

33 29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

Facultad de Química

"ESTUDIO TECNICO PARA INSTALAR UN FILTRO EN
UNA PLANTA PRODUCTORA DE FARMACOS".

TESIS MANCOMUNADA

Que para obtener el Titulo de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a n

MARIA EUGENIA ENRIQUEZ MORENO
ARACELI IBARRA MERCADO



FALLA DE INGENIERO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	PAG
I. INTRODUCCION.	1
II. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA TRANSFERENCIA DE MOMENTUM.	20
2.1 Conceptos basicos.	20
2.2 Operaciones de transferencia de momentum.	36
III. ANALISIS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FILTROS Y FACTORES A CONSIDERAR EN SU SELECCION.	38
3.1 Filtración.	38
3.2 Diferentes tipos de filtros.	40
3.3 Factores a considerar para la selección de un filtro.	64
IV. SELECCION DE LA ALTERNATIVA MAS ADECUADA Y DESCRIPCION GENERAL.	70
4.1 Selección del equipo.	70
4.2 Funcionamiento general.	74
4.3 Estructura.	74
V. OPERACION Y MANTENIMIENTO.	83
5.1 Operación.	83
5.2 Mantenimiento.	87

5.3	Sugerencias para optimizar el proceso de filtración.	89
VI.	DESCRIPCION DEL PROCESO DE OBTENCION DE LA SUSPENSION A FILTRAR.	90
VII.	PROCESAMIENTO DE DATOS Y CALCULOS.	92
	7.1 Modelo matemático.	92
	7.2 Cálculo de las constantes de filtración	99
VIII.	ESTUDIO ECONOMICO.	104
IX.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	108
	NOMENCLATURA.	112
	BIBLIOGRAFIA.	115

CAPITULO I

INTRODUCCION

El papel de la Ingeniería Química en la Industria Farmacéutica, está íntimamente relacionado con el arte y la ciencia de preparar, por medios naturales o sintéticos, productos apropiados y convenientes para su distribución y uso en el tratamiento y prevención de enfermedades (1). Abarca además, conocimientos de identificación, selección, acción farmacológica, conservación, compatibilidad física y química, análisis y estandarización de fármacos y medicamentos.

Un fármaco es una sustancia o mezcla de sustancias, utilizada en el diagnóstico, tratamiento o prevención de enfermedades, ya que restaura, corrige o modifica las funciones orgánicas. Para que un fármaco actúe, tiene que:

- 1) actuar in situ (adsorción rápida o lenta, antiinfecciosa, antiparasitaria, etc.),
- 2) ser absorbido,
- 3) ser transportado al tejido u órgano apropiado,
- 4) penetrar a la estructura celular correspondiente, y
- 5) producir una respuesta o modificar un proceso bioquímico.

En el mercado existe una gran variedad de presentaciones farmacéuticas, ya que los fármacos difieren ampliamente en los efectos farmacodinámicos y en su aplicación; es decir, en penetración, absorción, y ruta de administración, en la distribución entre los tejidos del cuerpo, así como en la disposición y forma en la que la acción termina.

Por todo esto, a continuación se hará una breve descripción de algunas de las muchas presentaciones en las que un producto farmacéutico puede ser adquirido.

- SOLUCIONES:

Una solución es un líquido homogéneo que se prepara disolviendo un sólido, líquido o gas, en otro líquido. Las soluciones pueden ser clasificadas basándose en sus propiedades físicas o químicas, métodos de preparación, usos, estado físico y número de ingredientes. De acuerdo al disolvente utilizado, podemos clasificarlas en tres grupos: soluciones acuosas, soluciones acuosas dulces o viscosas y soluciones no acuosas.

I.- Soluciones acuosas.

En las soluciones acuosas se emplea, como su nombre lo indica, agua como disolvente. Estas soluciones, dependiendo de su preparación pueden ser:

1.- Soluciones aromáticas. Que son soluciones acuosas saturadas con aceites esenciales u otras sustancias

aromáticas. Se utilizan como saborizantes o aromatizantes.

2.- *Soluciones ácidas.* Estas soluciones son de gran importancia en la fabricación de fármacos. Utilizan en su preparación ácidos inorgánicos como ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y ácido nítrico; y ácidos orgánicos como ácido acético, ácido cítrico y ácido tarátrico, que dan el uso terapéutico adecuado, solubilidad y estabilidad al fármaco.

3.- *Enemas.* Son soluciones acuosas de aplicación rectal, que favorecen la evacuación del intestino. Su acción terapéutica se realiza mediante absorción o por afección local del foco de la enfermedad.

4.- *Colutorios.* Son soluciones o suspensiones acuosas utilizadas en el tratamiento de la faringe y nasofaringe. Actúan favoreciendo la disipación del aire de los pulmones, por su acción sobre los tejidos de la faringe y nasofaringe. Se utilizan también como antiinfecciosos locales.

5.- *Enjuagues bucales.* Son soluciones acuosas de efecto desodorante, refrescante o antiséptico; contienen alcohol, glicerina, endulzantes sintéticos, agentes saborizantes y agentes colorantes.

6.- *Jugos.* Son soluciones preparadas de frutas maduras frescas, acuosas en carácter. Se utilizan para hacer jarabes que son empleados como vehículos.

7.- *Sprays.* Son soluciones acuosas de varios fármacos, se aplican principalmente a las membranas mucosas de la nariz y garganta por medio de un atomizador o nebulizador.

II.- Soluciones acuosas dulces o viscosas.

Son preparaciones semisólidas o de líquidos viscosos. Las sustancias dulces o viscosas bases que dan cuerpo a estas preparaciones son azúcares, polioles o polisacáridos. Entre ellas tenemos:

1.- *Jarabes.* Son soluciones concentradas de un azúcar, como la sucrosa, en agua u otro líquido acuoso. Cuando la preparación acuosa contiene algunas sustancias medicinales, el jarabe es llamado *jarabe medicinal*. Un *jarabe saborizante* es aquel que no contiene sustancias medicinales pero que contiene varias sustancias aromáticas o saborizantes agradables. Se utiliza como vehículo.

2.- *Mieles.* Son preparaciones líquidas espesas algo parecidas a los jarabes, difieren en el uso de miel como base, en lugar de jarabe.

3.- *Mucilagos.* Son líquidos espesos, viscosos, adhesivos. Se producen dispersando goma en agua o extrayendo con agua los principios mucilaginosos de sustancias vegetales, se emplean para emulsionar aceites y mantener en suspensión los medicamentos insolubles, o también como emolientes.

4.- *Jaleas.* Son un tipo de geles, en las cuales la matriz estructural contiene una gran proporción de líquido, generalmente agua. Son similares a los mucilagos ya que pueden ser preparadas de gomas similares a las que se utilizan para prepararlos, pero difieren de estos últimos en

que tienen la consistencia de una jalea. Se utilizan como lubricantes para guantes quirúrgicos, sondas y termómetros rectales.

III.- Soluciones no acuosas.

Son aquellas soluciones en las que el disolvente es una sustancia diferente del agua. Debido a esto, en la formulación deben hacerse cuidadosos estudios clínicos ya que la mayoría de estos disolventes pueden resultar tóxicos. Dentro de estas soluciones tenemos:

1.- *Colodiones*. Son preparaciones líquidas que contienen piroxilín (una nitrocelulosa), en una mezcla de éter etílico y etanol. Se aplican a la piel por medio de un cepillo suave u otro aplicador conveniente, y cuando el éter y el etanol se han evaporado, dejan una película de piroxilín en la superficie.

2.- *Elixírs*. Son líquidos hidroalcohólicos claros y dulces de uso oral. Se utilizan como saborizantes y vehículos de sustancias medicinales. Cuando estas sustancias se incorporan a los disolventes específicos, se clasifican como *elixírs medicinales*.

3.- *Glicéridos*. Son soluciones o mezclas de sustancias medicinales en no menos del 50% en peso de glicerina. Algunas de estas sustancias se usan en su forma original como agentes medicinales, mientras que otras se utilizan para preparar diluciones acuosas y alcohólicas de sustancias que no

son fácilmente solubles en agua o alcohol.

4.- *Linimentos*. Son soluciones o mezclas de varias sustancias en aceite, o soluciones alcohólicas de jabón. Son de uso externo, se aplican frotándolos sobre el área afectada.

5.- *Oleovitaminas*. Son soluciones de aceite de hígado de pescado diluido con aceite comestible vegetal, o soluciones de las vitaminas (generalmente vitaminas A y D oleosolubles), en aceite.

6.- *Espíritos* (escencias). Son soluciones alcohólicas o hidroalcohólicas de sustancias volátiles; la sustancia medicinal puede ser un sólido, líquido o gas. Muchos de ellos son de uso interno por su valor medicinal, varios se utilizan por inhalación, mientras que un gran número se utiliza como agentes saborizantes.

- EMULSIONES:

Una emulsión es un sistema de dos fases, se prepara combinando dos líquidos inmiscibles, uno de los cuales se dispersa uniformemente en todo el otro y consiste de glóbulos que tienen diámetros iguales o mayores que las partículas coloidales más grandes. El tamaño del glóbulo es por lo tanto, crítico y debe ser tal, que el sistema logre la estabilidad máxima. De cualquier modo, aún bajo las mejores condiciones, la separación de las fases ocurrirá a menos que se incorpore al producto original, una tercer sustancia llamada agente

emulsificante. La emulsión básica debe por lo tanto, contener tres componentes, aunque en el mercado pueden consistir de cierto número de agentes terapéuticos disueltos en cualquiera de las dos fases de preparación. La mayoría de las emulsiones se preparan con el objeto de incorporar una fase acuosa en una fase no acuosa (o vice versa). De cualquier modo, es posible preparar emulsiones cuya naturaleza es básicamente no acuosa.

- SUSPENSIONES:

Una suspensión es un sistema de dos fases constituido por un sólido dividido finamente y disperso en un líquido o gas. Cada una de las siguientes preparaciones representan una suspensión, aunque el estado de subdivisión del sólido insoluble varía desde partículas que son coloidales. El tamaño mínimo de partícula es aproximadamente de 0.1 micras, las preparaciones que contienen sólidos dispersos de esta magnitud o más grandes, se definen farmacéuticamente como suspensiones. Entre ellas encontramos:

1.- Geles. Son sistemas semisólidos compuestos de suspensiones hechas de pequeñas partículas inorgánicas o moléculas orgánicas grandes, rodeadas y compenetradas por un líquido. Estas preparaciones pueden ser tixotrópicas, ser semisólidas cuando están fijas y con agitación volverse líquidas.

2.- Lociones. Son suspensiones líquidas de aplicación externa. Se preparan triturando los ingredientes hasta

hacerlos una pasta uniforme y luego agregando cuidadosamente la fase líquida restante.

3.- *Magmas y leches*. Son suspensiones acuosas de fármacos inorgánicos insolubles y difieren de las geles en que las partículas suspendidas son más grandes; cuando se preparan son espesas y viscosas, y por esto, no hay necesidad de agregar un agente suspensor a la preparación. La mayor parte de los magmas son de uso interno.

- UNGÜENTOS:

Los ungüentos, son preparaciones semisólidas con base grasa de aplicación externa, de tal consistencia que pueden ser aplicados fácilmente sobre la piel por frotación. Deben tener cierta composición, que al ser aplicados sobre el cuerpo se ablanden, esto es, que no necesariamente se tengan que fundir. Sirven como vehículos para la aplicación local de sustancias medicinales, funcionan también como emolientes y protectores de la piel. En muchos casos, son emulsiones de materiales con apariencia de grasas o ceras con proporciones de agua comparativamente altas. Estas emulsiones pueden ser de agua-en-aceite o aceite-en-agua, dependiendo principalmente de la selección del agente emulsificante. Tales emulsiones semisólidas, pueden ser referidas también como *cremas*. Las cremas y ungüentos que contienen grandes cantidades de polvos insolubles, son llamadas *pastas*. Las pastas son generalmente más consistentes que las cremas y ungüentos. Además de cremas

y pastas, dentro de los ungüentos tenemos también: *cementos*, que son preparaciones dentales; *jaleas y cremas contraceptivas*, que previenen el paso de espermatozoides activos de la vagina al útero; y otras formas farmacéuticas.

- PREPARACIONES PARA USO PARENTERAL:

La administración de fármacos al paciente por inyección a través de una o más capas de la piel o membrana mucosa, se denomina ruta parenteral (del griego *para enteron* = detrás del intestino). Ya que esta ruta de administración involucra las barreras más eficientes y protectoras del cuerpo humano, la piel y membranas mucosas, en la dosificación se debe alcanzar un nivel excepcional de pureza. Las inyecciones se clasifican en cinco categorías generales:

- 1.- soluciones listas para inyección,
- 2.- liofilizada, productos solubles listos para ser combinados con un solvente justo antes de usarse,
- 3.- suspensiones listas para inyección.
- 4.- en pastilla o polvo, productos solubles o insolubles listos para ser combinados con un vehículo justo antes de usarse, y
- 5.- emulsiones.

Comparadas con otras formas de dosificación, las inyecciones poseen ciertas ventajas: si se necesita una acción fisiológica inmediata de un fármaco, puede ser proveída por una

inyección intravenosa de una solución acuosa; si se quiere retardar el avance de una enfermedad y prolongar el efecto del fármaco, se modifica la formulación o la ruta de inyección.

Un requerimiento esencial en las preparaciones parenterales, es que deben ser de la mejor calidad y deben también, proveer la máxima seguridad al paciente.

- TABLETAS:

Son dosificaciones farmacéuticas sólidas que contienen a los fármacos con o sin diluyentes apropiados y se preparan ya sea por compresión o por métodos de moldeado. Las tabletas se volvieron populares por las ventajas que brindan tanto al fabricante (simplicidad y economía en la preparación, estabilidad, y lo conveniente del empaque, embarque y distribución), como al paciente (exactitud en dosificación, compactividad, portabilidad y fácil administración). Aún cuando las tabletas son frecuentemente en forma de disco, pueden ser también ovaladas, oblongas, cilíndricas, circulares o triangulares. Pueden diferir bastante en tamaño y peso dependiendo de la cantidad de sustancia farmacéutica y la ruta de administración que se desee. Se dividen en dos clases ya sea que sean hechas por compresión o moldeado. Las tabletas comprimidas se preparan normalmente en métodos de producción a gran escala, mientras que las tabletas moldeadas generalmente implican operaciones a pequeña escala.

Además del fármaco, las tabletas contienen cierto número

de materiales inertes: agentes diluyentes, lubricantes (que dan a la formulación, características de fluidez y compresión satisfactorias), desintegradores, aglutinantes, colorantes y saborizantes.

- CAPSULAS.

Son dosificaciones sólidas en las que la sustancia farmacéutica se encuentra en un contenedor o cubierta soluble ya sea dura o blanda y de base gelatinosa. Son insípidas y de fácil administración. Algunos pacientes las encuentran mucho más fácil de deglutir que las tabletas, por eso prefieren tomar esta forma cuando es posible.

- PRINCIPIO ACTIVO

Se han descrito brevemente, algunas de las muchas formas en las que podemos encontrar medicamentos en el mercado. Y así, al sólido líquido o gas que es disuelto en otro líquido; al sólido disperso en un líquido, sólido o gas; a la sustancia sólida mezclada con agentes diluyentes, colorantes y saborizantes; se les llama *principio activo*, es decir, es la sustancia que va a causar el efecto deseado, la sustancia que va a corregir, restaurar o modificar las funciones orgánicas; las demás, van a ayudar al principio activo a que el efecto sea rápido y eficaz, van a guiarlo al órgano o tejido apropiado o, en su caso, van a hacer que el medicamento no tenga un sabor o un olor muy desagradable.

La producción de un principio activo no es tan sencilla como lo es la de un producto farmacéutico, en donde se requieren prácticamente procedimientos físicos; al principio activo lo obtenemos mediante una reacción química y por lo tanto, el equipo utilizado para su producción es mucho más complicado. Es esta la razón de porqué muchos laboratorios farmacéuticos no los producen, ya que se requiere de tecnología adecuada, controles estrictos y mucho tiempo y dedicación para encontrar los intermedios, procesos y condiciones óptimas para poder obtener así el producto deseado.

En Laboratorios Chryopharma, se pretendía producir algo más que productos farmacéuticos, y fue así como a fines de la década de los setentas se inició la investigación de la fabricación de principios activos, desarrollándose como primeros productos, sales de ésteres de esteroides tales como succinato sódico de hidrocortisona y succinato sódico de metil prednisolona, así mismo se contempló la síntesis de α -metil dopa, naproxen y nifedipina con sus respectivos intermedios. Siendo este último, uno de los principios activos más importantes que se producen en estos laboratorios, debido a las características del producto y a su demanda en el mercado.

NIFEDIPINA

La Nifedipina se introdujo al mercado farmacéutico en 1975 por Bayer Alemania, quien mantuvo su hegemonía en el mercado

hasta 1982 cuando empezó a ser fabricada por varias empresas (Tabla 1.1). En México, fue importada de Alemania Federal por Bayer, y de otros países por otros laboratorios, hasta que se empezó a producir en Laboratorios Chryopharma, cerrándose de esta forma la frontera y dejándose de importar en 1987, aprobado por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

- NOMBRES QUIMICOS:

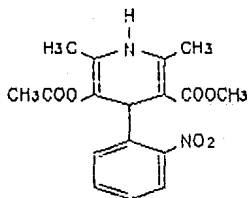
1.- Dimetil éster -1,4-dihidro-2,6-dimetil-4-(2-nitrofenil) del ácido 3,5-piridinedicarboxílico.

2.- Dimetil -1,4-dihidro-2,6-dimetil-4-(o-nitrofenil)-3,5-piridinedicarboxilato.

- FORMULA CONDENSADA:

$C_{17}H_{18}N_2O_6$. Peso molecular: 346.34.

- FORMULA DESARROLLADA:



- CARACTERISTICAS FISICAS:

La Nifedipina se presenta en forma de cristales amarillos, es prácticamente insoluble en agua, ligeramente soluble en

NIFEDIPINA

Nombre comercial	Fabricante	País	Año de introducción
Adalat	Bayer	Alemania Federal	1975
Adalat	Bayer	Italia	1976
Adalat	Bayer	Japón	1976
Adalat	Bayer	Reino Unido	1977
Adalate	Bayer	Francia	1979
Procardia	Pfizer	Estados Unidos	1982
Alfadat	Alfa	Italia	—
Anifed	Zoja	Italia	—
Atanal	Sawai	Japón	—
Citilat	C. T.	Italia	—
Coral	Tosi	Italia	—
Corinfar	Arzneimittelwerk Dresden	Alemania Democrática	—
Nifedidor	Schiapparelli	Italia	—
Nifedin	Gentili	Italia	—
Nifelat	Sidus	Argentina	—
Oxcord	Biosintética	Brasil	—

Tabla 1.1. (4)

alcohol y soluble en acetona y cloroformo. Tiene un punto de fusión comprendido entre 172°C y 174°C. Es muy sensible a la luz cuando se encuentra en solución, menos sensible cuando está en forma sólida.

- FOTSENSIBILIDAD:

La Nifedipina se transforma rápidamente a nitrosopiridina al exponerla a la luz del día y a determinadas longitudes de onda artificiales. La exposición a la luz ultravioleta, la transforma a nitropiridina. Se encontró que longitudes de onda mayores a 450 nm, no causan degradación alguna (2); basándose en estos resultados, se definió para trabajar con ella, una iluminación óptima con luz amarilla.

- USO TERAPEUTICO:

La Nifedipina es un vasodilatador coronario. Se usa en el tratamiento de la angina de pecho y en el tratamiento de la hipertensión. Aunque tiene las propiedades de antagonista del calcio, no se le ha encontrado ningún efecto terapéutico contra las arritmias. Está reportado que la Nifedipina actúa reduciendo el trabajo cardiaco, la demanda de oxígeno al miocardio, la resistencia periférica y la carga del corazón (3). Vía de administración oral, también se puede administrar de modo sublingual.

- EFECTOS ADVERSOS:

La Nifedipina puede causar dolor de cabeza pasajero,

bochorno y letargo. Otros efectos colaterales reportados incluyen vértigo, reacciones alérgicas, hipotensión, palpitaciones y algunas veces precipitación de dolor anginal. Sobredosis con Nifedipina, se puede asociar con bradicardia e hipotensión.

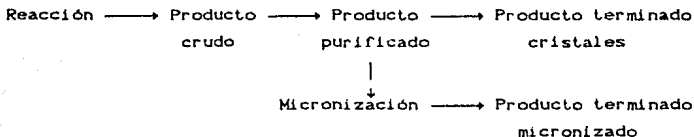
- PROCESO DE OBTENCION:

Las materias primas utilizadas para su obtención son: o-nitrobenzaldehído, ácido acetoacético metil éster e hidróxido de amonio; éstas son cargadas al reactor y se inicia la agitación. Se calienta el reactor hasta que haya reflujo del disolvente utilizado, manteniéndose así durante algunas horas. Después de este tiempo, se descarga el reactor y el producto obtenido se deja reposar hasta el día siguiente. La solución se filtra y se lava con el disolvente apropiado hasta obtener un color amarillo claro de aguas madres. El sólido cristalino (producto crudo), es entonces trasladado a la cámara de secado.

La Nifedipina tiene dos presentaciones, una es en forma de cristales, en la que el producto crudo es recrystalizado para eliminar impurezas y vuelto a secar, para después pasar a control de calidad en donde se realizan las pruebas y valoraciones requeridas para asegurar su calidad, y entonces ser almacenada y empacada debidamente. La otra presentación es micronizada en donde, después de la recrystalización, el producto purificado pasa por un proceso en el cual se reduce el

tamaño de los cristales hasta convertirlos en polvo muy fino. Una vez micronizada, pasa a control de calidad para los análisis requeridos y así poder ser almacenada y empacada correctamente. El proceso de obtención de Nifedipina, se resume en el siguiente esquema:

Proceso de Nifedipina



La Nifedipina en cristales es diluida y mezclada con agentes saborizantes y excipientes para enviar la solución a encapsular. Las cápsulas son de gelatina blanda de color amarillo verdoso, opacas.

La Nifedipina micronizada es también mezclada con excipientes para después pasar a un proceso de compresión, en donde obtenemos el medicamento en forma de tabletas de acción prolongada.

El contenido en cápsulas es de 10 mg, y en tabletas es de 40 mg.

Ya que la Nifedipina es fotosensible, tanto el área de producción como el área de secado, deben estar iluminadas sólo por luz amarilla, las pruebas y valoraciones deben realizarse

bajo esta condición, así como su recristalización, micronización, encapsulado y compresión. El material de empaque debe ser tal que no permita su exposición a la luz solar ni a la luz de lámparas de uso común.

- ALMACENAMIENTO:

Bolsa interna de plástico transparente sellada, en bolsa externa de plástico negro. Ambas bolsas quedan dentro de cubeta de plástico, perfectamente etiquetada y sellada.

Debido a la gran demanda de los productos elaborados en Laboratorios Chryopharma, a la descentralización y a los problemas de contaminación en la Ciudad de México, se inició el proyecto y después la construcción de una planta en la Ciudad de Guadalajara, lo que implica una producción mayor de medicamentos y por supuesto, de Nifedipina y otras materias primas. En la actualidad, el producto recristalizado es filtrado en büchners, lo que hace que este proceso sea lento y un poco incómodo, sin embargo, esto no constituye un grave problema ya que la producción de Nifedipina es baja (de 12 a 15 kilogramos diarios). En la planta en Guadalajara, se desea obtener una producción de 100 a 200 kilos diarios aproximadamente, una capacidad muy alta para ser filtrada en büchners.

Por todo lo expuesto anteriormente, el objetivo de esta tesis es hacer un estudio técnico-económico para seleccionar el filtro que mejor se adecúe a las necesidades y exigencias de la empresa.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA TRANSFERENCIA DE MOMENTUM

2.1 CONCEPTOS BASICOS.

En un sistema fluido-sólido, la transferencia de momentum es la cantidad de movimiento que se transfiere del fluido a la zona fronteriza fluido-sólido. Cuando se presenta una transferencia de momentum en un sistema, existen pérdidas de presión. La determinación de estas pérdidas es un factor muy importante en el diseño de equipo. Así mismo, se deben considerar las interrelaciones entre la velocidad de transferencia, el potencial de transferencia y las resistencias a la transferencia, al igual que su influencia en el diseño de equipo.

Además de estas consideraciones se requiere de un balance de materia y un balance de energía.

1.- Balance de materia.

"Las leyes de la conservación de la masa, establecen que la masa total de todas las sustancias que toman parte en un proceso, permanece constante. Esta ley se cumple en la ingeniería siempre que el proceso no involucre reacciones nucleares o que los materiales se muevan a la velocidad de la luz o próximas a ésta." (5). Esto puede expresarse así:

$$\text{Masa de entrada} = \text{Masa de salida} + \text{Acumulación}$$

Un balance de materiales es "la contabilidad de los flujos y cambios de masa en el inventario de un sistema" (8). El término acumulación puede ser positivo o negativo. La ecuación anterior se refiere a un intervalo de tiempo de cualquier magnitud y se reduce para los casos en que no hay generación o consumo de materiales en el sistema (†).

Cuando no hay acumulación dentro del sistema, el balance se expresa como:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas}$$

Cuando se presentan ganancias o pérdidas por reacciones químicas, la ecuación se expresa:

$$\text{Acumulación} = \text{Entradas} - \text{Salidas} + \text{Generación} - \text{Consumo}$$

Consideremos el sistema de la figura 2.1, el cual se encuentra limitado por paredes rígidas que tienen orificios a través de los cuales la masa puede entrar y salir, y también puede acumularse dentro del sistema. Así, la ecuación de balance de masa se expresa como:

(†) Entendiendo por sistema, cualquier porción arbitraria o la totalidad de un proceso.

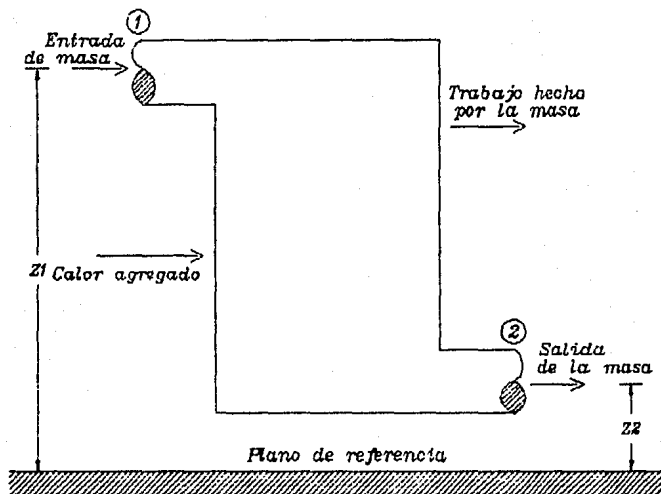


FIGURA 2.1 PROCESO DE FLUJO

$$w_1 = w_2 = \frac{v_{pm1} S_1}{V_1} = \frac{v_{pm2} S_2}{V_2} = G_1 S_1 = G_2 S_2 \quad (2.1)$$

en donde:

w = la velocidad de flujo de la masa en lb/h o kg/h.

v_{pm} = la velocidad promedio en pies/seg o m/seg.

S = la sección transversal del área de flujo en pies² o m².

V = el volumen específico del material en pies³/lb o m³/lb.

G = la velocidad de masa en lb/h pie o kg/h m.

Esta ecuación es aplicable en el estado estacionario y se conoce como ecuación de continuidad.

2.- Balance de energía.

Considerando la figura 2.1, se realizará el balance de los diferentes tipos de energía implicados. Para realizar el balance se supone:

1.- El material que fluye a través del sistema es un fluido.

2.- El fluido es uniforme en cuanto a propiedades y velocidad, y éstas son invariantes con el tiempo.

3.- La cantidad de masa que entra y sale del sistema es constante.

4.- El calor añadido y el trabajo dado, son constantes.

El principio de conservación de la energía establece que:

"la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma". Por lo tanto, la energía total que entra al sistema en cuestión, debe ser igual a la energía total que sale del sistema. Las energías consideradas en este sistema serán las transportadas por el fluido y las transferidas entre el fluido y su entorno.

Dentro de la energía transportada por el fluido, encontramos:

1.- Energía potencial ($z\gamma/gc$) debida a la posición del fluido con respecto a un plano de referencia arbitrario.

2.- Energía cinética ($\alpha mv^2/2\gamma gc$) asociada al movimiento del fluido. El término α , es un término correctivo que toma en cuenta el efecto de la distribución de velocidades en el canal de flujo sobre la energía cinética promedio. Para flujo laminar $\alpha < 1$, para flujo turbulento $\alpha = 1$.

Tomando en cuenta que el número de Reynolds determina el tipo de flujo, se tiene:

$N_{Re} < 2100$ el flujo es laminar
 $N_{Re} > 4000$ el flujo es turbulento

Las variables que intervienen en el tipo de flujo son:

D = diámetro del ducto en pies o cm,

v_{prm} = velocidad promedio del fluido en pies/seg o m/seg,

ρ = densidad del fluido en lb/pie^3 o lb/m^3 ,

μ = viscosidad del fluido en $lb/pie \cdot h$ o $kg/m \cdot h$.

$$N_{Re} = \frac{D \cdot v_{prom} \cdot \rho}{\mu} \quad (2.2)$$

La figura 2.2 muestra la relación entre α y N_{Re} .

3.- La energía de presión (PVD) que transporta el fluido como consecuencia de introducirse en el sistema. Es la fuerza ejercida por el fluido inmediatamente después del punto de entrada al sistema.

4.- Energía interna (E), propiedad inherente al fluido.

La energía transferida entre el sistema y su entorno incluye:

1.- El trabajo (W'D) transferido por el fluido al exterior a medida que fluye por el equipo. "Para que el fluido pueda dar trabajo al exterior, se requiere que opere algún equipo productor de trabajo, tal como una turbina". Es común que el signo de $W'f$ sea positivo si el trabajo es realizado por el fluido y se transfiere a los alrededores.

2.-El calor (Q') absorbido por el material y que fluye del entorno. "La temperatura del sistema puede o no aumentar al proporcionar calor al sistema. El fluido puede permanecer en un flujo isotérmico al agregarle calor, dado que la energía añadida puede encontrar salida en otras formas. La cantidad de calor procedente de los alrededores debe incluir totalmente el calor que pasa a través de la frontera del

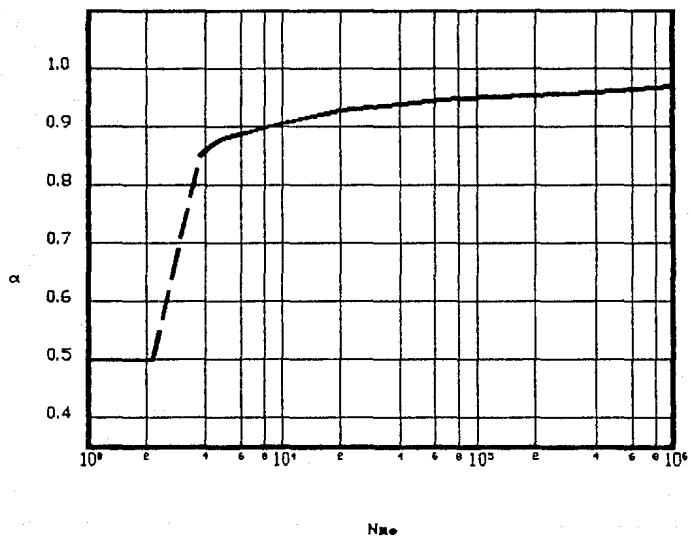


FIGURA 2.2 Factor de corrección para la energía cinética como una función del número de Reynolds

sistema. Esto excluye el calor generado por fricción, puesto que este calor debe venir de una disipación de otras formas de energía" (5). Convencionalmente, el signo de Q' es positivo si el calor se transfiere del medio al sistema.

La ecuación que expresa el balance global de energía es la siguiente:

$$\begin{aligned} [W'f + P_z V_z + z z(g/g_c) + v_{pr m}^2 / 2 a g_c + E_z] w = \\ [Q' + P_i V_i + z_i(g/g_c) + v_{pr m_i}^2 / 2 a g_c + E_i] w \end{aligned} \quad (2.3)$$

Esto es considerando régimen permanente, sin acumulación.

El balance global de energía también suele expresarse en forma diferencial, esto es especialmente útil cuando se manejan fluidos compresibles.

$$dE + d(PV) + d(g/g_c)z + v_{pr m} d v_{pr m} / a g_c = \delta Q' - \delta W'f \quad (2.4)$$

donde $\delta Q'$ y $\delta W'f$ son diferenciales inexactas. Su estimación depende de la forma en que Q' y $W'f$ son adicionados al sistema.

Dado que los términos E y PV son propiedades intrínsecas del sistema, es conveniente en ocasiones, agrupar estos términos en una sola cantidad que también es una propiedad intrínseca pero cuya estimación es más fácil, la entalpía H .

$$H = PV + E \quad (2.5)$$

Sustituyendo esta expresión en la ecuación de balance global, tenemos:

$$\begin{aligned} H_1 + v_{pr1}^2/2\alpha g_c + z_1(g/g_c) + Q' &= \\ H_2 + v_{pr2}^2/2\alpha g_c + z_2(g/g_c) + W'f & \quad (2.6) \end{aligned}$$

Si expresamos esta ecuación como una ecuación de diferencias, tenemos:

$$\Delta H + \Delta E_c + \Delta E_p = Q' - W'f \quad (2.7)$$

Δ es el incremento al pasar del estado 1 al estado 2.

ΔH es función del calor específico y de la temperatura.

- Ecuación de energía mecánica:

Teorema de Bernoulli.

"La suma de las energías de presión (PV), potencial (Ep) y cinética (Ec), permanece constante en un sistema dado."

$$\begin{aligned} P_1 V_1 + z_1(g/g_c) + v_{pr1}^2/2\alpha g_c &= \\ P_2 V_2 + z_2(g/g_c) + v_{pr2}^2/2\alpha g_c & \quad (2.8) \end{aligned}$$

La ecuación anterior sólo es válida si el flujo es perfecto, es decir, si no hay fugas ni pérdidas.

- El balance de energía y la fricción del fluido.

En realidad, la suma de las energías potencial, cinética y

la energía debida a la presión en el punto 2 es siempre menor a la suma de los mismos términos en el punto 1, esto se debe a las fuerzas de fricción. Esto es, como resultado del flujo, la fricción del fluido se presentará en cualquier parte donde exista una presión sobre el fluido. Debido a esta fricción, parte de la energía mecánica es convertida en calor, por tanto, no todo el trabajo realizado por el fluido se transferirá a los alrededores. Esta pérdida de energía aparece en el fluido como calor, entonces:

$$Q = Q' + \sum F \quad (2.9)$$

$$W'f = W - \sum F \quad (2.10)$$

donde:

Q = calor absorbido por el fluido,

Q' = calor transferido por el ambiente,

W = trabajo total hecho por el fluido,

$W'f$ = trabajo transferido al medio,

$\sum F$ = fricción total del fluido.

Así, considerando las pérdidas por fricción, la ecuación de balance de energía mecánica queda expresada de la siguiente forma:

$$\Delta \left[\frac{v_{pm}^2}{2\alpha g_c} \right] + \Delta z \left[\frac{g}{g_c} \right] + \int_{P_1}^{P_2} V dP + \sum F = -W'f \quad (2.11)$$

$$\int_{P_1}^{P_2} V dP = \Delta(PV) \quad (2.12)$$

3. - Flujo a través de lechos empacados.

Dentro de las operaciones unitarias que implican una transferencia de momentum, encontramos la separación de fase cuyo mecanismo es controlado por la mecánica de fluidos.

En varias operaciones industriales nos encontramos una fase fluida que fluye a través de una fase formada por partículas sólidas, como es el caso de la filtración.

La proporción de transferencia de cantidad de movimiento, del fluido a las partículas sólidas, y por tanto, la caída de presión para el flujo a través del lecho, se relacionan con el mecanismo físico que origina el flujo. En un lecho empacado, el flujo tiene lugar a través de muchos canales paralelos, conectados entre sí. Dichos canales no poseen un diámetro uniforme, sino que varía su espesor; ni tienen la misma sección transversal promedio o la misma longitud total. Por lo tanto, al fluir a través del lecho, la fase fluida es acelerada y desacelerada constantemente y experimenta pérdidas de energía cinética. Además, las superficies rugosas de las partículas producen las pérdidas usuales por fricción de la forma y de la superficie. Así tendremos una transición de flujo laminar a flujo turbulento, y de este análisis se deduce que la transferencia de momentum del fluido a las partículas proviene de las pérdidas por fricción de la forma y de las pérdidas de energía cinética.

Las pérdidas por fricción de la forma pueden ser relacionadas con las condiciones de flujo a través de una

modificación de las relaciones para las pérdidas por fricción en ductos.

$$f = \frac{2(-\Delta P) f_{gc} D}{v_{prm}^2 \rho L} = \phi (N_{Re}) = \phi \left[\frac{D v_{prm} \rho}{\mu} \right] \quad (2.13)$$

donde:

ΔP = pérdida de presión debida a la fricción,

$$f = \frac{8 (\tau_y gc)_s}{v_{prm}^2 \rho} \quad (2.14)$$

En el caso de ductos no circulares se utiliza un diámetro equivalente:

$$D_{eq} = 4s/b \quad (2.15)$$

éste define el diámetro equivalente de un ducto, como cuatro veces el área de la sección transversal, dividida entre el perímetro mojado, la cual, en términos de lecho empacado se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{4s}{d} = \frac{L}{L} = \frac{\text{Volúmen total de espacios vacíos}}{\text{Área de la superficie total de partículas}} = \frac{4 \epsilon NV_p}{(1-\epsilon) N A_p} \quad (2.16)$$

donde:

ϵ = porosidad, fracción del volúmen total que se encuentra vacío,

N = número de partículas,

NV_p = volúmen total de las partículas de sólido,

NA_p = superficie total de las partículas de sólido.

Combinando la ecuación (2.16) con la (2.13), tenemos:

$$f = \frac{8 (-\Delta P) t g_c \epsilon V_p}{u_{prm}^2 \rho L (1-\epsilon) A_p} = \phi \left[\frac{4 \epsilon V_p u_{prm} \rho}{(1-\epsilon) A_p \mu} \right] \quad (2.17)$$

Usualmente, los términos V_p y A_p , son reemplazados por un "diámetro de partícula". Este diámetro se define en términos del diámetro de una esfera equivalente:

$$\frac{A_p}{V_p} = \frac{\pi (D_{ep})^2}{\pi (D_{ep})^3 / 6} \quad (2.18)$$

Así:

$$D_{ep} = 6/A_p/V_p \quad (2.19)$$

donde:

D_{ep} = diámetro de una partícula esférica.

En el caso de partículas irregulares con una relación conocida entre A_p y V_p , existe un sólo tamaño de partícula que tiene esa misma relación. El diámetro de esta esfera se toma como característico de la partícula.

Si escribimos la ecuación (2.17) en términos de la velocidad superficial del fluido, $u_s = u_e$, y del diámetro de partícula D_p , se obtiene:

$$f = \frac{8 (-\Delta P) f_{gc} \epsilon^3 D_p}{6 v_s^2 \rho L (1-\epsilon)} = \phi \frac{4 D_p v_s \rho}{6 (1-\epsilon) \mu} \quad (2.20)$$

En las regiones con flujo laminar, el coeficiente de resistencia y el factor de fricción, son inversamente proporcionales al N_{Re} :

$$f = k_1 / N_{Re} \quad (2.21)$$

donde k es una constante de proporcionalidad.

Combinando esta expresión con la ecuación (2.20):

$$\frac{\epsilon^3 (-\Delta P) f_{gc} D_p}{(1-\epsilon) v_s^2 \rho L} = k_2 \frac{(1-\epsilon) \mu}{D_p v_s \rho} \quad (2.22)$$

reordenando tenemos:

$$\frac{(-\Delta P) f_{gc}}{L} = \frac{k_2 (1-\epsilon)^2 \mu v_s}{\epsilon^3 D_p^2} \quad (2.23)$$

Esta ecuación es conocida como ecuación de Carman-Kozeny y es utilizada para calcular la pérdida de presión para flujo laminar a través de lechos empacados. $k_1 = 84$. $k_2 = 180$.

Cuando el N_{Re} es alto, las pérdidas de energía cinética son significativas y se calculan de la siguiente forma:

$$(-\Delta P) k / \rho = v_{prm}^2 / 2gc \quad (2.24)$$

Dado que la pérdida de energía ocurre repetidamente en una unidad de longitud del canal:

$$(-\Delta P)_k \cdot g_c / L = n \cdot \rho \cdot v_{prm}^2 / 2$$

(2.25)

donde:

n = número de pérdidas repetidas de energía cinética en una unidad de longitud.

$(-\Delta P)_k$ = pérdida de presión debida a las pérdidas de energía cinética.

En los canales considerados se estima que las expansiones en su espesor se presentan a distancias aproximadamente equivalentes al diámetro del canal. Esto se deduce del hecho de que las partículas que forman el lecho han sido reemplazadas por un sistema de ductos circulares paralelos. Por tanto, el diámetro de los ductos es proporcional al diámetro de la partícula.

Considerando que n es proporcional a $1/D_c$:

$$\frac{(-\Delta P)_k \cdot g_c}{L} = \frac{k_3 \rho v_{prm}^2}{D_c} \quad (2.26)$$

donde:

k_3 = constante.

D_c = diámetro del canal.

Expresando esta ecuación en términos del diámetro de partícula y de la velocidad superficial, se obtiene:

$$v = v_s / \epsilon \quad ; \quad D_p = 6 V_p / A_p \quad (2.27)$$

$$\frac{A_p}{V_p} = \frac{N_c L \pi D_c}{L \pi D^2 / 4 \cdot (1-\epsilon)} \quad (2.28)$$

donde:

N_c = número de canales en el área del lecho,

D = diámetro del lecho.

Si:

$$\frac{N_c \pi D_c}{4} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \epsilon \quad (2.29)$$

entonces:

$$D^2 = N_c D_c^2 / \epsilon \quad (2.30)$$

En base a las consideraciones anteriores, ha sido desarrollada una ecuación que permite obtener la pérdida total de presión al pasar un fluido a través de un lecho empacado; esta ecuación fue desarrollada suponiendo que la velocidad es constante a través de la longitud del lecho:

$$\frac{(-\Delta P)_{gc}}{L} = \frac{k_2 (1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \mu v_s + k_4 \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} \frac{\rho v_s^2}{D_p} \quad (2.31)$$

Así, se han encontrado empíricamente otras relaciones para la pérdida de presión a través de lechos empacados relacionando datos experimentales. Por ejemplo, Leva y Grummer obtuvieron la siguiente relación:

$$\frac{(-\Delta P)_{gc}}{L} = \frac{0.0243 G^{1.0} \mu^{0.1} \lambda^{1.1}}{D_p^{1.1} \rho} \quad (2.32)$$

En esta expresión, se aplican diferentes constantes para partículas de diferente rugosidad superficial, donde λ es un factor de forma que se obtiene de la relación:

$$\lambda = 0.205 (A_p/V_p^{2/3}) \quad (2.33)$$

Los datos experimentales de esta ecuación se encontraban todos a Na_{re} relativamente altos y de partículas grandes. Dado que se incluyen datos de líquidos y gases, G puede ser G_v o G_L .

2.2 OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MOMENTUM.

Dentro de la transferencia de momentum encontramos operaciones que resultan útiles en la separación de mezclas de fases múltiples en fracciones individuales. Estos métodos se clasifican como separaciones mecánicas, opuestas a las separaciones que requieren vaporización o condensación.

Dentro de las operaciones de separación mecánica, se hallan las que corresponden a la separación de partículas sólidas en suspensión en un fluido, ya sea éste un líquido o un gas. Según sea el carácter de las fuerzas o el sistema utilizado para realizar esta separación, las operaciones reciben diferentes nombres.

Filtración es el pasaje obligado a través de un medio poroso, o medio filtrante, en el cual quedan retenidas solamente las partículas sólidas, no así el fluido que lo atraviesa. Las fuerzas utilizadas pueden ser las generadas por la simple gravedad, la aplicación de una presión positiva o un vacío, o aún a fuerza centrífuga.

Si se obliga, en cambio, a las partículas sólidas a seguir un camino determinado que conduzca finalmente a la separación física de las mismas con respecto a la masa del fluido, la operación recibe el nombre de *decantación* o *sedimentación*, pudiéndose en este caso utilizar tan sólo la fuerza de gravedad.

Muchas veces se utilizan estas últimas operaciones como una etapa previa a la de filtración, en especial cuando la proporción de sólidos a separar es pequeña. En estos casos, se procede a efectuar un espesamiento previo por sedimentación antes de proceder a la filtración propiamente dicha.

Cuando la cantidad de sólidos a separar es sumamente escasa la operación se conoce con el nombre de *clarificación*.

Puede llevarse a cabo una operación de filtración utilizando una fuerza centrífuga en lugar de la fuerza de presión. La fuerza centrífuga es generalmente usada en la filtración de sólidos granulares o cristalinos con partículas gruesas.

ANALISIS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FILTROS
Y FACTORES A CONSIDERAR EN SU SELECCION

3.1 FILTRACION.

La filtración es una de las aplicaciones más conocidas del flujo de fluidos a través de lechos empacados.

"Filtración es la separación de una mezcla fluido-sólido, que involucra el paso de ésta a través de una barrera porosa, la cual retiene las partículas sólidas contenidas en la mezcla" (7).

Es considerada como una operación unitaria y está comprendida entre las separaciones mecánicas. El equipo utilizado para efectuar la filtración es el "filtro", nombre originario del latín "*fieltrum*" (fieltro), palabra con la que se designa una especie de tela formada por el aglomerado de fibras no tejidas y utilizado primitivamente como medio poroso en esta separación. El medio filtrante es la barrera que permite el paso del líquido mientras retiene los sólidos formando una cama de los mismos, la cual recibe el nombre de "torta". El líquido que pasa a través del medio filtrante es llamado "filtrado".

El medio filtrante es la parte fundamental de un filtro. Sus características dependen del material con el cual fue

fabricado y de la forma en que se elaboró.

La selección del medio filtrante, se lleva a cabo bajo las siguientes consideraciones:

- Tamaño mínimo de partícula retenida.
- Permeabilidad o resistencia al flujo.
- Resistencia al calor, a la acción de productos químicos, a la abrasión y a la flexión.
- Resistencia a la rotura.
- Estabilidad dimensional.
- Relación entre oclusión del medio al flujo.
- Facilidad de limpieza.

Los medios filtrantes pueden ser de varios tipos: telas mecánicas, naturales o sintéticas, placas de asbesto o celulosa, hojas de papel de celulosa o fibra de vidrio, etc.

En algunos casos, además del medio filtrante, se requiere de un filtro ayuda, el cual es un material finamente dividido que no se compacta ni se comprime por la presión que ejerce el líquido al pasar a través de este tipo de materiales. Son agregados a suspensiones que presentan problemas de compresibilidad en la filtración, dificultad en la misma o por tamaño de partículas muy pequeñas. Los requerimientos para un filtro ayuda son:

- Debe ser inerte.
- Debe ser ligero.
- Debe formar una torta porosa.

3.2 DIFERENTES TIPOS DE FILTROS.

- Clasificación de los filtros.

Los filtros pueden ser clasificados en varias formas:

1.- Por la fuerza impulsora. Esto es, por la forma en que se induce el flujo de suspensión a filtrar a través del medio filtrante:

- a) Filtros por gravedad.
- b) Filtros a presión.
- c) Filtros a vacío.

2.- Por el mecanismo de filtración. Es decir, por el mecanismo de detención y acumulación de sólidos:

a) Filtración de tortas: los sólidos filtrados se detienen en la superficie del medio filtrante y se amontonan unos sobre otros. La torta que se forma debe ser lo suficiente porosa para permitir el paso continuo de fluido a través de ella.

b) Filtración de medio filtrante: la filtración se produce principalmente dentro de las profundidades de la matriz del filtro, es decir, los sólidos quedan atrapados dentro de los poros o el cuerpo del medio filtrante. Esta filtración recibe varios nombres como filtración superficial, de profundidad, de bloqueo, clarificación y ultrafiltración (cuando las partículas son extremadamente pequeñas).

3.- Por la función:

- a) Cuando la torta es el producto de valor.

- b) Cuando el filtrado es el producto de valor.
- c) Cuando ambos, torta y filtrado, son de valor.

4.- Por el ciclo operacional:

- a) Por lotes (intermitentes)
- b) Continuos.

Todas estas formas de clasificación tienen que ver unas con otras. Generalmente los filtros se clasifican primero en dos grupos, de torta o de medio filtrante, después en equipos que utilizan la misma fuerza impulsora y por último en las clases por lotes y continuos.

En comparación con los filtros de torta los filtros de medio filtrante tienen menor importancia en los trabajos de procesamientos químicos.

Debido a esto, se hará la clasificación de filtros en función de la fuerza impulsora para filtración de torta, y sólo se verá una descripción muy breve de filtros de medio filtrante.

- FILTROS POR GRAVEDAD.

En estos filtros, la fuerza impulsora es la presión de la columna del líquido sobre el medio filtrante. Se utilizan para materiales de filtración relativamente libres y cuando no se requieren altas velocidades de filtración.

Las ventajas de estos filtros son:

- 1.- Simplicidad.

- 2.- Accesorios más sencillos.
- 3.- Bajo costo inicial.
- 4.- Posibilidad de construirlo de casi cualquier material.
- 5.- Lavado de torta efectivo y eficiente.

Las desventajas son:

- 1.- Velocidades de filtración relativamente bajas.
- 2.- Se ocupa un área excesiva de piso por unidad de área de filtración.
- 3.- Costo elevado de mano de obra.
- 4.- Problemas de limpieza.
- 5.- Estos filtros rara vez se usan en industrias de procesamiento.

- *Filtro de succión por gravedad.*

Es un tanque equipado con un fondo falso, perforado o poroso, que puede soportar un medio filtrante. La lechada se filtra por su propia carga hidrostática, el filtrado se recoge en un resumidero bajo el tanque o corre directamente al alcantarillado. Para lavado, se agrega la cantidad deseada de disolvente de lavado, antes que se haya desalojado cualquier filtrado original de la torta, por medio de aire. La torta se puede descargar a través de un orificio en la porción inferior de la pared del tanque. Los filtros de succión pueden estar encerrados y funcionar como filtros de presión o de vacío.

- *Filtro de bolsa.*

Consiste en bolsas de tela de filtro, lona, fieltro o piel. La bolsa se fija en las aberturas de un armazón suspendido. Son útiles para filtrar un material gas-sólido, no se recomiendan para filtraciones de procesamiento. Pueden colocarse varias bolsas en paralelo.

- *Filtro de arena.*

Es el tipo más común de filtros de gravedad y el más sencillo de los filtros industriales. Consiste en un tanque o una tolva donde se ponen capas graduadas de piedra, grava y arena, sostenidas por una rejilla. El tamaño de partículas del lecho disminuye del fondo hacia la parte superior. El material que se va a filtrar se agrega por la parte superior y el lecho granular es el medio filtrante (figura 3.1).

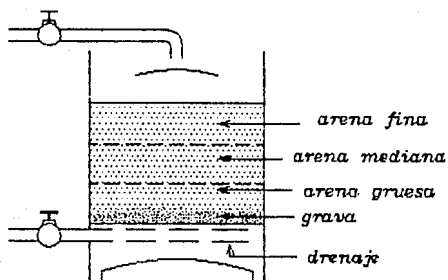


Figura 3.1 Filtro de arena

El filtrado se retira por un fondo falso o tubería de drenaje. Los filtros de arena son usados sólo para flujos grandes de pastas muy diluidas y cuando el producto sólido no va a ser recuperado. El filtro puede estar encerrado y funcionar a presión.

- FILTROS A PRESION.

La fuerza impulsora que obliga al paso del líquido a través de la superficie filtrante, la constituye una presión positiva que puede tener cualquier valor, sólo limitada por la resistencia mecánica de los materiales filtrantes y equipos utilizados. Con el uso de presión en el filtrado, es común tener velocidades superiores a aquellas correspondientes a al aplicación de vacío o gravedad, a igual área filtrante y espesor de torta. Los filtros a presión se alimentan con bombas de émbolo, diafragma, gusano y centrifugas. La dificultad de descarga de la torta y la falta de acceso limitan su utilización, es por esto que la mayoría de los filtros a presión funcionan por lotes.

Con la filtración a presión no existe limitación alguna respecto a la volatilidad de los líquidos y temperatura de trabajo.

Las ventajas de los filtros a presión son:

- 1.- Permite filtraciones relativamente rápidas y la realización de separaciones difíciles.
- 2.- Area grande de filtración por unidad de espacio de piso

ocupado por el filtro.

3.- Los filtros a presión por lotes ofrecen mayor flexibilidad que los de cualquier otro tipo, a un costo inicial relativamente bajo.

Las desventajas son:

1.- Dificultades para adaptarse al proceso continuo y en muchas aplicaciones su manejo resulta costoso.

2.- Los filtros continuos a presión son muy inflexibles y costosos.

- *Filtro de arena y filtro de succión a presión.*

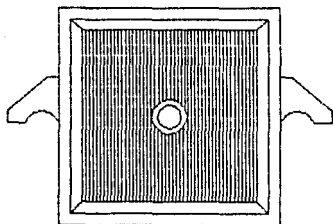
Como se mencionó anteriormente, los filtros de arena y los filtros de succión pueden funcionar como filtros a presión. La presión de trabajo no es muy elevada, bastando la producida por un tanque elevado de una altura no inferior a tres metros. Pueden utilizarse también bombas centrífugas de baja presión. El espesor de la capa de arena suele ser de 0.60 a 1.20 m y el rendimiento es de 80 a 160 l/min por cada metro cuadrado de superficie filtrante.

- *Filtro prensa.*

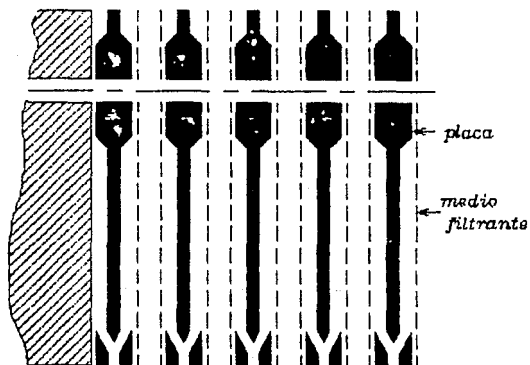
El filtro prensa es el más sencillo de los filtros a presión y sigue siendo uno de los más utilizados debido a la gran ventaja de su bajo costo inicial, bajo costo de mantenimiento y extrema flexibilidad. Se utilizan para líquidos

que contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión o bien que éstos sean muy valiosos, ya que permite una total recuperación y fácil control. Hay dos diseños básicos: el filtro prensa de cámaras y el filtro prensa de placas y marcos.

- *Filtro prensa de cámaras.* Es el más simple de los filtros prensa. En él todas las placas son iguales y consisten en un marco resaltado en cuyo interior está colocada una placa estriada dotada de una perforación central que es a la vez la entrada del líquido turbio y de las aguas de lavado. En la parte inferior, esta placa estriada posee unas aberturas de drenaje que conducen al exterior por un canal inserto en el mismo marco. Un par de orejas sirve para sostener la placa en posición sobre los largueros. Sobre cada placa se coloca la tela filtrante que posee una abertura en concordancia con el orificio central. El cierre de la tela sobre los bordes de la perforación se efectúa mediante un manguito metálico o de goma. Una vez cerrado el filtro, quedan formadas una especie de cámaras entre placas contiguas, limitadas lateralmente por la tela filtrante y la placa estriada. Al bombear el líquido turbio por los orificios centrales que conectan una cámara con otra, el líquido limpio atraviesa las telas y escurre en el espacio existente entre estas y el fondo de las estrias de la placa, saliendo al exterior a través de los canales de drenaje. Los sólidos suspendidos quedan en el interior de la cámara conformando paulatinamente la torta de filtración hasta su completo llenado (figura 3.2).



Placa



Disposición de las placas

Figura 3.2. Filtro prensa de cámaras

Al aumentar la presión de trabajo por el llenado de las cámaras, se procede al lavado enviando el líquido de lavado por la misma tubería de alimentación. El lavado es muy imperfecto ya que existe tendencia a la canalización de líquidos en el interior de la torta, pudiendo quedar zonas impregnadas aún con el líquido de filtración. La descarga de la torta se efectúa por apertura del filtro y caída de la misma sobre una bandeja inferior.

- *Filtro prensa de placas y marcos.* Son de mayor capacidad que el anterior. Están formados por dos tipos de elementos: las placas, de construcción similar a la indicada para los filtros de cámara, careciendo del canal central que es reemplazado por otro colocado en el marco o reborde exterior, y el marco propiamente dicho, sin placa estriada y cuyo canal de alimentación, el cual coincide con el que posee la placa, está conectado con el interior del mismo (figuras 3.3 y 3.4). Un medio filtrante, generalmente tela, cubre las dos caras de cada una de las placas. Comúnmente las placas y marcos son rectangulares; aún cuando pueden ser también circulares o triangulares.

El canal de filtrado puede ir a todo lo largo del filtro hasta una tubería de descarga situada en un extremo (descarga cerrada), o bien, se puede descargar por llaves individuales, una en la parte lateral de cada placa, a una bandeja situada por debajo del filtro (descarga abierta). Son posibles diferentes disposiciones de alimentación y descarga: la

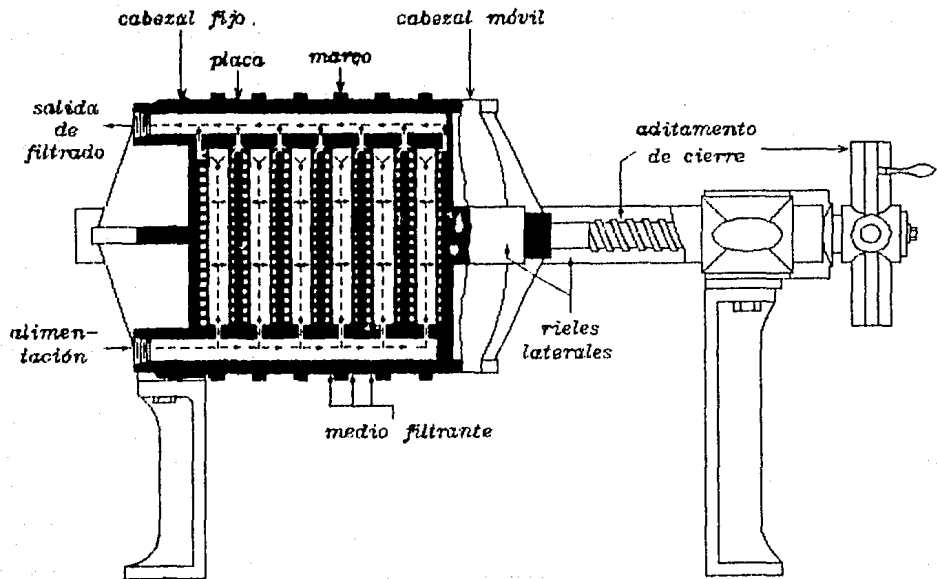


Figura 3.3. Filtro prensa de placas y marcos

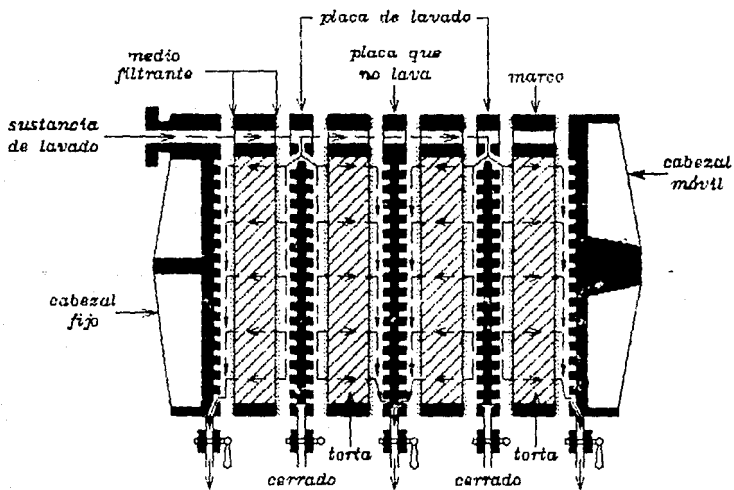
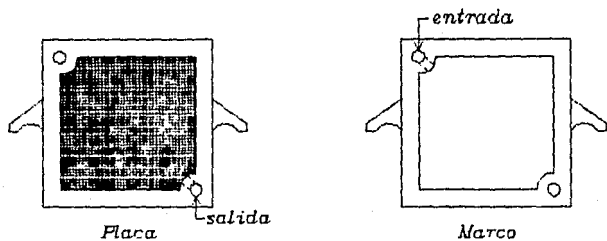


Diagrama esquemático de un lavado completo en un filtro prensa de placas y marcos.

Figura 3.4

alimentación por el fondo y la descarga por la parte superior permiten un desplazamiento rápido del aire y producen una torta de uniformidad máxima, con sólidos normales; la alimentación por la parte superior y la descarga por la parte inferior proporcionan una máxima recuperación de filtrado y una desecación máxima de la torta; la alimentación y descarga doble, dan acomodo a materiales que se filtran a velocidades elevadas.

En los filtros prensa de placas y marcos hay dos métodos de lavado: el lavado simple, en el cual el líquido de lavado sigue la misma trayectoria que la suspensión a filtrar, y el lavado completo en el que el líquido de lavado se admite a las caras de placas alternas (cuyo canal de descarga se corta), donde pasa a lo largo de todo el espesor de la torta, para drenarse sobre las caras de las otras placas.

Las tortas más secas se producen cuando se sopla aire a través del filtro. En algunas ocasiones, se sopla vapor o aire caliente a través de la prensa para recuperar vapores de la torta y desecarla parcialmente.

- Filtro de hojas a presión.

Consiste de una serie de hojas filtrantes circulares suspendidas en el interior de una cámara cilíndrica horizontal o vertical, por lo que encontramos dos tipos: filtro de hojas horizontales o filtros de hojas verticales.

Una hoja de filtro consiste en una malla pesada o una placa ranurada donde se coloca un medio filtrante, el cual debe

estar tan tenso como sea posible para minimizar el pandeo cuando se forma la torta, ya que de lo contrario puede hacer que la torta se desprenda o se resquebraje (figura 3.5).

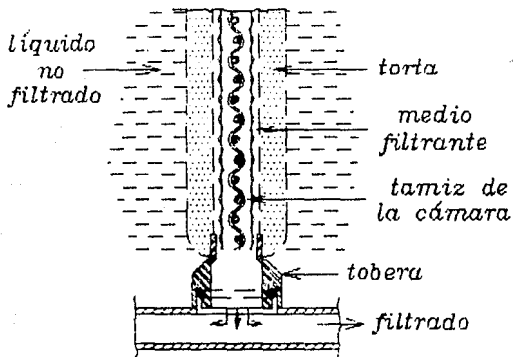


Figura 3.5 Sección de hoja filtradora

Estos filtros funcionan por lotes. El casco está cerrado y la suspensión a filtrar es alimentada por medio de una fuente de presión. Se llena el casco y la filtración tiene lugar en la superficie de las hojas, el filtrado es descargado por una línea individual. La descarga de la torta se realiza según sea horizontal o vertical.

-Filtro de hojas horizontal. Se construye en tamaños sumamente grandes y puede abrirse rápidamente para limpiarse. El filtro Sweetland está fabricado con dos medios cilindros. La mitad inferior se abre hacia abajo, soltando el seguro de

rápida acción, con objeto de que queden expuestas las hojas verticales en forma de disco, las cuales se limpian sin moverlas de su lugar. El filtro Kelly es abierto mediante el retroceso del casco a lo largo de rieles. En el filtro Vallez, el casco, que se divide longitudinalmente, no se tiene que abrir, ni siquiera para la descarga de la torta seca, si ésta se descarga limpiamente con un soplo inverso a un cilindro de descarga situado al fondo del casco (figura 3.6).

- *Filtro de hojas vertical.* Tiene hojas verticales paralelas y rectangulares montadas en un tanque de presión cilíndrico vertical (figura 3.7). Regularmente las hojas reposan en un múltiple de filtrado, sellándose la conexión mediante un anillo en O, de modo que se pueden levantar individualmente de la parte superior del filtro para inspección y reparación.

- *Filtro de placas horizontales.*

Consiste en cierto número de placas horizontales y circulares de drenaje, y guías colocadas unas sobre otras en un casco cilíndrico coaxial y conectadas en paralelo. Se coloca un medio filtrante como se hace en un Büchner de laboratorio.

La suspensión a filtrar se conduce a través de las placas a presión por medio de un múltiple de alimentación, la filtración prosigue hasta que se alcance la capacidad de formación de torta del filtro. La torta se desprende, retirando la olla de placas del tanque o mediante chorros de agua que

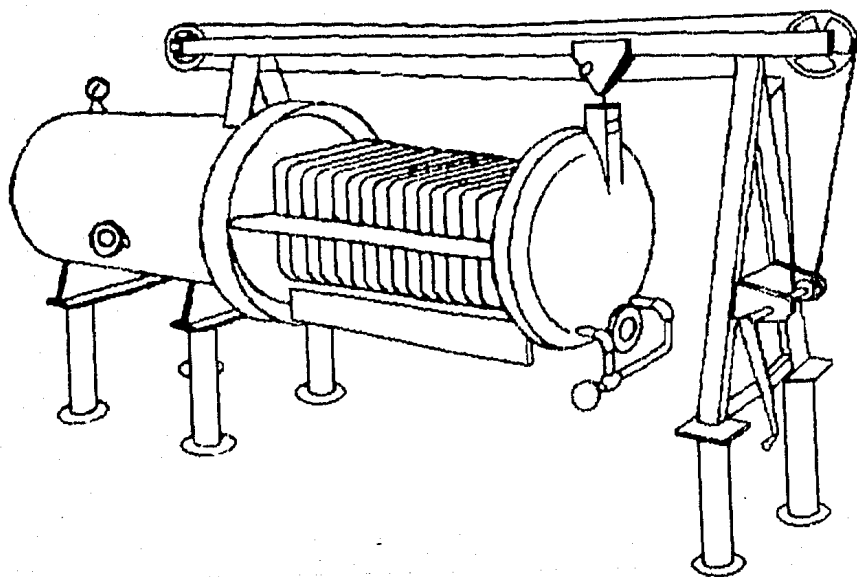


Figura 3.6 Filtro de hojas horizontal

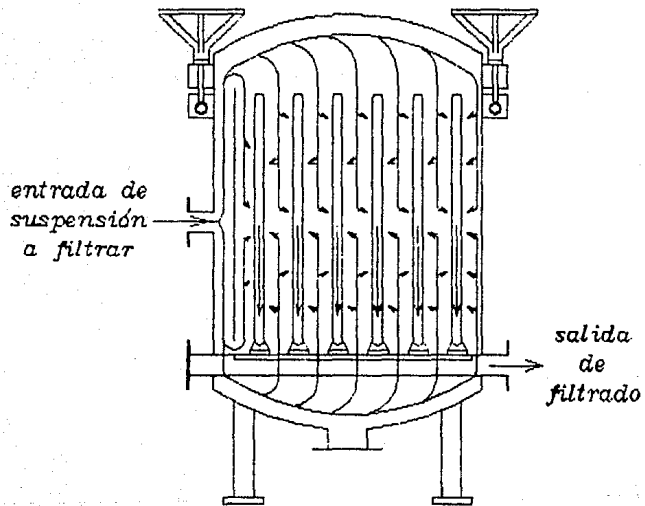


Figura 3.7 Filtro de hojas vertical.

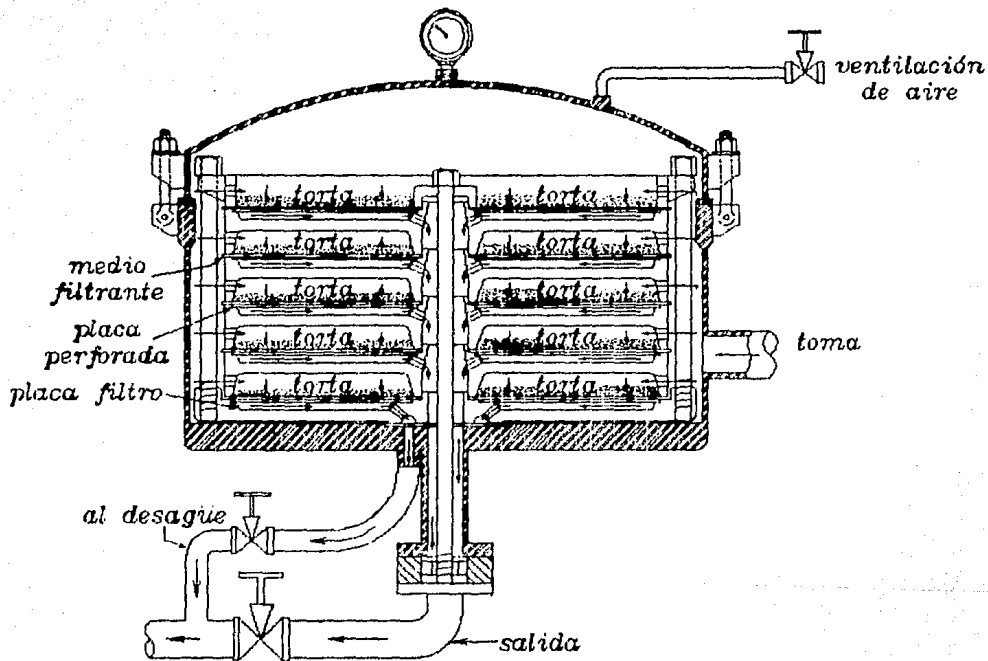


Figura 3.8 Filtro de placas horizontales

limpian las placas sin moverlas de su lugar (figura 3.8).

- FILTROS AL VACIO.

Los filtros al vacio funcionan a una presión menor que la atmosférica, en el lado corriente abajo del medio filtrante y generalmente la presión corriente arriba, es la atmosférica. La suspensión a filtrar puede llegar al tanque del filtro por gravedad o por medio de una bomba de carga baja. La bomba al vacio es un accesorio importante para estos filtros puesto que es la fuente de la fuerza impulsora para llevar a cabo esta filtración, y en muchas instalaciones es el dispositivo de mayor costo operacional.

Se usan filtros tanto por lotes como continuos, éstos últimos son los más predominantes, a diferencia de los filtros a presión.

Las ventajas de los filtros a vacio son:

- 1.- Pueden diseñarse como filtros continuos eficaces.
- 2.- Utilizan poca mano de obra.
- 3.- La superficie de filtración se puede abrir a la atmosférica, es fácil llegar a ella para inspección y reparación.
- 4.- Generalmente, reducidos costos de mantenimiento.
- 5.- Manejan un mayor tonelaje de sólidos.

Las desventajas son:

- 1.- Debe mantenerse un sistema al vacio.

- 2.- No se pueden utilizar filtrados volátiles.
- 3.- La mayoría no pueden manejar sólidos compresibles.
- 4.- Son inflexibles.
- 5.- Los filtros al vacío por lotes tienen un aprovechamiento local limitado en el procesamiento químico.

- *Filtro de succión al vacío.*

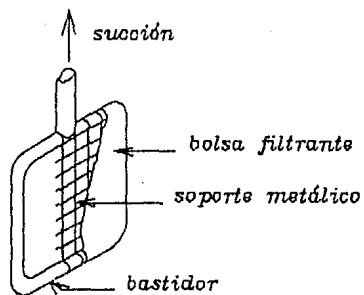
Estos filtros funcionan por lotes. Son útiles en las operaciones pequeñas con productos químicos finos. Para convertir el filtro de succión en un equipo al vacío, el sumidero de recolección de filtrado, se conecta a un sistema al vacío, y así tenemos un aumento en la capacidad.

- *Filtro de hojas al vacío (Filtro Moore).*

El elemento básico de un filtro Moore lo constituye un bastidor de caño perforado sobre el cual está colocada una bolsa de loneta, o lienzo, totalmente cerrado, que actúa como medio filtrante. El caño que constituye el bastidor está perforado en toda su longitud, lo que sirve de orificios de drenaje del líquido filtrado.

Un grupo de estas hojas filtrantes, poseen un colector común conectado por medio de una manguera flexible a los depósitos de líquido filtrado, sistema de vacío y depósitos de aire comprimido, constituyendo así un "paquete" o "canasta".

Durante la operación, el grupo de hojas es introducido totalmente mientras se aplica succión en el recipiente o depósito conteniendo la suspensión a filtrar. Se deja



Hoja filtrante

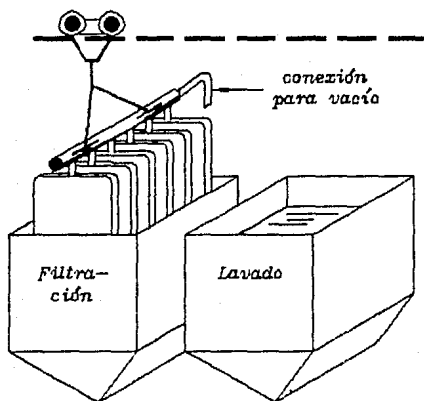


Figura 3.9. Filtro de hojas al vacío

permanecer en el mismo hasta que el espesor de la torta depositada se juzga conveniente y entonces, siempre al vacío, es retirado de este recipiente e introducido en otro conteniendo el líquido de lavado para efectuar el lavado de la torta. Hecho esto, se vuelve a retirar, y mediante el soplado de aire comprimido, se desprende la torta lavada y escurrida, que se recoge en un depósito adecuado (figura 3.9).

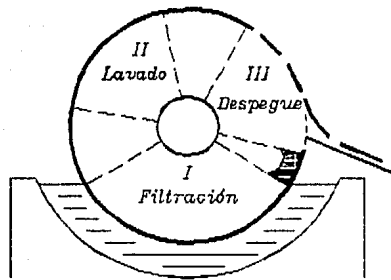
Estos filtros funcionan por lotes.

- Filtro de tambor giratorio continuo.

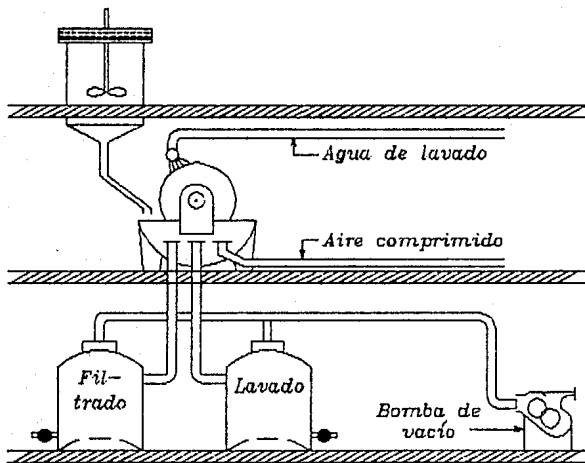
El filtro Oliver es el más representativo de los de esta clase. Consiste de una serie de celdas individuales dispuestas en la periferia de un tambor giratorio de eje horizontal y parcialmente sumergido en una cuba que contiene la suspensión a filtrar (figura 3.10).

Cada una de estas celdas está dotada de una cañería de drenaje y posee un recubrimiento de chapa perforada o tejido de alambre que soporta a la tela filtrante común para todo el tambor. La cañería de drenaje de todas las celdas individuales, es conectada a un cabezal de distribución común, donde está programada la secuencia de operaciones a efectuar según la posición relativa de las conexiones externas de vacío y aire comprimido, la primera común con el drenaje de los líquidos de filtración y de lavado. La succión se efectúa por medio de los depósitos colectores de líquido, que pueden ser únicos o separados para líquidos de filtración y de lavado.

El despegue de la torta se efectúa por el soplado de aire



Esquema de funcionamiento



Instalación de un filtro de tambor giratorio

Figura 3.10

comprimido en el interior de las celda, lo que trae como consecuencia que la tela filtrante se hinche y la torta se despegue. La torta despegada, es finalmente transportada por una rampa hacia el exterior del equipo.

- *Filtro de discos al vacío continuo.*

Cada filtro está constituido por una serie de discos giratorios montados sobre un eje de accionamiento común que a la vez sirve de colector. El número de discos es variable según la capacidad deseada. Los discos giran semisumergidos en un recipiente conteniendo la suspensión a filtrar. Cada disco está compuesto por ocho a diez sectores triangulares independientes, conectados a un colector central y constituidos por un marco metálico que sirve de soporte a un tejido o chapa de metal perforada sobre la que está tendido el verdadero medio filtrante.

Para el lavado de la torta se dispone de boquillas pulverizadoras colocadas en sentido radial y dirigidas hacia ambas caras de los discos. La descarga de la torta se puede efectuar con aire comprimido y paletas raspadoras.

- *Filtro rotatorio horizontal continuo.*

Consiste en una mesa circular horizontal, que gira alrededor de un eje central (figura 3.11).

A la mesa la forma cierto número de placas huecas cubiertas con tapas de metal perforado o de malla metálica. Cada una de las secciones se cubre con el medio filtrante

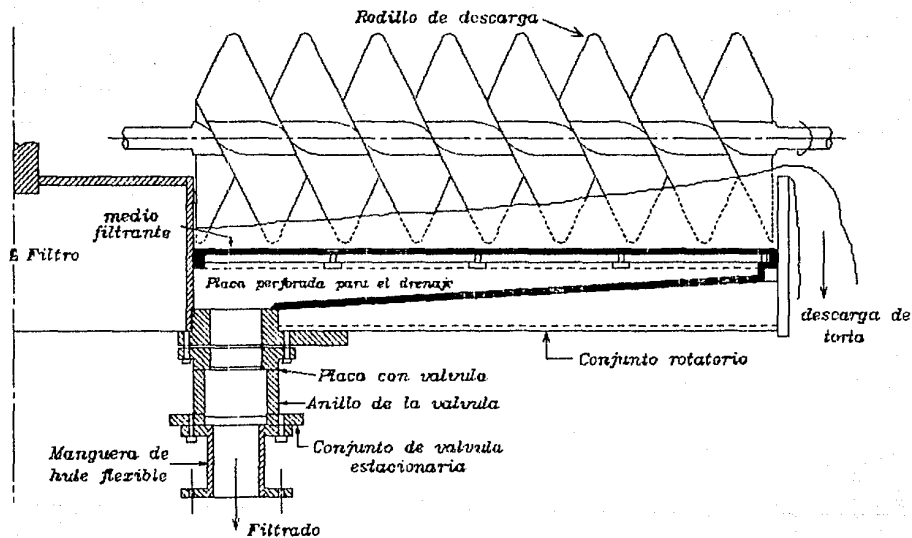


Figura 3.11 Filtro rotatorio horizontal.

adecuado y se conectan a un mecanismo central, el cual fija el tiempo apropiado para remover el filtrado y los líquidos de lavado, así como el exprimido de la torta durante cada revolución. Cada segmento recibe sucesivamente suspensión a filtrar, después se ve sometido a un rocío del líquido de lavado, exprimiendo la torta mediante absorción de aire a través de ésta, y por último, se desprende la torta por medio del raspador helicoidal de descarga.

FILTROS DE MEDIO FILTRANTE.

Se utilizan para hacer mezclas líquidas que contienen sólo cantidades muy pequeñas de sólidos, en general no más del 0.10%. Comúnmente, el filtro no produce una torta visible debido a la escasa cantidad de sólidos, y otras veces, debido a que los sólidos quedan atrapados en la matriz del medio filtrante. Estos filtros, llamados también clarificadores, en general son menos costosos que los filtros de torta. Se clasifican como prensas de disco y placa, filtros de presión de prerrecubrimiento, y clarificadores de cartucho. Los ultrafiltros constituyen una clase especial de prensas de placas y filtros de cartucho.

3.2 FACTORES A CONSIDERAR PARA LA SELECCION DE UN FILTRO.

La filtración a escala industrial es análoga a la realizada en el laboratorio químico utilizando un embudo y

papel filtro.

La filtración industrial difiere de la realizada en el laboratorio, solamente en las cantidades de material manejadas y en la necesidad de minimizar los costos de operación lo más posible.

Como se había mencionado anteriormente, el rendimiento o eficiencia de un filtro depende de la caída de presión a través de éste, ya sea aumentándola o disminuyéndola.

Es práctica usual, en la mayor parte del equipo industrial, el disminuir la resistencia al flujo, aumentando así el área de filtración lo más posible, sin aumentar el tamaño total del equipo de filtración.

Así pues, la selección de un equipo de filtración depende primordialmente de factores económicos; las ventajas económicas que pueden obtenerse dependen de:

- a) densidad, reactividad química y viscosidad del fluido,
- b) concentración de la pasta alimentada,
- c) cantidad de material a manejar,
- d) qué tan completa debe ser la separación,
- e) tamaño de las partículas sólidas,
- f) valores absoluto y relativo de los productos líquido y sólido, y
- g) gastos relativos de mano de obra, capital y fuerza motriz.

Las variables de operación en una filtración son:

- a) Presión.
- b) Temperatura.
- c) Espesor de la torta.

a) Presión. Esta se incrementa a medida que crece la resistencia por efecto del aumento de espesor del sedimento acumulado con el tiempo, provocando la disminución de la velocidad de filtración.

b) Temperatura. En algunos casos, cuando se manejan sustancias muy viscosas, el aumento de temperatura favorecerá una mayor velocidad de filtración.

c) Espesor de la torta. Determina la resistencia a la filtración y aumenta con el tiempo haciendo incrementar la presión de alimentación al filtro, disminuyendo así la velocidad de filtración.

En la selección del equipo de filtración se debe buscar una correcta relación de las tres variables de operación mencionadas, para así obtener una velocidad de filtración óptima, para llevar a cabo el proceso.

Otro factor a considerar en la selección de un equipo de filtración, es el tipo de servicio a llevar a cabo, esto es, si el proceso es continuo o por lotes.

En resumen, la selección de un equipo de filtración debe buscar obtener ventajas técnicas y económicas óptimas dentro del proceso.

- Instrumentación para la filtración.

Básicamente, la instrumentación de las operaciones de filtración es muy simple cuando se compara con otras operaciones unitarias. La filtración requiere, como mínimo, el mantenimiento de una presión diferencial a través del medio de retención y sólidos. Cuando están establecidas estas condiciones, la filtración seguirá continuamente hasta tanto exista la capacidad o los medios de descarga de sólidos recolectados y con tal de que la fuerza impulsora (presión diferencial), sea adecuada para asegurar el flujo a través de la unidad.

El siguiente es un análisis de la instrumentación en los filtrados intermitentes.

Los filtros intermitentes son empleados tanto para la clarificación de la suspensión, como para la recuperación de sólidos. Los filtros de clarificación, frecuentemente son operados con únicamente una válvula de presión para ver el aumento de ésta conforme se recolectan los sólidos en el medio filtrante. Cuando la presión diferencial alcanza un límite máximo predeterminado, se corta el flujo y es limpiado o reemplazado el medio filtrante.

En la recuperación de sólidos, una válvula de presión puede ser suficiente para indicar cómo está progresando el ciclo de filtración. Pero el volumen de sólidos retenidos en las hojas o en el entramado de la prensa filtradora, también es un factor de limitación de operación aún cuando no lo sea la

presión. Cuando el ciclo se completa, se descarga el aglutinado y se inicia un nuevo ciclo.

La remoción del aglutinado de la plancha y el entramado de la prensa, es una tarea que consume un buen tiempo, y por lo tanto, los costos de mano de obra son altos.

Se ha desarrollado un tipo de filtro prensa modificado para sobreponerse a esta desventaja. Este aparato hace uso de un juego alternado de entramados posicionados en un eje común con aquellos que están en servicio. Cuando se ha complementado el ciclo, el entramado vacío se mueve hacia el lugar. La operación total ha sido automatizada de tal manera que, a una señal del controlador, se paran los flujos y los entramados vacíos son movidos automáticamente hacia su lugar.

Con los filtros de tipo hoja, la mayoría de las aplicaciones requieren de un filtro ayuda precubierto. La precubierta sirve como medio filtrante y eventualmente se descarga con los sólidos al final del ciclo. A partir del momento en que el filtro se quita del servicio, están involucrados los siguientes pasos para la descarga de la torta. En donde la descarga de la torta húmeda sea satisfactoria, puede ser omitido el primer paso indicado abajo y un chorro de agua sustituye el paso 2. La torta removida con agua se descarga como una mezcla.

Paso 1. Pasar una corriente de aire a la torta para remover el líquido.

Paso 2. Descargar la torta a la tolva recolectora en el

filtro.

Paso 3. Descarga de la torta de la tolva recolectora en el filtro.

Paso 4. Llenar el filtro de líquido claro o limpio.

Paso 5. Preparar la mezcla de filtro ayuda.

Paso 6. Precubrir las hojas.

Paso 7. Regresar el filtro al servicio.

Debe haber una secuencia de operaciones que envuelven considerables manipulaciones incluyendo el posicionar la válvula. La operación manual de esta operación de servicio para el filtro, es costosa cuando se necesita en intervalos cortos (8 - 12 hr). Los instrumentos necesarios para automatizar este proceso (tomadores de tiempo, indicadores de flujo, etc.), han sido incorporados junto con los controles neumáticos y eléctricos.

Así, los sistemas de instrumentación representan entre el 5% y el 40% de la inversión del equipo de proceso, pero presentan la ventaja de acercarse más rápidamente a un ciclo permanente; reduce la magnitud y duración del desarreglo y un aumento en la velocidad con la cual se llega a la producción estable después de un comienzo o cambio.

CAPITULO IV

SELECCION DE LA ALTERNATIVA MAS ADECUADA Y DESCRIPCION GENERAL

4.1 SELECCION DEL EQUIPO.

Después de haber analizado los diferentes tipos de filtros que hay, se procederá a seleccionar el más adecuado de acuerdo a los siguiente factores:

- 1.- El ciclo de operación de filtración de nifedipina recristalizada, tiene que ser por lotes.
- 2.- La suspensión a filtrar contiene una concentración media de sólidos. Los sólidos son cristales.
- 3.- El filtro a seleccionar debe tener la facilidad de ser transportado de un lugar a otro.
- 4.- El filtrado es una sustancia volátil.
- 5.- La torta no debe quedar expuesta a la luz del día.
- 6.- Se requiere de un lavado eficiente y obtener la torta lo menos húmeda posible.
- 7.- La posibilidad de filtrar, además de nifedipina, otros productos de características diferentes a las de ésta.
- 8.- Un bajo costo de operación y mantenimiento, así como flexibilidad para los mismos.

Tomando en cuenta que el ciclo de operación debe ser

intermitente y en base al análisis que se hizo en el capítulo anterior, la selección se reduce a los filtros a presión, ya que los filtros a vacío se utilizan para procesos continuos, además de que éstos filtros quedan descartados también al tomar en cuenta que el filtrado es una sustancia volátil.

Entre los filtros a presión tenemos: filtros de arena a presión, filtro de succión a presión, filtro prensa de cámaras, filtro prensa de placas y marcos, filtro de hojas horizontal, filtro de hojas vertical, y filtro de placas horizontales. De todos estos descartamos al filtro de arena a presión, ya que este es utilizado cuando no se requiere de la recuperación de sólidos.

Nos quedan, entonces, seis tipos de filtros a analizar para nuestro propósito. De todos estos, encontramos que el filtro prensa de placas y marcos es el más adecuado debido a varias consideraciones:

1.- Comparado con los demás filtros, es el que menor mantenimiento requiere.

2.- Su simplicidad. Aún cuando el filtro prensa de cámaras es más sencillo que el filtro prensa de placas y marcos, el lavado de la torta es mucho más eficiente en éste, que en el filtro prensa de cámaras, por lo que queda descartado automáticamente.

3. - Los filtros prensa de placas y marcos producen una torta más seca que los filtros de hojas a presión (horizontal y vertical), además de que éstos requieren una supervisión muy cuidadosa para que la torta no se desprenda, cosa que en los filtros prensa no sucede.

4. - Con el filtro prensa de placas y marcos podemos tener una recuperación de sólidos mucho mayor a la que tendríamos al utilizar un filtro de succión a presión o un filtro de placas horizontales, los cuales son utilizados sobre todo, para aplicaciones en que se incluyen cantidades relativamente pequeñas de tortas.

5. - El problema de no exponer la torta a la luz del día, es solucionado gracias a que el filtro prensa de placas y marcos puede ser transportado de un lugar a otro, de esta forma la succión de la bomba del filtro es conectada directamente a la descarga del reactor que contiene la nifedipina a filtrar. Después de la filtración, el filtro puede ser trasladado al cuarto iluminado con luz amarilla en donde se realiza la descarga de la torta.

6. - El filtro prensa de placas y marcos tiene la gran ventaja de poder ser acondicionado fácilmente a gastos de filtración mayores o menores, según se requiera, con sólo colocar más placas y marcos de los que se tienen o con quitar algunos, ésta es una ventaja que los filtros de su clase no

tienen.

La selección del medio filtrante se efectúa tomando en cuenta los factores mencionados en el capítulo III. En este caso, se considera, que el medio filtrante debe reunir dos características primordiales:

1. - Retener completamente los sólidos a filtrar.
2. - No debe contaminar al sólido con ninguna impureza.

Esta última característica, es importante ya que en la práctica, se tiene el problema de encontrar peluzas, debidas al medio filtrante, en el producto. Para filtros prensa de placas y marcos tenemos los siguientes medios filtrantes a utilizar:

- papel filtro de celulosa
- placas de asbesto celulosa
- placas sin asbesto celulosa
- placas de asbesto celulosa con carbón activado (para decolorar y/o deodorizar).
- telas sintéticas y naturales.

De estos medios filtrantes, escogemos aquellos de telas sintéticas y naturales, ya que son los que menos presentan el problema de las impurezas y además retienen bastante bien las partículas sólidas.

De esta manera, se escoge manta y una tela de poliéster encima de ella, con esto tendremos una eficiente separación de

sólidos a un bajo costo.

4.2 FUNCIONAMIENTO GENERAL.

En la figura 4.1 se representa un filtro prensa de placas y marcos.

La suspensión a filtrar es alimentada al filtro, por medio de una bomba centrífuga, a los canales laterales, penetrando únicamente en los marcos, por lo que las placas actúan sólo como elementos de drenaje. Los sólidos quedan retenidos en la superficie del medio filtrante (poliéster), y el filtrado es desalojado por los canales laterales opuestos a los de alimentación. El indicador de que los marcos ya han sido llenados, es el aumento súbito de la presión, indicada por el manómetro. En este momento se detiene la alimentación y entonces se procede a descargar la torta a una charola colocada debajo del conjunto de placas y marcos.

A continuación se hará una descripción detallada de este filtro.

4.3 ESTRUCTURA.

El filtro seleccionado, es un filtro prensa de placas y marcos Columbia, modelo 40, equipado con bomba centrífuga, motor eléctrico, tuberías sanitarias en acero inoxidable tipo Clamp, charolas de goteo, base móvil, válvulas e indicador de presión.

- Marcos.

Los marcos están contruídos en acero inoxidable, son de

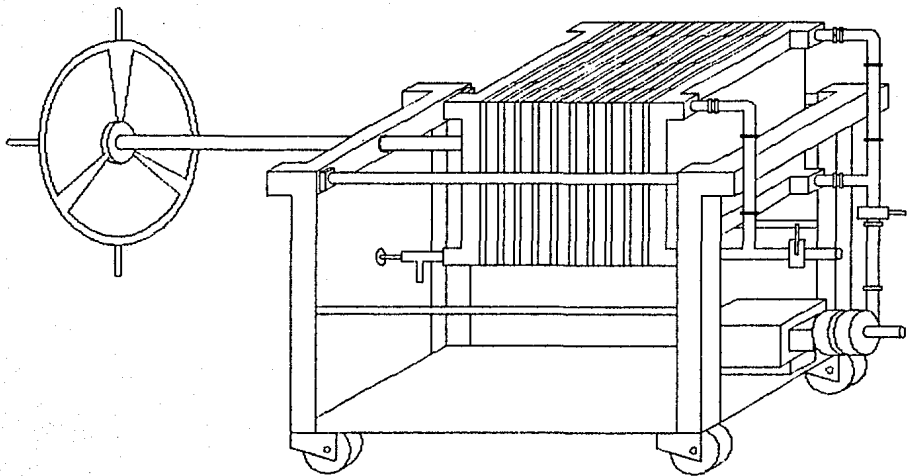


Figura 4.1. Filtro prensa de placas y marcos

40 x 40 cm (16" x 16") y tienen un espesor de 2.35 cm.

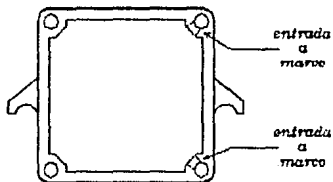


Figura 4.2

Está provisto de cuatro orificios sencillos, dos de los cuales permiten la entrada de la suspensión a filtrar dentro de ellos, como se muestra en la figura 4.2.

- Placas.

Este filtro está equipado de placas con lámina perforadas en acero inoxidable, las cuales son intercambiables, ya que están fabricadas para desensamblarse fácilmente para su mantenimiento, puesto que están provistas de seguros hembra-macho de presión para su colocación, con lo cual únicamente es necesario hacer ligera presión hacia arriba con una cuña en las partes opuestas a las orejas del soporte de la placa para que la lámina se separe de los seguros y quede libre. Son de 40 x 40 cm (16" x 16"), espesor de 0.88 cm y tienen un Área de filtración efectiva de 0.132 m^2 (1.43 pies^2) cada una. Al igual que los marcos, están provistas de cuatro orificios sencillos, colocados en el reborde exterior, dos de los cuales permiten el paso del filtrado a los canales de salida. (Figura 4.3)

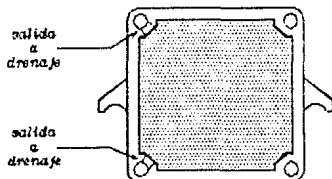


Figura 4.3

- Cabezales.

Construidos en acero inoxidable, miden 40.5 x 40.5 cm y tienen un espesor de 4.7 cm. Uno de los cabezales está fijo y el otro es móvil, acoplado al tornillo del volante manual, como se muestra en la figura 4.4.

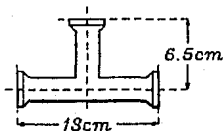
El tornillo tiene un diámetro de 5 cm y un largo de 71 cm. El volante tiene un diámetro de 50 cm.

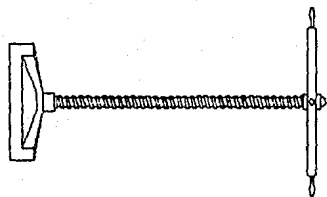
- Tubería.

Toda la tubería está construida de acero inoxidable y consta de los siguientes elementos:

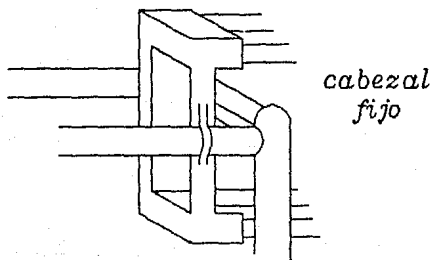
- Accesorios:

- 2 tes de 1 1/2" de diámetro exterior, cada una.





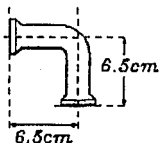
Cabezal móvil



*cabezal
fijo*

Figura 4.4

- 2 codos de 1 1/2" de diámetro exterior, cada una.



- La longitud total de tubería recta es 56.5 cm.

La distribución de estos elementos se muestra en la figura 4.5.

- Válvulas.

Este filtro consta de dos válvulas de globo marca Urrea, las cuales en vez de graduar su apertura por medio de un volante, como es usual, se gradúan por medio de una palanca, lo cual las hace más operacionales. (Figura 4.6)

- Bomba.

El filtro está equipado con una bomba centrífuga acoplada a un motor eléctrico Remsa de las siguientes características: (figura 4.7)

3505 RPM

220/440 Volts

5.5/2.75 Amperes

60 Hertz

2 HP

3 fases

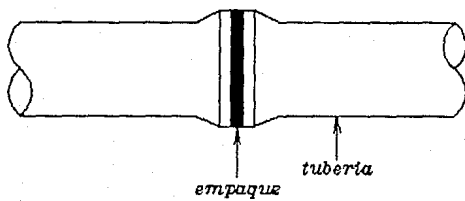
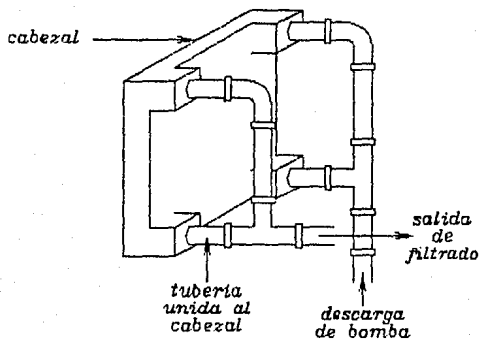


Figura 4.5

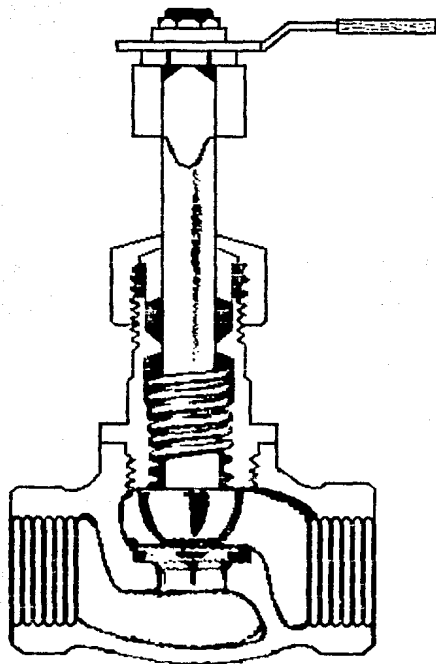
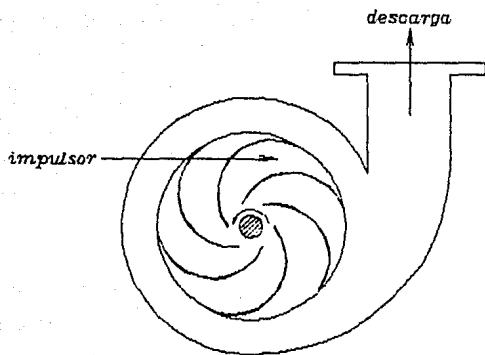


Figura 4.6 Válvula de globo



Bomba centrífuga

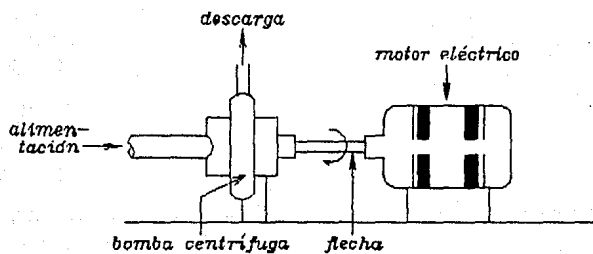


Figura 4.7

CAPITULO V

OPERACION Y MANTENIMIENTO

5.1 OPERACION.

Durante la filtración, el filtro prensa: a) permite la entrada de la suspensión hacia la superficie filtrante, b) permite que la suspensión alimentada sea forzada contra las superficies filtrantes, c) permite que el filtrado, que ha pasado a través de las superficies filtrantes, salga a través de su propio ducto, mientras que, d) retiene los sólidos que se encontraban originalmente en la suspensión. Durante la secuencia de lavado, el filtro: a) permite alimentar disolvente limpio a los sólidos filtrados a través de su propio ducto, b) permite forzar el agua de lavado a través de los sólidos retenidos en el filtro y c) permite que el disolvente de lavado y las impurezas salgan a través de un ducto separado. El diseño del filtro incluye cuatro ductos separados, o puede llevar solamente dos cuando la contaminación de los productos líquidos no sea importante.

Después de la secuencia de lavado, la prensa se desarma y los sólidos pueden recolectarse en forma manual.

Este filtro prensa consiste en 10 placas y 9 marcos alternados, que cuelgan de un bastidor, y los cuales se unen apretadamente por medio de un mecanismo de cierre de tornillo. Para armar esta prensa, las placas y los marcos se cuelgan

alternadamente en los rieles laterales de la prensa, por medio de las orejas laterales de las placas y marcos. Después se coloca el medio filtrante sobre las placas, cubriendo ambas caras. Sobre el medio filtrante se cortan los agujeros para permitir la formación del canal que atraviesa las placas y los marcos. Se cierra la prensa, una vez alineados los marcos y las placas, por medio del tornillo manual.

Cuando la prensa se encuentra cerrada, el medio filtrante actúa como empaquetadura, sellando las placas y los marcos y formando un canal de flujo continuo, a través de los agujeros en las placas y marcos. La suspensión alimentada es entonces bombeada a la prensa bajo presión y fluye dentro del ducto de la esquina inferior y superior derecha. El disolvente o filtrado fluye entonces a través del medio filtrante, mientras que los sólidos se acumulan en una capa en el lado del marco del medio filtrante. El filtrado fluye entre la tela del filtro y la cara de la placa, hacia el ducto de salida. Conforme prosigue la filtración, la torta se acumula sobre las telas del filtro, hasta que las dos tortas formadas en cada cara del marco se unen en el centro. Cuando eso sucede, el flujo de filtrado que ha venido disminuyendo continuamente conforme se han formado las tortas, disminuye abruptamente convirtiéndose en un goteo. Generalmente la filtración se detiene antes que esto ocurra.

En muchos casos resulta conveniente lavar la torta, con objeto de remover el solvente atrapado en la misma, o disolver las impurezas presentes. Para esto se utiliza la técnica de

lavado simple; el licor de lavado sigue la misma trayectoria que el filtrado y el material que se va a filtrar. Sólo en casos en que las tortas sean extremadamente uniformes y muy permeables, el lavado simple no resulta eficiente.

Resulta de suma importancia especificar las variables de operación del proceso. En el caso de la filtración de nifedipina, las variables son:

- Presión. Esta se incrementa a medida que crece la resistencia por efecto del aumento de espesor de la torta de nifedipina, haciendo disminuir la velocidad de filtración. El filtro se sacará de operación a una presión de 45 lb/puig² o entre 15 y 16 minutos de operación, tiempo en el cual retendrá la cantidad de nifedipina suficiente para saturarse y empezar a pasar nifedipina en el filtrado.

- Temperatura. La temperatura de operación será de 15°C.

- Espesor de la torta. Este determina la resistencia a la filtración. El espesor de la torta será de 2 cm aproximadamente.

A continuación se resumen los pasos necesarios para poner en operación este filtro prensa de placas y marcos:

1.- Comprobar la posición de alimentación y descarga, así como la numeración consecutiva de placas y marcos. La alimentación es doble por el lado derecho de los marcos y la descarga es doble por el lado izquierdo de las placas.

2.- Una vez alineados debidamente las placas y marcos se procede a colocar los medios filtrantes iniciando por el cabezal fijo.

3.- El medio filtrante (primero manta y después poliéster) se coloca sobre la placa metálica del filtro cuidando que selle perfectamente con el cabezal fijo, así sucesivamente se van colocando las placas filtrantes, hasta llegar al cabezal móvil.

a) Al colocar el medio filtrante, evitar que el corte de los orificios no quede sobre los bujes y que al asentar el papel o placa éstos no se rompan.

b) Vigilar que el corte de los orificios cubra totalmente la circunferencia de la lámina perforada alrededor de los bujes.

4.- Se cierra el filtro checando que el cabezal móvil ajuste perfectamente con la última placa filtrante, ejerciendo una presión por medio del volante.

a) Vigilar que el medio filtrante no quede con algún doblez o arruga.

b) El equipo cuenta con, cierre manual con husillo y volante, se debe hacer el cierre con el volante, en todos los aprietes se deberá ejercer una presión normal, sin auxiliarse de otra palanca de apoyo.

5.- Se conectan las mangueras de alimentación y descarga, la manguera de alimentación se conecta en la succión de la bomba.

la manguera de descarga se conecta de la salida del filtro al tanque que recibirá el producto filtrado.

6.- Al iniciar la operación, el filtro siempre deberá llenarse por gravedad, abriendo la válvula de alimentación completamente sin que trabaje la bomba. Una vez llenado el filtro se cierra la válvula de alimentación a la mitad y se pone en funcionamiento la bomba; la válvula de descarga deberá estar completamente abierta.

7.- Para obtener los mejores resultados de operación es recomendable que la presión sea mantenida de 15 a 45 lb/pulg², esto se logra regulando la alimentación con la válvula respectiva.

8.- La presión del filtro nunca deberá exceder de 45 lb/pulg², si ésta presión después de un tiempo de filtrado llega a subir más nos indica que el medio filtrante se obstruyó y es entonces momento de cambiar medios filtrantes.

9.- Al terminar de filtrar se cierra la válvula de alimentación y descarga, antes de abrir el filtro es necesario descargar el líquido contenido en él, por la válvula de drenaje que se encuentra en la parte inferior del cabezal móvil.

5.2 MANTENIMIENTO.

1.- Nunca deberá excederse la presión máxima de operación.

ya que esto ocasionaría la rotura del medio filtrante, deterioro en las láminas perforadas y que el filtro pierda sus características de diseño con el paso del tiempo.

2.- En todos los casos el cierre se deberá hacer a presión normal y nunca ayudarse de una palanca extra de apoyo, para evitar la deformación del husillo o tornillo, así como descuadrar las cámaras filtrantes.

3.- Siempre deberá revisarse que el manómetro esté bien calibrado y en buen estado, no se deberá filtrar con el manómetro deteriorado.

4.- Una vez colocado el filtro en su posición final, deberá estar perfectamente nivelado.

5.- Al realizar el lavado del equipo, puede efectuarse sin quitar las placas de su posición, en caso de quitarlas se recomienda colocarlas sobre una tarima de madera o bastidor adicional y evitar colocarlas en el piso.

6.- Revisar periódicamente que los tornillos hembra-macho que sujetan las láminas perforadas estén bien apretados y que las cabezas de los tornillos no sobresalgan demasiado de las láminas.

7.- Revisar periódicamente que el husillo se mantenga con

grasa lubricante sin que ésta sea excesiva.

5.3 SUGERENCIAS PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE FILTRACION.

1.- Se recomienda colocar válvula de dos vías en la descarga del filtro, para evitar tiempos muertos durante la recirculación del líquido o para descargar en dos o más tanques simultáneamente.

2.- Se recomienda la instalación de una alimentación de aire o gas inerte en el tanque alimentador o directamente a la alimentación del filtro para lograr el filtrado total del líquido.

3.- En caso de que el tanque de almacenamiento se localice en un plano superior y/o a gran distancia del filtro, se recomienda instalar una bomba de traspaso en la descarga del filtro.

4.- Se recomienda colocar una bomba de relevo en la alimentación al filtro para evitar tiempos muertos en caso de falle la bomba en operación.

CAPITULO VI

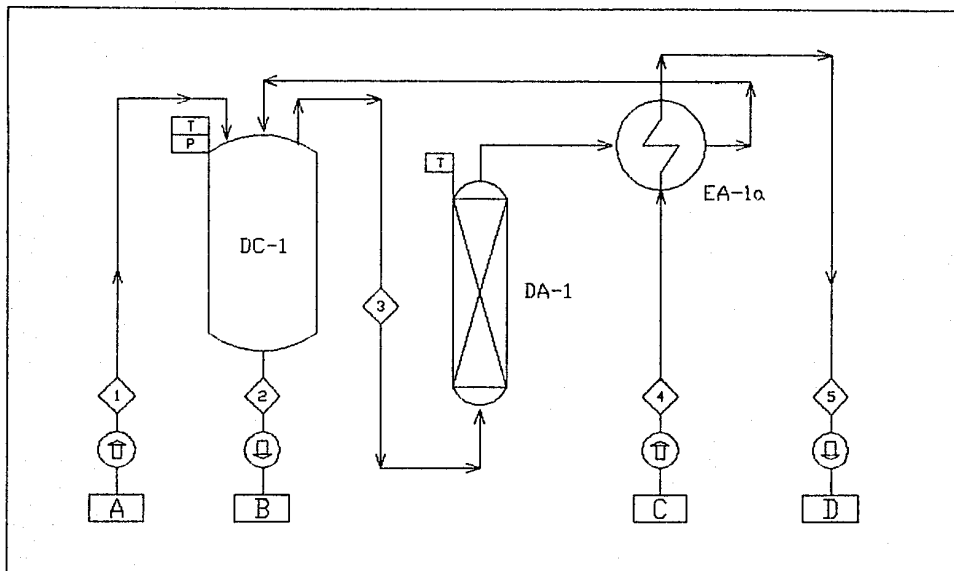
DESCRIPCION DEL PROCESO DE OBTENCION DE LA SUSPENSION A FILTRAR

La nifedipina a filtrar se obtiene de un proceso de recristalización en el cual se carga un reactor con nifedipina cruda y los disolventes adecuados para la operación. El reactor se somete a calentamiento y agitación, por un cierto lapso de tiempo durante el cual la nifedipina se disuelve.

Una vez disuelta la nifedipina, se procede a filtrar en caliente, utilizando una manga de 5 micras, con el fin de eliminar posibles impurezas. Después de esto la solución es enfriada para cristalizar la nifedipina.

Por último, la nifedipina es descargada hacia el filtro para la recuperación de los cristales.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de este proceso.



DC-1 Reactor
 DA-1 Columna empacada
 EA-1a Condensador

	1	2	3	4	5
T	15°C	85°C	100°C	10°C	18°C
P	13 psi	55 psi	16 psi	13 psi	13 psi

Proceso:
 Obtención de
 Nifedipina

PROCESAMIENTO DE DATOS Y CALCULOS

7.1 MODELO MATEMATICO.

Calcular la capacidad de un equipo de filtración es de suma importancia, para lo cual se analiza la caída de presión a través del filtro y la forma en que el equipo opera.

La ecuación general de filtración permite evaluar el gasto que el equipo puede manejar en función de la caída de presión a través de él.

El desarrollo de las ecuaciones teóricas y de diseño, se basa en el siguiente modelo:

$$Q = \Delta P / R \quad (7.1)$$

El cual establece que el flujo de filtrado Q obtenido, es función de la fuerza impulsora ΔP que debe vencer la resistencia R . La resistencia al flujo R , se conforma por tres resistencias, las cuales están en serie y se manifiestan como caídas de presión. Estas son las siguientes:

a) Resistencia de ductos y conexiones. Las cuales pueden despreciarse al compararlas con las de la torta y el medio filtrante.

b) Resistencia de la torta. Tiene un valor de cero al inicio de la filtración y se incrementa con el tiempo de filtración.

c) Resistencia del medio filtrante. Esta resistencia más la de la torta, representan la resistencia total del lecho.

Dado que el flujo es en serie, la caída de presión total en el filtro es igual a las caídas de presión individuales.

Durante la filtración, se forma sobre la superficie del medio filtrante una capa de partículas sólidas; una vez formada, la superficie actúa como medio filtrante, depositándose sobre ella los sólidos y aumentando así el espesor de la torta, mientras que el líquido pasa a través de ella.

El flujo de filtrado a través de la torta puede describirse con cualquiera de las ecuaciones generales para el flujo de fluidos a través de lechos empacados. Dado que el flujo es generalmente laminar, se parte de la ecuación de Carman-Kozeny, la cual relaciona la caída de presión a través de la torta, con la proporción de flujo, la porosidad y espesor de la torta y el diámetro de las partículas sólidas:

$$\frac{(-\Delta P) r_{gc}}{L} = 180 \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \frac{\mu v_s}{D_p^2} \quad (2.23)$$

Realizando algunas modificaciones con el objeto de expresarla en función de las variables mesurables de filtración (5), la ecuación de Carman-Kozeny se adapta a la siguiente forma:

$$\frac{dV}{A d\theta} = \frac{(-\Delta P) r_{gc}}{\frac{\mu \omega V}{A}} \quad (7.2)$$

donde:

$dV/d\theta$ = proporción de filtración, esto es, el volumen de

filtrado que pasa a través de la torta por unidad de tiempo;

A = área de filtración;

V = volumen de filtrado que ha pasado a través de la torta;

ω = peso de sólidos en la suspensión de alimentación por volumen de líquido en esta suspensión; y

α = resistencia específica de la torta, definida como:

$$\alpha = \frac{5 (1-\epsilon) S_0^2}{\rho_s \epsilon^3} \quad (7.3)$$

donde:

ρ_s = densidad de los sólidos en la torta;

S_0 = superficie específica de la partícula, $\text{pie}^2 / \text{pie}^3$ de volumen sólido; y

ϵ = fracción vacía.

La ecuación 7.2, es la ecuación básica de filtración, en términos de la caída de presión a través de la torta de filtrado. El hecho de agrupar los términos relacionados con las propiedades de la torta en una resistencia específica de la misma, no implica que ésta sea constante. α varía debido a que la fracción vacía ϵ , varía al cambiar el esfuerzo de compactación aplicado a la torta. Este esfuerzo es directamente proporcional a $(-\Delta P)/L$, y puesto que el espesor de la torta L varía a través del proceso, ϵ también varía.

Sin embargo, en la mayor parte de las filtraciones a presión constante, α es constante excepto en los momentos iniciales de filtración, cuando la proporción de flujo es muy

alta y aún no se ha fijado la forma de la torta. En la práctica, para muchas tortas, α es relativamente insensible a los cambios de $(-\Delta P)_f$. Dichas tortas son incompresibles.

Habíamos mencionado anteriormente, que en la ecuación 7.2 se consideraba sólo la resistencia debida a la torta. Sin embargo, se debe considerar que cualquier $(-\Delta P)$ medida, incluirá al menos la pérdida de presión a través del medio filtrante y probablemente, la pérdida de presión en los canales de flujo anteriores y posteriores al área de filtración real. Por tanto, si utilizamos una pérdida de presión total, el término de resistencia debe incluir las resistencias al flujo de las partes adicionales del filtro. Dado que estas resistencias se encuentran en serie, la ecuación 7.2 se expresa como sigue:

$$\frac{dV}{A d\theta} = \frac{(-\Delta P)_t \text{ gc}}{\mu (cawV_r/A + R_M)} \quad (7.4)$$

Donde R_M se mide en pies^{-1} y representa la resistencia del medio filtrante y de la tubería al flujo de filtración.

La ecuación 7.4 puede expresarse en función de un volumen equivalente de filtrado V_e , que es el volumen filtrado equivalente a la resistencia del medio filtrante y la tubería entre las tomas de presión usadas para medir $(-\Delta P)_t$, quedando la siguiente expresión:

$$\frac{dV}{A d\theta} = \frac{(-\Delta P_i) g_c}{\frac{\mu G_w}{A} (V + V_0)} \quad (7.5)$$

Anteriormente mencionamos que α puede o no ser constante. El siguiente análisis se realizó considerando α constante.

- Tortas incompresibles.

$(-\Delta P_i)$ varía en función del procedimiento de operación y del tipo de filtro utilizado. Por ejemplo, en los filtros prensa puede variar a voluntad del operador, dentro de los límites del equipo. Se puede mantener fija a través de una corrida completa. La operación puede llevarse a cabo a proporción de alimentación constante, utilizando una bomba de desplazamiento positivo, hasta alcanzar un límite en la presión de alimentación al filtro. Comúnmente la operación se inicia a producción constante y continúa en esta forma hasta que la presión llega a un nivel predeterminado, después del cual ésta presión se mantiene constante. Esto presenta la ventaja de formar una capa inicial de torta considerablemente suelta, forzando una mínima cantidad de sólidos dentro del medio filtrante.

Conforme se forma la torta, la presión de alimentación también aumenta, pero la proporción de descarga del filtrado disminuye sólo muy ligeramente, aún cuando la alimentación se realice por medio de una bomba centrífuga. Cuando se llega a un

valor económicamente óptimo o a un máximo valor de seguridad en la presión, la corrida se continúa controlando la presión a dicho valor.

Si integramos la ecuación 7.5, considerando α y $(-\Delta P)_1$ constantes, obtenemos:

$$\int_0^V (V + V_e) dV = \int_0^\theta \frac{g_c A^2 (-\Delta P)_1}{\mu \omega} d\theta \quad (7.6)$$

$$\frac{V^2}{2} + V_e V = \frac{g_c A^2 (-\Delta P)_1}{\mu \omega} \theta \quad (7.7)$$

despejando θ :

$$\theta = \frac{\mu \omega}{g_c A^2 (-\Delta P)_1} (V^2/2 + V_e V) \quad (7.8)$$

Esta ecuación permite calcular el tiempo requerido para filtrar cualquier volumen dado.

En la práctica es usual calcular tanto α como V_e por medio de una corrida piloto de filtración, bajo condiciones lo más cercanas posible a las que se emplearán en planta. Para llevar a cabo esto, se invierte la ecuación 7.5:

$$\frac{d\theta}{dV} = \frac{\mu \omega}{g_c A^2 (-\Delta P)_1} (V + V_e) \quad (7.9)$$

Con esta ecuación y partiendo de datos de filtración a presión constante, $d\theta/dV$ puede ser graficada en el eje de las ordenadas como una función de V , obteniéndose una línea recta. La pendiente de esta recta será:

$$\mu \omega / g_c A^2 (-\Delta P)_1$$

de la cual puede obtenerse α .

V_e se obtendrá dividiendo la intersección de la recta entre la pendiente, como se muestra en la figura 7.1.

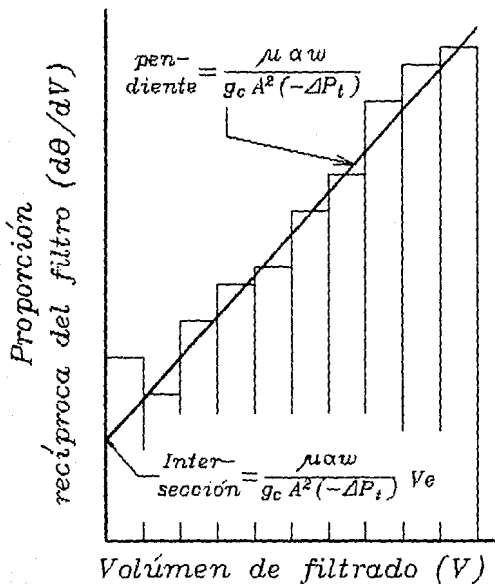


Figura 7.1

7.2 CALCULO DE LAS CONSTANTES DE FILTRACION.

Para determinar el filtro prensa adecuado a nuestras necesidades, se requiere proporcionar al proveedor datos básicos como son los siguientes: ^A

- a) Líquido a filtrar.
- b) Capacidad requerida (por hora o día).
- c) Tipo de material de construcción el cual va a estar en contacto con el fluido.

Propiedades físicas del producto a filtrar:

- 1. - Viscosidad.
 - 2. - Densidad.
 - 3. - Porcentaje de sólidos en suspensión.
- d) Condiciones de operación.
- 1. - Temperatura de filtración.
 - 2. - Presión de operación.
- e) Espacio para formación de torta.
- f) Requerimientos en cuanto a motor y bomba.
- g) Duración de la filtración.
- 1. - Continua.
 - 2. - Intermitente.

Con el fin de obtener estos datos y en base al modelo matemático anteriormente descrito, a continuación se reportan los resultados de pruebas de laboratorio de filtración llevadas a cabo con una suspensión de nifedipina recristalizada. Se utilizó un filtro de placas y marcos especialmente diseñado con un marco. Dicho marco tenía un área de filtración de 0.478 pie^2

(445.2 cm²) y un espesor de 2.46 pulg (6.25 cm). Las pruebas se llevaron a cabo a 54°F (12°C), con una suspensión que contenía 0.1562 fracción peso de nifedipina recristalizada. La densidad de la torta seca fue de 55 lb/pie³.

A continuación se dan los resultados de una corrida a una presión constante de 35 psi.

Volúmen filtrado V (litros)	Tiempo θ (seg)	$\Delta\theta$	$\Delta\theta/\Delta V$
0.0	0.0	3.9	19.5
0.2	3.9	4.6	23.0
0.4	8.5	6.6	33.0
0.6	15.1	7.4	37.0
0.8	22.5	8.4	42.0
1.0	30.9	10.2	51.0
1.2	41.1	12.4	62.0
1.4	53.5	13.4	67.0
1.6	66.9	15.1	75.5
1.8	82.0	15.7	78.5
2.0	97.7		

En la figura 7.2 se muestran los datos graficados. La pendiente de la línea es 34.924 seg/l² y la intersección se encuentra a 10.433 seg/l. A partir de estos valores:

$$V_0 = 10.433/34.924 = 0.298$$

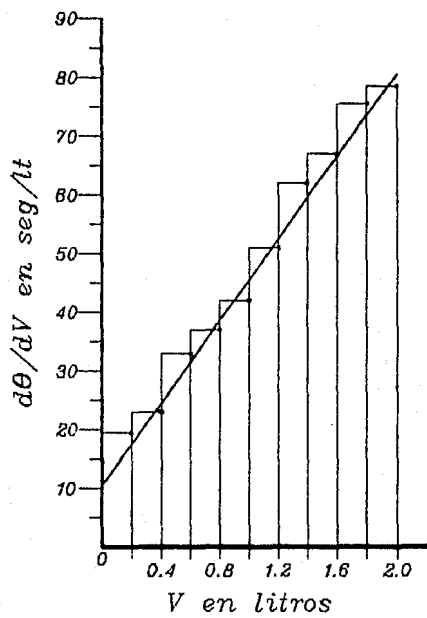


Figura 7.2

$$\frac{\alpha \mu \omega}{g_c A^2 (-\Delta P)} = \frac{34.924}{(0.0353)^2} = 28027 \text{ seg}/(\text{pie}^3)^2$$

Resolviendo para $\alpha \mu \omega$ y después para α obtenemos:

$$\begin{aligned} \alpha \mu \omega &= 28027 \times 32.2 \times (35 \times 144) \times (0.478)^2 \\ &= 1.04 \times 10^9 \text{ lb}/\text{seg} \cdot \text{pie}^3 \end{aligned}$$

la densidad del filtrado es $57.8 \text{ lb}/\text{pie}^3$, entonces:

$$\omega = \frac{0.1562}{\frac{0.8438}{57.8}} = 10.7 \text{ lb de nifedipina}/\text{pie}^3 \text{ de filtrado}$$

la viscosidad de la suspensión es 5 cps:

$$\alpha = \frac{1.04 \times 10^9}{5 \times 0.000672 \times 10.7} = 2.9 \times 10^{10} \text{ pie}/\text{lb}$$

La porosidad de la torta puede calcularse de la densidad medida para la torta seca.

$$\text{Densidad de nifedipina sólida} = 78.03 \text{ lb}/\text{pie}^3.$$

$$\epsilon = 1 - (55/78.03) = 1 - 0.705 = 0.295$$

Determinamos ahora la superficie específica de la torta (So) de la ecuación 7.3:

$$So^2 = \frac{\alpha \mu \omega \epsilon^3}{5 (1-\epsilon)} = \frac{2.9 \times 10^{10} \times 78.03 \times (0.295)^3}{5 \times 0.705}$$

$$So^2 = 1.65 \times 10^{10}$$

$$So = 128450 \text{ pies}^2/\text{pie}^3 \text{ de sólido.}$$

Ahora vamos a determinar el volumen de suspensión que puede ser operado hasta que los marcos se llenan y el tiempo

requerido para esta filtración, en un filtro prensa de 9 marcos de 40 x 40 cm (1.31 x 1.31 pies), espesor de marco de 2.35 cm (0.077 pies, 0.925 pulg) y un área de filtración efectiva por marco de 0.132 m² (1.43 pies²), operando a una presión constante de 35 psi.

El volúmen de suspensión requerido puede calcularse a partir del volúmen de los marcos y la concentración de la suspensión:

$$\text{volúmen de los marcos} = 1.43 \times 0.077 \times 9 = 0.99 \text{ pies}^3$$

$$\text{sólidos en la torta} = 0.99 \times 55 = 54.45 \text{ lb}$$

$$\text{peso de susp. alimentada} = 54.45 / 0.1562 = 348.6 \text{ lb}$$

densidad de la suspensión:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{57.8} \times 0.8438 = \frac{1}{78.03} \times 0.1562 = 60.24 \text{ lb/ple}^3$$

$$\begin{aligned} \text{volúmen de suspensión} &= 348.6 / 60.24 = 5.8 \text{ pies}^3 \\ &= 5.8 \times 7.48 = 43 \text{ galones} \end{aligned}$$

El volúmen filtrado V se calcula a partir de:

$$LA(1-\epsilon) \rho_s = w(V + \epsilon LA)$$

$$0.99 \times (1-0.295) \times 78.03 = 10.7 \times (V + 0.295 \times 0.99)$$

$$V = 4.8 \text{ pies}^3$$

El tiempo de filtración lo calculamos a partir de la ecuación 7.8:

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{2.175 \times 10^9}{32.2 \times (1.43 \times 9)^2 \times 35 \times 144} \\ &\quad \times [(4.8)^2 / 2 + 0.298 \times 0.0353 \times 4.8] \\ \theta &= 919.4 \text{ seg} = 15.32 \text{ minutos} \end{aligned}$$

CAPITULO VIII

ESTUDIO ECONOMICO

El presente estudio económico se realizó considerando el equipo de filtración seleccionado y el equipo de filtración utilizado actualmente, con el fin de justificar que la inversión efectuada es económicamente conveniente.

- ESTIMACION DE LA INVERSION PARA FILTRO PRENSA.

- i. - Filtro prensa de placas y marcos.
 - i) Válvulas de alimentación, descarga y drenaje.
 - ii) Tubería en acero inoxidable 304.
 - iii) Abrazaderas tipo Clamp.
 - iv) Empaques.
 - v) Manómetro.
 - vi) Charola de goteo.
 - vii) Base móvil.
 - viii) Bomba centrífuga.
 - ix) Motor eléctrico de 2 H.P.. trifásico. (†)

PRECIO

\$24,850,000.

(†) Las cotizaciones fueron proporcionadas por Columbia Filter Co. de México, S.A. de C.V. en febrero de 1990.

2. - Medios filtrantes.	
i) Manta (10 m).	\$5,450.
ii) Poliéster (10 m).	\$27,900.
3. - Costos de instalación.	
	\$150,000.
TOTAL DE LA INVERSION	\$24,833,350.

- COSTOS DE OPERACION ANUALES PARA FILTRO PRENSA.

1. - Energía eléctrica.	\$187,200.
2. - Mano de obra.	\$800,000.
3. - Disolvente de lavado.	\$14,800,000.
4. - Mantenimiento. (•)	\$248,350.
5. - Medio filtrante. (†)	\$232,800.
6. - Depreciación fiscal. (‡)	\$2,483,350.
TOTAL	\$18,751,700.

(•) El costo de mantenimiento se obtuvo en base al 1% de la inversión total.

(†) El costo de la reposición del medio filtrante se obtuvo tomando en cuenta que la vida útil de la manta es de un mes y la vida útil del poliéster es de dos meses.

(‡) La depreciación se calculó en base al 10% de la inversión total.

- COSTOS DE OPERACION ANUALES ACTUALES (BÜCHNERS).

1. - Energía eléctrica.	\$1,938,000.
2. - Mano de obra.	\$5,650,000.
3. - Disolvente de lavado.	\$14,800,000.
4. - Medio filtrante.	\$9,614,080.
TOTAL	\$32,002,080.

- RENTABILIDAD

Ahorro: \$32,002,080 - \$18,751,700 = \$13,250,380.

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Ahorro}}{\text{Inversión}} \times 100$$

$$R = \frac{\$13,250,380}{\$24,833,350} \times 100 = 53.35\%$$

- TIEMPO DE RECUPERACION.

$$\theta = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}} = \frac{\$24,833,350}{\$13,250,380} = 1.87 \text{ años.}$$

- OBSERVACIONES.

Podemos darnos cuenta, de que los costos de operación anuales que se tienen en la actualidad, utilizando büchners para el proceso de filtración, son mayores a los que se tendrían al instalarse el filtro prensa de placas y marcos previamente seleccionado.

Con la instalación del filtro prensa de placas y marcos, tendremos un ahorro de \$13,250,380, lo que nos da un rendimiento del 53.35% y un tiempo de recuperación de 1.87 años, lo cual nos indica que es una selección adecuada si se toma en cuenta que los bancos nos darán un porcentaje un poco menor al rendimiento que tendremos, si invertimos nuestro dinero en ellos; además de que la inflación esperada para este año es alrededor del 15.5%, y un poco menor para el año siguiente; tiempo en el cual, nosotros habremos recuperado ya nuestra inversión.

CAPITULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- La Industria Farmacéutica es importante ya que proporciona productos apropiados y convenientes para el tratamiento y prevención de enfermedades. En la producción de fármacos, se debe disponer de un proceso económica y técnicamente óptimo, que permita obtener un producto con los máximos requerimientos de calidad, a un bajo costo.

Esta es una de las áreas de campo de acción para el Ingeniero Químico, seleccionando un proceso conveniente y especificando los requerimientos del equipo de proceso.

2.- Esta tesis se enfocó en la resolución de un problema en una planta farmacéutica, el cual consistía en la selección de un equipo de filtración para recuperar los cristales de nifedipina de la suspensión que la contiene.

La nifedipina cruda, requiere de un proceso de recristalización para eliminar impurezas y así obtener una mayor calidad en el producto.

3.- La nifedipina es lo que se llama un principio activo, esto es, una sustancia que va a corregir, restaurar o modificar la(s) función(es) orgánica(s), y por lo tanto, requiere de otra(s) sustancia(s) que la guíe(n) al órgano o tejido

apropiado.

La nifedipina es un vasodilatador coronario y es utilizada en el tratamiento de la angina de pecho y de la hipertensión.

4.- Un equipo de filtración implica transferencia de momentum. Los efectos de esta transferencia son decisivos en la selección del filtro adecuado.

5.- Los diferentes tipos de filtros pueden ser clasificados en base a la fuerza impulsora: filtros por gravedad, filtros a presión y filtros al vacío. Los filtros por gravedad son poco utilizados en la industria de procesamiento químico. Los filtros a presión funcionan generalmente por lotes. Los filtros al vacío funcionan generalmente en ciclos continuos.

La selección del equipo adecuado depende esencialmente de factores económicos; las ventajas que pueden obtenerse dependen de varios factores, como lo son: tamaño de las partículas sólidas, cantidad de material a manejar, concentración de la pasta alimentada, gastos relativos de capital, mano de obra y fuerza motriz.

6.- La selección del equipo apropiado, que en este caso fue un filtro prensa de placas y marcos, se hizo en base a los siguientes factores:

- a) Ciclo de operación por lotes.
- b) Concentración media de cristales en la suspensión.
- c) Filtrado volátil.

- d) Eficiencia en el lavado.
- e) Posibilidad de filtrar otros productos.
- f) Bajo costo de operación y mantenimiento.

7.- Las características de un filtro prensa de placas y marcos, hacen de éste un equipo muy versátil y flexible, ya que la operación del mismo es sencilla, pudiendo ser operado por una sola persona. El inconveniente que se presenta, es el costo relativamente elevado de mano de obra, debido a que la descarga tiene que realizarse manualmente.

8.- El modelo matemático se realizó en base a los fundamentos teóricos de transferencia de momentum expuestos en el capítulo II. Este modelo permite obtener, además de datos referentes a la operación del equipo (tiempo de filtración, volumen a filtrar, etc.), datos característicos de la suspensión a filtrar, como lo son la porosidad de la torta, densidad de los cristales y superficie específica de la torta.

9.- La estimación de la inversión se llevó a cabo tomando en cuenta el costo del equipo, así como los accesorios que éste incluye; además de considerar el costo del medio filtrante. Los costos de operación anuales, se obtuvieron en base al costo de la energía eléctrica, el disolvente de lavado utilizado, la reposición periódica del medio filtrante y la depreciación fiscal.

El costo de la inversión total fue de \$24,833,350.

Los costos de operación anuales dan un total de \$18,751,700 para filtro prensa de placas y marcos; y \$32,002,080 para filtración en búchners. Tenemos, además, un rendimiento de 53.35% anual y un tiempo de recuperación de la inversión de 1.87 años.

Por todo lo expuesto anteriormente, y dado que la utilización de este tipo de filtro reduce el costo de mano de obra que se tenía anteriormente, cuando la filtración se realizaba en buchners, aun cuando este tipo de equipo implica una mano de obra relativamente alta; todo esto aunado a la flexibilidad que presenta el equipo seleccionado; se recomienda proceder a la compra e instalación del filtro prensa de placas y marcos elegido previamente.

NOMENCLATURA

- A área de filtración en pies^2 o m^2 .
- A_p área superficial de una partícula en pies^2 o m^2 .
- D diámetro en pies o m.
- D_c diámetro de un canal hipotético en pies o m.
- D_p diámetro de partícula en pies o m.
- D_{sp} diámetro de una partícula esférica en pies o m.
- E energía interna en BTU/lb o calorías/kg.
- f factor de fricción, adimensional.
- ΣF suma de todas las pérdidas de energía debidas a la fricción en lb fuerza/lb o m newtons/kg.
- g aceleración dentro del campo gravitacional en pies/seg^2 o m/seg^2 .
- g_c constante dimensional. $32.174 \text{ lb}\cdot\text{pie}/\text{lb fuerza}\cdot\text{seg}^2$.
- G velocidad de masa en $\text{lb}/\text{h}\cdot\text{pie}$ o $\text{kg}/\text{h}\cdot\text{m}$.
- H entalpía en BTU/lb mol o calorías/kg mol.
- L espesor en pies o m.
- m masa en lb o kg.
- n número de pérdidas repetidas de energía cinética en una unidad de longitud.
- N_c número de canales.
- P presión en atm.
- $(-\Delta P)_f$ caída de presión debida a la fricción en lb/pie^2 o kg/m^2 .
- $(-\Delta P)_k$ caída de presión debida a la energía cinética en lb/pie^2 o kg/m^2 .

($-\Delta P$): caída de presión total en lb/pie^2 o kg/m^2 .

Q calor absorbido en BTU o calorías.

Q' calor transferido en BTU o calorías.

R resistencia ofrecida a la transferencia de calor en $\text{pies}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}/\text{BTU}$ o $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{calorías}$.

Rm resistencia del medio filtrante en pies^{-1} o m^{-1} .

S sección transversal del área de flujo en pies^2 o m^2 .

So superficie específica de una partícula en $\text{pies}^2/\text{pie}^3$ o m^2/m^3 .

v velocidad en pies/seg o m/seg .

v_{pm} velocidad promedio en pies/seg o m/seg .

v_s velocidad superficial basada en la sección transversal de una torre vacía en pies/seg o m/seg .

V volumen en pies^3 o m^3 .

V_e volumen de filtrado equivalente a la resistencia del medio filtrante y la tubería en pies^3 o m^3 .

V_p volumen de una partícula en pies^3 o m^3 .

w velocidad de flujo de la masa en lb/h o kg/h .

W trabajo total hecho por el fluido en $\text{lb} \cdot \text{pie}^2/\text{seg}^2$ o $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{seg}^2$.

W'f trabajo transferido al exterior en $\text{lb} \cdot \text{pie}^2/\text{seg}^2$ o $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{seg}^2$.

z altura en pies o m .

Letras griegas.

α factor de corrección para la energía cinética, adimensional.

- α resistencia específica de la torta en pies/lb o m/kg.
- Δ diferencia finita, valor final menos valor inicial.
- ϵ porosidad, fracción del volumen total que no está ocupada por sólidos, adimensional.
- θ tiempo en horas.
- λ factor de forma, adimensional.
- μ viscosidad en lb/pie·h o kg/m·h.
- Π constante, 3.141592.
- ρ densidad en lb/pie³ o kg/m³.
- ρ_s densidad de sólidos en lb/pie³ o kg/m³.
- τ_y tensión en lb fuerza/pie² o newtons/m².
- ω peso de los sólidos en el lodo de carga por volumen de líquido que va en el lodo en lb/pie³ o kg/m³.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Deno, R. A., THE PROFESSION OF PHARMACY, 2nd. Edition, Vol. I, Mack Publishing Co, Lippincott, Philadelphia, 1966.
- 2.- Thoma, Von K. & Klimek, R., NIFEDIPIN. Pharmaceutical Industry, Febrero, 1985.
- 3.- Reynolds J. E. F. & Prasad Martindale A. P., THE EXTRA PHARMACOPOEIA, 28th Edition. The Pharmaceutical Press, London, 1982.
- 4.- PHARMACEUTICAL ENCYCLOPEDIA, 2nd. Edition, Vol. 2, Marshall Sittig, New York, 1984.
- 5.- Foust, A. S., Wenzel L. A., Clump, C. W., Maus, L., Andersen, L. B., PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS. C.E.C.S.A., México, 1985.
- 6.- Himmelblau, D. M., PRINCIPIOS Y CALCULOS BASICOS DE LA INGENIERIA QUIMICA, C.E.C.S.A., México, 1984.
- 7.- Perry R. H., & Chilton, C. H., CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK. 6th. Edition, Mc. Graw Hill, U.S.A., 1987.

- 8.- Cosidine, D. M., MANUAL DE INSTRUMENTACION APLICADA, C.E.C.S.A., Mexico, 1982.
- 9.- Mc. Cabe, W. L. & Smith, J. C., UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING, Mc. Graw Hill, New York, 1956.
- 10.- Chalmers, J. M., Elledge, L. R. and Porter, H. F., FILTERS, Chemical Engineering, Junio, 1956.
- 11.- Dickey, G. D., FILTRATION, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1961.
- 12.- Chambers, R., Kuhn, T., Meinhold, T. F., BATCH FILTRATION, Chemical Process, Junio 1961.
- 13.- Schweitzer, P. A., HANDBOOK OF SEPARATION TECHNIQUES FOR CHEMICAL ENGINEERS, Mc. Graw Hill, U.S.A., 1979
- 14.- REMINGTONS PHARMACEUTICAL SCIENCES, 15th. Edition, Mack Publishing Co., London, 1985.
- 15.- Brown, G. G. & Foust, A. S., UNIT OPERATIONS, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1951.
- 16.- Helman, J., FARMACOTECNIA TEORICA Y PRACTICA, C.E.C.S.A., Tomo III, México, 1981.

- 17.- Badger, W. & Banchem, J., INTRODUCTION TO CHEMICAL ENGINEERING, Mc. Graw Hill, Tokyo, 1955.
- 18.- THE MERCK INDEX, 10th. Edition, Merck & Co., Inc., Rahway, New Jersey, 1983.
- 19.- MANUAL DE OPERACION DE FILTRO PRENSA DE PLACAS Y MARCOS, Columbia Filter Co. de México S. A. de C. V.
- 20.- PRACTICAS DE LABORATORIO DE MOMENTUM Y CALOR, Facultad de Química, U.N.A.M., 1986.
- 21.- Horta, R., VAMOS CON BUEN FUMBO...VAMOS EN TIEMPO, Comercio, enero 1990.
- 22.- BIBLIOTECA PRACTICA DE NEGOCIOS, Ed. Mc Graw Hill, tomo IV Administración Financiera, México 1987.
- 23.- Moreno Fernández J., LAS FINANZAS EN LA EMPRESA, Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Contaduría y Administración, México, 1984.
- 24.- Tiller, F. M., HOW TO SELECT SOLID-LIQUID SEPARATION EQUIPMENT, Chemical Engineering, Abril 1974.
- 25.- Corcoran, W.H., Opfell, J.B., Sage, B.H., MOMENTUM TRANSFER IN FLUIDS, Academic Press Inc., New York, 1956.