

Separación Sólido-Líquido

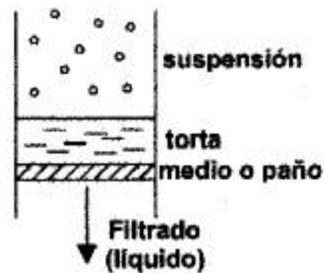
Filtración

Separación y Procesos Biotecnológicos

Filtración

Definición:

Separación del sólido desde el líquido que es forzado (por presión o vacío) a pasar a través de un medio filtrante que retiene las partículas. Los sólidos se depositan en el filtro y a medida que el depósito (torta) aumenta de espesor opone mayor resistencia a la filtración.

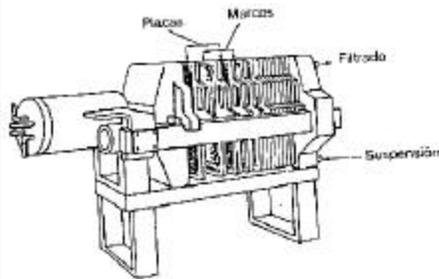


La filtración de sólidos incompresibles es un proceso clásico y resulta sencillo, pero los m.o. presenta problemas. ¿Por qué?

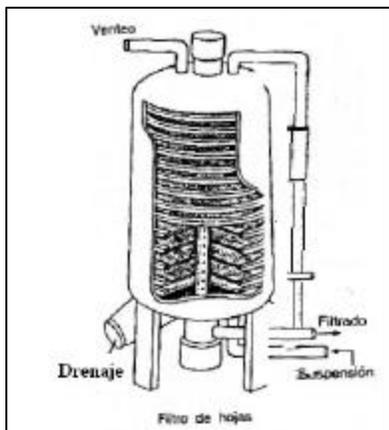
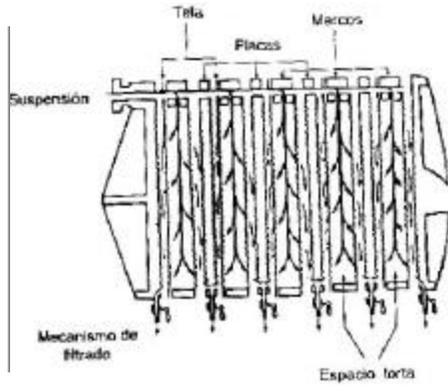
Se requiere de tratamientos adicionales que hagan el proceso más rápido.

Equipos de Filtración

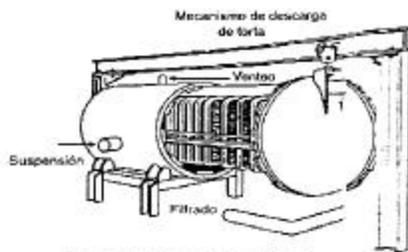
Batch



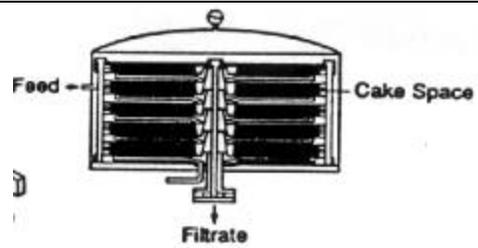
Filtro de placa y marcos



Filtro de hojas



Filtro horizontal con hojas verticales



Filtro tubular

Equipos de Filtración

Continuos

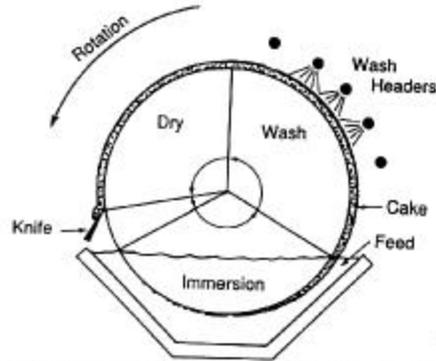


Figure 2 Rotary vacuum filter. This continuous cylindrical filter, shown from the end, is the workhorse for bioseparations. The filtrate is removed from the end of the cylindrical drum. The times shown are typical values.

Operación Batch			
Placas y Marcos Más Común	Contiene septas de metal donde se forma la torta Puede tener un medio filtrante, Papel o Paño Operación Intermitente, pues se debe descargar la torta	Barato	No se puede utilizar con productos tóxicos ni gases
Placas Horizontales	Operación Intermitente Se utiliza en pequeña escala	Puede hacerse continuo, introduciendo una hoja que remueva la torta	
Hojas Verticales	Posee una alta área de filtración por volumen Operación Intermitente	Requiere poco superficie	
Tipo Vela		Fácil de Lavar	
Operación Continua			
Filtros rotatorios a vacío	Rota a baja velocidad El líquido es succionado	Metodología más usa en Bioprocesos $\Delta P = 1 \text{ atm}$	Proceso consiste en : -Formación de la Torta -Lavado de la Torta -Recolección de la Torta

PRETRATAMIENTOS

Los caldos de fermentación resultan ser fluidos no-newtonianos, por lo cual resultan ser **altamente compresibles**, y por ello difíciles de filtrar. Para mejorar esta condición se aplican **pretratamientos**. Estos pueden ser de diferentes tipos:

1. - Calentamiento

- Resulta ser un método
- Simple
- Económico
- Mejora las características del fluido
- Se utiliza para pasteurizar

Desventajas

- Sólo se puede aplicar si el producto es térmicamente estable.

2. - Coagulación

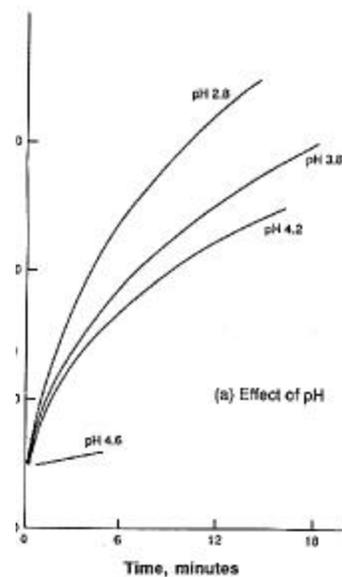
Se produce cuando un conjunto de partículas coloidales ($1\mu\text{m}$) que poseen carga superficial se mantienen en una suspensión estable, sin que se produzca una sedimentación.

Para ayudar al proceso de sedimentación se adicionan agentes que modifican la carga superficial anulando las repulsiones y generando interacciones del tipo van der Waals.

Los agentes que se utilizan son:

Iones polivalentes Fe, Ca, Al
Cambios de pH

Volumen Filtrado



3.- Floculación

Se promueve la formación de puentes de hidrógeno entre partículas adyacentes o coágulo. Con lo cual se forman redes que van atrapando al resto de las moléculas.

Los agentes utilizados son polielectrólitos de alto peso molecular, del tipo catiónico, aniónico o neutro. De origen sintético o natural. Algunos ejemplos.

Sintéticos

Poliacrilamida
Poliaminas
Derivados de las Celulosas (CMC)
Polietilenimina
Cloruro de Polidialildimetil amonio

Naturales

Almidón
Goma
Tanino
Ac. Alginico
Poliglucosilamidas

Ventajas

- Aumento en la velocidad de filtración, sedimentación y centrifugación.

Desventajas

- Posible denaturación
- Toxicidad
- Posibles efectos adversos en las etapas siguientes

3.-Adsorción

Los coadyuvantes de filtración (ayudantes de filtración) son compuestos (tierras diatomeas o "kieselguhr") que permiten mejorar la eficiencia de la filtración. Son:

- Elementos que presentan una alta porosidad
 - Facilita la velocidad de filtración a través del lecho.

TABLE 1 Typical Properties of Filter Aids*

Grade	Density (kg/m ³)		pH	Water Adsorption (%)	Relative Flow Rate
	Dry	Wet			
<i>Diatomaceous Earths</i>					
Standard					
Super-Cel	130	280	7.0	260	200
512 Hyflo					
Super-Cel	140	280	10.0	250	500
535	190	280	10.0	250	1400
560	310	320	10.0	220	7500
<i>Perlites</i>					
Terracel 300	110	260	7.5	—	300
Terracel 500	130	240	7.5	—	900

*These data are taken from Johns-Manville brochures.

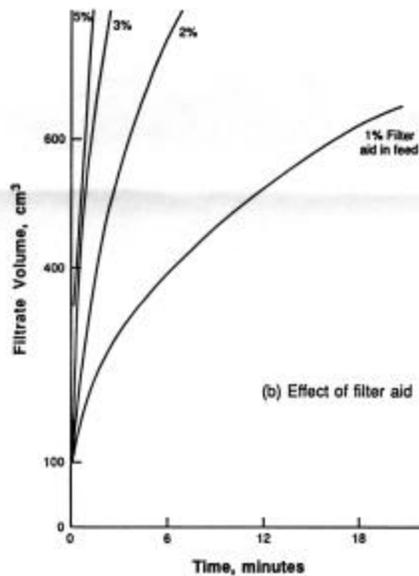
Se pueden aplicar de dos manera:

- Pre-recubrimiento del medio filtrante para evitar el bloqueo del filtro por los sólidos que de otra manera se apelsonarían en los poros del medio filtrante.
- Se puede añadir al caldo de fermentación con el fin de aumentar la porosidad de la torta a medida que se ha formando.
 - Se recomienda cuando el producto es extracelular.
 - Si se trata de un producto intracelular se debe hacer un postratamiento (desorción de las células).

TABLE 2. . . Filter Aid Classification*

Grade	Relative Flow Rate	Relative Clarity	Visual Clarity	Applications
Celatom FP-2	100	1000	Bright sparkle	Beer, oils, pectins, sugar, wine, vinegar, alcohol, citric acid, gelatin, lard, tallow, polymers
Celatom FP-4	200	995	Sparkle	Beer, gelatin, fats, oils, cider, lacquers, petroleum products, pectins, sugar, vinegar, alcohol, citric acid, phosphoric acid, cane sugar, lube oil
Celatom FW-6	300	986	Sparkle	Antibiotics, beer, caustics, chemicals, cider, enamels, gelatin, glue, fruit juices, kelp, lard, oils, petroleum products
Celatom FW-20	1000	960	Clear	Acids, citrates, tallow, water, chemicals, fruit juices, kelp, grape juice, apple juice, hemp oil, fuel oil, oils
Celatom FW-50	2500	940	Very slight veil	Algins, wort beer, antibiotics, casein, pressed juices, lacquers, polymers, syrups, sorghum, tallow, varnish, water, titanium, corn gluten, citric juices
Celatom FW-80	5500	927	Slight veil	Algins, antibiotics, biochemicals, polymers, resins, water, wort beer

*These properties are characteristic of commercially available filter aids.



Desventajas

-Costo de las tierras diatomeas, se debe determinar la cantidad experimentalmente.

-Adsorben líquido, si el producto es extracelular se pierde una parte.

•-Disminuye la claridad del filtrado.

-La deposición de desechos de material celular es más difícil si contiene este tipo de agentes.

Ecuaciones de Diseño de Filtros
Filtros Batch

La ecuación de diseño de un filtro batch se basa en la Ley de Darcy, donde se determina la velocidad, v , de un fluido al pasar por un lecho sólido como:

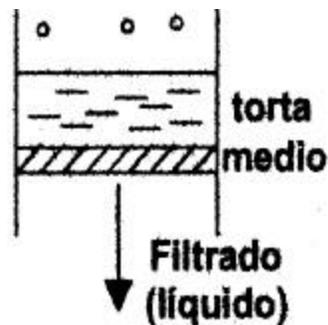
$$v = \frac{k}{l} \cdot \frac{\Delta P}{m} \quad (1)$$

Si se mantiene un Reynold

$$\frac{d \cdot v \cdot \rho}{m(1-e)} < 5 \quad (2)$$

Donde

- k: constante de permeabilidad de la ley de Darcy
- ΔP : Caída de presión en el Lecho
- L: Ancho del Lecho
- μ : Viscosidad del lecho
- D: Diámetro de la partícula
- ρ : Densidad del líquido
- e: Fracción de huecos en la torta



Filtros Batch

Se puede calcular la velocidad v , como:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

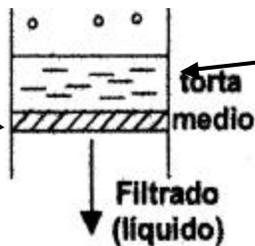
Donde

- V: Volumen total de filtrado desde el comienzo del ciclo
- A: Área transversal del filtro
- Q: Flujo de líquido a través del filtro

Volviendo a la ecuación (1), se puede definir la resistencia al paso del líquido:

$$R = \frac{l}{k} = R_m + R_c \quad (4)$$

R_m : Resistencia del medio filtrante, que es constante



R_c : Resistencia de la torta, que será función del Volumen filtrado (V).

La ecuación de diseño (1)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{k \Delta P}{l \mathbf{m}}$$

Queda

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{\mathbf{m} (R_M + R_C)} \quad (5)$$

Características de las tortas

Incompresibles

El ancho de la torta es:

- Proporcional al volumen filtrado
- Inversamente proporcional al área de filtración

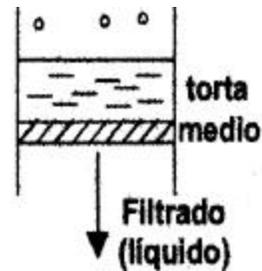
$$R_c = \mathbf{a} \cdot W = \mathbf{a} \cdot C \cdot \frac{V}{A} \quad (6)$$

Donde

- C: Masa de torta por unidad de volumen filtrado
- A: Resistencia específica de la torta

Con esto la ecuación de diseño queda:

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P \cdot A}{\mathbf{m} [\mathbf{a} \cdot C \cdot (V / A) + R_M]} \quad (7)$$



Modificando

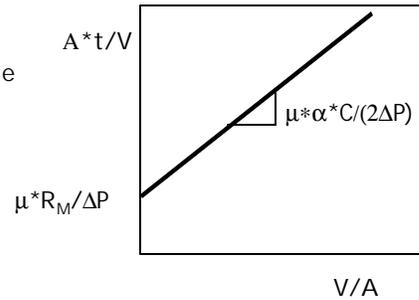
$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mathbf{m a \cdot C}}{\Delta P \cdot A^2} \cdot V + \frac{R_M \cdot \mathbf{m}}{\Delta P} \quad (8)$$

Integrando en condiciones donde t=0 V=0

$$\frac{A \cdot t}{V} = \frac{\mathbf{m a \cdot C}}{2 \cdot \Delta P} \cdot \left(\frac{V}{A}\right) + \frac{R_M \cdot \mathbf{m}}{\Delta P} \quad (9)$$

Si la resistencia del medio es despreciable

$$t = \frac{\mathbf{m a \cdot C}}{2 \cdot \Delta P} \cdot \left(\frac{V}{A}\right)^2 \quad (10)$$



Características de las tortas

Compresibles

¿Cómo serán las tortas formadas por materiales biológicos? ¿por qué?

Factor de compresibilidad

$$\mathbf{a} = \mathbf{a^*} \cdot \Delta P^s \quad (11)$$

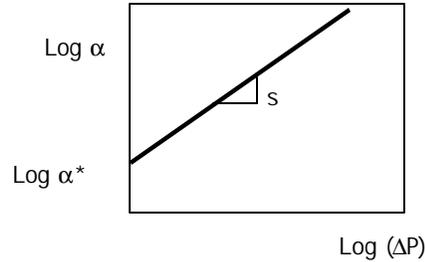
Donde

α^* : Constante relacionada con el tamaño y forma de la partícula

s: Compresibilidad de la torta

- s=0 Torta Incompresible
- s=1 Torta altamente compresible, se requiere uso de pretratamientos

¿Cómo se calcula la compresibilidad de la torta?



La ecuación de diseño cambia

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P \cdot A}{\mathbf{m}[\mathbf{a}^* \cdot \Delta P^s \cdot C \cdot (V/A) + R_M]} \quad (13)$$

Si la resistencia del medio es despreciable

$$t = \frac{\mathbf{m} \mathbf{a}^* \cdot C}{2 \cdot \Delta P^{(1-s)}} \cdot \left(\frac{V}{A}\right)^2 \quad (14)$$

Ejemplo 1

Caracterización en Laboratorio

Se han realizado ensayos de laboratorio con un filtro batch de 5 cm² de área, los que han demostrado que pueden filtrarse 500 mL de suspensión en 23,5 min con una caída de presión de 12 psi, y que la torta de microorganismos es compresible con $s = 0,57$.

- a) Calcular $(\mu \alpha^* C)$ a partir de los datos del ensayo de laboratorio.

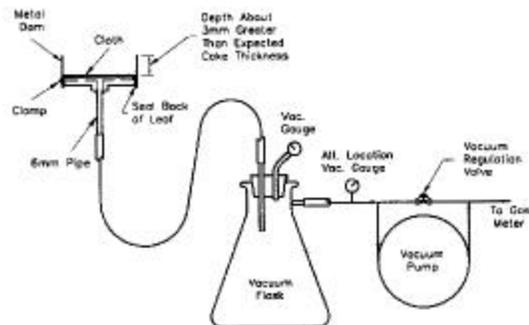


FIG. 13-94 Typical vacuum filter leaf test setup.

Diseño de Filtros

Parámetros de Diseño del Filtro

- Área de Filtrado: A
- Caída de Presión: ΔP
- Resistencia del medio: R_M

Características del sistema a filtrar

- Viscosidad
- Compresibilidad
- Masa de torta por volumen de filtrado

Ejemplo 2 Filtro Batch

Se desea caracterizar las resistencias tanto de un medio filtrante como la resistencia de la torta que se forma al filtrar una suspensión de levaduras. Para ello se llevaron a cabo diferentes pruebas de filtración.

Las características del sistema fueron :

Area de filtración 9.3 cm² Viscosidad 0.01 N s/m²

Masa de sólido seco por volumen de filtrado : 10 g/l

Las pruebas se realizaron a 4 caídas de presión diferentes. Los datos de cada corrida fueron correlacionados con la ecuación de diseño obteniéndose los siguientes resultados :

Caída de Presión, ΔP [Atm]	$\mu R_m / \Delta P$ [s/cm]	$\mu \alpha p_0 / 2 \Delta P$ [s/cm ²]
0.68	26	3.0
1.36	12	2.0
2.04	8	1.6
3.40	5	1.1

En base a estos datos:

1. Estime la resistencia de la torta y el índice de compresibilidad de la torta
2. Estime la resistencia del medio
3. Se desean procesar 3 m³ de una suspensión, igual a la antes estudiada, para ello se utilizara un filtro prensa con 5 m² de área y una caída de presión de 2,5 Atm. Determine el tiempo necesario para dicha filtración.

Diseño de Filtros

Parámetros de Diseño del Filtro

- Área de Filtrado: A
- Caída de Presión: ΔP
- Resistencia del medio: R_M

Características del sistema a filtrar

- Viscosidad
- Compresibilidad
- Masa de torta por volumen de filtrado

Ejemplo 2 Filtro Batch

Se desea caracterizar las resistencias tanto de un medio filtrante como la resistencia de la torta que se forma al filtrar una suspensión de levaduras. Para ello se llevaron a cabo diferentes pruebas de filtración.

Las características del sistema fueron :

Area de filtración 9.3 cm² Viscosidad 0.01 N s/m²
Masa de sólido seco por volumen de filtrado : 10 g/l

Las pruebas se realizaron a 4 caídas de presión diferentes. Los datos de cada corrida fueron correlacionados con la ecuación de diseño obteniéndose los siguientes resultados :

Caída de Presión, ΔP [Atm]	$\mu R_m / \Delta P$ [s/cm]	$\mu \alpha_p / 2 \Delta P$ [s/cm ²]
0.68	26	3.0
1.36	12	2.0
2.04	8	1.6
3.40	5	1.1

En base a estos datos:

1. Estime la resistencia de la torta y el índice de compresibilidad de la torta
2. Estime la resistencia del medio
3. Se desean procesar 3 m³ de una suspensión, igual a la antes estudiada, para ello se utilizara un filtro prensa con 5 m² de área y una caída de presión de 2,5 Atm. Determine el tiempo necesario para dicha filtración.

Ecuaciones de Diseño de Filtros
Filtros Continuo

El proceso de filtración consiste en 3 etapas

- 1.- Formación de la Torta
- 2.- Lavado de la Torta
- 3.- Descarte de la Torta

1.- Formación de la torta

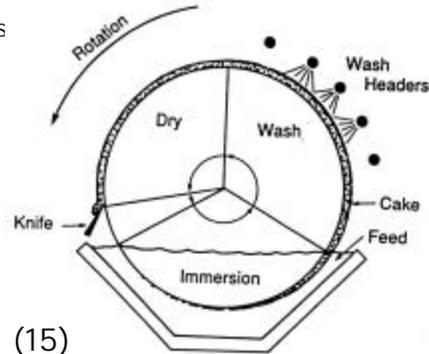
Considerando tortas compresible

$$t_f = \frac{\mathbf{m a}^* \cdot C}{2 \cdot \Delta P^{(1-s)}} \cdot \left(\frac{V_f}{A} \right)^2 \quad (15)$$

Donde

t_f es el tiempo de formación de la torta

V_f es el filtrado colectado



Si se considera que t_f es sólo una fracción del tiempo total del ciclo de filtración:

$$t_f = \beta \cdot t_c$$

La ecuación de Diseño es:

$$\frac{V_f}{A \cdot t_c} = \left[\frac{2 \cdot \mathbf{b} \cdot \Delta P^{1-s}}{\mathbf{m a}^* \cdot C \cdot t_c} \right]^{1/2} \quad (16)$$

¿ Cómo se puede modificar el tiempo de formación de la torta?

2.- Lavado de la torta

La torta contiene una cantidad significativa de solución rica en líquido de cultivo.

El objetivo de lavar cumple con:

- Remover la solución rica atrapada en los poros del filtro.
- Permite la difusión del soluto fuera de la biomasa

Las variables que se manejan en el lavado son:

- Cantidad de agua requerida para el lavado
- Tiempo necesario de lavado

Cantidad de agua requerida

Es controlada por la fracción de material soluble remanente en la torta después del lavado.

Relación empírica

$$r = (1 - \epsilon)^N \quad (17)$$

r= 0 Se lavó completamente

r=1 No fue útil

Donde

r : razón entre la cantidad de material soluble en la torta

N: volumen de líquido de lavado (V_w) / volumen de líquido remanente en la torta (V_r)

$$N = V_w / V_r$$

ϵ : Eficiencia, función del pH

Se desea determinar "N" y desde allí el volumen de lavado

Tiempo de lavado, t_w

El líquido de lavado no adicionado sólidos, así el flujo de lavado debe ser constante e igual al flujo de filtrante al final de la formación de la torta.

Se cumple que:

$$\frac{t_w}{t_f} = 2 \cdot \frac{V_w}{V_f} = 2 \cdot \frac{V_w}{V_r} \cdot \frac{V_r}{V_f} = 2 \cdot N \cdot f \quad (18)$$

Donde

t_w : tiempo de lavado

Ejemplo 3

Filtro rotatorio.

La filtración en un filtro rotatorio de vacío puede analizarse considerando cada giro del tambor como una filtración batch en estado estacionario. Por giro o revolución, cada cm^2 de tela filtrante se utiliza para formar la torta únicamente durante el tiempo que pasa sumergida en el recipiente del líquido.

Se está utilizando un filtro rotatorio de vacío para filtrar una suspensión de bacterias. El filtro posee un diámetro de 1,5 m y un ancho de 1,2 m. La caída de presión se mantiene constante a 4,5 psi y el filtro opera con el 30% de la tela filtrante sumergida. La resistencia debido al medio filtrante puede considerarse despreciable.

- a) Estimar el área necesaria para filtrar 20 m^3 de suspensión en 1 hora. Asuma que el sistema tiene las características de la torta descrita en el ejemplo 1.
- b) Calcular la velocidad de rotación del tambor, en rph, necesaria para filtrar $20 \text{ m}^3/\text{h}$.

Costo de los filtros

Costos Fijos

Los costos dependen directamente del área de filtrado, A, e incluyen accesorios como bombas y otros

La información se puede obtener en catálogos o por estimaciones desde libros como Perry Manual del Ing. Químico.

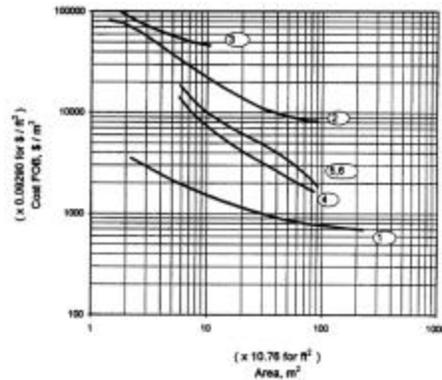


FIG. 18-137 Price of filters installed, FOB point of manufacture. (EIMCC Perry Manual del Ing. Químico
Process Equipment Co.)

Costos Variables

Depende de la presión de trabajo, lo cual se traduce en los gastos de las bombas.

Tarea 2 Calculo de Precios de Venta

Fecha de entrega: 23/8/2003

1. En base a la figura anterior un otras referencias estime el precio de venta de cada uno de los filtros calculados en los ejemplo 2 y 3.
2. Compare dichos valores con cotizaciones de proveedores.