

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA ESPECÍFICA DE LA  
TORTA DE UNA SUSPENSIÓN DE 5 LITROS DE CaO AL 3,5 %**

**EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADA POR:**

**JUAN CÉSAR SÁNCHEZ QUITO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2004**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA ESPECÍFICA DE LA TORTA DE  
UNA SUSPENSIÓN DE 5 LITROS DE CaO AL 3,5 %**

**EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL  
PRESENTADA POR:**

**JUAN CÉSAR SÁNCHEZ QUITO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO QUÍMICO**



**APROBADA POR:**

**PRESIDENTE**

:

\_\_\_\_\_  
Dra. Edith Tello Palma

**PRIMER MIEMBRO**

:

\_\_\_\_\_  
Dr. Moisés Pérez Capa

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

\_\_\_\_\_  
M.Sc. Lidia Ensueño Romero Iruri

**DIRECTOR / ASESOR**

:

\_\_\_\_\_  
Dr. Teófilo Donaires Flores

Área: Industria de procesos

Tema: Ingeniería de procesos

Línea: Determinación de resistencia específica

Fecha sustentación: 17-01-2004

## DEDICATORIA

Con el mayor de mi cariño y afecto a mi familia, quienes supieron apoyarme indeseablemente, para el logro satisfactorio de mi carrera profesional, que fue mi objetivo trazado.

J. César

## AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano – Puno eje de formación profesional del altiplano, especialmente a la Carrera Profesional de Ingeniería Química; donde concreto mi formación.

A los docentes que supieron brindar adecuadamente todos sus conocimientos, para estar en la capacidad de ejercer mi profesión.

A mis compañeros, quienes en el momento indicado me apoyaron desinteresadamente a lograr mi objetivo.

## INDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	3
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	4
<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>INTRODUCCION</b> .....	8
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	9
<b>1.1. Formulación del problema</b> .....	10
<b>1.2. Específicos</b> .....	10
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	10
<b>2.1. Objetivo General</b> .....	10
<b>2.2. Objetivos específicos</b> .....	10
<b>III. JUSTIFICACION</b> .....	11
3.1. Aspecto tecnológico.....	11
3.2. Aspecto social .....	11
3.3. Ubicación del estudio.....	11
<b>IV. FUNDAMENTO TEORICO</b> .....	12
<b>4.1. Filtración</b> .....	12
<b>4.2. Proceso de filtración</b> .....	13
<b>4.3. Filtración a presión constante</b> .....	15
<b>4.4. Compresibilidad de la torta</b> .....	15
<b>4.5. Medios filtrantes</b> .....	16
4.6. Mecanismo de filtración .....	17
4.7. Tipos de filtros .....	17
4.7.1. Filtros de arena.....	17
4.7.2. Filtros a presión .....	18
4.7.3. Filtro de lecho mixto.....	20
4.7.4. Filtro de carbón activado .....	20
4.7.5. Filtro de prensa para el tratamiento de lodos .....	22
4.7.6. Filtros prensa de placas .....	22
4.8. Operaciones de los filtros .....	26
4.9. Componentes de un filtro.....	26
4.10. Funcionamiento .....	27
<b>4.11. Aparatos utilizados en filtración</b> .....	31

4.12. Aplicaciones industriales .....	31
<b>V. CALCULOS DE INGENIERÍA .....</b>	<b>33</b>
5.1. Partes y descripción del equipo .....	33
5.1.1. Estructura metálica. ....	33
5.1.2. Materiales.....	33
5.1.3. Capacidad.....	33
5.1.4. Líneas de conexión y accesorios.....	33
5.1.5. Instrumentos.....	34
5.1.6. Tablero de control. ....	34
5.1.7. Manual de operación del equipo .....	34
5.1.8. Instrucciones de operación.....	35
5.1.9. Volumen equivalente al peso inicial (volumen del soluto).....	36
5.1.10. Volumen de agua necesaria para preparar la suspensión (volumen solvente).....	37
5.1.11. Cálculo de la fracción masa en la lechada (s).....	37
5.1.12. Cálculo de la concentración inicial de la suspensión:.....	38
5.1.13. Cálculo de fracción masa promedio en la torta ( $S_C$ ).....	38
5.1.14. Cálculo de la porosidad promedio de la torta. ....	39
5.1.15. Cálculo del volumen de la torta filtrada.....	39
5.1.16. Cálculo del espesor de la torta (e).....	40
5.1.17. Calculo de la resistencia específica de la torta. ....	41
5.1.18. Cálculo de la variación del volumen con respecto al tiempo de filtración .....	43
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>45</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>49</b>

## RESUMEN

Las operaciones de filtración son aquellas en las cuales se realiza la separación de mezcla en suspensiones de sólidos y líquidos de distintas sustancias tratándolas con un solvente en el cual sea parcialmente soluble el sólido. Al menos uno de los componentes de la suspensión debe ser inmisible (insoluble), con el solvente del tratamiento, de modo que formen cuando menos dos fases sobre el intervalo completo de las condiciones de funcionamiento utilizadas. Para que una separación por filtración se realice, uno o más de los componentes sólidos no deben ser disueltos por el solvente, a partir de la mezcla, con preferencia a los otros.

El sistema de operación de este equipo, está basado en un proceso continuo y su técnica de trabajo está fundamentado por los principios de Transferencia de Masa. Pudiendo utilizarse para la filtración mezclas o suspensiones fácilmente separables. El equipo será utilizado para la separación de carbonato de calcio de una suspensión, el componente valioso puede ser el sólido o el líquido separado.

La determinación experimental de la Resistencia Específica de la Torta de una suspensión de cinco litros de óxido de calcio al 3.5% se ha realizado dando los siguientes resultados, la resistencia específica fue de  $\alpha = 5.5 \cdot 10^8$  cm/g, la resistencia específica del medio filtrante fue de  $R_m = 2.26 \cdot 10^8$  cm/g, por lo tanto, la relación del medio filtrante y el coeficiente de resistencia específica dio un valor  $R_m/\alpha = 0.41$ , indicando que la mayor resistencia se presenta en la resistencia específica de la torta como teóricamente se describe.

El equipo es también un aporte técnico para el desenvolvimiento académico en operaciones y procesos de transferencia de masa, dinámica de fluidos y sistemas de instalación de equipos en planta.

**Palabras Claves:** Determinación, resistencia específica, suspensión

## INTRODUCCION

La filtración es la separación de partículas sólidas a partir de un fluido haciendo pasar el fluido a través de un medio filtrante sobre el que se depositan los sólidos, las filtraciones industriales van desde un sencillo colado hasta operaciones altamente complejas, el fluido puede ser un líquido o gas, la corriente procedente de un filtro puede ser fluido, los sólidos o ambos al mismo tiempo en algunos casos pueden carecer de valor ambas corrientes como es el caso de la separación de sólidos residuales de un filtrado residual antes de sus vertido en la filtración industrial, el contenido de sólidos en la alimentación puede oscilar de trazas hasta un porcentaje muy elevado, con frecuencia la alimentación se modifica de alguna forma mediante un pre tratamiento a fin de aumentar la velocidad de filtración, este puede ocurrir mediante la cristalización, calentamiento adición coadyuvantes de filtración tal como la celulosa o las tierras diatomeas.

El fluido circula a través del medio filtrante en virtud de una diferencia de presión a través del medio filtrante, de esta manera los filtros se clasifican atendiendo a este aspecto: en los que operan con una sobre presión aguas arriba del medio filtrante y aquellas que presentan vacío aguas abajo del medio filtrante, presiones superiores a la atmosférica pueden generarse por acción de gravedad, actuando sobre una columna de líquido por medio de una bomba.

La mayoría de los filtros industriales son filtros de presión o de vacío, pueden ser continuos o intermitentes dependiendo de que la descarga de los sólidos se realice de una manera continua o intermitente; durante una buena parte del ciclo de operación de un filtro discontinuo el flujo de fluido a través del mismo puede ser continuo, la descarga de los sólidos y del fluido se realizan en forma continua mientras el equipo se encuentre en operación.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una parte importante de las operaciones unitarias en Ingeniería Química está relacionada con el problema de separación de líquidos con sólidos en suspensión, mediante métodos que no implique necesariamente reacciones químicas.

En el caso de suspensiones, las separaciones pueden ser totalmente mecánicas, como la filtración, la clasificación por tamaño de partículas, etc. Si las operaciones cambian la composición de las sustancias, entonces se conocen como operaciones de transferencia de masa.

La teoría de filtración es valiosa para interpretar análisis de laboratorios, buscar condiciones óptimas de filtración y predecir los efectos de los cambios en las condiciones operacionales. El empleo de esta teoría está limitado por el hecho de que las características de filtración se deben determinar siempre en la lechada real de que se trate, puesto que los datos obtenidos con una lechada no son aplicables a otra. Al comparar la filtración a nivel industrial ésta difiere de la del laboratorio en el volumen de material manejado y en la necesidad de manejarlo a bajo costo. Para obtener un gasto razonable con un filtro de tamaño moderado, se puede incrementar la caída de presión del flujo o disminuir la resistencia del mismo. Para reducir la resistencia al flujo el área de filtrado se hace tan grande como sea posible, sin aumentar el tamaño total del equipo o aparato de filtración. La selección del equipo de filtrado depende en gran medida de la economía.

Al aplicar la teoría de filtración a la interpretación de datos, las ecuaciones obtenidas son útiles para predecir los efectos de un cambio en cualquier variable, si se determinan las constantes a partir de datos tomados de la lechada en cuestión.

### **1.1. Formulación del problema**

¿Cuál es la resistencia específica de la torta de una suspensión de 5 litros de óxido de calcio al 3.5%?

### **1.2. Específicos**

- ¿Cuál es la suspensión adecuada para el equipo a presión constante?
- ¿Es posible obtener un líquido clarificado, limpio de sólidos o bien el producto sólido lo más seco posible, es decir con la menor cantidad de líquido que se pueda conseguir?
- ¿Es posible la complementación del conocimiento teórico con la práctica respecto de las operaciones que se realizan en transferencia de masa, simulando estas mismas en un modelo de laboratorio?

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Determinar la resistencia específica de la torta de una suspensión de 5 litros de óxido de calcio al 3.5%.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar la suspensión adecuada para el equipo a presión constante.
- Obtener un líquido clarificado, limpio de sólidos o bien el producto sólido lo más seco posible, es decir con la menor cantidad de líquido que se pueda conseguir.
- Complementar el conocimiento teórico con la práctica respecto de las operaciones que se realizan en transferencia de masa, simulando estas mismas en un modelo de laboratorio.

### **III. JUSTIFICACION**

El presente estudio está justificado por la necesidad de evaluar los parámetros de control durante la operación de filtrado en el laboratorio de operaciones unitarias de la facultad de Ingeniería Química, motivo por el cual se hay efectuado este trabajo.

#### **3.1. Aspecto tecnológico**

La filtración se ha desarrollado como un arte práctico más que como ciencia, pero la teoría de filtración recibe cada día más atención en la industria. Aunque se utilice muy raras veces en el diseño o proyecto de un filtro para una operación dada, la teoría de la filtración es útil para interpretar los ensayos de laboratorio, para averiguar las condiciones óptimas para llevarla a cabo y para predecir los efectos de las variaciones en las condiciones de funcionamiento.

#### **3.2. Aspecto social**

Para darse cuenta de la importancia que tiene la filtración industrial bastará citar algunas industrias en las que desempeña un factor importante: fabricación de pulpa y papel, metalurgia, refinación del petróleo, fabricación de productos químicos, fabricación de azúcar de remolacha y de caña, refinación del azúcar, tratamiento de las aguas de saneamiento, fabricación de cemento, etc.

#### **3.3. Ubicación del estudio**

El presente estudio se realizó en:

Departamento : Puno

Provincia : Puno

Distrito : Puno

Institución : Universidad Nacional del Altiplano

Lugar : Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería  
Química

#### **IV. FUNDAMENTO TEORICO**

##### **4.1. Filtración**

Las separaciones mecánicas se agrupan en cuatro categorías diferentes:

- Sedimentación
- Centrifugación
- Filtración
- Tamizado.

La forma de separación depende de la naturaleza de la partícula que vaya a ser separada y de las fuerzas que actúan sobre ella para separarlas. Las características de las partículas más importantes a tener en cuenta son el tamaño, la forma y la densidad, y en el caso de fluidos, la viscosidad y la densidad. El comportamiento de los diferentes componentes a las fuerzas establece el movimiento relativo entre el fluido y las partículas, y entre las partículas de diferente naturaleza. Debido a estos movimientos relativos, las partículas y el fluido se acumulan en distintas regiones y pueden separarse y recogerse, por ejemplo, en la torta y en el tanque de filtrado de un filtro prensa.

La teoría de filtración es valiosa para interpretar análisis de laboratorios, buscar condiciones óptimas de filtración y predecir los efectos de los cambios en las condiciones operacionales. El empleo de esta teoría está limitado por el hecho de que las características de filtración se deben determinar siempre en la lechada real de que se trate, puesto que los datos obtenidos con una lechada no son aplicables a otra. Al comparar la filtración a nivel industrial ésta difiere de la del laboratorio en el volumen de material manejado y en la necesidad de manejarlo a bajo costo. Para obtener un gasto

razonable con un filtro de tamaño moderado, se puede incrementar la caída de presión del flujo o disminuir la resistencia del mismo. Para reducir la resistencia al flujo el área de filtrado se hace tan grande como sea posible, sin aumentar el tamaño total del equipo o aparato de filtración. La selección del equipo de filtrado depende en gran medida de la economía.

Al aplicar la teoría de filtración a la interpretación de datos, las ecuaciones obtenidas son útiles para predecir los efectos de un cambio en cualquier variable, si se determinan las constantes a partir de datos tomados de la lechada en cuestión.

#### **4.2. Proceso de filtración**

La filtración es la separación de una mezcla de sólidos y fluidos que incluye el paso de la mayor parte del fluido a través de un medio poroso, que retiene la mayor parte de las partículas sólidas contenidas en la mezcla. El medio filtrante es la barrera que permite que pase el líquido, mientras retiene la mayor parte de los sólidos, los cuáles se acumulan en una capa sobre la superficie o filtro (torta de filtración), por lo que el fluido pasará a través del lecho de sólidos y la membrana de retención.

El sistema de filtración va desde un simple colado hasta separaciones altamente complejas. El fluido puede ser un líquido o un gas; las partículas sólidas pueden ser gruesas o finas, rígidas o plásticas, redondas o alargadas, individuales separadas o agregados. La suspensión de alimentación puede llevar una fracción elevada o muy baja de sólidos.

En algunos casos, la separación de las fases debe ser prácticamente completa; en otros se desea una separación parcial, por lo que se han desarrollado numerosos filtros para las diferentes situaciones.

Termodinámicamente, un filtro es un sistema de flujo. Por medio de una diferencia de presión aplicada entre la entrada de la suspensión y la salida del filtrado, la

suspensión circula a través del aparato, en el cual se depositan los sólidos presentes en el flujo, formando un lecho de partículas, por el que debe seguir circulando la suspensión a filtrar. El filtrado pasa a través de tres clases de resistencia en serie:

1. Las resistencias de los canales que llevan la suspensión hasta la cara anterior de la torta, y el filtrado desde que sale del medio filtrante.
2. La resistencia correspondiente a la torta.
3. La resistencia correspondiente al medio filtrante.

Con respecto a la distribución de la caída global de presión, se observa que por ser éste un flujo en serie, la diferencia de presión total en el filtro puede igualarse a la suma de las diferencias de presión individuales. En un filtro bien diseñado las resistencias de las conexiones de entrada y salida son pequeñas y pueden despreciarse en comparación con la resistencia de la torta y del medio filtrante. Al incrustarse las primeras partículas en las mallas del medio filtrante, se produce una resistencia adicional que afecta al flujo posterior.

La resistencia total que se establece sobre el medio, incluyendo la de las partículas incrustadas, se llama resistencia del medio filtrante y es importante durante los primeros momentos de la filtración. La resistencia que ofrecen los sólidos, y que no se debe al medio filtrante, se llama resistencia de torta. La resistencia de la torta es cero al iniciar la filtración, a causa de la deposición continua de sólidos sobre el medio, esta resistencia aumenta continuamente con el tiempo de filtración.

La caída total de presión del filtro, es equivalente a la suma de las presiones generadas por el filtro, la torta y el medio:

Al despreciar las resistencias de las conducciones, la caída total de presión del filtro en cualquier momento, es igual a la suma de las diferencias de presiones sobre el medio y la torta:

Por medio de un balance de masa se obtiene la ecuación fundamental de filtración:

$$\Delta P = -\frac{\mu \left( \frac{dV}{dt} \right)}{A} \left[ \frac{\alpha V C}{A} + R_m \right]$$

Donde:

( $\Delta P$ ): Caída de presión total (Pa)

V : Volumen del filtrado

t : Tiempo de filtración

A : Área de la superficie filtrante

$\alpha$  : Coeficiente de resistencia de la torta

$R_m$  : Coeficiente de resistencia del medio filtrante

$\mu$  : Viscosidad del filtrado

C : Concentración de sólidos en la suspensión

### 4.3. Filtración a presión constante

Para una suspensión determinada en un filtro dado, la variable principal que se puede controlar, es la caída de presión, en la que si la diferencia de ésta es constante, la velocidad de flujo es máxima al comienzo de la filtración y disminuye continuamente hasta el final; este método es llamado **filtración a presión constante**.

### 4.4. Compresibilidad de la torta

En las tortas obtenidas por filtración, la resistencia específica de ésta varía con la caída de presión producida a medida que ésta se deposita; esto se explica porque la torta

se va haciendo más densa a medida que la presión se hace mayor y dispone por ello de menos pasadizos con un tamaño menor para que pase el flujo. Este fenómeno se conoce como compresibilidad de la torta.

Tortas muy compresibles serán aquellas que derivan de sustancias blandas y floculentas, en contraste con sustancias duras y granulares, como el azúcar y los cristales de sal, que se ven muy poco afectados por la presión (la velocidad es independiente de la presión).

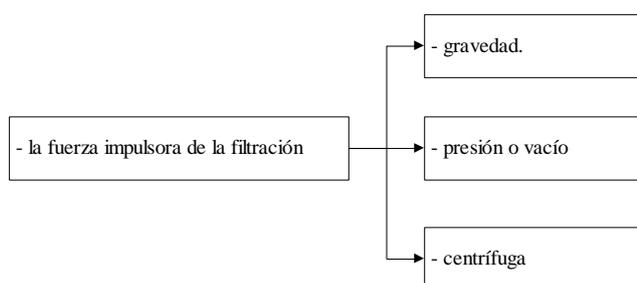
#### 4.5. Medios filtrantes

La resistencia del material del filtro y la de la capa preliminar de la torta, se combinan en una sola resistencia, que se conoce como **resistencia del filtro** y que se expresa en función de un espesor ficticio de torta de filtración; este espesor se multiplica por la resistencia específica de la torta, obteniéndose así el valor numérico de la resistencia del filtro.

El medio filtrante es la barrera que retiene los sólidos y deja pasar el líquido, puede ser un tamiz, una tela, un tejido de fibras, fieltro, membranas poliméricas o un lecho de sólidos. El líquido que atraviesa el medio filtrante se denomina filtrado.

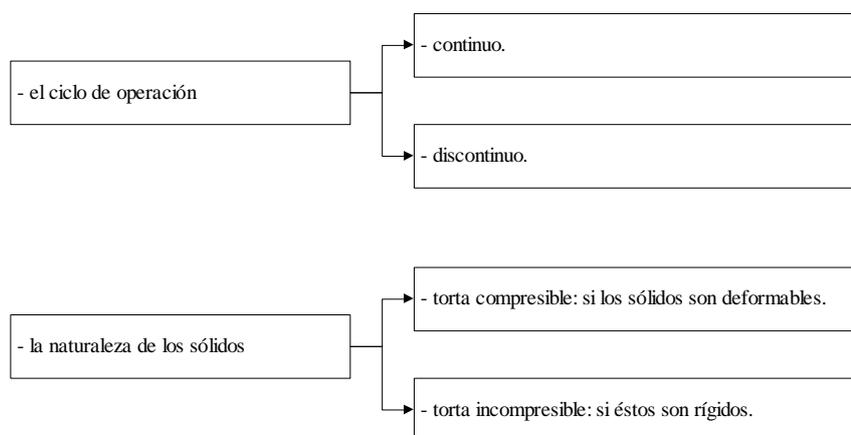
Distintos tipos de mallas para el medio filtrante

Un proceso de filtración presenta diversas características que se han de tener en cuenta para clasificar el proceso y seleccionar el equipo adecuado. Los distintos criterios de clasificación que se siguen son de acuerdo a:



#### 4.6. Mecanismo de filtración

- a) **Filtración por torta:** si la proporción de sólidos es muy elevada, las partículas quedan retenidas en la superficie del medio filtrante estableciéndose gradualmente una torta de espesor creciente sobre el medio filtrante, con lo que en realidad la filtración se va a realizar a través de la torta. Por tanto la mayor parte de partículas se recogen en la torta filtrante y posteriormente ésta se separa del medio.
- b) **Filtración en lecho profundo:** la proporción de partículas sólidas es muy pequeña y con frecuencia su diámetro es menor que el de los poros del medio filtrante por lo que las partículas penetran hasta una profundidad considerable antes de ser atrapadas.



#### 4.7. Tipos de filtros

##### 4.7.1. Filtros de arena

El objeto de la filtración de los equipos es de separar mecánicamente las partículas cuyos tamaños afectan la calidad del agua a ser usada. El grado de filtración de dicha agua va a depender del destino que esta valla a tener, es decir, el agua va

utilizarse para riego no puede tener el mismo tratamiento de filtrado que la que se destina al consumo, ni la que resulta del desecho de este. Por esto resulta necesario clasificar el filtrado, esencialmente, en dos mecanismos: tamizado mecánico y depósito sobre material filtrado.

**Tamizado Mecánico:** consiste en la colocación de una malla cuya función es la de retener las partículas cuyo tamaño les impida atravesar los huecos de dicha malla, constituyéndose estas mismas partículas en material filtrante.

**Deposito sobre material filtrante:** consiste ya no en malla si no en un lecho de partículas cuyos intersticios impiden, por diversos fenómenos, el paso de sólidos o coloides cuya talla o naturaleza provoquen la retención de los mismos, ya sea en la superficie o en el seno del lecho. Esta retención va a depender del tamaño de las partículas, teniendo en cuenta que mientras mas pequeñas sean las partículas los sólidos requeridos serán de un tamaño cada vez menor, resultando en un agua mas limpia.

El principal parámetro de diseño para estos filtros es el referente a la rata de filtrado, que consiste en el volumen máximo por unidad diaria y por unidad de tiempo para los cuales el filtrado es efectivo. En el caso de los filtros de arena este valor se ubica en los 4 GPM/pie<sup>2</sup>. , pudiendo aumentarse bajo ciertas ocasiones especiales.

#### **4.7.2. Filtros a presión**

Dentro de los filtros que se utilizan lecho de material filtrante se encuentran los llamados filtros a presión, en los cuales se pueden operar a altas velocidad debido a la utilización de diversos estratos de material filtrante de diferentes granulometrías o tamaños. El principio de estos filtros radica en las capas inferiores, de partículas más gruesas, sirven de soporte a las capas superiores cuyas partículas son más finas. Una vez más la calidad del filtrado va a depender de material más fina, que es la que se ubicaría en la parte superior del filtro.

La razón de colocar estratos de diferentes granulometrías a lo largo del filtro, no es otra si no la de impedir que las partículas más finas, que al fin y al cabo son las que determinan la calidad del filtrado, atraviesan el lecho filtrante y pueden llegar al fondo del filtro; de allí sería muy fácil que pasaran por entre el sistema de distribución, transponiendo el filtro y ocasionando, además de la pérdida de material filtrante, posibles daños a sistemas de bombeo y otros por la presencia de dicho material.

Otro factor que debe tomarse en cuenta es el sistema de distribución a emplearse en los filtros, mismos cuya variedad posibilitan su adaptación a una amplia gama de requerimientos. En este aspecto, el factor más importante es aquel que involucra el flujo uniforme a través del lecho filtrante, el cual se logra a medida en que la recolección de las aguas al final del filtro, se encuentre adaptada a la geometría del mismo, impidiendo de esta manera la formación de rutas preferenciales de líquidos que podrían saturar prematuramente el filtro, ocasionando lavados más frecuentes. Entre los sistemas de distribución mayormente conocidos, se encuentran:

**Fondo Invertido:** consiste en una tapa semiesférica ubicada en el fondo del filtro la cual se encuentra fijada al mismo ya sea por tornillos o simplemente soldada. En dicha se perforan orificios cuyo diámetro es ligeramente inferior al diámetro de las partículas más gruesas del lecho filtrante, de tal manera que estas no puedan pasar. De la misma manera, estas partículas gruesas impiden que las ligeramente más finas puedan atravesar este lecho y así sucesivamente hasta llegar las partículas más finas que son las que se encuentran en la parte superior del filtro.

**Distribuidores de PVC u tros materiales:** este tipo de distribución, aunque también es sencillo, requiere un poco más de elaboración, debido a que debe adaptarse a las dimensiones y geometría del filtro. Consiste en un arreglo de tuberías micro perforadas o semi cortadas transversalmente, de tal manera que los orificios o zanjas no

permitan el paso de material filtrante, que se encuentra en la parte inferior del filtro. Al igual que en el caso del fondo invertido, las partículas más gruesas impiden que las más finas atraviesen los lechos inferiores. Los arreglos más comunes son los llamados “espina de pescado”, por su semejanza por esta y el arreglo en cruz.

**Coladeras y Difusores:** Para la utilización de estos dispositivos, es necesario que los filtros posean un doble fondo con perforaciones en los cuales enroscan o se atornillan los difusores. Consiste generalmente en conos finamente ranurados por los cuales el material filtrante se ve imposibilitado a pasar. Su disposición en el doble fondo debe ser uniforme de manera de garantizar la eficacia del filtrado.

#### **4.7.3. Filtro de lecho mixto**

En algunos casos las condiciones del agua a tratar requieren un tratamiento ligeramente diferente en cuanto a la conformación de los lechos de material filtrante. Este es el caso de los filtros de lecho mixto, en los cuales se utiliza un material cuyas características principales son su menor peso específico aunado a un tamaño mayor que el de la partícula de la arena más fina. Este material, en el momento del filtrado, permanece en la parte superior del filtro, reteniendo las partículas más gruesas y facilitando una mejor distribución de las aguas a través del filtro. El material más utilizado en estos casos es la antracita, especie de carbón mineral más liviano que la grava, aunque también pueden emplearse materiales sintéticos. En el caso de la antracita barata de filtrado llega a ubicarse hasta en siete GPM/pie<sup>2</sup>.

#### **4.7.4. Filtro de carbón activado**

Los filtros de carbón activado son utilizados como complemento del filtro de arena en el tratamiento de aguas blancas, así como también en procesos de tratamientos de efluentes, debido a su gran capacidad de absorción de moléculas orgánicas de cadena

larga. El carbón activado resulta del tratamiento a que es sometida bien sea la antracita u otros carbones provenientes de fuente como madera, coco, coque de petróleo, turba, etc. Este tratamiento consiste en someter el carbón a altas temperaturas y presión, en ausencia de oxígeno, con el objeto de expandir sus poros, aumentando la superficie por unidad de peso.

La capacidad de adsorción del carbón está íntimamente ligada al tamaño de la partícula, debido a que a menor diámetro de partícula, el área disponible para la adsorción para una misma masa de material es mayor. Por otro lado, a menor diámetro de partícula, la caída de presión aumenta, además de que las posibilidades de que el carbón activado se pierda por las descargas son también mayores.

El primer efecto de los filtros de carbón activado sería netamente mecánico de retención de partículas de diámetros relativamente grandes, lo que generalmente se obvia debido a que estos filtros se colocan después de los filtros de arena, lo que implicaría que el agua se encuentra libre de sólidos en suspensión. A continuación toma importancia el efecto de absorción del carbón activado, el cual se encarga de eliminar, como se apuntó anteriormente, los malos olores y malos sabores del agua, mediante la eliminación de los compuestos orgánicos de cadena larga, tales como fenoles, disolventes, colorantes derivados aromáticos, etc. En cuanto al frente de agotamiento del carbón activado, este se comporta de manera lineal, saturándose primero las capas superiores y descendiendo hasta llegar al fondo. Es posible la regeneración del carbón activado mediante el calentamiento a altas presiones en ausencia de oxígeno para evitar la combustión, siendo este proceso excesivamente costoso, por lo que generalmente se reemplaza el carbón por una nueva carga.

Otra característica importante del carbón activado, es que actúa como catalizador en las reacciones de cloro libre y la cloramina con el agua, para producir ácido

clorhídrico y oxígeno en la primera y ácido clorhídrico u nitrógeno en la segunda. De esta manera se reduce el mínimo al contenido de cloro libre en el agua. Debido a esta característica, el carbón activado es una alfombra roja de bienvenida para los micro organismos que encuentran allí además de sustratos en el cual crecer, inmunidad a cualquier clorinación previa. Algunos autores afirman que estos micro organismos contribuyen a eliminar cierta cantidad de DQO residual, mientras que otros recomiendan esterilizar periódicamente estos filtros para evitar la proliferación de los mismos y la posible contaminación del efluente.

Al igual que los filtros de arena, los filtros de carbón poseen sistemas de distribución similares a estos, siendo que el carbón se sustenta de igual manera sobre el lecho de grava. Así mismo, también el sistema de retro lavado en estos filtros es el mismo, lo que permite la eliminación, si no de todo el material absorbido, de una parte de este.

#### **4.7.5. Filtro de prensa para el tratamiento de lodos**

La filtración es el método mas utilizado en el tratamiento de lodos producidos en el tratamiento de las aguas residuales. Puede consistir en el drenaje en lechos de arena o puede ser mecánico por medios de aspiración o en condiciones de alta presión que requieren de procedimientos y equipos mas sofisticados.

Los filtros prensa funcionan mediante la aplicación de altas condiciones de presión (desde 5 a 15 bares o mas).

#### **4.7.6. Filtros prensa de placas**

La técnica de prensado es la más extendida a pesar de la operación intermitente y altos costes de inversión.

##### Descripción

Un filtro se compone de una serie de chapas verticales, yuxtapuestas y acopladas. Estas chapas prensadas entre ellas cuenta con un sistema hidráulico-neumático que puede ser automático, semiautomático. La presión aplicada a las zonas unidad de cada filtro debe de soportar la presión interna de la cámara que se forma debido a la inyección mediante bomba del lodo al sistema.

Esta disposición de placas verticales forman cámaras de filtración estanca a la inmersión que permiten la fácil mecanización de la descarga de las pastas. Membranas filtrantes finamente y fijamente malladas se aplican en las dos grandes superficies crecientes en estas placas.

A través de orificios se alimenta el sistema de lodo para ser prensado en la cámara de filtración. Están generalmente colocados en el centro de estas placas permitiendo una distribución adecuada del flujo, presión adecuada y mejor drenaje del lodo dentro de la cámara. Lodos sólidos se acumulan gradualmente en la cámara de filtración hasta que se genera una pasta compacta final. El filtrado se colecta en la parte de atrás del soporte de filtración mediante ductos internos.

### **Ciclos de filtración**

Los filtros de prensa son sistemas de deshidratación intermitente. Cada operación de prensado supone los siguientes pasos:

1- Cerramiento de la prensa: cuando el filtro esta totalmente vacío, la cabeza movable que es activado por el sistema hidráulico-neumático cierra las placas. La presión de cerramiento es autorregulada mediante la filtración.

2- Rellenado: Durante esta fase corta la cámara se llena con lodos para su filtración. El tiempo de relleno depende del flujo de la bomba de alimentación. Para lodo con gran capacidad de filtración es mejor rellenar el filtro rápidamente para evitar la formación de una pasta en la cámara primaria antes de que se haya relleno del todo.

3- Filtración: Una vez rellena la cámara, la llegada de manera continua de lodo a tratar para ser desaguado provoca un aumento de la presión debido a la formación de una capa espesa de lodo en las membranas. Esta fase de filtración puede reducirse de manera manual, mediante un temporizador o un indicador del flujo que activa una alarma de parada cuando se alcanza el final de la capacidad de filtración. Cuando se ha parado la bomba de filtración, los circuitos de filtración y ductos centrales, que están todavía rellenos de lodo se les aplica aire comprimido para su purgado.

4. Apertura del filtro: La cabeza movable se retira para desarmar la primera cámara de filtración. La pasta cae por su propio peso. Un sistema mecanizado tira de las placas una por unas. La velocidad en la separación de las placas puede ajustarse teniendo en cuenta la textura de la pasta.

5- Limpieza: La limpieza de las membranas puede llevarse a cabo entre 15-30 operaciones del proceso. Para unidades largas o medias esto tienen lugar en prensados usando spray de agua a altas presiones (80-100 bar). La limpieza esta sincronizada con la separación de las placas.

### **Capacidad de filtración**

La capacidad de producción de un filtro de prensa es de entre 1.5 y 10 kg de sólidos por m<sup>2</sup> de superficie de filtración. Para cada modelo de filtro de prensa el volumen de la cámara y la superficie de filtración depende del número de placas del filtro.

En términos prácticos el tiempo de prensado es menor de cuatro horas.

La filtración depende de:

- ✓ espesamiento de la pasta

- ✓ concentración de lodo
- ✓ resistencia específica
- ✓ coeficiente de compresibilidad

Una de las ventajas de los filtros prensa es que pueden aceptar lodo con distinta capacidad de filtración. Es recomendable espesar el lodo antes de la operación en el filtro de prensado. Aunque el lodo presenta gran capacidad de filtración permite capacidad de producciones mayores, los filtros de prensa aceptan igualmente lodo con condiciones poco precisas para su filtrado.

### **Funcionamiento**

El filtro prensa es adecuado para los siguientes tipos de lodos:

Lodo orgánico hidrófilo: acondicionamiento inorgánico es recomendado para la conseguir una pasta satisfactoria que no se adhiera a las membranas del filtro.

Lodo inorgánico hidrófilo: el filtro prensa generalmente requiere la adición de arcilla únicamente.

Lodo inorgánico hidrofóbico: es muy denso e ideal para los filtros de prensa. Es desaguado sin necesidad de acondicionamiento preliminar.

Lodo aceitoso: el filtro prensa se puede utilizar para el tratamiento de lodo que contiene aceites ligeros, la presencia de grasas puede permitir una operación más suave del filtro aunque las membranas deben desengrasarse a intervalos frecuentes.

Lenntech le ofrece filtros de prensa eficientes y eficaces que están contruidos firmemente para asegurar una fiabilidad máxima de operación, dando lugar a los mejores resultados de operación. El rango de filtros de prensa con placas de tamaños

entre 500x500 mm con movimiento de placas manuales y hasta 1200x1200 con placas de movimiento automático.

#### **4.8. Operaciones de los filtros**

Como puede deducirse a partir de las operaciones anteriores, la operatividad del filtro depende de la cantidad del material acumulado dentro del mismo, siendo que a mayor volumen de sólidos retenidos, mayor es la caída de presión dentro del filtro, puesto que los intersticios entre las partículas disminuyen sus tamaños y por ende la velocidad a través de los mismo aumenta. Este fenómeno puede ocasionar que los sólidos a retener vayan penetrando las capas inferiores del filtro, hasta el punto en que las impurezas puedan llegar a traspones el mismo. Es por esta razón que se hace necesario una limpieza periódica y efectiva de estos filtros, para lo cual lo más usual es el retro lavado. El retro lavado consiste en hacer circular agua, preferiblemente ya filtrada, en sentido contrario al de la operación normal del filtro y aun caudal que no debe ser inferior al doble del caudal normal de operación. En este proceso, los sólidos depositados sobre el material filtrante son expulsados por la parte superior del filtro, que mediante a un juego de válvulas van a parar a un desagüe. Este retro lavado, dependiendo del tamaño del filtro y del caudal de operación, no debe exceder los 2 min.; además debe cuidarse el hecho de que se pierda material filtrante durante este proceso.

#### **4.9. Componentes de un filtro**

- Llaves de cierre rápido para filtración y retro lavado
- Boca de visita superior
- Manómetro de Presión
- Válvula de seguridad (relieve de aire)

- Boca de vista inferior, para descargar el material filtrante.
- Vidrio de observación de lavado (visor)

NOTA: El tiempo de retro lavado depende de la condición particular del agua. Se recomienda no excederse de un tiempo máximo de 5 minutos. Para introducir la carga o lecho filtrante dentro del cilindro, este debe estar completamente llenos de agua, para evitar que las piedras de dicho lecho remueva la pintura epoxica (protección interna contra la corrosión).

#### 4.10. Funcionamiento

El funcionamiento de todo filtro se basa en la existencia de una diferencia de presión que obliga a una suspensión a atravesar el medio filtrante. En la superficie del medio filtrante se van a depositar los sólidos presentes formando con su acumulación una torta por la que debe seguir circulando la suspensión a filtrar.

En las centrífugas la fuerza impulsora se aporta como energía cinética. El sólido se ve lanzado hacia la periferia, que se encuentra perforada, en la que se va a depositar comprimiéndose hasta formar una torta. Estos equipos se emplean igualmente para el lavado o el escurrido de sólidos.

Los factores principales que afectan a la filtrabilidad son:

- la naturaleza de la suspensión
- la fuerza impulsora aplicada
- la resistencia de la torta a la filtración
- la temperatura de la suspensión
- el tamaño de las partículas
- la concentración de sólidos en suspensión
- el efecto de la utilización de floculantes y de la agitación

- la naturaleza del medio filtrante

La secuencia de operaciones que tienen lugar en una filtración se conoce como ciclo de filtración y son las siguientes:

Etapa	Tiempo
1.- Formación de la precava	2- 5 min.
2.- Recirculación de las aguas madres de la precava	5- 15 min.
3.- Filtración con recirculación de aguas madres	5- 15 min.
4.- Filtración	20 min. - 10h
5.- Escurrido/ secado de la torta	5- 30 min.
6.- Lavado de la torta	2- 60 min.
7.- 2º escurrido / secado de la torta	5- 30 min.
8.- Descarga de la torta	2- 10 min.
9.- Lavado de la tela y preparación para un nuevo ciclo	2- 5 min.

Según el tipo de filtro y el modo de operación un ciclo podrá contener más o menos operaciones.

En ocasiones se requiere un pre tratamiento de la suspensión previo a la filtración. Si la suspensión es diluida y las partículas sólidas decantan fácilmente en el fluido, puede ser interesante efectuar una concentración preliminar en un espesador o añadir un coagulante.

Si los sólidos de la suspensión son muy finos o viscosos, forman una torta densa e impermeable y obstruyen en seguida el medio filtrante. Por consiguiente, es necesario añadir ciertos aditivos que aumenten la porosidad de la torta. Estos aditivos reciben el nombre de coadyuvantes de filtración. Se pueden usar como tales la perlita, la tierra de diatomeas o la celulosa de madera. Estos materiales forman lechos de porosidades muy elevadas, provocan la reducción de la resistencia específica de la torta a la vez que

aumentan su grosor, y hacen que ésta sea más compresible. Los coadyuvantes se suelen emplear cuando el filtrado es valioso y el residuo puede desecharse.

Otra posible utilización de éstos es como pre capa, depositando una pequeña cantidad del coadyuvante sobre el medio filtrante antes de comenzar la filtración.

Normalmente es necesario realizar un lavado de la torta para recuperar el líquido que haya quedado retenido, para ello se utiliza un disolvente miscible con el filtrado (usualmente agua). El lavado tiene lugar en dos etapas:

Primero las aguas madres son desplazadas de la torta filtrante por el líquido de lavado durante el período de lavado por desplazamiento. En esta etapa el efluente consiste básicamente en el filtrado que ha quedado sobre el filtro, sin producirse dilución apreciable. De esta manera puede separarse hasta el 90% del filtrado retenido.

Durante la segunda etapa, denominada lavado por difusión, el disolvente llega a los huecos menos accesibles del filtro y la concentración de filtrado en el efluente es muy baja. También puede darse durante esta etapa la disolución de alguno de los componentes retenido en la torta.

Hay que señalar además la existencia de filtros autolimpiantes.

El secado de la torta se suele efectuar por medio de aire caliente o aplicando vacío.

Por último señalar que existen dos modos de operación posibles:

- **a presión constante:** la presión de impulsión de la suspensión se mantiene constante durante todo el ciclo de filtración, con lo que el caudal de filtrado resulta variable y decreciente, ya que la resistencia de la torta aumenta con el espesor de la misma. El ciclo concluye cuando el caudal de filtrado está por debajo de un mínimo.

- **a volumen constante:** se intenta mantener fijo el volumen de filtrado, lo que se exige aplicar presiones crecientes para compensar los aumentos progresivos de resistencia de la torta. El ciclo se dará por terminado cuando se alcance la presión máxima que puede soportar el sistema.

El medio de filtración de cualquier filtro debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. Retener los sólidos que han de filtrarse con una rapidez después que se inicie la alimentación, dando un filtrado suficientemente claro.
2. No debe obstruirse, o sea velocidad baja de arrastre de sólidos dentro de sus intersticios.
3. Resistencia mínima al flujo de filtrado.
4. Ser químicamente resistente
5. Tener la suficiente consistencia física para resistir las condiciones del proceso (o sea suficiente resistencia para sostener la presión de filtración)
6. Resistencia aceptable del desgaste mecánico.
7. Permitir la descarga limpia y completa de la torta formada.
8. Capacidad para conformarse mecánicamente al tipo de filtro con el cuál se utilizará.

Ejemplos de medios filtrantes son: telas, tejidos de fibras, fieltro o fibras no tejidas, sólidos porosos o perforados, membranas poliméricas o sólidos particulados en forma de un lecho permeable.

En relación a la resistencia que ofrece el medio de filtración, se sabe que la diferencia de presión, y tal vez la velocidad de flujo lo afecten; además un medio filtrante viejo y usado tiene una resistencia mucho mayor que uno nuevo y limpio. Esta resistencia del medio es considerada constante porque generalmente sólo es importante

en los primeros instantes del proceso, de esta manera puede ser determinada a partir de datos experimentales.

La resistencia del material del filtro y la de la capa preliminar de la torta, se combinan en una sola resistencia, que se conoce como **resistencia del filtro** y que se expresa en función de un espesor ficticio de torta de filtración; este espesor se multiplica por la resistencia específica de la torta, obteniéndose así el valor numérico de la resistencia del filtro.

#### **4.11. Aparatos utilizados en filtración**

Los aparatos que se utilizan en filtración, constan básicamente de un soporte mecánico, conductos por los que entra y sale la dispersión y dispositivos para extraer la torta. La presión se puede proporcionar en la parte inicial del proceso, antes del filtro o bien se puede utilizar vacío después del filtro, o ambas a la vez, de forma que el fluido pase a través del sistema.

La mayoría de los filtros industriales operan a vacío o a presión, es decir, operan a presión superior a la atmosférica. También son continuos o discontinuos, dependiendo de que la descarga de los sólidos sea continua o intermitente. Durante gran parte del ciclo de operación de un filtro discontinuo el flujo de líquido a través del aparato es continuo, pero debe interrumpirse periódicamente para permitir la descarga de los sólidos acumulados. En un filtro continuo, tanto la descarga de los sólidos como del líquido es ininterrumpida cuando el aparato está en operación.

#### **4.12. Aplicaciones industriales**

##### **1.- Concentrados Metalúrgicos de flotación.**

Estos productos se obtienen por la flotación de un mineral molido hasta un grado de finura que varía entre 65 por ciento pasando por el tamiz de 200 mallas/pulg. Hasta, en algunos casos, 90 por ciento pasando por el tamiz de

350 mallas/pulg. Por lo general, más de 50 por ciento de las partículas que componen el material tratado son sulfuros metálicos tales como galena (PbS), blenda de cinc (ZnS) o escalerita, calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>)

En este caso, el objeto de la filtración es simplemente quitar el agua al concentrado como operación preparatoria a su fusión, y el contenido de humedad de la torta oscila entre 7.5 y 16 por ciento.

#### 2.- Lodos de agua de cloaca.

Los filtros a vacío son especialmente apropiados para la manipulación de estos materiales, ya que realizan la separación del agua con una presión relativamente baja: 533 mm de mercurio. Con esta presión (0.72 Kg/cm<sup>2</sup>), la deformación de las partículas comprensibles es mínima. Se obtiene un buen filtrado y las tortas se descargan automáticamente.

#### 3.- Productos alimenticios.

En el campo de la producción de artículos alimenticios, casi todos los productos importantes tienen que someterse a una filtración en el curso de su proceso. Son ejemplos importantes el almidón y el jarabe del maíz derivados de la conversión de este grano. Otros casos son la fabricación de cerveza y vinos, mientras, por otro lado, las industrias de los jugos de frutas, de bebidas sin alcohol y de vinagre representan otras muchas aplicaciones.

#### 4.- Pigmentos.

El litopón puede considerarse como, típico de grupo de pigmentos minerales precipitados químicamente. Filtra lentamente, está dividido en granos extraordinariamente fino y hay que filtrarlo en forma de una torta muy delgada

## V. CALCULOS DE INGENIERÍA

### 5.1. Partes y descripción del equipo

#### 5.1.1. Estructura metálica.

- a) Consta de una estructura de hierro negro de 80 cm. x 70 cm. Con una altura de 2,70 m.
- b) Esta estructura cuenta a su vez con divisiones, para instalar las partes del equipo, como el tanque de agitación, la columna de filtrado, la línea de vacío y la bomba de vacío.
- c) Cuenta con un tablero de control de 24 cm. X 30 cm.

#### 5.1.2. Materiales.

- a) El material del tanque de agitación es del tipo acero inoxidable de un espesor de 0,16 cm.
- b) La columna de filtrado es del tipo acero inoxidable de un espesor 0,32 cm. Con un diámetro nominal de 8,64 cm. Con una altura de 17,5 cm.

#### 5.1.3. Capacidad.

- a) El tanque de agitación tiene una capacidad volumétrica de 17,20 litros.
- b) La columna de filtrado cuenta con una capacidad volumétrica de seis litros.
- c) La trampa de vacío cuenta con una capacidad volumétrica de 1 litro.

#### 5.1.4. Líneas de conexión y accesorios.

- a) La línea de vacío está constituida por boquillas y uniones universales de cobre.

- b) La conexión de la línea de vacío a la trampa de vacío está constituido por una tubería flexible de tipo superflex de 1,905 cm. De diámetro.
- c) El tanque de agitación cuenta con una válvula de 1,27 cm. de diámetro.
- d) La línea de vacío cuenta con una válvula de 1,27 cm. de diámetro.
- e) La columna de filtrado cuenta con una válvula de descarga en la parte inferior.

#### **5.1.5. Instrumentos.**

- a) La columna de filtrado cuenta con un medidor de nivel con escala de 0 hasta 94 cm.
- b) También se cuenta con un manómetro en la línea de vacío.

#### **5.1.6. Tablero de control.**

- Este tablero cuenta con dos switch, el de color rojo para el encendido de la bomba de vacío y el switch de color azul es para el encendido del agitador.

#### **5.1.7. Manual de operación del equipo**

**5.1.7.1. Instalación del equipo.-** Para la instalación del equipo de filtración a presión constante se sigue los siguientes pasos:

- a) Ubicar el área proporcional de trabajo para que opere el equipo.
- b) Instalar la línea de fluido eléctrico al tablero de control, revisando que dichas conexiones no tengan problemas o imprevistos durante la operación.

**5.1.7.2. Montaje del equipo.-** El montaje del equipo se realiza de la siguiente manera

- a. Del tanque de Agitación.

Colocar el tanque de agitación en la parte superior de la estructura metálica ajustada con dos abrazaderas metálicas empernadas a la estructura.

- b. De la columna de Filtración.

Una vez que la columna de filtración se encuentre limpia y seca, proceder a colocar las bridas anteponiendo al empaque.

Sujetar la columna de filtración con una abrazadera y empernar a la estructura metálica de manera que no se mueva.

c. De la línea de vacío.

Comprobar que las uniones estén bien ajustadas colocando teflón para evitar caídas de presión.

Colocar la válvula de control, el manómetro y la trampa de vacío, con adición de teflón en cada unión.

### 5.1.8. Instrucciones de operación

Primeramente, se establecen las condiciones de operación.

#### 5.1.8.1. Condiciones de operación.

**Soluto:**

% en peso de óxido de calcio	:	3,5%
Peso del soluto	:	175 g.
Peso molecular del óxido de calcio	:	56,1 g/mol-g
Densidad del óxido de calcio seco	:	3.35 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura de operación	:	15°C

**Solvente:**

Densidad del agua	:	0.998 g/ cm <sup>3</sup>
Viscosidad del agua	:	1.020 cp
Volumen total de la suspensión	:	5000 cm <sup>3</sup>

### 5.1.8.2. Procedimiento Experimental

Pesar la muestra problema (soluto 175 g) y realizar la mezcla del soluto y el solvente, esta mezcla debe de tener un volumen total de 5000 ml.

Colocar en el embudo Buchner el medio filtrante y colocar el embudo en la parte superior de la columna de filtrado a presión, para que no se produzca caídas de presión.

Cargar la suspensión al tanque de agitación, comprobando antes que la válvula de descarga del tanque este cerrada.

Una vez realizado estos pasos se procede al encendido del switch del agitador para que la suspensión sea homogénea.

Luego encender el switch de la bomba de vacío para crear el vacío respectivo en la trampa de vacío y en la columna de filtrado.

Entonces procedemos a abrir la válvula de descarga del agitador regulando la cantidad de suspensión que emane del tanque.

Luego se procede a tomar los datos necesarios, como son el tiempo de filtrado y la altura del medidor de nivel conforme vaya ascendiendo el líquido filtrado.

Una vez concluida la filtración apagar el agitador y luego la bomba de vacío.

Entonces se procede a pesar y medir la torta que se forma en el embudo y medir el volumen de filtrado.

### 5.1.9. Volumen equivalente al peso inicial (volumen del soluto)

$$V_{CaO} = \frac{W_c}{\rho_s} \dots\dots\dots(1)$$

$$V_{CaO} = \frac{175 \text{ g}}{3.35 \text{ g/cm}^3}$$

$$V_{CaO} = 52.24 \text{ cm}^3$$

Donde :

$V_{CaO}$  : Volumen equivalente del óxido de calcio.

$W_c$  : Masa total de sólido 175g.

$\rho_s$  : Densidad del sólido 3,35g/ cm<sup>3</sup>

**5.1.10. Volumen de agua necesaria para preparar la suspensión (volumen solvente).**

$$V_T = V_{(agua)} + V_{(CaO)} \dots\dots\dots(2)$$

$$V_{(agua)} = 5000 \text{ cm}^3 - 52.24 \text{ cm}^3$$

$$V_{(agua)} = 4947.76 \text{ cm}^3$$

Donde :

$V_T$  : Volumen total de la suspensión preparada.

**5.1.11. Cálculo de la fracción masa en la lechada (s)**

CaO =	175.00 g	.....	0.0342	3.42 %
Agua =	<u>4947.76 g</u>	.....	<u>0.9658</u>	<u>96.58 %</u>
	5122.76		1.0000	100.00 %

La fracción masa de sólidos en la lechada (s) = 0.0342

**5.1.12. Cálculo de la concentración inicial de la suspensión:**

$$C_o = \frac{W_c}{V_{(agua)}} \dots\dots\dots(3)$$

$$C_o = \frac{175 \text{ g}}{4947.76 \text{ cm}^3}$$

$$C_o = 0.03537 \text{ g/cm}^3$$

**5.1.13. Cálculo de fracción masa promedio en la torta (Sc)**

El balance total de materia de la filtración, con base al área unitaria es:

Masa de la lechada = masa de la torta + masa del filtrado

$$\frac{W_c}{S} = \frac{W_c}{S_c} + \rho * V \dots\dots\dots (4)$$

Donde :

- $\rho$  : densidad del filtrado 1.974 g/cm<sup>3</sup>
- $W_c$  : masa total de sólido en la torta seca 340.93 g.
- $S$  : fracción masa 0.0342
- $V$  : Volumen de líquido filtrado 4725 cm<sup>3</sup>.

Despejando  $S_c$  :

$$S_c = \frac{W_c * S}{W_c - (\rho * V * S)}$$

$$S_c = \frac{340.93 \text{ g} * 0.0342}{340.93 \text{ g} - (1.974 \text{ g/cm}^3 * 4725 \text{ cm}^3 * 0.0342)}$$

$$S_c = 0.5314$$

**5.1.14. Cálculo de la porosidad promedio de la torta.**

$$\epsilon_{prom} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\rho}{\rho_c}\right) \frac{S_c}{1 - S_c}} \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

$\rho$  : Densidad del solvente

$\rho_c$  : Densidad del sólido seco

$\epsilon_{prom}$  : porosidad promedio de la torta

$$\epsilon_{prom} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{3.35}\right) \frac{0.5314}{1 - 0.5314}} \quad \epsilon_{prom} = 0.7471$$

**5.1.15. Cálculo del volumen de la torta filtrada.**

$$L = C_L * V \dots\dots\dots (6)$$

$$C_L = \frac{C_o}{\rho_s (1 - \epsilon_{prom})}$$

Donde :

L : Volumen de torta filtrada

V : Volumen de líquido filtrado

$C_L$  : razón del espesor de la torta L respecto al volumen del filtrado

$\rho_c$  : densidad del soluto

$C_o$  : concentración inicial de la suspensión expresada en masa de soluto

Seco por unidad de volumen de solvente

$$C_L = \frac{0.03537 \text{ g/cm}^3}{3.35 \text{ g/cm}^3(1-0.7471)}$$

$$C_L = 0.0417$$

$$L = (0.0417)(4725\text{cm}^3)$$

$$L = 197.26 \text{ cm}^3$$

#### 5.1.16. Cálculo del espesor de la torta (e).

$$L = \pi * r^2 * e \dots\dots\dots (7)$$

Donde :

L : Volumen de la torta filtrada.

r : radio del embudo Buchner.

e : espesor de la torta filtrada.

$$e = \frac{L}{\pi * r^2}$$

$$e = \frac{197.26 \text{ cm}^3}{\pi * (9.9175 \text{ cm})^2}$$

$$e = 0.6384 \text{ cm}$$

### 5.1.17. Calculo de la resistencia específica de la torta.

La resistencia del medio filtrante que se opone al paso del líquido está constituida por dos etapas:

- 1) Resistencia debido a la torta sólida (óxido de calcio).
- 2) Resistencia debido al medio filtrante.

La resistencia efectiva de la superficie filtrante no es igual a la resistencia que se opone a la superficie limpia, debido a que durante la filtración sus poros se obstruyen parcialmente con partículas, por lo que su resistencia real debe medirse durante su experimento, con la suspensión la resistencia adicional opuesta por el medio filtrante se supone que es equivalente a la resistencia que opone una torta sólida ficticia de espesor ficticio ( $e$ ) de igual forma el volumen de líquido ficticio correspondiente es  $V_f$  y para recogerlo se requería también un  $t_f$ .

Las resistencias específicas de la torta ( $\alpha$ ) y del medio filtrante ( $R_m$ ) se calculan de acuerdo a las relaciones enunciadas por: (McCabe – Smith, Operaciones básicas de Ingeniería Química Pág. 929). Para una caída de presión determinada, es necesario disponer de datos experimentales de tiempo y volumen de filtrado, el tratamiento se facilita mediante la aplicación de un método de ajuste de curvas.

$$\frac{\Delta t}{\Delta V} = K_p \cdot V + B \dots\dots\dots (8)$$

$$K_p = \frac{c \cdot \alpha \cdot \mu}{A^2 \cdot (-\Delta P) \cdot g_c} \dots\dots\dots (9)$$

$$B = \frac{R_m \cdot \mu}{A \cdot (-\Delta P) \cdot g_c} \dots\dots\dots (10)$$

Donde :

- t : tiempo, segundos
- V : Volumen de filtrado, cm<sup>3</sup>
- c : masa de partícula depositada en el filtro, g/cm<sup>3</sup>
- Rm : resistencia del medio filtrante
- A : área del medio filtrante, cm<sup>2</sup>
- α : resistencia específica de la torta
- ΔP : caída de presión, g.f/cm<sup>2</sup>
- μ : viscosidad del filtrado g/cm\*s
- gc : constante dimensional de conversión, 980 g.cm/g.f\*s<sup>2</sup>

Despejando las ecuaciones (.9) y (.10) respectivamente se tiene el valor de la **Resistencia Específica de la Torta (α)** y de la resistencia específica del medio filtrante

(Rm):

$$\alpha = \frac{Kp \cdot A^2 \cdot (-\Delta P) \cdot g_c}{c \cdot \mu}$$

$$\alpha = \frac{3 \cdot 10^{-5} \text{ s/cm}^6 \cdot (308.997 \text{ cm}^2)^2 \cdot 421.45 \text{ g.f/cm}^2 \cdot 980 \text{ g.cm/g.f*s}^2}{0.0722 \text{ g/cm}^3 \cdot 0.0298 \text{ g/cm*s}}$$

$$\alpha = 5.5 \cdot 10^8 \text{ cm/g.}$$

$$R_m = \frac{5.3 \cdot 10^{-2} \text{ s/cm}^3 \cdot 308.997 \text{ cm}^2 \cdot 421.45 \text{ g.f/cm}^2 \cdot 980 \text{ g.cm/g.f} \cdot \text{s}^2}{0.0298 \text{ g/cm} \cdot \text{s}}$$

$$R_m = 2.26 \cdot 10^8 \text{ cm/g.}$$

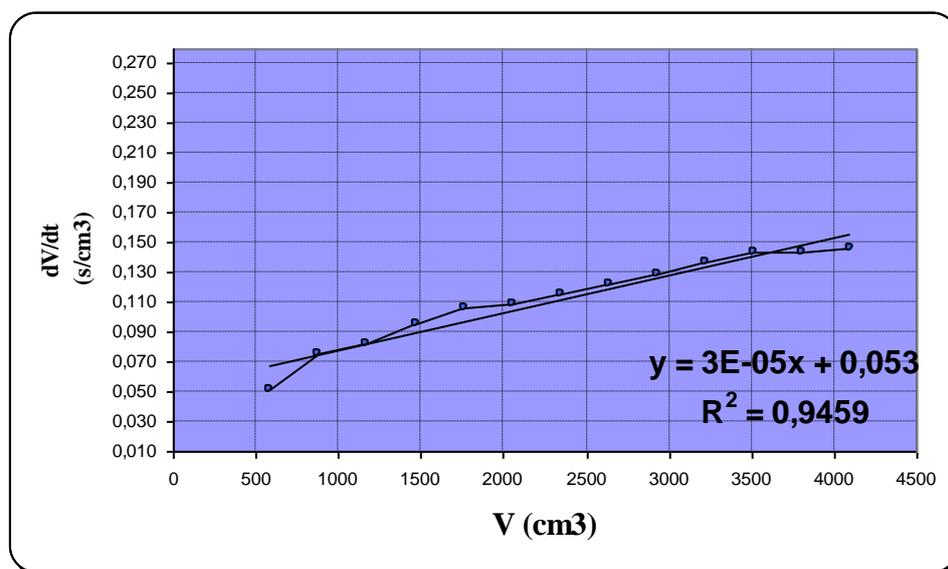
### 5.1.18. Cálculo de la variación del volumen con respecto al tiempo de filtración

**Tabla N° 1 Datos de Volumen y Tiempo de Filtración para Oxido de Calcio**

H (cm)	t (s)	V (cm <sup>3</sup> )	dt	dV	dV/dt
0	0	0			
5.0	108	293.15	108	293.15	0.368
10.0	123	586.30	15	293.15	0.051
15.0	145	879.44	22	293.15	0.075
20.0	169	1172.59	24	293.15	0.082
25.0	197	1465.74	28	293.15	0.096
30.0	228	1758.89	31	293.15	0.106
35.0	260	2052.04	32	293.15	0.109
40.0	294	2345.19	34	293.15	0.116
45.0	330	2638.33	36	293.15	0.123
50.0	368	2931.48	38	293.15	0.130
55.0	408	3224.63	40	293.15	0.136
60.0	450	3517.78	42	293.15	0.143
65.0	492	3810.93	42	293.15	0.143
70.0	535	4104.08	43	293.15	0.147
75.0	604	4397.22	69	293.15	0.235

Fuente: Datos experimentales (equipo de filtración a P cte.) FIQ - UNA

Grafico N° 01

Determinación de la curva de ajuste  $dV/dt$  vs.  $V$ 

Fuente : Elaboración propia.

Aplicando el ajuste de curvas por regresión y correlación lineal de mínimos cuadrados al par de valores  $\Delta t/\Delta V$ ,  $V$ . Se tiene :

$$Y = K_p X + B$$

$$Y = 3 \cdot 10^{-5} X + 0.053$$

$$K_p = 3 \cdot 10^{-5}$$

$$B = 0.053$$

## CONCLUSIONES

- La determinación experimental de la Resistencia Específica de la Torta de una suspensión de cinco litros de óxido de calcio al 3.5% se ha realizado dando los siguientes resultados:
- La resistencia específica fue de  $\alpha = 5.5 \cdot 10^8$  cm/g y la resistencia específica del medio filtrante fue de  $R_m = 2.26 \cdot 10^8$  cm/g
- La relación del medio filtrante y el coeficiente de resistencia específica dio un valor  $R_m/\alpha = 0.41$ , indicando que la mayor resistencia se presenta en la resistencia específica de la torta como teóricamente se describe.
- Las ecuaciones empíricas utilizadas con los datos experimentales guardan una buena relación, principalmente porque los datos tienen buena correlación (coeficiente de correlación igual a 0,95), por lo tanto se concluye que la suspensión de óxido de calcio es poco compresible, pudiendo emplearse perfectamente estas correlaciones empíricas.

## RECOMENDACIONES

- Establecer un espacio adecuado para la manipulación durante la práctica, limpieza y mantenimiento del equipo de filtración a presión constante.
- Adecuar un dispositivo para contrarrestar la oclusión que se presenta en la salida del tanque de agitación.
- Rediseñar un cálculo para incrementar la potencia de la bomba, para la realización de pruebas sucesivas y así evitar recalentamiento en la bomba de vacío.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

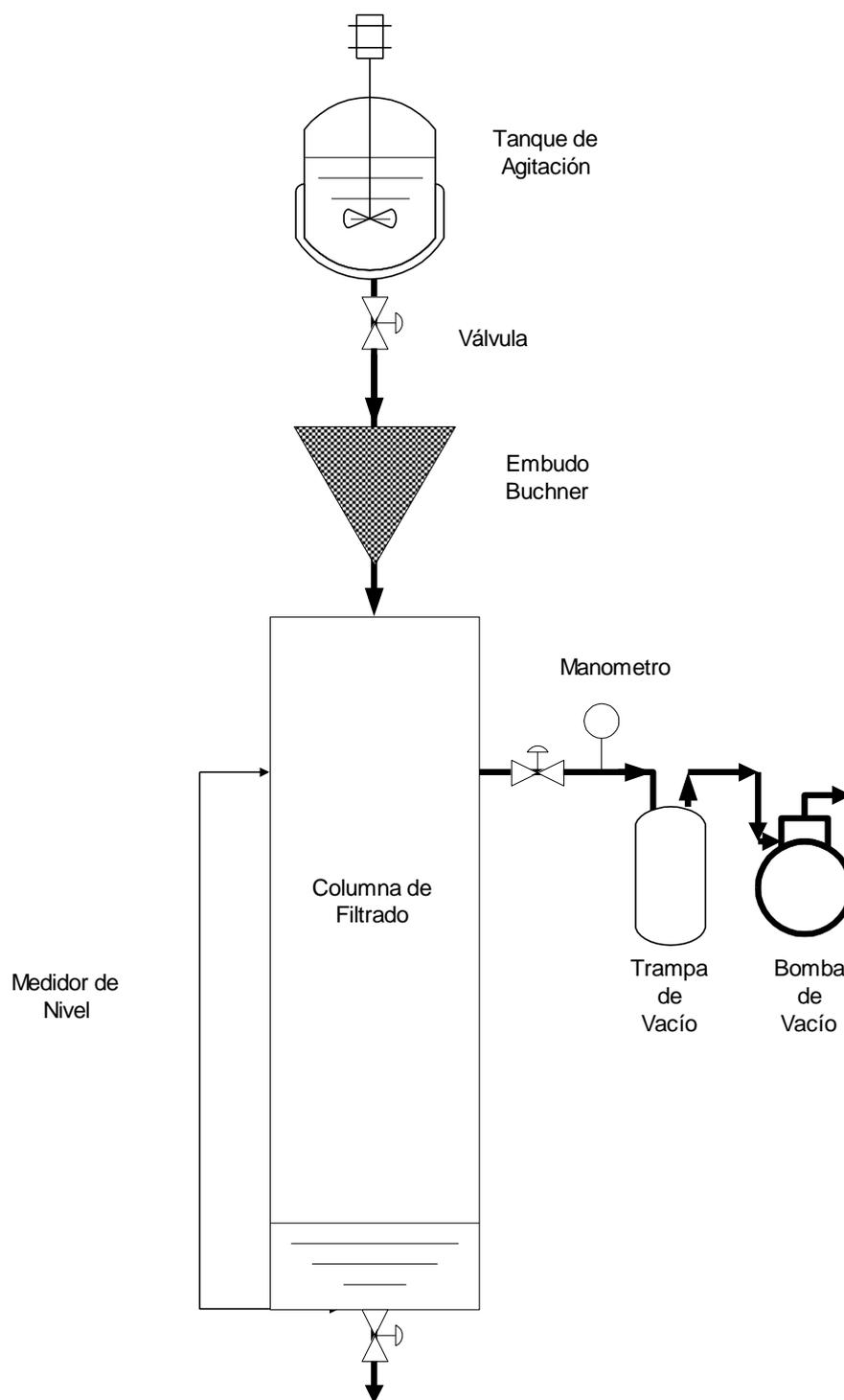
- ANDREW L. SIMON. 1983, Hidráulica Básica, Edit. Limusa S.A. Grupo Noriega.
- CHOPEY N.P.-HICKS T.G. 1986, Manual de cálculos de Ingeniería Química, Editorial McGraw-Hill, primera Edición.
- CHRISTIE J. GEANKOPLIS. 1982, Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, Cia Editorial Continental, S.A. de C.V., México.
- HOLLAND F. A. Flujo de Fluidos para Ing. Químicos.
- KENNETH McNAUGHTON. 1995, Bombas, Selección, Uso y Mantenimiento, Editorial McGraw-Hill, México.
- KIRK OTHMER. 1961, Enciclopedia de Tecnología Química, Tomo III, UTEHA.
- LASHERAS-SANCHEZ. Condensado de Tecnología de los materiales Industriales, Editorial Cadel Spain.
- MAGDALANI. Manual de Aceros Inoxidables, Cia S.A., Argentina.
- McCABE W.L.-SMITH J. C. 1981, Operaciones Básicas de Ingeniería Química, tomo II, Editorial Reverte S.A., España, Primera Edición.
- OCÓN G.J.-TOJO B.G. 1982, Problemas de Ingeniería Química, Tomo II, Ediciones Aguilar S.A., Tercera Edición.
- PERRY H. J. 1980, Manual del Ingeniero Químico, tomo I . Editorial Hispano Americano, México tercera edición.
- RICHAR W. GREENE. 1992, Compresores Selección, Uso y Mantenimiento, McGraw-Hill/Interamericana de México.
- POPE EDWARD. 2000, Manual de Soluciones Rápidas en Ingeniería Mecánica.
- R.H. WARRING. 1977, Selección de Bombas Sistemas y Aplicaciones, Talleres Gráficos Iberoamericanos, S.A.

WALTER L. BADGER – JULIUS T. BANCHERO. 1970, Introducción a la Ingeniería Química, McGraw-Hill de México, S.A. de C.V.

VALIENTE A. 1995, Manual del Ingeniero Químico, Editorial Limusa, México.

VIAN-OCÓN. 1989, Elementos de Ingeniería Química, Editorial Aguilar S.A. Madrid, España.

ANEXOS



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA</b>			
01	<b>DIAGRAMA DE FLUJO DE UN EQUIPO DE FILTRACION A PRESION COSTANTE</b>	ESCALA: S/E	FECHA: 13/07/01