



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras distribuir, combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial y, a pesar que son nuevas obras deben siempre rendir crédito y ser no comerciales, no están obligadas a licenciar sus obras derivadas bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

SISTEMAS DE FILTRACION

Presentado por:

RONALD JESUS VILCARIN SALCEDO

Autor del Trabajo Monográfico del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 05% (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual se otorga el calificativo de:

APROBADO, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 25 de octubre del 2021

.....
SANTOS HUMBERTO OLIVERA MACHADO

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA” DE ICA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA ACADEMICA

SISTEMAS DE FILTRACION

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO QUIMICO

PRESENTADO POR:

BACH. VILCARIN SALCEDO, RONALD JESUS

Ica, Febrero del 2019

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	II
INDICE DE FIGURAS.....	IV
INDICE DE TABLAS	V
RESUMEN	VI
INTRODUCCION	7
OBJETIVO	8
1 MARCO TEORICO.....	9
1.1 EQUIPOS, OPERACIÓN Y DEFINICION	9
1.1.1 Filtración con la formación de torta o lodo.....	9
1.1.2 Filtración sin la formación de torta o lodo.....	10
1.1.3 Filtración profunda.....	11
1.1.4 Las variables de la operación	12
1.2 EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA FILTRACIÓN	13
1.2.1 Filtro a vacío	14
1.2.1.1 Filtro de tambor	14
1.2.1.2 Filtros de discos.....	16
1.2.1.3 Filtro de bandejas	17
1.2.1.4 Filtros de banda horizontal.....	17
1.2.2 Equipos de filtración a presión	18
1.2.2.1 Filtro prensa de placa horizontal	19
1.2.2.2 Filtro prensa de placa vertical	23
1.2.2.3 Filtro de vela.....	29

1.2.2.4	Filtro prensa de discos.....	29
1.2.3	Filtros hiperbáricos	31
1.3	MEDIOS FILTRANTES	32
1.3.1	Telas.....	34
1.4	TEORIA DE FILTRACION.....	41
2	APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE FILTRACION	48
2.1	Aplicaciones del proceso de filtración.....	48
2.2	Procesos de filtración para el Tratamiento de agua potable y aguas residuales ...	50
2.2.1	Tipo de filtración.....	50
2.2.1.1	Filtración rápida o filtración por gravedad.....	51
2.2.1.2	Filtración ascendente:.....	51
2.2.1.3	Filtración Ascendente – Descendente	52
2.3	Membranas de Filtración	54
2.3.1	Principales aplicaciones de la filtración por membranas.....	56
	CONCLUSIONES	58
	FUENTES DE INFORMACION	59

INDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1 FILTRACIÓN CON FORMACIÓN DE TORTA O LODO</i>	10
<i>FIGURA 2 FILTRACIÓN SIN FORMACIÓN DE TORTA O LODO</i>	11
<i>FIGURA 3 FILTRACIÓN PROFUNDA</i>	12
<i>FIGURA 4 FILTRO DE TAMBOR</i>	15
<i>FIGURA 5 FILTRO DE DISCO</i>	16
<i>FIGURA 6 FILTRO DE BANDA HORIZONTAL</i>	18
<i>FIGURA 7 FILTRO DE PLACAS HORIZONTAL</i>	19
<i>FIGURA 8 ESQUEMA DE UN FILTRO DE PLACAS HORIZONTAL</i>	21
<i>FIGURA 9 FASE DE ALIMENTACIÓN</i>	22
<i>FIGURA 10 FASE DE SOPLADO</i>	22
<i>FIGURA 11 FASE DE DESCARGA DEL LODO O TORTA</i>	23
<i>FIGURA 12 FILTRO PRENSA DE PLACA HORIZONTAL</i>	24
<i>FIGURA 13 CERRADO Y SELLADO DE LAS CÁMARAS</i>	25
<i>FIGURA 14 FASE DE ALIMENTACIÓN</i>	25
<i>FIGURA 15 FASE FORMACIÓN DE LA TORTA Y COMPRESIÓN</i>	26
<i>FIGURA 16 FASE DE SOPLADO DEL LODO</i>	26
<i>FIGURA 17 FASE DE LAVADO</i>	27
<i>FIGURA 18 FASE DE SEGUNDA COMPRESIÓN (A)</i>	27
<i>FIGURA 19 FASE DE SEGUNDA COMPRESIÓN (B)</i>	28
<i>FIGURA 20 LA DESCARGA DEL LODO O TORTA</i>	28
<i>FIGURA 21 FILTRO DE VELA</i>	29

FIGURA 22 <i>ESQUEMA DETALLADO DE UN FILTRO CON UNA PRESIÓN SEMI-CONTINUA</i>	30
FIGURA 23 <i>FILTRO HIPERBÁRICO</i>	31
FIGURA 24 <i>DISTRIBUCIÓN DE CAÍDA DE PRESIÓN EN LA SECCIÓN DE UN FILTRO</i> ...	42
FIGURA 25 <i>PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA</i>	48
FIGURA 26 <i>ESQUEMA DE UN FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE</i>	52
FIGURA 27 <i>ESQUEMA DE UN FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE - DESCENDENTE (FILTRO BI-FLOW)</i>	53
FIGURA 28 <i>ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN DE SÚPER FILTRACIÓN</i>	54

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 <i>RESUMEN GENERALIZADO DE ACUERDO A SU RIGIDEZ (PURCHAS, 1981)</i> .	32
TABLA 2 <i>LAS PROPIEDADES DE FILTRACIÓN ORIENTADA A LA MÁQUINA (PURCHAS 1980)</i>	35
TABLA 3 <i>PROPIEDADES CONCRETAS EN MEDIOS FILTRANTES (PURCHAS, 1980) Y (HARDMAN, 1994)</i>	36
TABLA 4 <i>LAS PROPIEDADES INDICADAS A LA APLICACIÓN DEL MEDIO FILTRANTE (PURCHAS, 1980)</i>	37
TABLA 5 <i>ATRIBUTOS TÉRMICOS Y QUÍMICOS DE DISTINTAS FIBRAS (HARDMAN,1994)</i>	39
TABLA 6 <i>HUMEDAD EN BASE HÚMEDA Y SECA</i>	46

RESUMEN

La operación unitaria de filtración se utiliza industrialmente, teniendo varias clasificaciones o tipos, la cual se va dependiendo de lo que se desea separar o se esté separando. Tenemos la filtración por torta, la filtración por clarificación, y las ultrafiltraciones y micro filtraciones.

Este trabajo monográfico se basará en la filtración por torta, en donde se resaltaré el concepto y la diferencia de los demás tipos. Especificando el funcionamiento de cómo se da la filtración por torta o lodo en los equipos de filtración a velocidad constante y a presión constante.

Casi todos los filtros utilizados en la industria son filtros de vacío o de presión, en la que también pueden ser discontinuos o continuos, de la cual va depender de la descarga de sólidos filtrados si se realiza de forma intermitente o continua. En gran parte de la operación de un filtro discontinuo el mismo flujo del fluido es continuo, en donde se interrumpe periódicamente para que se permita realizar la descargar de la torta o lodo. En el filtro continuo su descarga del sólido y fluido se hace de manera ininterrumpida mientras se encuentra operativo el equipo.

INTRODUCCION

La filtración en si se considera una operación unitaria, en donde comprende las separaciones mecánicas, como la separación de aquellas partículas sólidas suspendidas en el fluido haciéndolas pasar forzosamente por un medio poroso, granular o fibroso.

Aquellos procesos de producción que se basan en operaciones unitarias, se presentara el requerimiento de separar aquellos componentes de la mezcla en fracciones, para que de esta forma se pueda describir y predecir sus características de los sólidos divididos.

En el gran campo amplio de las separaciones hay 2 grandes grupos, como 1ero es el grupo de la separación difusionales que se realiza con los cambios de fases y transporte de la materia de una fase hacia otra. Y como 2do aquellos métodos que corresponden a la separación mecánica de la cual comprende la sedimentación, filtración, tamizado y centrifugación.

También es aplicable a las mezclas heterogéneas, pero no a las homogéneas, y su forma de separación va depender de la naturaleza de la partícula y como también de las fuerzas que actuaran sobre ella para su separación.

Las características más importantes que se debe de tener en cuenta en el caso de las partículas es la forma, el tamaño y densidad. Y para los fluidos es la densidad y la viscosidad, en la separación de solidos de sólidos, de solidos de gases, de solidos de líquidos y de gotas de líquidos de gases. El comportamiento de la fuerza establecerá el movimiento relativo entre las partículas y el fluido, debido a estos movimientos las partículas y el fluido se acumularán en las distintas regiones y podrá separarse y recogerse, como ejemplo en la torta de un filtrado o en el tanque de filtrado de un filtro prensa.

OBJETIVO

Una filtración tiene como objetivo:

- 1- La recuperación de líquidos.
- 2- La recuperación de los sólidos.
- 3- La recuperación de ambas fases.
- 4- La clarificación de sólidos.
- 5- Una filtración para favorecer otras operaciones como el lavado de aquellos materiales solubles que están en los sólidos, como el pre secado y entro otros.

1 MARCO TEORICO

1.1 EQUIPOS, OPERACIÓN Y DEFINICION

La filtración es el proceso que consiste en la separación solido-fluido, en donde el sólido se separa del fluido en una suspensión, haciendo que pase a través de una membrana porosa, la cual la denominamos medio filtrante. Esta membrana retiene aquellas partículas que se encuentran suspendidas en el fluido mientras pasa por un medio filtrante, a esto se le denomina con el nombre de filtrado o filtración. Para que el flujo atraviese por un medio filtrante se necesitara que haya un gradiente que es la presión, que actuara como la fuerza impulsora.

Hay otras más formas en la que se puede aplicar un gradiente de presión, como por presión, por vacío, por gravedad, por un vacío y con una presión combinada, por un gradiente de saturación y por una fuerza centrífuga. En la mayoría de estas en la que se puede aplicar una presión se da en distintos equipos de filtración.

En donde se distinguen tres clases de filtración como la filtración sin la formación de torta o lodo, como la filtración con la formación de torta o lodo y una filtración profunda.

1.1.1 Filtración con la formación de torta o lodo

Esta se caracteriza por que el sólido que se encuentra en la suspensión quedara retenida por acción del medio filtrante, reteniéndola en la superficie de la membrana en donde se forma una especie de capa la que denominamos torta o lodo. Esto se va produciendo de forma natural en el medio filtrante cuando los poros son de un menor tamaño que de las partículas. Pero si no fuera el caso, se necesitaría cubrir con una capa delgada de un material fibroso el medio filtrante, así bloqueando y cubriendo el paso de aquellas partículas por el medio filtrante.

Aquí el flujo de suspensión va recto a la superficie del medio filtrante. Este tipo de filtración por formación de torta o lodo se utiliza para las suspensiones que tienen más del 10% de sólidos

en volumen, en donde este proceso de filtración es la más importante para la industria minera y la industria de procesos en general.

1.1.2 Filtración sin la formación de torta o lodo

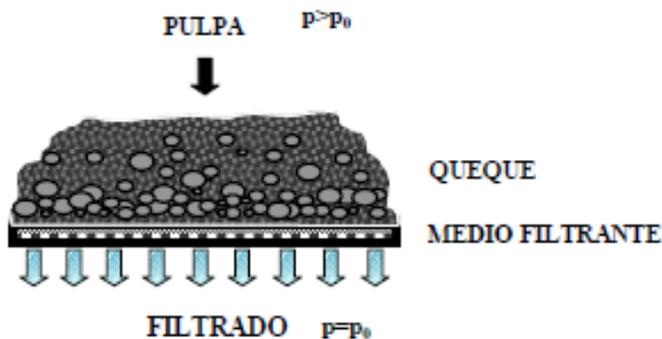
Es cuando el flujo en la suspensión va paralelo respecto a la superficie en el medio filtrante, pero aún se retienen las partículas. Pero sin embargo la suspensión del flujo produce un cizalle alto, lo que hace que prevenga que se forme una capa de sólidos la que retorna hacia la suspensión.

Aquí también el líquido va a través del medio filtrante en donde los sólidos permanecen dentro de la suspensión elevando su concentración al paso del tiempo.

Esta filtración será muy útil si se quiere concentrar la suspensión pero a su vez no se quiera obtener el producto con una humedad baja.

Figura 1

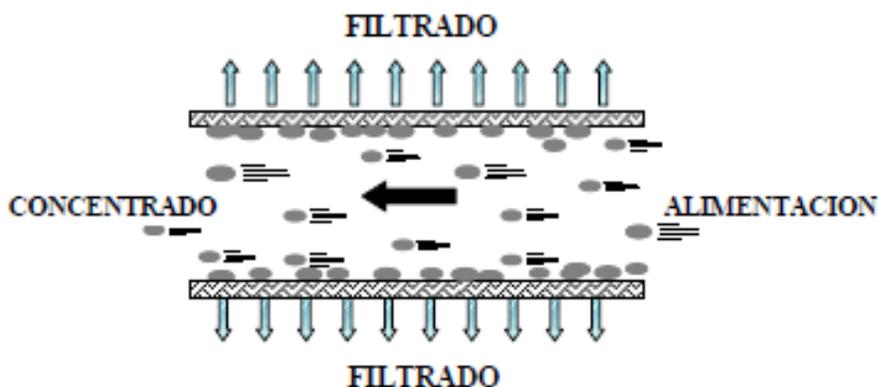
Filtración con Formación de Torta o Lodo



Fuente: Manual de Filtración y Separación (Arcil Concha)

Figura 2

Filtración sin Formación de Torta o Lodo



Fuente: Manual de filtración y separación (Concha Arcil)

1.1.3 Filtración profunda

Para filtrar las partículas que son muy finas en una suspensión diluida requerirá utilizar filtros con el medio filtrante con poros más grandes que el de las partículas y de gran espesor.

Las partículas ingresan al interior del medio filtrante en donde es atrapado por las fibras que constituye el medio filtrante.

Un detalle de este filtro es que perderá la capacidad para filtrar luego de un determinado tiempo en donde será necesario en realizar una limpieza al medio filtrante para eliminar las partículas del interior, o reemplazar el filtro por otro nuevo.

Como ejemplo tenemos de filtración profunda como los filtros de arena de piscinas y filtros de aire de los automóviles.

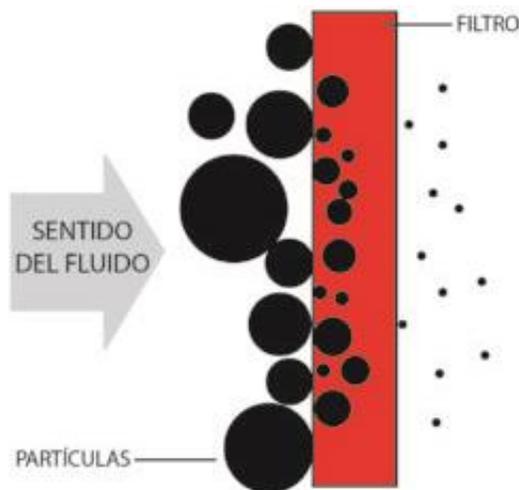
Para realizar una filtración se necesita algunas condiciones como también de varios factores, como por ejemplo los más destacados son:

- Como las propiedades de un fluido: La viscosidad, densidad y corrosividad.
- Como su naturaleza del solido: forma, tamaño y distribución de tamaño.

- Como sus propiedades: compresibilidad y concentración
- Si se necesita lavar la torta o lodo.
- Si lo valioso a obtener es el fluido, solido, o ambos.
- Y como la cantidad del material que se trata.

Figura 3

Filtración Profunda



Fuente: <https://www.peiro.com/tipos-de-filtracion/> (peiro,S.A., s.f.)

1.1.4 Las variables de la operación

Las variables más resaltantes en el proceso se podrán separar en:

- La variable de entrada: La concentración de suspensión y flujo.
- La variable de salida: La humedad de la torta o lodo y el flujo de la descarga.
- La variable del diseño: El área y su gradiente de presión.
- La variable de control: El tiempo de filtrado, del lavado y del secado.
- Parámetros: La porosidad, la permeabilidad, la forma, la compresibilidad del lodo o torta, la densidad, la viscosidad del filtrado y la densidad de la partícula.
- Perturbaciones: La repartición granulométrica y el tamaño de la medida del sólido.

Gran parte de estos equipos de filtración trabaja en ciclos, en la formación del lodo o torta, de lavado, de secado y la descarga.

- Formación de la torta o lodo: es la cantidad del material que dependerá del gradiente de la presión, el tiempo requerido de la succión y la concentración que está en la suspensión.
- Lavado de la torta o lodo: el lavado depende de lo que se quiere conseguir, se efectúa para la eliminación de las impurezas del lodo o torta, o para la recuperación del líquido valioso. Para este efecto se necesita calcular una cantidad mínima necesaria de agua para solo desplazar el líquido de los poros y cuál será el tiempo necesario.
- Secado de la torta o lodo: es la etapa donde el agua que está retenido en los poros de la torta o lodo es retirado succionado aire o soplando aire de la atmosfera.
- Descarga de la torta o lodo: esta etapa es de una gran importancia en donde se produce el desprendimiento del lodo y su posterior descarga.

1.2 EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA FILTRACIÓN

Aquellos equipos donde usan la presión en lugar de vacío, deberán utilizar aparatos mecánicos más complejos, en especial en la alimentación y como en la descarga.

La desventaja de los filtros a vacío es que dependerá de la presión atmosférica local, ya que la industria minera también se encuentra situada a una gran altitud como es de los andes peruanos, ya que a esa altura la presión es muy baja. Por ejemplo la mina más alta del mundo está situada en Puno a 5000 metros de altura sobre el nivel del mar, donde se obtiene el oro.

Los filtros a presión en la actualidad es el producto más preferido en la industria minera.

Una interesante alternativa es que ambos tipos de filtros se combinen (el filtro a presión y el filtro de vacío) formando un filtro denominado filtro hiperbárico, la cual incrementa el gradiente a unos valores óptimos.

1.2.1 Filtro a vacío

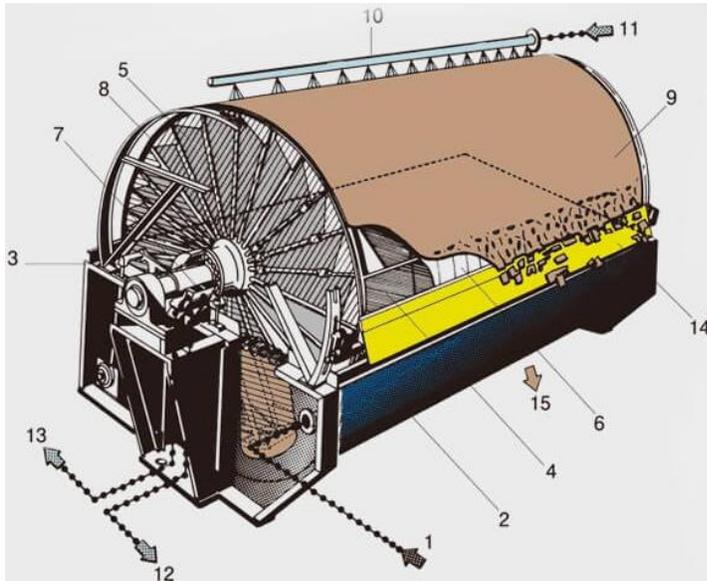
Existen 4 tipos de este filtro:

- Filtro de tambor
- Filtro de disco
- Filtro de bandeja
- Filtro de banda horizontal

El filtro de disco, tambor y bandeja, producen lodos o tortas con una humedad de 12% hasta 18%. Mientras que el filtro de bandas puede llegar a una humedad menor de 8% a 10%.

1.2.1.1 Filtro de tambor

Es un tambor cilíndrico rotatorio en donde la parte inferior del tambor cilíndrico se encuentra sumergido por la suspensión. Una tela filtrante recubre toda la superficie del tambor. Desde la parte interior cilíndrica del tambor la suspensión se succiona generando un vacío, en donde el filtrado ingresa hacia el interior del tambor cilíndrico, y donde será retirado por las tuberías, En la superficie del cilindro se retiene los sólidos formando el lodo o torta. Mientras que el tambor va rotando, la parte que se encuentra sumergida emerge haciendo que el aire sea succionado a consecuencia del vacío en el interior produciendo que la torta o lodo se seque. Aquí también en la rotación del tambor se puede hacer el lavado del lodo o torta rociando por la superficie agua, haciendo que se vaya secando de la mismo forma ya mencionada anteriormente. Cuando el cilindro completa un giro, y antes de que ingrese nuevamente a un ciclo nuevo, un mecanismo raspa el sólido seco de la superficie descargándolo a una tolva. Ahora se produce un nuevo ciclo.

Figura 4*Filtro de Tambor*

Fuente: <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/filtro-de-tambor-rotatorio/> (911metallurgist, s.f.)

1. Pulpa.
2. Tanque.
3. Agitador.
4. Malla metálica.
5. Tambor.
6. Tela filtrante.
7. Válvula.
8. Tubo de filtrado.
9. Torta o lodo.
10. Tubo de lavado.
11. Agua de lavado.
12. Filtrado.

13. Salida de Lavado.

14. Cortador.

15. Descarga

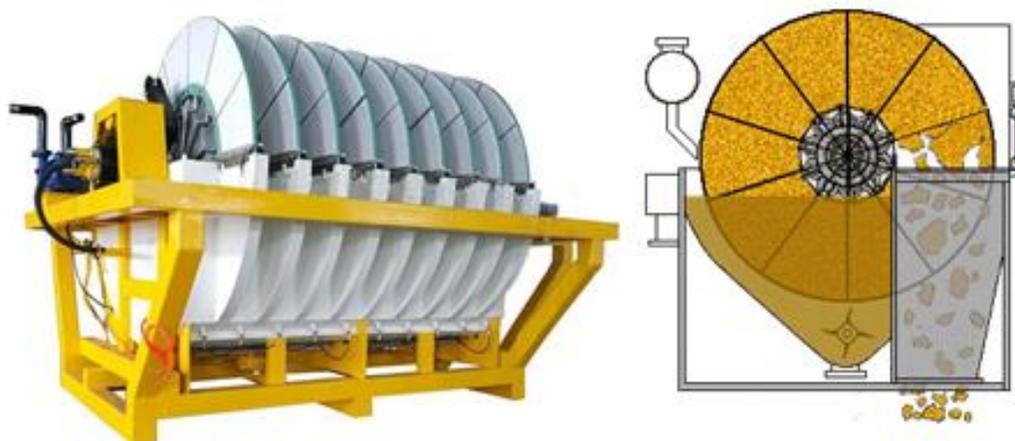
1.2.1.2 Filtros de discos

Es un eje central en donde tiene un número de discos determinados en la cual están conectados a un equipo de vacío. La parte baja de los discos se encuentra sumergida en la suspensión.

Cada disco está recubierto con una tela filtrante, donde trabajara en ciclos de filtrado, como en el secado, en el lavado, en el secado nuevamente y la descarga se produce a proporción que los discos irán girando. Para este sistema el lavado es más complicado de realizar, pero una de las ventajas en este equipo es la gran superficie de cada disco, ya que permite filtrar en ambos lados del disco y en donde se pueden acomodar una gran cantidad de discos en el equipo. Y una ventaja más sería su forma en la que están hechos los discos ya que permitirá una mayor flexibilidad y facilidad a la hora de cambiar las telas filtrantes.

Figura 5

Filtro de Disco



Fuente: <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/filtro-a-vacio-de-discos/> (911metallurgist, s.f.)

Hay también una variante de los filtros de discos, y son los filtros cerámicos, estos tienen una apariencia y un funcionamiento muy parecido a los filtros de discos, pero la diferencia es que los discos son placas que están hechos de un material cerámico micro poroso.

Hay 2 tipos de estas placas:

- 1ro: Tiene poros de 1.5 micrones con 1.6 bar de capilaridad.
- 2do: Tiene poros de 2 micrones con 1.2 bar de capilaridad.

Su característica es que se produce una filtración capilar, en la cual será el método que combinara aquellas ventajas que tiene el filtro de vacío por su forma de construcción similar. Estos filtros se utilizan para filtrar concentraciones de cobre y también minerales industriales.

1.2.1.3 Filtro de bandejas

Es una secuencia de bandejas que están abiertos horizontalmente, y que van rotando sobre su eje central. El grupo de bandejas irán conformadas por varios tramos con una forma de un trapecio inclinado que va conectado centralmente desde su eje hacia la válvula de bajo del medio del equipo.

Una vez que termina la filtración el lodo se puede lavar mediante chorros de agua, y la descarga de la torta o lodo se produce a través del tornillo sin fin que hará el arrastre, o también al voltear las bandejas. Una de la principal desventaja es que solo se utiliza un lado de las bandejas, por este motivo el equipo necesitara un mayor espacio de área de suelo por cada equipo.

1.2.1.4 Filtros de banda horizontal

Este filtro se asemeja a una correa transportadora, donde una tela filtrante conforma toda la banda. Una gran ventaja es que este filtro tiene una gran flexibilidad para seleccionar la longitud de los ciclos en el equipo, trabaja en ciclo de filtración, lavado y secado.

Figura 6*Filtro de Banda Horizontal*

Fuente: (Metalizaciones Industriales y Marinas S.A. de CV, 2015)

1.2.2 Equipos de filtración a presión

Los equipos tradicionales están siendo cada vez menos aceptados como en la industria de la minería, ya que a menudo se considera que son inadecuados por su alto contenido de humedad, en donde se usa obligadamente secadores para realizar el secado y recién obtener el producto deseado.

De este modo los filtros a presión se consideran como un método más confiable y de una tecnología más eficaz para lograr humedades más bajas y así mejorar el rendimiento, siendo una gran solución para este problema.

Los filtros a presión trabajan en ciclos igual al de filtros rotatorios, pero estos se deben detener para descargar la torta o lodo, y también para realizar la carga de suspensión.

Aquí se puede identificar 3 tipos:

- El filtro prensa de placa horizontal.
- El filtro prensa de placa vertical.
- El filtro prensa de disco.

1.2.2.1 Filtro prensa de placa horizontal

Aquí las placas verticales están separadas en donde se cierran formando cámaras entre los lados o superficies de las placas, en donde las placas tienen orificios para el drenaje filtrado y alimentación de la pulpa. Las placas están montadas verticalmente entre barras laterales en donde se mantienen fijas mediante presión hidráulica.

Las barras en cada extremo se encuentran conectados, por un lado del extremo está conectado al alimentado de cabezal fijo, y en el otro extremo conectado a un cabezal de cierre (mediante una presión hidráulica).

Figura 7

Filtro de Placas Horizontal



Fuente: <https://grupofiltrantes.com.mx/equipos-de-filtracion/> (Grupo filtrantes, s.f.)

Las placas se van comprimiendo mediante el cerrado a causa del pistón hidráulico que se ubica a un extremo, que va empujando las placas ordenadamente contra el cabezal fijo que se encuentra al otro extremo, de esta manera se va formando una sola unidad filtrante.

Su mecanismo la puede describir de esta manera:

El cabezal fijo y el cabezal móvil están sostenidos por rieles especialmente diseñados.

Las placas de acero son empujadas por el pistón hidráulico hacia las placas de polietileno así produciéndose el cierre de la prensa.

Hacia el interior de la cámara se bombea la pulpa, al incremento de la presión hacia el interior de la cámara fuerza al líquido a que atraviese la tela filtrante, produciendo que se acumulen los sólidos y formando el lodo o torta.

El líquido filtrado que pasó a través del medio filtrante (telas) se dirige a los conductos de la placa y conductos de drenaje del cabezal para su posterior descarga (el sólido en suspensión de este filtrado es menor a 15 ppm).

El lodo o torta es removido fácilmente retrocediendo el pistón suavizando la presión y así produciéndose que las placas se separen, permitiendo que el lodo o torta compactada se desprenda desde la cámara.

La cámara puede estar formado de 2 maneras.

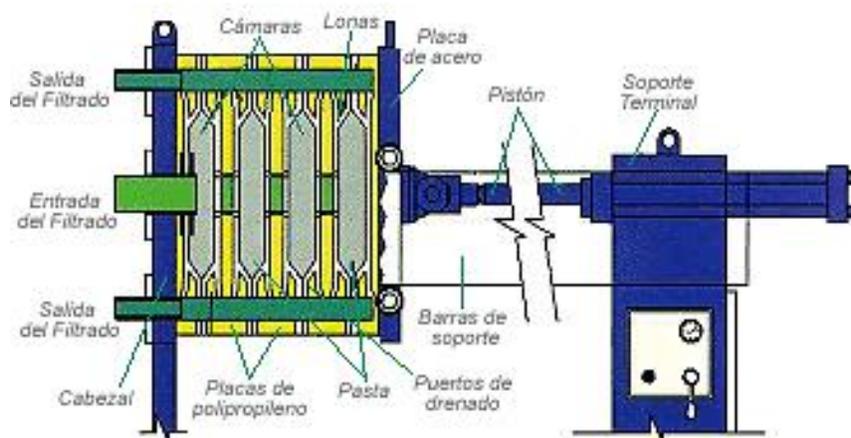
1. Formado por 2 placas ahuecadas que forman una sola cámara.
2. Por 2 placas uniforme con un marco para la torta o lodo.

En ambos lados de las caras de la placa poseen un conducto en forma de ranura para permitir el drenaje del líquido filtrado por la parte trasera de la tela filtrante, produciendo la evacuación por los conductos ubicados en cada esquina inferior de la cámara.

Sobre la superficie de la placa se encuentra instalado el medio filtrante (telas). Que se encuentran unidos al ojal fijado por difusores impermeables o pernos.

Figura 8

Esquema de un Filtro de Placas Horizontal



Fuente: <https://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-del-filtro-prensa-23843.htm> (quiminet.com, s.f.)

El proceso en un ciclo de la filtración dado por la presión en el filtro de placa vertical se da en estas fases:

Fase de cerrado: Las placas se comprimen a una presión alta a través de un pistón hidráulico de esta forma sellar las cámaras filtrantes y evitar la fuga del material.

Fase de alimentación: La pulpa ingresa por el núcleo del cabezal fijo o el ojal alimentador, en donde es bombeado a todo el filtro hasta llenar todas las cámaras de filtración. Las partículas sólidas de la pulpa se comienzan a distribuir en las caras del medio filtrante (tela), donde se forma la capa del lodo o pre revestimiento.

En la capa al paso que va avanzando la filtración, el espesor va progresivamente aumentando, comprendiendo que el lodo o torta de los dos lados del filtro llegan a unirse o a tocarse.

Se continuara bombeando hasta que el flujo del líquido es nulo, luego se detiene la bomba alimentadora y se detiene el proceso.

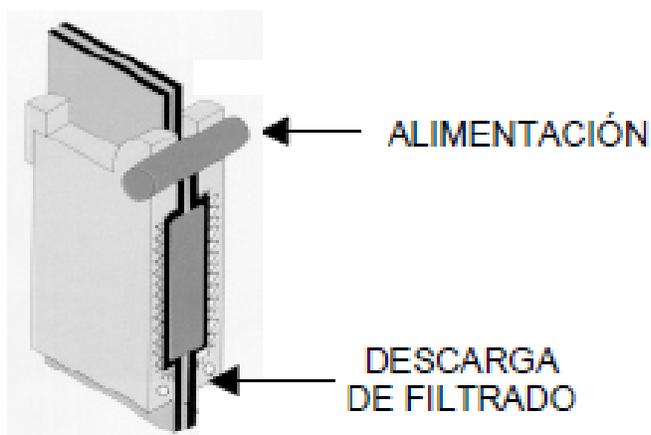
Fase de limpieza: El residuo de la pulpa que est  retenido dentro se limpia utilizando agua a presión en sentido contrario. Y peque nas partes del agua puede quedar retenido en la fase de

limpieza es eliminada a través de aire comprimido. Esta etapa tiene una duración de unos 40 segundos aproximado.

Fase de soplado: El aire es introducido a alta presión en las cámaras lo que va generar el desplazamiento de la humedad que esta retenida en los poros del lodo.

Figura 9

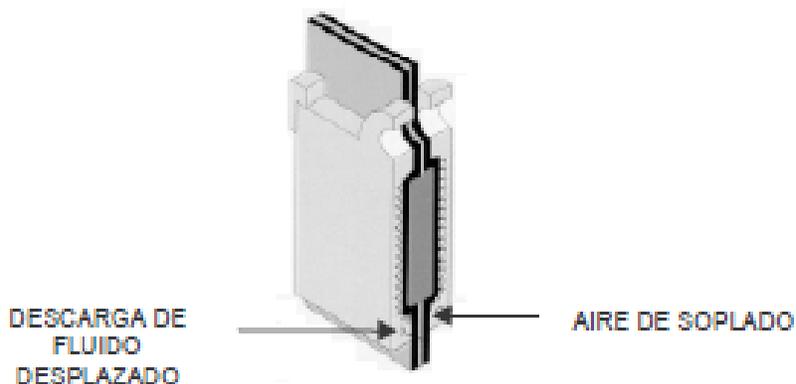
Fase de Alimentación



Fuente: Manual de filtración (Arcil Concha, Etapa de alimentación, s.f.)

Figura 10

Fase de Soplado



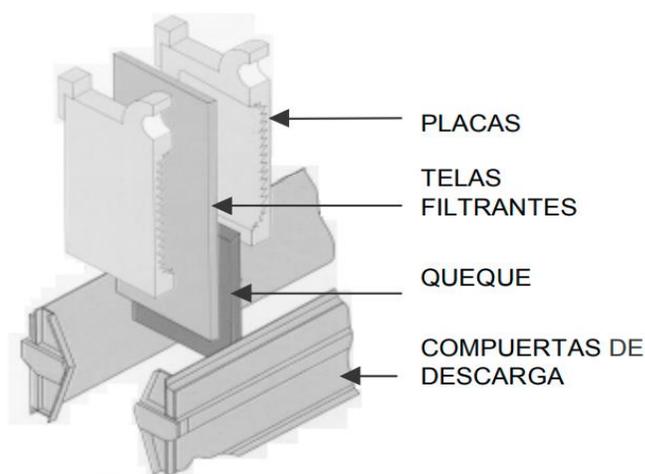
Fuente: Manual de Filtración (Arcil Concha, Etapa de soplado, s.f.)

Fase de descarga: Terminado las fases de filtración y compresión, las compuertas de la tolva receptora se abrirán por la parte de abajo del filtro. Y posterior las placas se van a separar por retracción del pistón y el lodo o torta caerán encima de la correa transportadora gracias al efecto de la gravedad.

Fase de lavado: Antes que comience un nuevo ciclo, primero las tolvas receptoras son cerradas automáticamente para comenzar con el lavado de la tela filtrante con agua, así de este modo se eliminara aquellas partículas concentradas que están retenidos para mantener limpio las placas y telas. De este modo evitar algún posible taponamiento de los poros de la tela.

Figura 11

Fase de Descarga del Lodo o Torta



Fuente: Manual de Filtración (Arcil Concha, Etapa de descarga, s.f.)

1.2.2.2 Filtro prensa de placa vertical

El desarrollo de un tipo de filtro que funciona a presión semi-continuo combina dos características importantes buscadas por la industria de la minería, que es obtener un porcentaje bajo de humedad y al mismo obtener una gran capacidad. Y también que el equipo sea flexible en la capacidad que es conveniente para aquellas empresas mineras pequeñas o grandes.

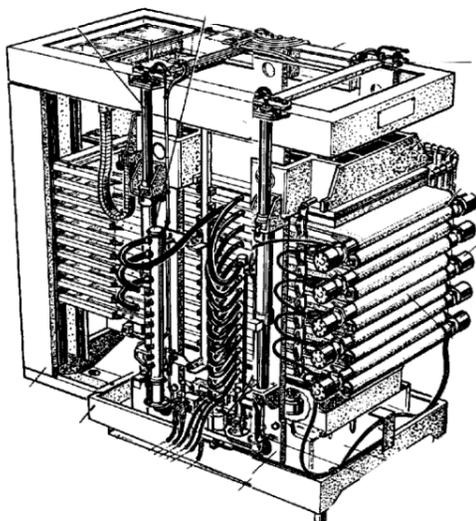
Este filtro básicamente consiste en una cámara filtrante horizontal que está situada en el interior del marco principal. Por su forma en la que está diseñado permitirá que se adicionen varias cámaras que estarán montadas una sobre otra, esto permite el incremento del área en donde se producirá el filtrado y no generaría un mayor aumento del área de instalación.

En donde cada cámara de filtración contienen sellos inflables en los lados de la cámara, los que se van a dilatar durante el proceso para sellar toda la cámara. Estas cámaras están fijadas a la estructura, pero no se mueven durante o en pleno proceso.

Las cámaras tienen una correa filtrante colocada encima del rodillo en cada extremo, que opera independiente de las demás. Los rodillos funcionan por el motor hidráulico en donde cada motor accionara la correa en pleno proceso de la descarga de la torta. En cada cámara está instalado en la parte superior un diafragma que será de goma flexible en donde se utilizará para comprimir la torta y la suspensión, aquí se produce a través de ellos la reducción de humedad de la torta.

Figura 12

Filtro Prensa de Placa Horizontal

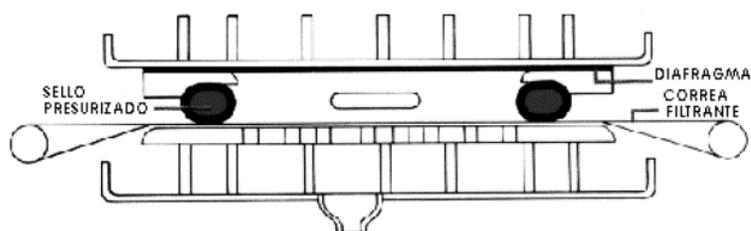


Su proceso operacional de la filtración por presión en placas horizontales es la siguiente.

El cerrado: Se produce el inflado de los sellos mediante la presurización con el agua, así evitando alguna posible fuga de las cámaras de filtrado.

Figura 13

Cerrado y Sellado de las Cámaras

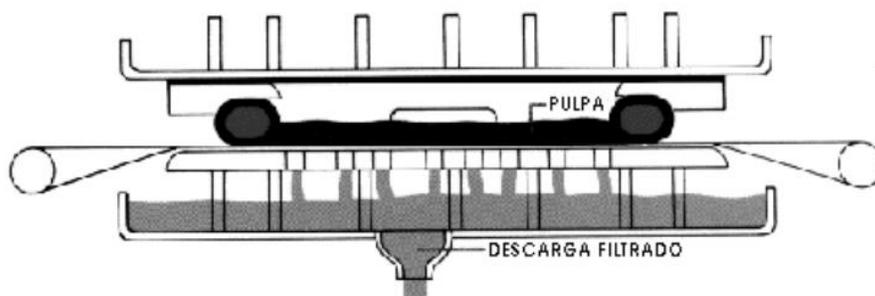


Fuente: Manual de Filtración (Arcil Concha, Filtro de Placa Vertical, s.f.)

La alimentación: Se bombea la pulpa a presión hacia la cámara de filtración, luego cuando se va llenando la cámara, la presión de la alimentación va disminuyendo para luego cortar la alimentación.

Figura 14

Fase de Alimentación



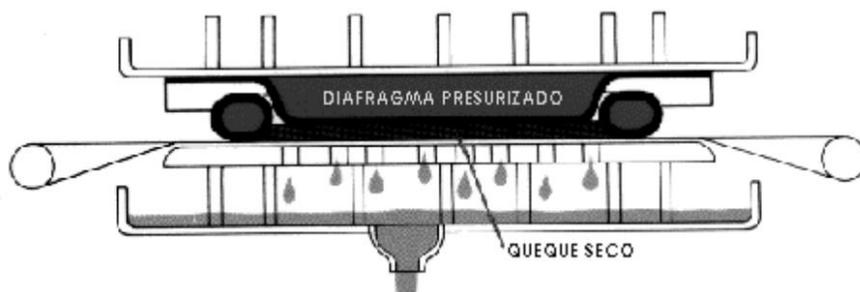
Fuente: Manual de Filtración (Arcil Concha, Fase Alimentación, s.f.)

La limpieza: Opcionalmente se limpia los residuos de pulpa que quedaron retenido dentro del cabezal de alimentación principal.

La compresión: El lodo comienza a formarse con la compresión mediante un diafragma de goma, luego que termine el periodo de la formación del lodo comienza la disminución de porosidad del lodo, se eliminara una gran cantidad del líquido. La presión elevada admite utilizar la tela de tramado denso incrementando la eficiencia del filtrado.

Figura 15

Fase Formación de la Torta y Compresión

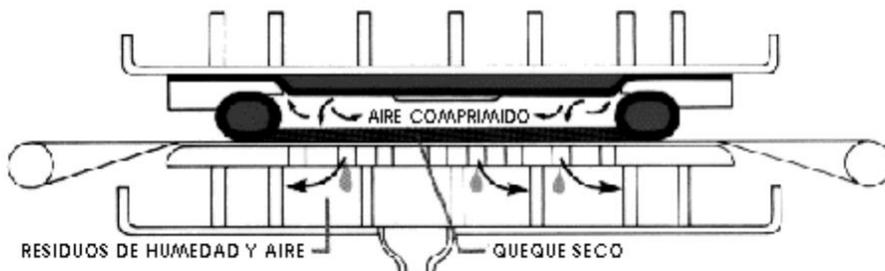


Fuente: Manual de Filtración (Arcil Concha, Formación del lodo, s.f.)

La contracción del diafragma: terminado la compresión se soplará aire a través del lodo o torta saturado con el propósito de desplazar el líquido que está retenido allí y ayudar de este modo a la retracción del diafragma.

Figura 16

Fase de Soplado del Lodo

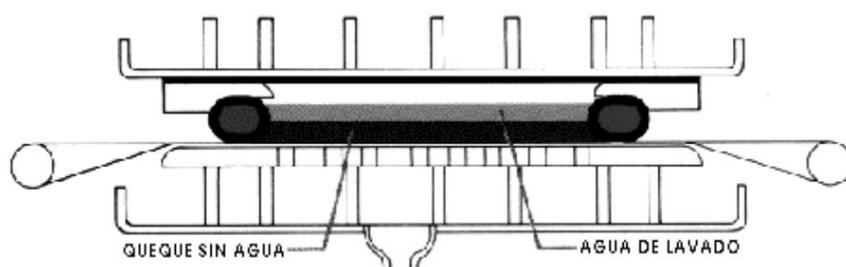


Fuente: Manual de Filtración (Arcil Concha, Soplado del Lodo, s.f.)

El lavado del lodo o torta: El lavado del lodo o torta es completamente opcional que puede ser utilizado o no a través de una simple reprogramación, en donde la solución de lavado se alimenta por bombeo dentro de la cámara de filtrado, donde el lavado se hace homogéneamente debido a que el lodo o torta yace plano y sin resquebrajaduras.

Figura 17

Fase de Lavado

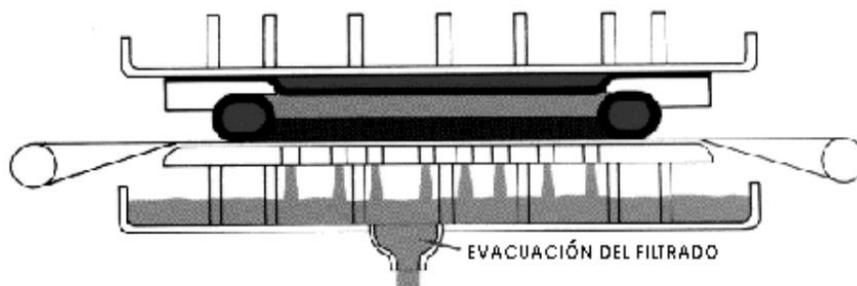


Fuente: Manual de Filtración (Arcil Concha, Etapa Lavado, s.f.)

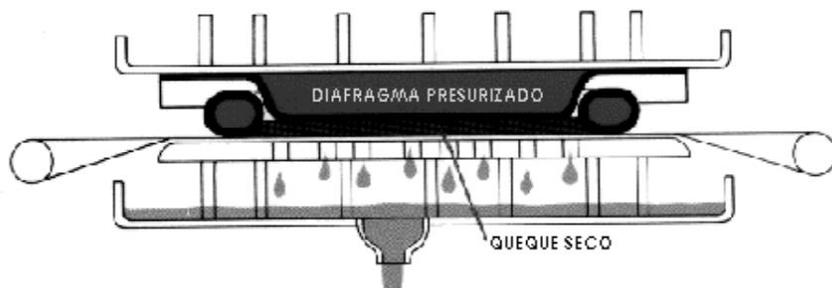
La segunda compresión: Nuevamente se presiona al diafragma para que el líquido retenido de la solución pase a través de la torta, y a continuación la presurización del diafragma presiona la torta filtrada y lavada para sacar la mayor cantidad de solución.

Figura 18

Fase de Segunda compresión (a)

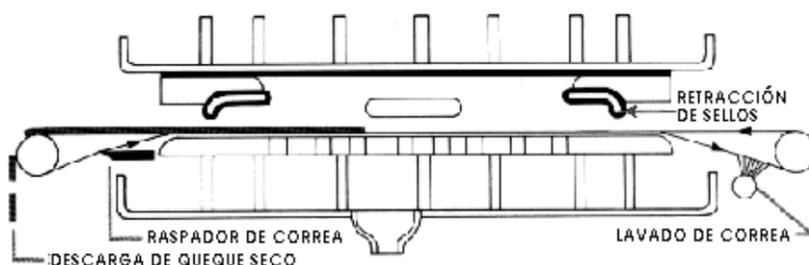


Fuente: Manual de Filtración (Arcil Concha, Fase Segunda Compresión, s.f.)

Figura 19*Fase de Segunda Compresión (b)*

Fuente: Manual de Filtración (Arcil Concha, Fase Segunda Compresión, s.f.)

La descarga de la torta: El sellado se retrae y se descarga la torta al accionar la correa. Luego se abre la puerta que permitirá el ingreso de la torta al compartimiento de descarga.

Figura 20*La Descarga del Lodo o Torta*

Fuente: Manual de Filtración (Arcil Concha, Descarga, s.f.)

El lavado o limpieza de la correa: previo a que comience nuevamente un ciclo de filtración, se comienza por realizar un lavado para mantener limpio la correa, y mientras la correa está en retroceso se cierran las compuertas de las cámaras, la cual con esta acción estará evitando que el líquido caiga junto con la torta, luego la correa se detendrá y regresará a su posición original, y se repetirá un nuevo ciclo automáticamente.

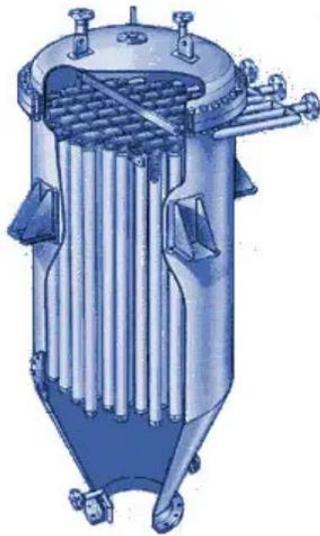
1.2.2.3 Filtro de vela

Este filtro puede considerarse como filtración sin la formación de lodo o torta. Y está compuesto por varios tubos de acero perforados de material cerámico poroso o revestido de una tela filtrante.

Por la parte exterior se bombea la suspensión y por la parte interior del tubo se colecta el filtrado. Este tipo de filtro no se utiliza mucho en la minería.

Figura 21

Filtro de Vela



Fuente: <https://www.directindustry.com/pt/prod/menardi/product-59020-1300695.html> (Direct INDUSTRY, s.f.)

1.2.2.4 Filtro prensa de discos

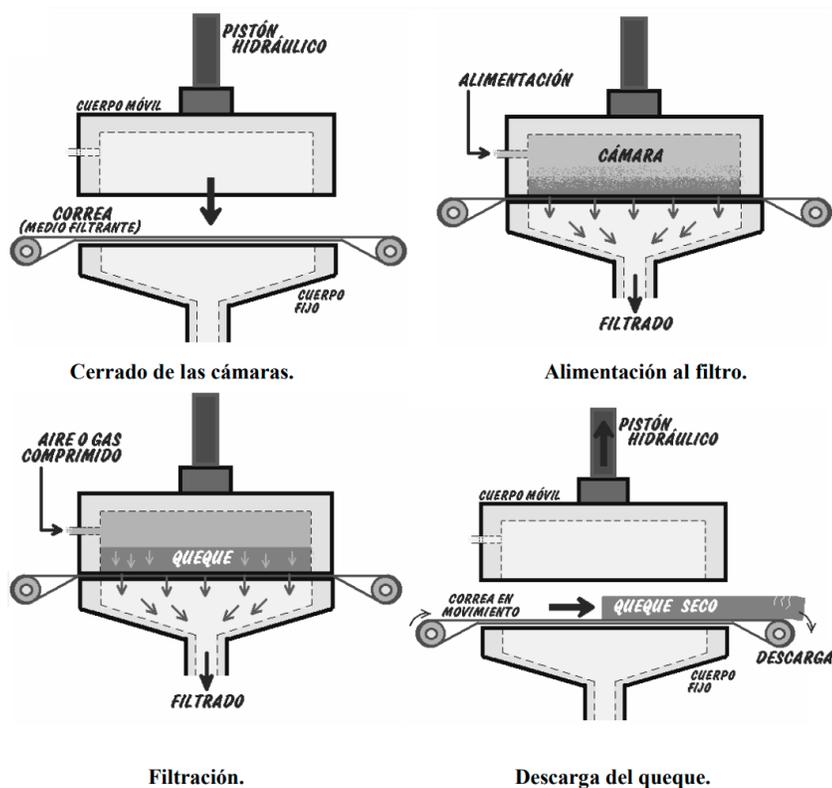
Este tipo de filtro consta únicamente en una cámara que está situado por encima de una correa transportadora, y que al mismo tiempo es el medio filtrante, aquí un pistón hidráulico es el que ejercerá la fuerza necesaria para realizar la filtración.

Las fases de la operación es el siguiente:

- Alimentación: primero la cámara tiene que estar sellada, luego se bombea la suspensión hacia el interior, esto permitirá que el líquido pase o atravesase el medio filtrante, y luego es recolectado por medio del plato fijo inferior.
- Compresión: cuando ya no se puede bombear más suspensión a la cámara, se procede a comprimir por la acción del aire o gas comprimido, esto hará forzar a que el líquido pase entre los sólidos formando la torta o lodo suficientemente seco.
- Descarga de la torta: por último, el pistón hidráulico es ascendido para liberar la torta seca, el que es transportado por la correa para luego ser tratado y quedando libre para un nuevo proceso.

Figura 22

Esquema Detallado de un Filtro con una Presión Semi-Continua



Fuente: Manual de Filtración (Arcil Concha, Esquema de Ciclo, s.f.)

1.2.3 Filtros hiperbáricos

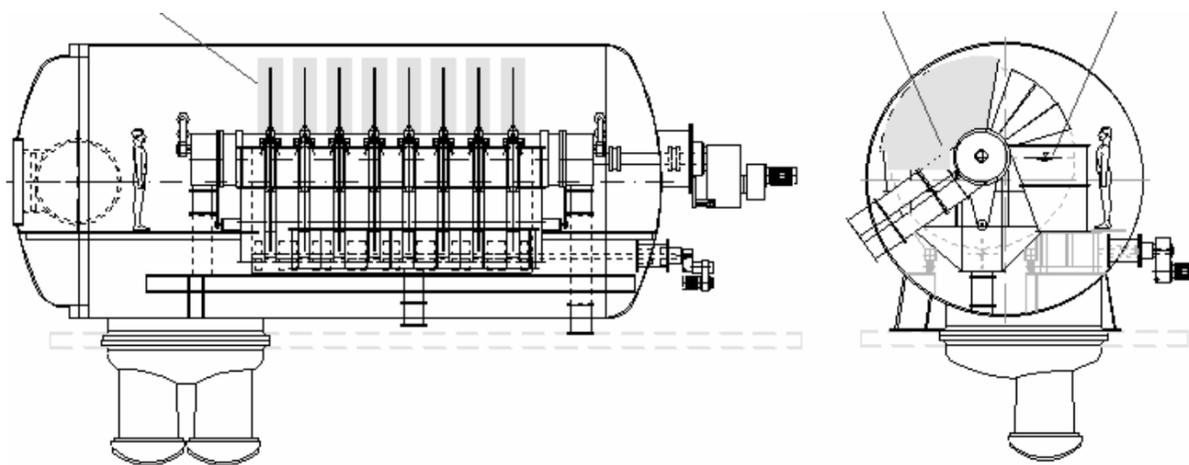
Este filtro tiene como una gradiente de presión el limitante de 0.8 atmosfera en condiciones favorables a nivel del mar. Pero si se utiliza en zonas de mayor altitud, el gradiente baja drásticamente.

En la década de los años 80 una investigación liderada por el Profesor Dr. Werner Stahl desarrolló un nuevo sistema, en la cual insertaron “el filtro de vacío” en el interior de una cámara presurizada, esto hizo que se aumentara mucho el gradiente de presión. Y de esta manera se hizo el nacimiento del filtro hiperbárico.

Este equipo nuevo consistía en un filtro de vacío, pudiendo ser de disco, de banda o de tambor, colocado dentro de la cámara de presión. Pero una debilidad es cuando se produce la descarga, es un problema como todos los filtros a presión. Pero con este filtro se puede conseguir humedades a 8% o menores.

Figura 23

Filtro Hiperbárico



Fuente: Manual de filtración (Concha Arcil, s.f.)

1.3 MEDIOS FILTRANTES

Este término puede definirse como cualquier material permeable que puede separar del fluido los sólidos en un proceso de filtración.

Entonces el rol que desempeña los medios filtrantes es de producir un buen proceso de separación entre un flujo de suspensión requiriendo un mínimo uso de energía. Para hacer una buena elección se deberá de tener en cuenta varios factores. En 1981 Purchas realizo un estudio de medios filtrantes, y los clasifico en una tabla. A continuación, se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Resumen Generalizado de Acuerdo a su Rigidez (Purchas, 1981)

Principales Tipos	Subdivisiones	Partícula más Pequeñas Retenida (μm) aprox.
Fabricación Solida	Pantallas de alambre	100
	Bobinados de alambre	100
	Anillos apilados	5
Hojas metálicas	Perforadas	100
	Tejidos de alambre	5
Medios porosos regidos	Cerámicos	< 1
	Carbón	10
	Plásticos	10

Principales Tipos	Subdivisiones	Partícula más Pequeñas Retenida (μm) aprox.
Cartuchos	Fabricación de laminas	3
	Cama aglutinada	2
	Hilo bobinado	2
Hojas plásticas	Monofilamentos tejidos	
	Hojas porosas	
Membranas	Poliméricas	< 0.1
	Cerámicas	< 0.1
	Metálicas	0.2
Medios tejidos	Fibras de hilo	5
	Monofilamentos	10
	Multifilamentos	< 10
Medios no tejidos	Hojas de filtro	10
	Papel (celulosa y vidrio)	5 y 7
	Polímeros	10
Medios holgados	Fibras	1
	Polvo	< 1

Nota. Fuente: MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Concha Arcil, scribd, p. 256).

Un medio filtrante puede caracterizarse acorde a las diferentes propiedades químicas y físicas (mecánica).

Pueden ser identificados en propiedades divididos en 3 categorías.

- a) En propiedades orientada a la aplicación.
- b) En propiedades orientada a las máquinas.
- c) Propiedades específicas de filtración.

1.3.1 Telas

Las telas más comunes están hechas de material textil sintética o de fibra natural.

Hay 3 tipos de medio sintético que se usan en la filtración.

- 1) **De compósitos:** polímeros micro porosos como el Poliuretano que dan un buen resultado.
- 2) **De tejido:** puede ser de satín o de tela cruzada, esto aumentará la resistencia en la tela a la tensión.
- 3) **No son de tejido:** se ensamblan distintas capas de fibra.

Las características que se tiene que tener en cuenta son básicamente las siguientes:

1. **Las condiciones químicas y térmicas:** en estas condiciones lo más adecuado son los polímeros, en donde tenemos los más usados al polietileno (PET), Poliamida (PA) y polipropileno (PP).
2. **EL requerimiento en la filtración:** tener una alta eficiencia para retener las partículas finas, el contenido de la humedad en el lodo o torta, como una efectiva liberación o desprendimiento del lodo, una alta resistencia a la abrasión y una baja resistencia al paso de los fluidos.

3. **Las consideraciones con afinidad al equipo:** se necesita saber principalmente en dónde ira a usarse el medio filtrante, también como el volumen obtenido del filtrado, el contenido de los sólidos, saber si la filtración es a vacío o presión.
4. **El costo:** se tendrá en cuenta el costo del medio, también la vida útil que es importante.

A continuación, en la Tabla 2 se muestra las propiedades orientadas a la máquina, en la Tabla 3 las propiedades específicas de filtración y Tabla 4 la aplicación y compatibilidad del medio filtrante con el ambiente.

Tabla 2

Las Propiedades de Filtración Orientada a la Máquina (Purchas 1980).

Propiedades Orientadas a la Máquina: Relacionadas con las Limitaciones del uso de un Medio Filtrante en un Tipo Específico de Filtro.

Resistencia al estiramiento

Rigidez

Resistencia a la abrasión

Estabilidad en los bordes

Dimensiones para ser fabricados

Estabilidad a la vibración

Función de sellado

Nota. Fuente: <https://idoc.pub/documents/8634301-manual-de-filtracion-gen5d50g9p4o>

MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Concha Arcil, p. 257).

Tabla 3

Propiedades Concretas en Medios Filtrantes (Purchas, 1980) y (Hardman, 1994).

Propiedades Específicas de Filtración que Determinan la Capacidad del Medio en un Proceso Especifico de Filtración	
Partículas más pequeñas retenida	Importante cuando se requiere una remoción de partículas del 100%. Se debe tener en mente el tamaño de las partículas depende de la técnica utilizada para su medición.
Eficiencia de retención	$\beta = \frac{\text{concentracion de particulas en el filtrado.}}{\text{concentracion de particulas en la suspension a filtrar}}$ <p>Una eficiencia de retención del 100% corresponde al punto de corte de la tela (Cut-off).</p> <p>La eficiencia de retención depende de la forma y tamaño de partículas, estructura del medio, velocidad de alimentación entre otros.</p>
Resistencia al flujo	La resistencia al flujo depende de la estructura del medio filtrante y es a menudo reportado como la medida de permeabilidad o resistencia específica a condiciones específicas de flujo.
Capacidad ensuciamiento	Cantidad de solidos (suciedad) retenida en el medio filtrante sin exceder una cierta caída de presión a través del filtro.
Tendencia a obturación	Asociada al material que no es removido del medio usando los procedimientos normales de limpieza, causando un incremento en la resistencia al flujo de filtrado.
Descarga del queque	Facilidad de remoción del queque del medio filtrante.

Nota. Fuente: <https://idoc.pub/documents/8634301-manual-de-filtracion-gen5d50g9p4o>

MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Concha Arcil, p. 258).

Tabla 4

Las Propiedades Indicadas a la Aplicación del Medio Filtrante (Purchas, 1980).

Aplicación Orientada a las Propiedades del Medio Filtrante. Compatibilidad del Medio Filtrante con el Ambiente	
Estabilidad química y térmica	Datos técnicos entregados por el fabricante.
Eficiencia de retención	Relacionada a la acumulación y crecimiento biológico en la superficie de las telas. Fibras naturales son más propensas a la degradación biológica que las sintéticas.
Estabilidad dinámica	Derramamiento de fibras y migración de fragmentos de las telas en el filtrado, características crítica en algunas aplicaciones.
Características absorbentes	Absorción de líquido y posterior hinchamiento durante el proceso de filtración, lo que se traduce en una disminución de la permeabilidad.
Mojabilidad	Afecta la presión requerida para iniciar el flujo inicial a través del medio. Pequeñas cantidades de impureza, alteran significativamente esta propiedad.

Aplicación Orientada a las Propiedades del Medio Filtrante. Compatibilidad del Medio Filtrante con el Ambiente

Características de estática	Factor importante para suspensiones de baja conductividad eléctrica. Aditivos antiestáticos son utilizados para reducir este efecto.
Disponibilidad	Corresponde a la disposición del medio filtrante como las partículas que retuvo después de que se descarte.
Capacidad de reutilización	Muchos medios pueden ser utilizados y re-utilizados. El planteamiento para lograr estos son diseñados en el ciclo de operaciones de nuestros filtros.
Costo	El costo de un medio filtrante puede variar mucho y tiene que ser evaluado considerando la vida útil del mismo.

Nota. Fuente: <https://idoc.pub/documents/8634301-manual-de-filtracion-gen5d50g9p4o>

MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Concha Arcil, p. 258).

El daño que puede su sufrir una tela de filtración se puede producir por deformaciones estructurales, los daños químicos y térmicos, el estiramiento y fatiga a la flexión.

La deformación estructural puede ser del resultado de un mal diseño, un tirón fuerte a la tela en pleno proceso de la descarga de la torta, una tensión fuerte al comienzo del ciclo o la alta presión de agua que se usa en el lavado de la tela.

Los daños térmicos o químicos como el pH o la corrosión, esto se puede corregir seleccionando una adecuada tela para el proceso en la que se usará.

La posterior Tabla 5 mostrara aquellas características en diversos materiales.

Tabla 5

Atributos Térmicos y Químicos de Distintas Fibras (Hardman,1994).

Resistencia a:						
Tipo Fibra	Densidad (Kg/m²)	Temperatura	Ácidos	Bases	Agentes Oxidantes	Hidrolisis
		de Operación Mínima (°C)				
Polipropileno	910	95	****	****	*	**
Polietileno	950	85	****	****	*	*
Poliéster (PBT)	1280	100	***	**	**	*
Poliéster (PET)	1380	100	***	*	**	*
Poliamida 6.6	1140	110	*	***	*	*
Poliamida 11	1040	100	*	***	*	*
Poliamida 12	1020	100	*	***	*	***
PVDC	1700	85	****	***	****	****
PVDF	1780	100	****	****	***	****
PTFE	2100	150+	****	****	***	****
PPS	1370	150+	****	****	**	****
PVC	1370	80	****	****	**	****
PEEK	1370	150+	***	***	**	****
**** muy bueno *** bueno ** aceptable * pobre						

Nota. Fuente: <https://idoc.pub/documents/8634301-manual-de-filtracion-gen5d50g9p4o>

MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Concha Arcil, p. 259).

Es importante resaltar que se le realiza a la tela un proceso de estabilización para asegurar la permeabilidad de la tela y una estabilidad dimensional.

La permeabilidad de la tela se puede obtener al realizar de un tratamiento térmico llamado calendring. Se puede aplicar la ley de Darcy para obtener datos de flujos vs caída de presión para comparar la permeabilidad de distintos medios filtrantes.

La característica principal de un medio filtrante es los siguientes:

- Permeabilidad al aire
- Porosidad
- Fácil descarga de la torta o lodo
- Mínima humedad de la torta o lodo
- Trama
- Permeabilidad al agua
- Resistencia a la tensión
- Peso / área
- Mínima resistencia al flujo
- Vida útil máxima de la tela filtrante.
- Resistencia al pH
- Espesor de la tela filtrante
- Menor tendencia a la obstrucción
- Resistencia a la temperatura

Como vemos puede existir gran variedad de medios filtrantes, pero para seleccionar un medio específico se deberá tener en cuenta varios factores. Por lo que será necesario hacer distintas pruebas donde se observara el comportamiento que tiene el medio filtrante, así de este modo se

evaluará el comportamiento. Sabiendo el rol importante que desempeña el medio filtrante en un proceso de filtración, se debe seleccionar el más adecuado, ya que si se hace una elección mala puede resultar perjudicial, conllevando a aumentar los costos, una mala filtración en el proceso y a la pérdida del tiempo.

1.4 TEORIA DE FILTRACION

Filtración de la torta o lodo

Este es la que procesa gran cantidad de sólidos en la suspensión, y forma una pasta, lodo o torta de sólidos en el medio filtrante que luego es retirado.

La filtración de la torta tienes dos formas de llevarse a cabo:

- **Filtración a presión constante (ΔP):** la velocidad de la filtración ira desde un máximo hasta un mínimo. En este existe un caso especial que es de la filtración rotatoria.
- **Filtración a velocidad constante (U):** aquí será lo opuesto, la disimilitud de la presión comenzará de un mínimo hasta un máximo.

También existe otra forma de trabajo que es la mixta, consiste en que transcurre primero la filtración a velocidad constante, en donde la ΔP comenzará de un mínimo a un máximo y posterior el régimen se cambia a ΔP constante y la velocidad comenzará de un máximo a un mínimo.

En la filtración por lodo o torta se pasa por tres tipos de resistencias:

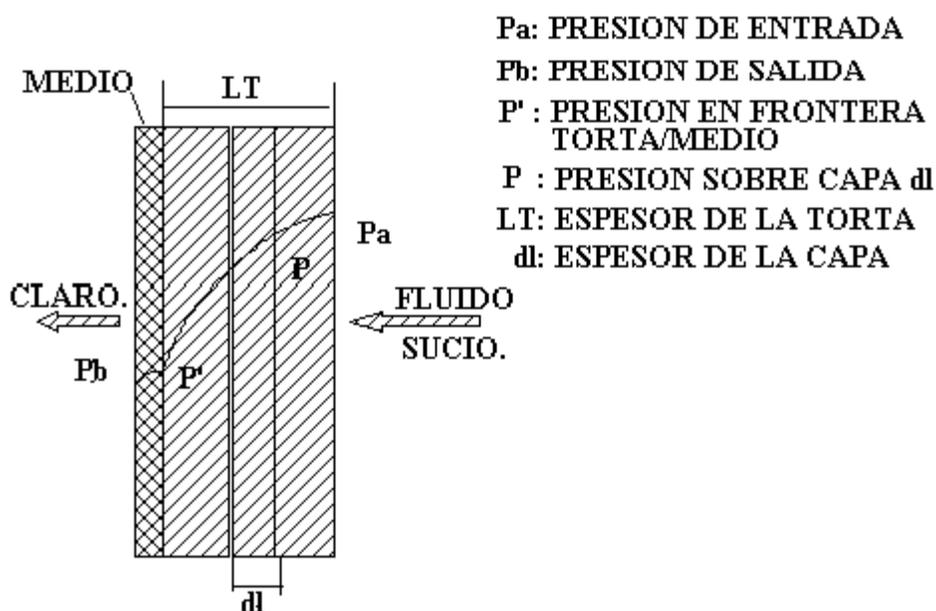
1. La resistencia que corresponde a los canales que lleva la suspensión hacia la cara trasera de la torta, y el filtrado que sale y se obtiene del medio filtrante.
2. La resistencia que corresponde a la torta o lodo.
3. La resistencia que corresponde al medio filtrante.

Con el diseño de un buen filtro las conexiones de la entrada y de la salida ofrecen poca o pequeñas resistencias, y puede desestimarse en comparación con el medio filtrante y la resistencia de la torta.

Las primeras partículas al quedar atrapado en la malla del medio filtrante producen adicionalmente una resistencia que afectara al siguiente flujo.

Figura 24

Distribución de Caída de Presión en la Sección de un Filtro



Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos55/operacion-filtracion/operacion-filtracion2.shtml> (Roberti Pérez)

Llamamos resistencias del medio filtrante a la resistencia total que se establece sobre el medio, incluyendo las partículas atrapadas.

Llamamos resistencia del lodo o torta a la resistencia que presentan los sólidos pero que no corresponde al medio filtrante. La resistencia en la torta o lodo es de cero al comenzar la filtración, y al paso que los sólidos son retenidos sobre el medio producirá que aumentará el espesor de la torta o lodo, esta resistencia aumentará continuamente al paso del tiempo de la filtración.

Matemáticamente podemos representar como trabaja un filtro con la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \Delta P_C + \Delta P_m$$

$$-\Delta P = -\Delta P_C - \Delta P_m \quad (1)$$

En él hay resistencias que pueden bloquear el paso del líquido de un extremo a otro, y siendo la más importante la resistencia del medio filtrante (ΔP_m) y la resistencia de la torta (ΔP_C).

Resistencia de la torta (ΔP_C)

La velocidad de fluido a través de la torta se da por la siguiente ecuación:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\text{Fuerza Impulsora}}{\text{Resistencia}} \quad (2)$$

Donde:

- dv : Es la diferencial del volumen.
- dt : Es la diferencial del tiempo.

Donde la ecuación queda:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(-\Delta P_C)A^2 \cdot g_c}{\alpha \cdot m_c \cdot \mu} \quad (3)$$

La resistencia del medio filtrante

Luego se realiza los cambios que se deben a la velocidad en el medio filtrante:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(-\Delta P_m)A \cdot g_c}{\mu \cdot R_m} \quad (4)$$

Donde:

- R : Es la resistencia
- R_m : Es la resistencia del medio.
- μ : Es la viscosidad

Compresibilidad del lodo o torta

La resistencia específica de las tortas o lodo obtenidas por la filtración varía con la caída de presión producido a medida que se va depositando, ya que el lodo se va haciendo cada vez más denso a medida que se hace mayor la presión, y por ello cada vez de un menor espacio para que el flujo pase.

Una torta compuesta de partículas sólidas deformables y flexibles, tendrá una resistencia al flujo que dependerá de la caída de presión y va a variar a lo largo del espesor de la torta.

Las tortas incompresibles son aquellas que están formadas por partículas sólidas poco duras e indeformables, aquí la resistencia será independiente a la presión y no varía con el espesor del lodo o torta.

Tortas mucho más comprensibles son aquellas que derivan de las sustancias floculentas y blandas, en comparación con las sustancias granulares y duras, por ejemplo, el azúcar y cristales de sal, que no son muy afectados por la presión.

Para representar la influencia de la presión que tiene sobre las partículas de la torta o lodo se tienen ecuaciones empíricas que se representan de esta forma:

$$a = a_0(-\Delta P)^s \quad (5)$$

Dónde:

a: Es la resistencia específica del lodo o torta.

a_0 : Es la resistencia media específica del lodo o torta.

s: El factor de compresibilidad (S=1, torta o lodo compresible, S=0, torta o lodo incompresible).

ΔP : La presión total del sistema.

La ecuación general de la filtración

De las anteriores ecuaciones se despejará las variaciones de presión del medio filtrante y de la torta respectivamente (ΔP_c y ΔP_m) y se va sustituir en la ecuación inicial.

$$(-\Delta P) = \frac{dv}{dt} \frac{\alpha \cdot m_c \cdot \mu}{A^2 \cdot g_c} + \frac{dv}{dt} \frac{\mu \cdot R_m}{A \cdot g_c} \quad (6)$$

Realizamos unos cambios y sabiendo que:

$$C = m_c/V \quad (7)$$

Donde:

C: Concentración de sólidos en el filtrado.

m_c : Masa de sólidos secos.

V: Volumen del filtrado

Esta ecuación representa la concentración de sólidos en el filtro en base al volumen filtrado.

Llegamos a:

$$\frac{dt}{dv} = \frac{\alpha \cdot C \cdot \mu}{(-\Delta P) g_c} \frac{V}{A^2} + \frac{\mu \cdot R_m}{(-\Delta P) g_c \cdot A} \quad (8)$$

También hay otra manera de representar la concentración de sólidos en la filtración, que es de la siguiente manera:

$$C_s = m_c/V_s$$

Esto indicará la cantidad de sólidos que es en base al volumen de suspensión.

La siguiente formula muestra la relación de C y C_s :

$$C = \frac{C_s}{1 - \left(\frac{m_f}{m_c} - 1\right) \frac{C_s}{\rho}} \quad (9)$$

Donde:

m_f : La masa de la torta húmeda.

m_c : La masa de la torta seca.

ρ : La densidad.

El total de las ecuaciones de la filtración están en función de C , la concentración en base al volumen de filtrado, en caso se sepa el dato de C_s se deberá cambiar con la formula ultima mostrada.

Para utilizar esta fórmula última se deberá saber la humedad de la torta en base seca o base húmeda, de esto dependerá los valores de m_f y m_c se buscara en la siguiente forma en la Tabla 6.

Tabla 6

Humedad en Base Húmeda y Seca

Humedad en Base Húmeda	
m_f	m_c
1	$1 - (\% \text{ humedad} / 100)$
100	$100 - \% \text{ humedad}$
Humedad en Base Seca	
m_c	m_f
1	$1 + (\% \text{ humedad} / 100)$
100	$100 + \% \text{ humedad}$

Nota. Fuente: monografias.com, Operación Unitaria de Filtración (Roberti Pérez, Daniel E., p. 2)

La ecuación mostrada anteriormente es la Ecuación general de la filtración por lodo o tota, de aquí se trabajará para encontrar la Ecuación que permitirá calcular el tiempo de filtración en filtros a presión constante, entre un tiempo de 0 y t, y entre un volumen de filtrado de 0 y V.

La ecuación sería:

$$\int_0^t dt = \left(\frac{\alpha \cdot C \cdot \mu}{(-\Delta P) \cdot g_c \cdot A^2} \right) \int_0^v v \cdot dv + \left(\frac{\mu \cdot R_m}{(-\Delta P) \cdot g_c \cdot A} \right) \int_0^V dv$$

$$t = \left(\frac{\alpha \cdot C \cdot \mu}{(-\Delta P) \cdot g_c \cdot A^2} \right) \frac{V^2}{2} + \left(\frac{\mu \cdot R_m}{(-\Delta P) \cdot g_c \cdot A} \right) V \quad (10)$$

Donde K_ρ es la pendiente, y donde B será el punto de corte con el eje Y.

$$\frac{t}{V} = \left(\frac{\alpha \cdot C \cdot \mu}{2(-\Delta P) \cdot g_c \cdot A^2} \right) v + \left(\frac{\mu \cdot R_m}{(-\Delta P) \cdot g_c \cdot A} \right)$$

$$K_\rho = \frac{\alpha \cdot C \cdot \mu}{2(-\Delta P) \cdot g_c \cdot A^2}; B = \frac{\mu \cdot R_m}{(-\Delta P) \cdot g_c \cdot A}$$

$$\frac{t}{V} = K_\rho \cdot V + B \quad (11)$$

Con la ecuación (11) representa una ecuación lineal recta ($y = mx + b$), aquí K_ρ será la pendiente, y B será el punto de corte con el eje Y.

Gráficamente:

- V en el eje de las X.
- t/V en el eje de las Y,

Y se deberá de dar una línea recta en donde encontraremos tanto la pendiente como el punto de corte, y de esta manera podemos hallar los valores importantes como la resistencia del medio R_m y la resistencia de la torta α .

2 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE FILTRACION

La aplicación del proceso de filtración se da en diversas actividades cotidianas del ser humano, un ejemplo es en el tratamiento de agua cruda para ser potabilizado y luego ser consumida por el ser humano, también como en el tratamiento de aguas residuales.

La filtración para sustancias heterogéneas, así como el proceso que se emplea en las diversas actividades industriales, en donde es muy importante esta fase en las actividades que van a requerir técnicas químicas.

Figura 25

Planta de Tratamiento de Agua



Fuente: <https://bosstech.pe/tratamiento-de-aguas-residuales-y-su-impacto-ambiental/> (BossTech S.A.C.)

2.1 Aplicaciones del proceso de filtración

Por las diversas técnicas que se aplican en los procesos de filtración, se pueden realizar separaciones de fases, ya sea gas – líquido o sólido – líquido, por la separación de las partículas, componentes líquidos contenidos en emulsiones o aerosoles, así como, en componentes sólidos y gases en sustancias líquidas.

La filtración tiene gran variedad de aplicaciones: desde un proceso analítico en el laboratorio hasta una implementación del proceso a nivel industrial. Por ejemplo, en controles microbiológicos, en análisis de alimentos, en análisis de humos, y más.

Aplicaciones ambientales

- En la filtración de aguas procedentes de los canales de arrastre de lavados de vegetales.
- En la filtración de corrientes de los desechos de alimentos vegetales y productos lácteos.
- En la recuperación y re-implementación de soluciones de limpieza usadas.

Aplicaciones en la industria química

- En las industrias de recuperación de metales.
- En la producción de aditivos de papel.
- En las industrias productoras de polímeros.
- En las industrias especialistas en la recuperación y producción de pigmentos.
- En la obtención de sales industriales.
- En la industria de obtención de resinas y fibras.

Aplicación en la Industria farmacéutica

- El empleo en filtros de orificios de ventilación como los aerosoles nasales o dispensadores de gotas en ojos.
- La producción de antibióticos y vitaminas.

Aplicaciones en la industria de alimentos

- En la fabricación de bebidas como cerveza, vino, jugos, etc.
- En la filtración de azúcares, fructosas y glucosa.

Aplicación en la agricultura

- En sistemas de filtración para tratar las aguas con fines agrícolas.

- En la elaboración de plaguicidas.
- En la elaboración de insecticidas.

2.2 Procesos de filtración para el Tratamiento de agua potable y aguas residuales

La filtración se da tanto para las aguas residuales procedentes de las industrias, agrícolas o doméstico. También como tratamiento de agua potable destinado para el consumo.

El proceso de la filtración se aplica en diversos procesos que requieren para su tratamiento, por ejemplo, el proceso de potabilización del agua, el acondicionamiento de las aguas residuales y el tratamiento de aguas fangosas.

Seguido describiremos los diversos tipos de filtración para el tratamiento de las aguas residuales y proceso de potabilización del agua.

2.2.1 Tipo de filtración

Los sistemas se pueden clasificar teniendo presente algunos parámetros:

- El sentido del flujo durante el proceso de filtración.
- El control operacional del sistema de filtración.
- El tipo de lecho filtrante.
- La carga sobre el medio filtrante.

A continuación, se indicará las alternativas que presentan para cada parámetro que se utilizan en la clasificación de los diversos tipos de filtro.

- Para un lecho filtrante simple (Arena) el sentido del flujo es Descendente y su carga sobre el lecho filtrante es por gravedad, y el control operación es por tasa constante y nivel variable.
- Para un lecho filtrante de doble o múltiples, su sentido de flujo ascendente, su carga sobre el lecho es a presión, y su control operacional a una tasa constante y a nivel constante.

- Para un lecho filtrante de doble o múltiples, su sentido de flujo ascendente – descendente, su carga sobre el lecho filtrante también a presión, y su control operacional a una tasa declinante.

Ahora se define y describe los tipos de filtración más resaltantes que se aplican para el tratamiento de aguas residuales, en el tratamiento para obtener agua potabilizada y como en actividades industriales:

2.2.1.1 Filtración rápida o filtración por gravedad

Esta filtración se da mediante la acción propia de la gravedad, por lo general se usa para la obtención de agua potable con la finalidad de abastecer a la población local del recurso hídrico elemental. Pudiendo ser de flujo ascendente, mediante un filtro ruso, que se puede operar con tasas de filtración declinante o constante. Cuando se realiza la filtración por flujo descendente, la filtración rápida se realiza mediante tasa declinante en filtros de lecho múltiples o de lecho único.

2.2.1.2 Filtración ascendente:

Esta deriva de la filtración rápida, aquí se tiene como ventaja que el recurso hídrico entrante se mueve en sentido que los granos de arena que conforma el lecho filtrante va disminuyendo de tamaño, de esta forma genera una mayor efectividad para la remoción de las partículas que se encuentran suspendidas.

Generalmente esta filtración tiene un uso limitado, esto resultado que el proceso necesite mucho más tiempo en comparación con otros métodos, ya que requiere mayor carga hidráulica y el espesor del lecho filtrante tiene que ser mayor.

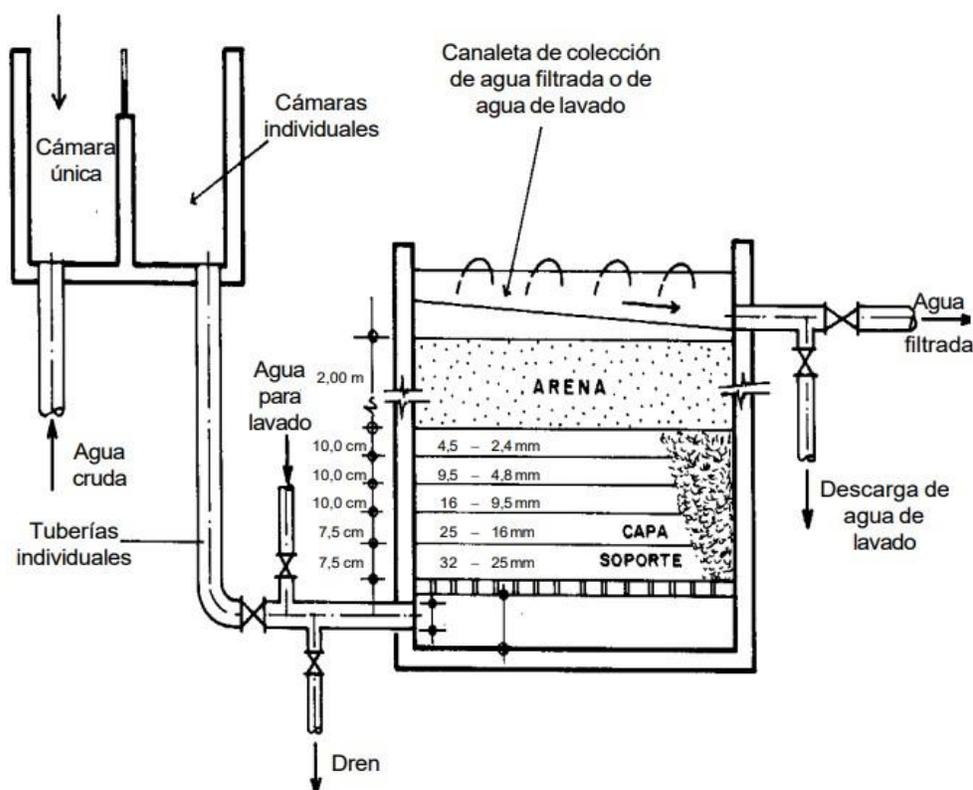
Principales características

Tiene una tasa de filtración en promedio de 120 a 200 m³/m² /día. Entre lo más comunes y usados tenemos al de placas perforadas y de tuberías.

La distribución del agua hacia los filtros esta provista de una caja de vertederos, en donde salen tuberías individuales que contienen medidores y reguladores de caudal.

Figura 26

Esquema de un Filtro de Flujo Ascendente



Fuente: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/nueve.pdf> (Maldonado Yactayo, capítulo 9 filtración, pág. 47)

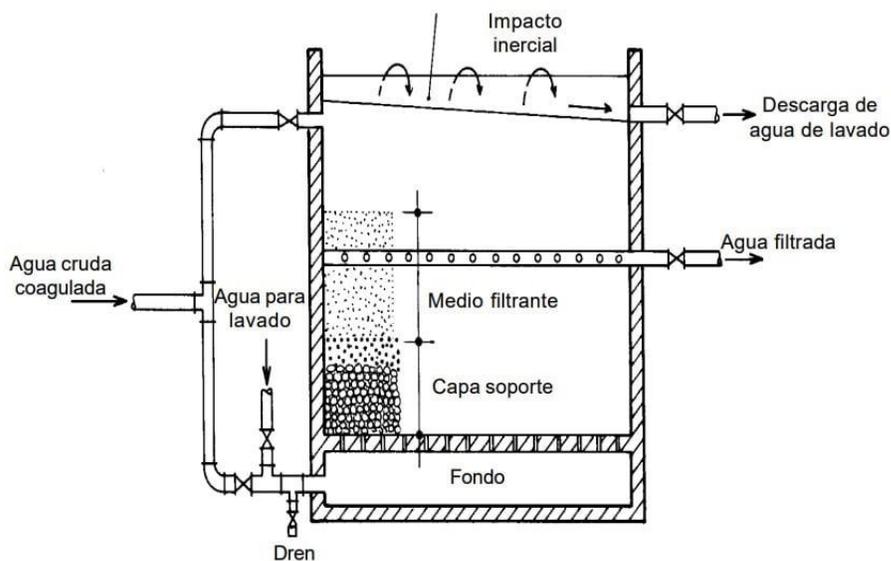
2.2.1.3 Filtración Ascendente – Descendente

Este método surgió como una alternativa para optimizar la filtración ascendente, a través de la implementación de filtros llamados Bi-Flow, el cual una parte del agua coagulada cruda a tratar ingresa por las tuberías provistas de bocas, que están instalados dentro del filtro por el lado superior, y la otra parte del agua a tratar ingresa por la parte inferior.

Un inconveniente que presenta este método es que las bocas de la tubería con el tiempo se comienzan a taponar, lo que genera que se deba realizar un mantenimiento cada cierto tiempo para evitar el taponamiento.

Figura 27

Esquema de un Filtro de Flujo Ascendente - Descendente (Filtro Bi-Flow)



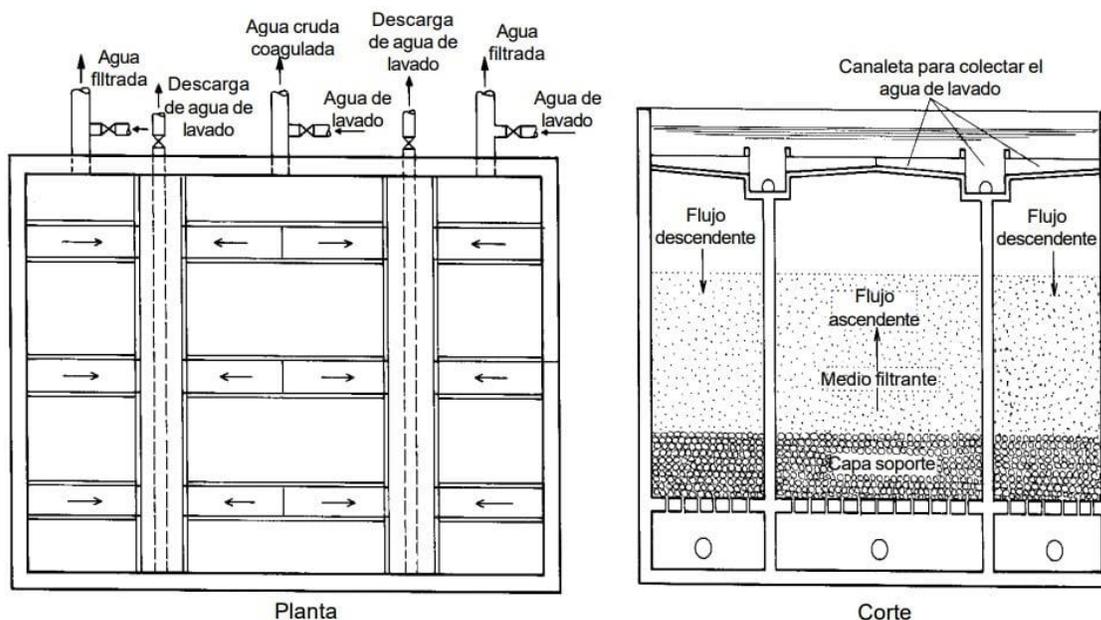
Fuente: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/nueve.pdf> (Maldonado Yactayo, capítulo 9 filtración, pág. 48)

Si se quiere evitar el mantenimiento cada cierto tiempo, se necesitará implementar la instalación de súper filtros, los que van a realizar el proceso de filtración ascendente – descendente. Donde primero se realizará la filtración de flujo ascendente y luego la filtración de flujo descendente.

A continuación la siguiente imagen representa un corte de una instalación en planta, en donde se muestra una instalación de un filtro ascendente – descendente con la instalación de súper filtros.

Figura 28

Esquema de una Instalación de Súper Filtración



Fuente: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/nueve.pdf> (Maldonado Yactayo, capítulo 9 filtración, pág. 48)

2.3 Membranas de Filtración

Este método es el más usado para el tratamiento del agua potable y aguas residuales, que consiste en forzar el líquido para que atraviese la membrana semi-permeable instalada sobre un soporte rígido, donde se produce el proceso de la separación de la mezcla mediante la presión poder filtrar y contener los residuos en la membrana del filtro.

Gracias a la tecnología podemos tener filtraciones por membranas más precisas en donde tenemos los siguientes:

- **Ultrafiltración y micro filtración:**

Esta funciona mediante la separación física, en donde el tamaño del poro de la membrana tiene un factor importante en donde se determinará cuáles son las partículas que podrán pasar y cuales partículas serán retenidos en el filtro.

Las partículas de mayor tamaño que los poros de la membrana serán retenidos totalmente, mientras que las partículas de menor tamaño que los poros de la membrana también podrán ser retenidos, pero de manera parcial, esto dependerá de la selectividad de la membrana.

Las membranas de micro filtración separan el agua de las partículas finas de longitud entre 0,1 mm y 10mm. Por ejemplo, el polvo de carbón muy fino, vegetación, algas, entre otros. La fabricación de estas membranas puede ser de polietileno, polipropileno o nylon.

Las membranas de ultrafiltración retienen partículas entre 10 nm y 100 nm, por ejemplo, bacterias, endotoxinas, virus, entre otros.

- **Nanofiltración:**

Permite la separación de partículas en suspensión y moléculas disueltas, por ejemplo, sustancias orgánicas, moléculas de colorantes, microorganismos y algunas sales polivalentes. Para el correcto funcionamiento de este tipo de membrana se requiere que la entrada del recurso a tratar sea a mayor presión.

Las membranas de nanofiltración se fabricarán entre 0,1 nm y 1nm, que es el tamaño de la mayoría de partículas que no tienen peso molecular elevado. También en este proceso pueden quedar retenidos iones como el Mg^{2+} y Ca^{2+} , lo que permite eliminar la dureza del agua y sin aplicar reactivos químicos.

- **Osmosis inversa:**

Este método es el único que no se rige conforme al principio de porosidad, sino que se basará en el equilibrio hacia ambos lados de la membrana semi permeable, en donde se procederá a la separación de dos volúmenes líquido que tendrán diferente concentración salina. En donde el agua pasará a través de la membrana atravesándola, mientras los iones disueltos quedan retenidos en el filtro.

Gran parte de la industria emplea este método de osmosis inversa para el tratamiento de agua potable y de aguas residuales con la finalidad de producir agua de muy buena pureza que podrá ser empleado en las industrias que requieran una buena calidad del agua. Por ejemplo, tenemos la industria alimentaria, la industria electrónica, la industria biotecnológica, la industria farmacéutica, entre otros.

También este método permite la retención de todas las partículas y sales que están presentes en el recurso hídrico, haciendo que este sea más efectivo para desalinizar el agua.

Para que la vida útil de la nanofiltración y las membranas de osmosis inversa, se recomienda que se haga un pretratamiento al recurso hídrico mediante ultrafiltración.

2.3.1 Principales aplicaciones de la filtración por membranas

A continuación, indicaremos la presión que requiere cada proceso de filtración para un correcto uso y también las principales aplicaciones.

- El proceso de microfiltración puede retener partículas entre $0.1 \mu\text{m}$ o mayores, y requerirá una presión entre $0.1 - 5 \text{ Bar}$, los tipos de partículas retenidos entre ellos podrían ser los microorganismos, coloides y glóbulos de grasa. Entre sus principales aplicaciones está en el tratamiento de aguas residuales, en el desgrasado de leche, en la esterilización en frío de bebidas y en el tratamiento de salmuera de carne para la remoción de bacterias.
- El proceso de ultrafiltración puede retener partículas entre $0.001 \mu\text{m}$ o mayores, y requerirá una presión entre $1 - 10 \text{ Bar}$, los tipos de partículas retenidos entre ellos podrían ser las macromoléculas y proteínas. Entre sus principales aplicaciones está en la clarificación de jugos de fruta, de cerveza y vinos, en la recuperación de almidón y

concentración de gelatina, en la concentración de proteínas vegetales como soya, canola y avena.

- El proceso de nanofiltración puede retener partículas entre 1nm o mayores (250 Dalton), y requerirá una presión entre 5 – 20 Bar, los tipos de partículas retenidos entre ellos podrían ser los azúcares y sales polivalentes. Entre sus principales aplicaciones está en la desmineralización parcial del suero, en la obtención de cerveza baja en alcohol y la eliminación de la lactosa de la leche.
- El proceso de osmosis inversa puede retener partículas entre 0.1nm o mayores (50 Dalton), y requiere una presión entre 10- 100 Bar, los tipos de partículas retenidos entre ellos podrían ser las sales mono y divalentes, como también casi todas las partículas y iones. Entre sus principales aplicaciones está en la obtención de agua potable y/o desalinización, y concentración de jugos de fruta, café, leche, azúcar y entre otros.

Este método es la que se emplea especialmente para tratar el agua con la finalidad de potabilizarla y sea adecuado para el consumo humano, y como también para tratar las aguas residuales, debido a su buena eficiencia en la separación de las partículas contaminadas del agua a una temperatura ambiente, en donde va en una buena relación de coste / eficiencia bastante baja.

CONCLUSIONES

De lo expuesto anteriormente, se puede establecer lo siguiente:

- La filtración es una operación unitaria básica en diversos procesos industriales en donde se aplican los principios básicos de la mecánica de fluidos a través de lechos granulados y porosos. Dicha operación es considerada como una separación mecánica, por lo cual no se requiere usar demasiada energía.
- En la filtración están involucrados diferentes características físicas, tanto del medio filtrante como del filtrado y de los sólidos a separar. Por tal motivo, se derivan diversas técnicas de filtración y diferentes tipos de filtros.
- Hay una gran similitud de la filtración a escala industrial con la que se realiza en el laboratorio, razón por la cual no es difícil implementar un proceso de laboratorio a nivel planta piloto o industrial. Por lo tanto, podemos decir que la filtración es una opción básica de fácil operación y bajo costo.

FUENTES DE INFORMACION

(s.f.). Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/33730261/8634301-Manual-de-Filtracion>

911metallurgist. (s.f.). Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de Filtro De Tambor Rotatorio:

<https://www.911metallurgist.com/metallurgia/filtro-de-tambor-rotatorio/>

911metallurgist. (s.f.). Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de Filtro A Vacío De Discos:

<https://www.911metallurgist.com/metallurgia/filtro-a-vacio-de-discos/>

Arcil Concha, F. (s.f.). *MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF)*.

Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de pdfcoffee:

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF)*. Obtenido

de pdfcoffee: [https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-](https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html)

[free.html](https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html)

Arcil Concha, F. (s.f.). *MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF)*.

Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de pdfcoffee:

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF)*.

Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de pdfcoffee:

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *pdfcoffee*. Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de MANUAL DE

FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF):

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *pdfcoffee*. Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF):

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *pdfcoffee*. Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF):

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *pdfcoffee*. Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF):

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *pdfcoffee*. Recuperado el 13 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF):

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *pdfcoffee*. Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF):

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *pdfcoffee*. Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF):

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *pdfcoffee*. Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF):

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *pdfcoffee*. Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF):

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *pdfcoffee*. Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF):

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (s.f.). *pdfcoffee*. Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF):

<https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil Concha, F. (pdfcoffee). *MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF)*.

Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de <https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Arcil, F. C. (s.f.). *MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION*. Recuperado el 15 de febrero de 2019

Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (1975). *FENÓMENOS DE TRANSPORTE*.

Reverté.

BossTech S.A.C. (s.f.). *BossTech S.A.C.* (StaffDigital) Obtenido de Las Aguas Residuales y su

Impacto Ambiental: <https://bosstech.pe/tratamiento-de-aguas-residuales-y-su-impacto-ambiental/>

Concha Arcil, F. (s.f.). *IDOCPUB*. Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de MANUAL DE

FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF): <https://idoc.pub/documents/8634301-manual-de-filtracion-gen5d50g9p4o>

Concha Arcil, F. (s.f.). *IDOCPUB*. Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF): <https://idoc.pub/documents/8634301-manual-de-filtracion-gen5d50g9p4o>

Concha Arcil, F. (s.f.). *pdfcoffee*. Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF): <https://pdfcoffee.com/qdownload/8634301-manual-de-filtracion-2-pdf-free.html>

Concha Arcil, F. (s.f.). *scribd*. Recuperado el 13 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF): <https://es.scribd.com/doc/33730261/8634301-Manual-de-Filtracion>

Concha Arcil, F. (s.f.). *scribd*. Recuperado el 13 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF): <https://es.scribd.com/doc/33730261/8634301-Manual-de-Filtracion>

Concha Arcil, F. (s.f.). *scribd*. Recuperado el 13 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF): <https://es.scribd.com/doc/33730261/8634301-Manual-de-Filtracion>

Concha Arcil, F. (s.f.). *scribd*. Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF): <https://es.scribd.com/doc/33730261/8634301-Manual-de-Filtracion>

Concha Arcil, F. (s.f.). *scribd*. Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de MANUAL DE FILTRACIÓN & SEPARACION (Versión PDF): <https://es.scribd.com/doc/33730261/8634301-Manual-de-Filtracion>

Concha Arcil, Fernando. (s.f.). *IDOCPUB*. Obtenido de 8634301 Manual De Filtracion: <https://idoc.pub/documents/8634301-manual-de-filtracion-gen5d50g9p4o>

Costa Novella, E. (s.f.). *INGENIERIA QUIMICA - Flujo de Fluídos* (Vol. 3). Alhambra.

Direct INDUSTRY By VIRTUALEXPO GROUP. (s.f.). Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de

Filtro para líquidos: <https://www.directindustry.com/pt/prod/menardi/product-59020-1300695.html>

Grupo filtrantes. (s.f.). Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de EQUIPOS DE FILTRACIÓN:

<https://grupofiltrantes.com.mx/equipos-de-filtracion/>

Himmelblau, D. M. (1997). *Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química* (6ta. ed.).

Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.

Levenspiel, O. (1993). *FLUJO DE FLUIDOS E INTERCAMBIO DE CALOR*. Revert S.A.

Maldonado Yactayo, V. (s.f.). *Ingeniero Ambiental*. Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de

CAPÍTULO 9 FILTRACIÓN (Versión PDF):

<http://www.ingenieroambiental.com/4014/nueve.pdf>

Maldonado Yactayo, V. (s.f.). *Ingeniero Ambiental*. Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de

CAPÍTULO 9 FILTRACIÓN (Versión PDF):

<http://www.ingenieroambiental.com/4014/nueve.pdf>

Maldonado Yactayo, V. (s.f.). *IngenieroAmbiental*. Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de

CAPÍTULO 9 FILTRACIÓN: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/nueve.pdf>

McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1991). *OPERACIONES UNITARIAS EN*

INGENIERIA QUIMICA (4ta. ed.). Mcgraw-Hill Interamericana.

METALIZACIONES INDUSTRIALES Y MARINAS SA DE CV. (2015). *METALIZACIONES*.

Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de SEPARACIÓN DE SÓLIDOS:

<http://metalizaciones.com/plantasdetratamiento/separacion-de-solidos.html>

Mott, R. L. (1994). *MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADA* (4ta. ed.). Prentice-Hall
Hispanoamericana, S. A.

peiro,S.A. (s.f.). Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de Tipos de filtración – Profundidad y
Superficie: <https://www.peiro.com/tipos-de-filtracion/>

quiminet.com. (s.f.). Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de El funcionamiento del filtro
prensa: [https://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-del-filtro-prensa-
23843.htm](https://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-del-filtro-prensa-23843.htm)

quiminet.com. (s.f.). Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de El funcionamiento del filtro
prensa: [https://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-del-filtro-prensa-
23843.htm](https://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-del-filtro-prensa-23843.htm)

Roberti Pérez, D. E. (s.f.). *monografias.com.* Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de
Operación unitaria filtración (página 2):
[https://www.monografias.com/trabajos55/operacion-filtracion/operacion-
filtracion2.shtml](https://www.monografias.com/trabajos55/operacion-filtracion/operacion-filtracion2.shtml)

Roberti Pérez, Daniel E. (s.f.). *monografias.com.* Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de
Operación unitaria filtración: [https://www.monografias.com/trabajos55/operacion-
filtracion/operacion-filtracion2.shtml](https://www.monografias.com/trabajos55/operacion-filtracion/operacion-filtracion2.shtml)

uninotas. (25 de Abril de 2016). Obtenido de Placas rodac wikipedia:
<https://www.uninotas.net/placas-rodac-wikipedia/>