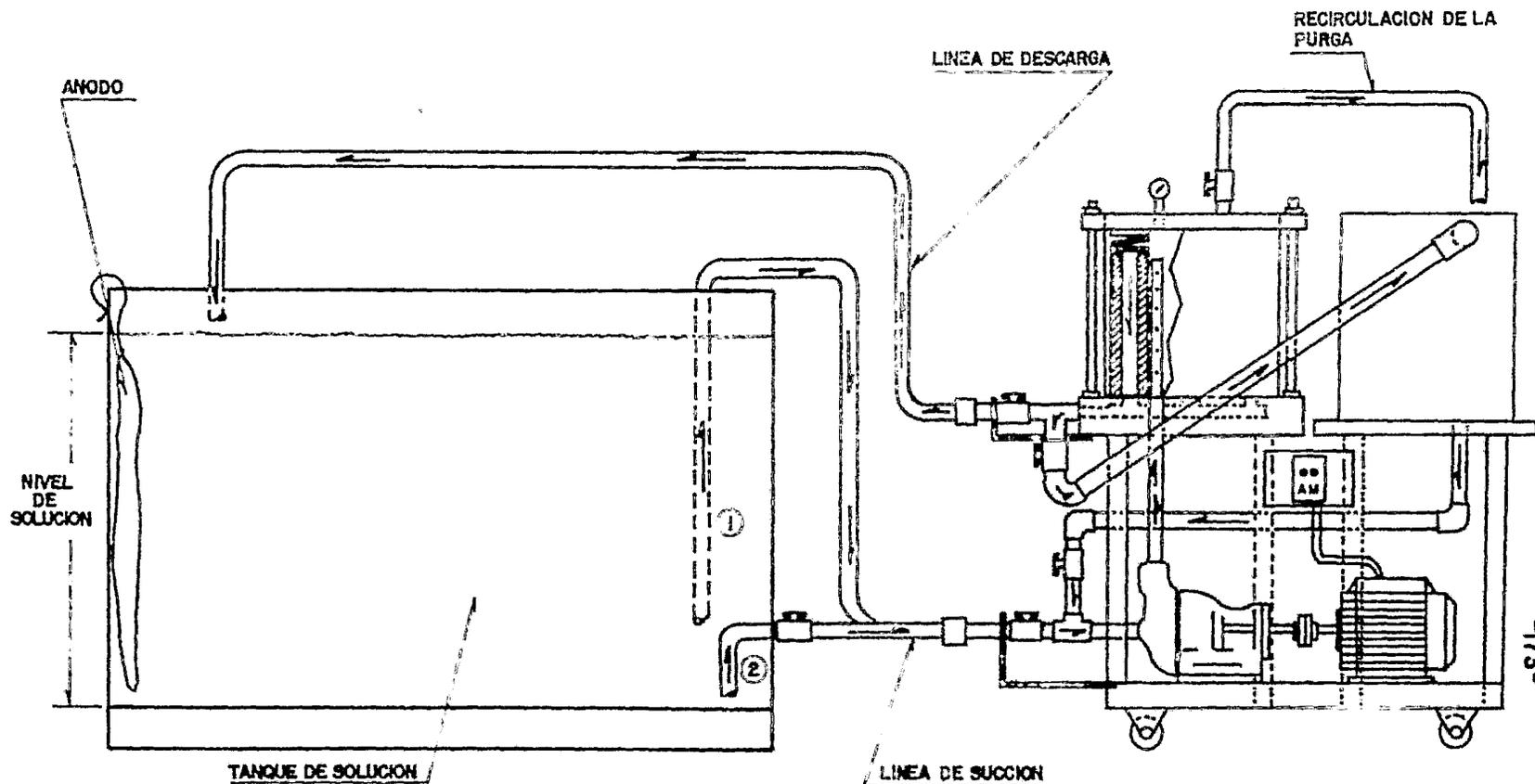
veces los sistemas de filtración son chequeados con una solución fría, encontrándose que se observan fugas al manejar soluciones calientes y viceversa.

Por lo tanto, puede ser necesario un nuevo apriete o ajuste de los tornillos de la cubierta, de las bridas, etc., después de que el filtro ha sido operado a una presión y temperatura de producción. Si no se cuenta con la información sobre las curvas de operación de la bomba, se puede chequear el flujo a diferentes presiones, para determinar un tiempo razonable de servicio del equipo de filtración.

En conclusión, se pueden obtener los mejores resultados del equipo de filtración siguiendo las instrucciones de operación de los fabricantes, incrementando experiencias con el filtro sobre la solución particular, y siguiendo los procedimientos recomendados por el taller de galvanizado. Ver figura 22.

III.7.2.- Selección y cuidado de la bomba.

El sistema de bombeo es el corazón del sistema de filtración. La bomba debe ser bien seleccionada para mantener la velocidad de flujo y la presión deseadas, a medida que se deposita la torta sobre el medio filtrante. La selección apropiada de la bomba y su sistema de sello es crítica y requiere la consideración de los siguientes aspectos:



1- CONEXION DE SUCCION MAS COMUN EN LA PRACTICA

2- CONEXION DE SUCCION MENOS USADA (DESIDO A QUE LOS TANQUES SON COMPLETAMENTE CERRADOS Y AISLADOS)

ESQUEMA DE INSTALACION DEL EQUIPO DE FILTRACION		TESIS
		1983
JOSE BARROSO CASTILLO	FACULTAD DE QUIMICA	FIGURA
JOSE DE J. BRAMBILA GUERRA		22

- Velocidad de flujo requerida: lph o gph (cambios de tanque por hora).
- Localización (dentro o fuera del tanque).
- Distancia y presión de descarga.
- Medio filtrante y caída de presión superficial.
- Corrosividad de la solución.
- Temperatura de la solución.

Si la bomba es del tipo autocebante, ésto afectará a la selección de la misma, o puede proporcionarse una cámara cebante para una bomba centrífuga.

Todos los materiales de construcción de la bomba deberán ser compatibles con la solución que será bombeada, tomando en consideración el uso de materiales que no pueden romper lentamente, dentro de límites tolerables y por lo tanto se deberá seleccionar en función del costo efectivo, para un período de tiempo limitado. Siempre se deberá comparar el costo de operación de la bomba requerido para mantenimiento contra el tiempo y sustitución de partes, en relación al costo original. Considerar las ventajas y desventajas, para cada aplicación en particular entre una bomba autocebante y otra sin autocebado, ya que una bomba autocebante, disminuye las tolerancias y el rozamiento podrá ocurrir en el impulsor y/o en las partes móviles sobre el cuerpo de la bomba.

Lo más notable es el hecho de que la cantidad de desgaste mayor ocurrirá cuando la bomba esté desarrollando su mayor presión, la --cual se presenta en el tiempo en que el filtro se está aproximando a su reducción máxima de flujo debido a la acumulación de lodos en el

medio filtrante.

Esto es por lo que un sobrediseño del filtro reducirá la frecuencia de este efecto.

Las bombas centrífugas horizontales son las de uso más común en la industria de galvanizado. Normalmente la única parte que se desgasta es el sello. La velocidad de flujo es alta cuando el filtro está limpio y decrece a cero flujo cuando el filtro está cargado. El flujo deberá ser restringido al principio con una válvula en la descarga, ya que es posible que se sobrecargue un motor cuando la bomba centrífuga está trabajando sin ninguna restricción. El cuidado se toma normalmente por el fabricante al suministrar una cantidad de potencia (HP) suficiente para prevenir ésta sobrecarga, proporcionando también protección en el arrancador del motor. Algunos usuarios pueden preferir usar menos potencia (HP) en su operación diaria y, por lo tanto, deberán precaverse contra los paros del motor, controlando el flujo con una válvula.

Las unidades acopladas de motor y bomba horizontal están disponibles en todos los tamaños y precios, y ofrecen la ventaja más grande al asegurar siempre el alineamiento apropiado entre la bomba y el motor. Estas unidades son compactas y, por lo tanto, requieren menor espacio de piso. Las unidades grandes de bomba y motor acopladas, usan motores standard y requieren usualmente una placa de montaje adicional para asegurar el alineamiento apropiado. El mal alineamiento causará la vibración de la bomba y del ensamblaje del motor, el cual a su vez, ocasiona fallas en los rodamientos de la bomba y del

motor; lo que también tiene un efecto adverso en el sello de la bomba.

Las bombas sumergibles verticales son normalmente del tipo centrífugas y, dependiendo del diseño pueden ser sin cojinetes, capaces de operación en seco a altas velocidades, pero limitadas a ciclos cortos, las bombas más grandes requieren una o más cojinetes, los cuales pueden también servir como un sello. Los sellos en una bomba sumergible son de poca consideración ya que la succión de la carcasa está sumergida en la solución. Las bombas deberán ser especificadas con succiones tan cortas como sea posible y accionadas a baja velocidad (1725 rpm) para reducir la carga radial y el desgaste en los cojinetes. Con impulsores abiertos, pueden ser operados a temperaturas elevadas ($> 160^{\circ}$ F). Para usos mayores, los cojinetes deberán ser entubados para inundación de agua, para proporcionar enfriamiento y lubricación. Con carcasas de succión grandes y varios sellos, la alineación de la bomba y el motor es crítica y deberá ser chequeada periódicamente.

Todas las bombas sumergibles de plástico son muy apropiadas para agitación y mezclado para todos los tipos de soluciones para recirculación.

Estas bombas son también recomendadas para soluciones que no requieren el uso de filtro ayudas y carbón en la cámara filtrante, ya que la baja presión de la bomba reducirá el intervalo de tiempo entre cada servicio del filtro.

Generalmente, las bombas sumergibles se usan en soluciones donde las pérdidas de solución debidas a fugas no pueden ser toleradas y donde existen limitaciones de espacio.

Las bombas de acoplamiento magnético son únicas debido a que no requieren acoplamiento directo del motor a la flecha de la bomba, y por lo tanto no requieren sello. El cuerpo de la bomba es generalmente construido de plástico y los magnetos del impulsor son encapsulados en plástico para hacerlos resistentes al desgaste y para eliminar cualquier contacto del metal con la solución.

Las bombas magnéticas se encuentran también disponibles con motores encapsulados, de tal manera que la unidad completa puede estar sumergida en el líquido. Esta es una característica muy deseable para usarse en recubrimiento de materiales preciosos, para evitar pérdidas de soluciones de recubrimiento caras.

CEBADO DE LA BOMBA

El cebado de las bombas centrífugas, es de vital importancia ya que no se debe operar una bomba sin estar debidamente cebada, es decir, no debe ser operada en seco. El cebado consiste en llenar la línea de succión de la bomba con la solución que será bombeada, antes de arrancarla.

Si una bomba se opera sin cebado, es decir en seco, puede cavitar, llegando a ocasionar daños desde leves hasta graves en la bomba en pocos segundos.

Para evitar la cavitación, es siempre conveniente seguir las precauciones del fabricante de la bomba, tales como:

- Prevenir la entrada de aire a la bomba, revisando que todos los accesorios estén bien sellados y ajustados.
- A medida que los empaques o sellos se desgastan, la bomba succionará aire, por lo que deben ser ajustados, y si es necesario, sustituirlos.
- El NPSH disponible de la bomba, deberá ser mayor al NPSH requerido, como criterio general en 0.6 m. (2 pies), y como mínimo en 0.3 m. (1 Pie).

El cebado es aún más fácil con el uso de un tanque de solución o una cámara de cebado colocada arriba de la bomba, lo que hace posible tener una succión de la bomba siempre inundada.

III.1.3.- Sistema de Sellado.

Los tipos disponibles de sellos mecánicos, son del tipo de reborde, sello de estoperos empacados y sellos mecánicos. Debido a que las bombas convencionales tienen una flecha de interconexión entre el impulsor de la bomba y el motor, es necesario un sello apropiado para prevenir las fugas durante la rotación de ésta flecha.

Es siempre deseable sustituir los componentes del sello, antes de que ocurran fugas, revisando periódicamente el sistema de sellado de la bomba.

Un sello del tipo de reborde o de rotón consiste de un material plástico moldeado. Estos son empleados cuando se trabaja a bajas velocidades. El sello mecánico consiste de dos juntas montadas superficialmente semejantes a un espejo, una rotatoria sobre la flecha y la otra estacionaria en el bomba, las cuales se mantienen unidas por un resorte de presión ligero, previniendo de esta manera las fugas o goteos.

Un empaque de estoperos, consiste de una cavidad adecuada, con la flecha rotatoria en el centro de esa cavidad, alrededor de la cual puede ser insertado un material de tipo comprimible en anillos alternados, los cuales son ajustados al apretar el collarín del propaestopos o estoperos.

El sistema de sellos, puede ser de 3 arreglos diferentes, de acuerdo a las características del fluido bombeado, y éstos son:

- 1.- Sistema de sello simple.
- 2.- Sistema de sello doble.
- 3.- Sistema de sellos en Tandem.

Tanto el sello mecánico como el estopero se encuentran disponibles con una provisión para lubricación de agua, o recirculación de la solución que está siendo bombeada. Es esencial utilizar una línea de agua a presión externa, ya que asegura el enfriamiento y la lubricación de la superficie del sello. Esto reduce el riesgo de al conservar las partículas de filtro aguda y de lodos e impurezas, fuera del área del sello. El agua, también previene la cristalización de la solución bombeada sobre las caras del sello durante los períodos de paro. Aún cuando la bomba esté funcionando, pueden formarse cristales de sales que se acumulan e interfieren con el funcionamiento de las caras del sello.

En las bombas que emplean sistema de sello doble, se debe tener cuidado por medio del uso de una válvula check, o un rompedor de sí-fón, de tal manera que no se rompa solución dentro del sistema de agua de enfriamiento. También deberá instalarse un regulador en la línea de agua para controlar la presión.

Cuando se selecciona el tipo de sello a usar, hay que considerar el hecho de que un sello de estopero o un sello del tipo de resorte se desgastan rápidamente, garantizando que la sustitución del sello sea necesaria al incrementar las horas de funcionamiento.

Un sello mecánico opera durante más tiempo sin problemas, y aún puede fallar sin peligro, y con pérdidas mínimas de solución bombeada y de tiempo.

Ciertos tipos de materiales de construcción de empaques son más apropiados para soluciones ácidas, y otros para soluciones alcalinas. Los materiales de construcción en un sello mecánico también varían, dependiendo de las características de la solución bombeada, dichos materiales pueden ser cartón, cerámica, fluoruro de carbono, plástico o hule. Por lo tanto, es importante dar el tipo de aplicación que se le dará a la bomba, al fabricante para que él seleccione los materiales de construcción adecuados. Si embargo, considerando que algunos sistemas de filtración son intercambiables en un número de soluciones algunos de ellos se desgastan más rápidamente lo que ocasiona la sustitución periódica de los componentes.

Cuando ocurra la sustitución del sello, o del empaque, la flecha de la bomba deberá ser inspeccionada. Si está gastada o rayada, debe ser sustituida. De otra manera, el nuevo sello o empaque no durará mucho.

IV. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del presente trabajo, adquirimos una gran experiencia y conocimiento de una de las operaciones unitarias de uso más extendido y necesaria en la Industria Química, ya que casi cualquier tipo de proceso Químico o Petroquímico siempre habrá necesidad de aplicar en alguna área o sección de la planta una operación de filtración.

Una de las contribuciones prioritarias de nuestro trabajo es el diseño y construcción de un filtro de cartuchos, el cual esperamos y es nuestro principal deseo sirva de material educativo y experimental a todos aquellos estudiantes de Ingeniería Química, de tal forma que observen el proceso de filtración ejemplificada a través de éste tipo de equipo, el cual será donado al laboratorio de Ingeniería Química, para su operación.

De la misma manera, cabe es que el contenido de esta tesis es en cierta forma completa, ya que presenta información de tipo general que puede ser utilizada por todos aquellos que se interesen en la aplicación de filtración en general, y en particular a aquellos que deseen filtrar soluciones de galvanizado, debido al enfoque teórico-práctico de la tesis.

Finalmente es nuestro principal objetivo que el presente traba-

que sirva como contribución, ayuda y referencia para todos aquellos que requieran profundizar en el campo de la filtración ya sea como una necesidad para su aplicación en algún proceso práctico o como un soporte para el estudio teórico y la optimización de las ecuaciones de diseño de equipos de filtración.

V. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Badger, W.L. / Banchero, J.T. "Introduction To Chemical Engineering", Copyright 1964, Mc Graw-Hill Book Co.
- 2.- Coren, Gerald. "Professional Engineer's Examination. Chemical Engineering" 1971, ARCO Publishing Co.
- 3.- Dahlstrom, D.A. and Cornell, C.F. "Thickening and Clarification" Liquid/Solid Separation. Chemical Engineering/ Deskbook Issue, Feb. 15, 1971.
- 4.- Dickey, George D. "Filtration", 1969, Reinhold Publishing Corporation, New York. Chapman and Hall, LTD. London.
- 5.- Dollinger, Jr. Lewis L., "How To Specify Filter". Hydrocarbon Processing. Oct. 1969. Section 1.
- 6.- Foust, A.S. / Wenzel, L.A. / Clump C.W. "Principles of Unit Operations" John Wiley & Sons, Inc., 2nd Ed.
- 7.- French, R.C. "Filter Media", Chemical Engineering. Oct. 14, 1963.
- 8.- Gartmann. De Laval Engineering Handbook. Mc Graw-Hill Book Co. 3a. Ed.
- 9.- Grace, H.P. "What Type Filter and why?";, Chemical Engineering Progress, Oct. 1951.

- 10.- Gray, Allen C. "Modern Electroplating", 1953, John Wiley & Sons, Inc., New York, Chapman & Hall, LTD. London.
Sponsored by THE ELECTROCHEMICAL, SOCIETY, INC. New York, N. Y.
- 11.- Kemmer, Frank N. / Mc Callon John Editors. "The NAICO Water Handbook" 1979. Mc Craw Hill Book Co.
- 12.- Lapedes, Daniel N. "Mc Graw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms". 2 Ed.
- 13.- Ludwig, Ernest E. "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants", Volume 1, 2 nd. Ed. Agc. 1980, Gulf Publishing Company.
- 14.- Mais, L. G. "Filter Media" Liquid/Solids Separations., Chemical Engineering / Deskbook Issue, Feb. 15, 1971.
- 15.- Metal Finishing Guidebook & Directory 43 rd Annual Edition, 1975. Published Annually by Metals and Plastics Publications, Inc.
- 16.- Miller, Shelby A., "Recent Advances in Filtration Theory Chemical Engineering Progress. Oct. 1951, Vol. 47 No. 10
- 17.- Mc Cabe, W. L., and Smith, J. C., "Unit Operations of Chemical Engineering" 3 rd. Ed., Mc. Graw-Hill Book Company, 1976.

- 18.- Ning, Hsing, Chen. "Liquid-Solid Filtration: Generalized Design and Optimization equations". Chemical Engineering Jul. 31, 1978.
- 19.- "Norma Oficial de Calidad para Cianuro de Zinc" NOM-k-78-1969-Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas, 1980., Dirección General de Normas de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, SEPAFIN/SECOFIN.
- 20.- Ocon García Joaquín / Tojo Barreiro Gabriel. "Problemas de Ingeniería Química". Operaciones Básicas. Tomo 11, 1979 Editorial Aguilar.
- 21.- Perry, Robert H. / Chilton, Cecil H. "Chemical Engineers' Handbook". 5 th. Ed. Mc Graw-Hill Book Company.
- 22.- Peters, Max S. / Timmerhaus, Klaus B., "Plant Design and Economics for Chemical Engineers" 3 rd. Ed. 1980 Mc. Graw-Hill Book Co.
- 23.- Porter, H.P./Flood, J. E./Kenne, F. W. "Filter Selection Liquid/Solid Separations. Chemical Engineering/Bookbook Issue, Feb. 15, 1971.
- 24.- Richardson Engineering Services. Ed. 1982 Richardson Rapid System.
- 25.- Salt-orelli, Richard B. "Filtraton" The Edylite Corporation, Michigan U. S. A.

- 26.- Schweitzer, Phillip A. "Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers", 1979, Mc. Graw-Hill Book Co.
- 27.- Sharbaugh, J. C. "Practical Filtration Formulas", Chemical Engineering. December 10, 1962, Vol. 69.
- 28.- Svarovsky, Ladislav. "Advances in solid-liquid separation" Part 1 Filtration and allied operations. Chemical Engineering. Jul. 2, 1979.
- 29.- Tiller, Frank M. "Filtration Theory Today". Chemical Engineering, June 20, 1966, Vol. 73.
- 30.- Tiller, Frank M. "The Role of Proximity in Filtration", Chemical Engineering Progress, Jun. 2, 1955, Vol. 51 No. 6
- 31.- Weast, Robert C. Editor "Handbook of Chemistry and Physics" CRC 54 a. Ed. 1973-1974 The Chemical Rubber Co. Published by the CRC Press.