

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Diseño de un sistema de filtración eficiente para una solución
de hipoclorito de sodio en una empresa en Guatemala

Trabajo de investigación presentado por Cindy Paola Lemus Portillo para
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala
2008

Diseño de un sistema de filtración eficiente para una solución de hipoclorito de sodio en una empresa en Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Diseño de un sistema de filtración eficiente para una solución
de hipoclorito de sodio en una empresa en Guatemala

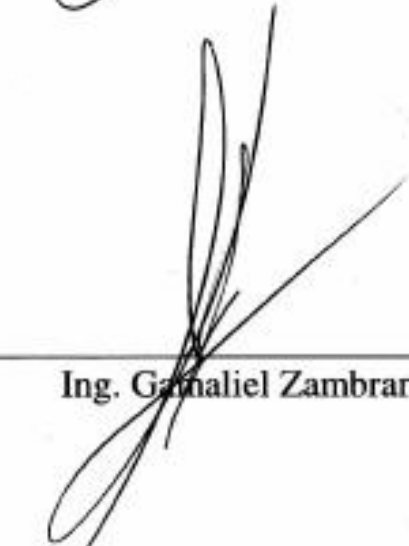
Trabajo de investigación presentado por Cindy Paola Lemus Portillo para
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala
2008

Vo. Bo.:

(f) 
Ing. Francisco Contreras

Tribunal:

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) 
Ing. Francisco Contreras

(f) 
Ing. Julio Paredes

Guatemala, 5 de Agosto de 2,008

PREFACIO

Este diseño surge con el propósito de reducir costos de filtración de hipoclorito de sodio al 5% p/p, para aumentar las ganancias netas de la compañía y para beneficio de los consumidores de la marca guatemalteca logrando mantener precios bajos en el mercado por más tiempo y brindarles siempre un producto de excelente calidad.

Al evaluar los costos de producción de nuestro producto observé que uno de los suministros en los que más se gasta es en el coadyuvante de filtración y es un producto que ni siquiera lo contiene el producto final sino que además genera costos adicionales para poder desecharlo. Entonces pensé que debía encontrar la forma de reducir los costos de filtración encontrando un sistema más limpio de filtración, más económico y que representara menor riesgo de seguridad, ya que, los filtros de discos son recipientes a presión. El primer paso fue realizar unas pruebas en la Universidad del Valle de Guatemala en los filtros de cartucho en serie del laboratorio de Operaciones Unitarias. Luego de verificar que los filtros de cartucho si clarificaban el producto dando como resultado un hipoclorito de sodio cristalino y de la calidad que nos caracteriza, entonces contacté a nuestro proveedor de filtros para poder realizar algunas pruebas de filtración con los filtros que ellos proveen.

Después de comprobar cuáles de los distintos micronajes clarificaba el producto hasta obtener un producto con 0% de turbidez, entonces según las especificaciones de diferencial de presión que resistían los filtros dispuse el arreglo necesario para filtrar 300,000 kg/día. Finalmente, obtuve los costos de operar con el nuevo diseño y los comparé contra el diseño actual. Con el análisis financiero, determiné que el diseño propuesto es más rentable, tanto en costos de equipo e instalación como en operación.

Aprovecho este espacio para agradecer a todas las personas que me ayudaron a realizar este trabajo de graduación: Primero a Dios, gracias por sus innumerables bendiciones en todos los aspectos de mi vida; a mis papás por ser mi ejemplo y mi pilar de soporte; a mis hermanos y mis abuelitos por brindarme su apoyo y cariño siempre; a Alejandro Méndez por su amistad, su ayuda incondicional y por los domingos en su casa durante todos los años de Universidad; a mis queridos compañeros de la planta, en especial al Ing. Francisco Contreras por su ayuda para la realización de mi tesis; y al ingeniero Gamaliel Zambrano, por su guía y apoyo para la finalización del proyecto y durante todo quinto año.

CONTENIDO

| | Página |
|-------------------------------|--------|
| PREFACIO | v |
| LISTA DE CUADROS | vi |
| LISTA DE GRÁFICAS | vii |
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| RESUMEN | ix |
| ABSTRACT | x |
| | |
| I. Introducción | 1 |
| II. Antecedentes | 2 |
| III. Justificación | 12 |
| IV. Objetivos | 13 |
| V. Problema a resolver | 14 |
| VI. Metodología | 15 |
| VII. Resultados | 16 |
| VIII. Discusión de resultados | 20 |
| IX. Conclusiones | 24 |
| X. Recomendaciones | 26 |
| XI. Bibliografía | 27 |
| XII. Apéndice | 28 |
| XIII. Glosario | 45 |

LISTADO DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|---|--------|
| 1. Especificaciones de los tanques de preparación y de producto terminado | 16 |
| 2. Cantidad de filtros de cartucho a utilizar | 16 |
| 3. Especificaciones de los filtros de cartucho | 16 |
| 4. Dimensiones de la bomba centrífuga necesaria para la filtración | 16 |
| 5. Cálculo de los ahorros de invertir en una batería de filtros de cartucho en vez de un filtro de discos con una inflación de 8% | 19 |
| 6. Cálculo financiero de rentabilidad de la inversión para un interés de 11.3% en una batería de filtros de cartucho | 19 |
| 7. Producción diaria actual y después de la inversión | 40 |
| 8. Tiempos efectivos de filtración | 40 |
| 9. Cantidad de filtros de cartucho en paralelo necesarios | 40 |
| 10. Número de Reynolds y factor de fricción para un tubo de 0.0508 m de diámetro | 40 |
| 11. Número de Reynolds y factor de fricción para un tubo de 0.0254 m de diámetro | 41 |
| 12. Fricción por tubería y accesorios del tramo 1 | 41 |
| 13. Fricción por tubería y accesorios del tramo 2 | 42 |
| 14. Fricción por tubería y accesorios del tramo 3 | 42 |
| 15. Fricción por tubería y accesorios del tramo 4 | 43 |
| 16. Gasto mensual en filtros de cartucho al mes durante el año 1 | 43 |
| 17. Cálculo financiero de los gastos de un filtro de discos para 5 años con una inflación del 8% | 44 |
| 18. Cálculo financiero de los gastos de una batería de filtros de cartucho para 5 años con una inflación del 8% | 44 |

LISTADO DE GRÁFICAS

| Gráfica | Página |
|---|--------|
| 1. Gráfica del factor de fricción para un número de Reynolds de 17,081 y un diámetro de tubo de 0.0508 m | 28 |
| 2. Gráfica del factor de fricción para un número de Reynolds de 4,270.4 y un diámetro de tubo de 0.0254 m | 29 |
| 3. Elección del tipo de bomba a utilizar | 30 |
| 4. Elección de la curva de bomba centrífuga a utilizar | 31 |
| 5. Curva específica de las bombas centrífugas A-8475 | 32 |

LISTADO DE FIGURAS

| Figura | Página |
|---|--------|
| 1. Esquema de un filtro de cartucho de polipropileno | 4 |
| 2. Diferentes tipos de carcazas de filtros de cartucho | 5 |
| 3. Esquema de las reacciones electroquímicas en el ánodo y cátodo | 10 |
| 4. Vista lateral de la línea de filtración | 17 |
| 5. Vista aérea de la línea de filtración | 18 |
| 6. Tanque de preparación por lotes con capacidad de 15 m ³ | 33 |
| 7. Expansión desde el tubo de 0.0508 m de diámetro hacia un tanque de 45 m ³ | 35 |
| 8. Batería de filtros de cartucho de 5 µm y 1 µm | 36 |
| 9. Tramo 1 del trayecto total desde el tanque de preparación hasta la bomba centrífuga | 41 |
| 10. Tramo 2 del trayecto total desde la descarga de la bomba centrífuga hasta la batería de filtros de cartucho | 41 |
| 11. Tramo 3 del trayecto total abarca toda la batería de filtros de cartucho | 42 |
| 12. Tramo 4 del trayecto total desde la salida de la batería de filtros de cartucho hasta el tanque de almacenaje | 43 |

RESUMEN

El objetivo de la investigación es diseñar una batería de medios filtrantes eficiente y económica para filtrar hipoclorito de sodio al 5% p/p con una capacidad de producción de 300,000 kg al día. Para ello, es necesario seleccionar y dimensionar el sistema de filtración adecuado, determinar la capacidad de la bomba necesaria para obtener un producto clarificado y finalmente, calcular los costos de inversión y mantenimiento de la unidad de filtración para evaluar su rentabilidad.

Al finalizar la investigación se obtuvo: 1. El micronaje adecuado de filtros de cartucho para la filtración y clarificación de hipoclorito de sodio al 5% p/p. 2. El dimensionamiento de los tanques de preparación por lotes y de almacenaje del cloro comercial. 3. El diseño de una batería de filtros de cartucho para la clarificación de hipoclorito de sodio al 5% p/p con una capacidad de producción de 300,000 kg al día. 4. El dimensionamiento de la bomba centrífuga necesaria para duplicar la capacidad de producción actual. 5. El análisis de la rentabilidad de cambiar el tipo de filtro utilizado actualmente, filtro de torta, por uno más eficiente y económico, filtros de cartucho.

ABSTRACT

The objective of this research is to design a filter medium battery that is efficient and economic for the filtration of sodium hypochlorite 5% w/w with a production capacity of 300,000 kg per day. To accomplish this, it is necessary to select and dimension an adequate filtration system, determine the capacity of the pump needed to obtain a clarified product and finally, calculate the investment and maintenance costs for the filtration unit to evaluate its revenue compared to the actual filtration system.

At the end of the investigation, the results were: 1. The size of the cartridge filter pore for the filtration and clarification of sodium hypochlorite 5% w/w. 2. The dimensioning of the batch preparation tanks and the storage of the commercial chlorine. 3. The design and dimensions of a cartridge filter battery for the clarification of sodium hypochlorite 5% w/w using 2 pore sizes of 5 μm and 1 μm . 4. The dimensioning of the centrifugal pump needed to duplicate the actual production capacity. 5. The revenue analysis driven by the replacement of the actual type of filter, bed filter, for a more efficient and economic system, a battery of cartridge filters.

I. INTRODUCCIÓN

El hipoclorito de sodio se usa en la desactivación de patógenos en agua potable, piscinas y aguas residuales, en la desinfección de áreas domésticas y para el blanqueamiento de textiles. En solución al 5% es un oxidante fuerte y tiene una densidad $1,100 \text{ kg/m}^3$. El hipoclorito de sodio es ligeramente amarillo y es inestable, degradándose al contacto con ácidos, luz y algunos metales. Esta solución puede ser producida a través de la reacción electrolítica de salmuera concentrada. A través de la electricidad, los iones de cloro disueltos se transforman en moléculas de cloro gaseoso. Posteriormente, el gas cloro fluye a contracorriente con soda cáustica en un torre de reacción para obtener una solución de hipoclorito de sodio al 13% p/p. Finalmente, el hipoclorito de sodio obtenido se diluye hasta 5% p/p y es filtrado para eliminar la turbidez del producto final. (Sconce, 2003: 520)

La turbidez del hipoclorito de sodio es fácilmente removida a través de un sistema de filtración que remueva todos los sólidos suspendidos para que el producto tenga más larga vida de almacenamiento. La prueba de sólidos suspendidos es la más importante característica para decidir la compra de hipoclorito de sodio, por lo tanto, es una ventaja competitiva el suministrar un producto amarillo brillante resultante de un buen proceso de filtración. Por ello, desarrollar un proceso de filtración eficiente y económico es de vital importancia en la producción de hipoclorito de sodio a nivel industrial.

El trabajo de graduación se encuentra dividido en las siguientes secciones: el prefacio en donde se enumeran las limitaciones del trabajo; el resumen en donde se presenta una síntesis del trabajo realizado; el marco teórico, en el cual se explica el fundamento de la producción de hipoclorito de sodio y conceptos de filtración; la justificación, en donde se explican las razones por las cuales es necesaria la investigación de un sistema alternativo de filtración; la sección de objetivos en la cual se plantean las finalidades deseadas; el problema a resolver es la sección en la que se especifica la importancia de la realización del proyecto en la industria; la metodología, en donde se explican los métodos científicos y la experimentación a seguir para la evaluación del proyecto; la sección de resultados en donde se describen los principales hallazgos de la investigación; la discusión en la cual se explican e interpretan los resultados obtenidos; las conclusiones en donde se enumeran los hallazgos más importantes del trabajo; las recomendaciones es la sección en que se proponen ideas para próximas investigaciones similares o que traten el mismo tema; la sección del apéndice que consta de las siguientes secciones: los diagramas, en donde se representa esquemáticamente la operación del filtro propuesto, el cálculo de muestra en donde se ilustran los cálculos realizados para el diseño del equipo, datos calculados en donde se detallan los datos intermedios utilizados para llegar a los resultados finales; y finalmente el glosario en donde se explica el significado del vocabulario técnico empleado.

II. ANTECEDENTES

A. Filtración

El problema general de la separación de sólidos y líquidos puede resolverse de distintas maneras según sea la naturaleza de los sólidos y de la proporción sólido a líquido en la mezcla que quiere separarse. La separación de sólidos suspendidos en un líquido a través de un medio poroso o una tela que retiene los sólidos y permite el paso del líquido se denomina filtración. Al aumentar el porcentaje de sólido, la operación pasa a ser prensado o centrífuga. (McCabe, 2003: 1070)

La filtración es la separación de partículas sólidas a partir de un fluido mediante el paso del fluido a través de una barrera porosa que retiene la mayoría de las partículas sólidas contenidas en la mezcla. Un filtro es un equipo de las operaciones unitarias por medio del cual se realiza la filtración. El medio filtrante es la barrera que permite el paso del líquido mientras retiene la mayor parte de los sólidos. Este puede ser una pantalla, tela, papel o una cama de sólidos. El líquido que pasa a través del medio filtrante es llamado filtrado. (Perry, 2001: 18-74)

El fluido puede ser un líquido o un gas, y la corriente valiosa procedente del filtro puede ser el fluido, los sólidos o ambos productos. En la filtración industrial el contenido de sólidos de la alimentación puede oscilar desde trazas hasta un porcentaje muy elevado. El fluido circula a través del medio filtrante debido a una diferencia de presión a través del medio. Así, los filtros se clasifican atendiendo a este aspecto en los que operan con sobrepresión, con presión atmosférica y aquellos que operan con vacío. Las presiones superiores a la atmósfera pueden generarse por acción de la fuerza de gravedad actuando sobre una columna de líquido, por medio de una bomba, o por medio de fuerza centrífuga. (McCabe, 2003: 1071)

En un filtro de gravedad, el medio filtrante puede no ser más fino que un tamiz grueso o una cantidad de partículas gruesas, como arena. Por tanto, en sus aplicaciones industriales los filtros de gravedad están restringidos a la separación de las aguas madres de cristales muy gruesos, a la clarificación de agua potable y al tratamiento de aguas residuales. La mayoría de los filtros industriales son filtros de presión o de vacío. Pueden ser también continuos o discontinuos, dependiendo de que la descarga de los sólidos filtrados se realice de forma continua o intermitente. Durante la operación de un filtro discontinuo, el flujo del fluido a través del mismo es continuo, pero debe interrumpirse periódicamente para permitir la descarga de los sólidos acumulados. En un filtro de operación por lotes, existen dos métodos diferentes de operación: si se desea operar a presión constante, entonces el caudal del filtrado disminuirá progresivamente, mientras que si se desea un caudal constante, entonces la presión aumentará gradualmente. En un filtro continuo la descarga de los sólidos y del fluido se realiza de forma ininterrumpida mientras el equipo se encuentra en operación. (McCabe, 2003: 1072)

La principal característica de una suspensión es su estructura: por ejemplo, si es granular y abierta o coloidal y densa. Una segunda propiedad de la suspensión es su compresibilidad; si un lodo es incompresible, la resistencia de la torta es sustancialmente independiente de la presión, mientras que si el lodo es compresible la resistencia de una unidad de espesor de la torta puede aumentar rápidamente al aumentar la presión. En general, un precipitado granular será casi incompresible y uno coloidal será muy compresible. (Richardson, 2002:372)

La temperatura puede ser tanto una ayuda como una limitación. Cuando se incrementa la temperatura de la suspensión de alimentación, la viscosidad de la fase líquida decrece, causando un aumento de la velocidad de filtración y una disminución en el contenido de humedad de la torta. El límite de los beneficios de aumentar la temperatura ocurre cuando la presión de vapor de la fase líquida empieza a reducir el vacío permitido. Si la fase líquida puede evaporarse súbitamente en el interior del filtro, se producen resultados indeseables: interrupción de la formación de la torta adyacente al medio filtrante, deposición de escamas en los poros del filtro, un rápido aumento en la caída de presión en el interior del filtro, un rápido aumento en la caída de presión en el interior del filtro debido al incremento del flujo de vapor o una disminución de la capacidad de vacío de la bomba. (Perry, 2001; 18.94)

1. Tipos de filtros. El mejor filtro para cualquier operación es aquel que cumpla con los requerimientos a un costo mínimo. Los filtros se dividen en dos grandes grupos: filtros clarificadores y filtros de torta. Los clarificadores retiran pequeñas cantidades de sólidos para producir un gas claro o líquidos transparentes, tales como bebidas. Los filtros de torta separan grandes cantidades de sólidos en forma de una torta de cristales o un lodo. (Richardson, 2002:372)

Las bombas más útiles para la alimentación de los filtros de torta son las centrífugas, debido a que dan una presión uniforme como resultado de sus curvas características tienden a proporcionar presiones más elevadas a medida que disminuye la velocidad de filtración. No es aceptable otro tipo de bomba debido a que las pulsaciones de presión en su descarga que tienden a hacer una torta indebidamente compacta. La velocidad de filtración depende principalmente de los siguientes factores: (Richardson, 2002:372)

- a. La caída de presión desde la alimentación hasta la descarga del filtro
- b. El área superficial del medio filtrante
- c. La viscosidad del filtrado
- d. La resistencia de la torta
- e. La resistencia del medio filtrante y las capas iniciales de la torta (Richardson, 2002:373)

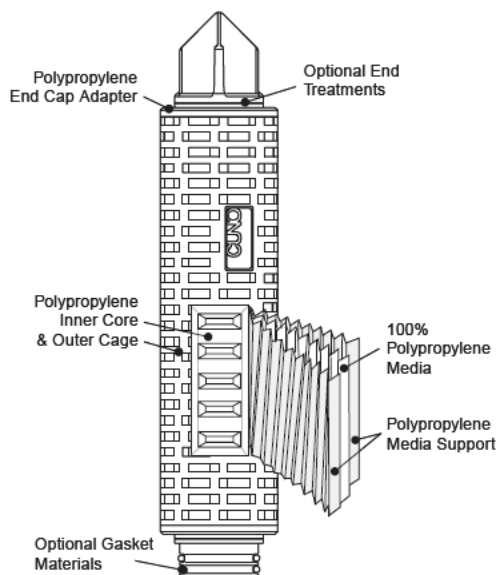
Los factores principales que se deben considerar al seleccionar el equipo y las condiciones de operación son: (Richardson, 2002:373)

- a. Las propiedades del líquido, particularmente su viscosidad, densidad y sus propiedades corrosivas.
- b. La naturaleza del sólido (tamaño de partícula, forma, distribución, etc.)
- c. La concentración de los sólidos en suspensión
- d. La cantidad de material a filtrar
- e. Si el producto valioso es el sólido, el líquido o ambos
- f. Si es necesario lavar los sólidos filtrados
- g. Si una leve contaminación causada por el contacto de la suspensión o el filtrado con los componentes del equipo es dañino para el producto
- h. Si el licor de alimentación puede ser calentado
- i. Si cualquier forma de pretratamiento puede ser útil (Richardson, 2002:373)

2. Filtros de cartucho. Un diseño particular de filtros a presión son los filtros de cartucho que emplean una cama filtrante depositada sobre una base de anillos montados en forma de tubo, y que son extensamente utilizados para clarificar líquidos que contienen pequeñas cantidades de sólidos finos suspendidos. Los anillos estándar tienen 22 mm de diámetro externo, y 16 mm de diámetro interno, además los bordes de los anillos están separados por una distancia de 0.025 – 0.25 mm según sea el requerimiento. Los filtros de cartucho son sistemas preferibles para fluidos con contaminaciones menores a 100 ppm, es decir, con niveles de contaminación menores a 0.01% en peso. (Richardson, 2002:402)

Figura 1

Esquema de un filtro de cartucho de polipropileno



Durante la filtración, los sólidos se acumulan mayormente sobre la superficie y generalmente no penetran más allá de 0.5 mm dentro del cartucho. El filtrado pasa en el interior del cartucho entre los anillos y sale a través del exterior del cartucho. La operación es continua hasta que la resistencia se vuelve demasiado grande, entonces el filtro puede ser limpiado por el paso de un fluido de lavado en dirección opuesta a la operación normal lo que ocasiona que la torta superficial (aproximadamente de 3 mm de espesor) se lave. Los filtros de cartucho generalmente son desechables, es decir, que deben ser reemplazados cuando se saturan. (Richardson, 2002:402)

Existen dos tipos de filtros de cartucho: los filtros de cartucho de profundidad, atrapan partículas y contaminantes a través de la profundidad total del medio, y los filtros de cartucho superficiales, bloquean el paso de las partículas desde la superficie. Los filtros de superficie son mejores cuando se requiere filtrar partículas de un tamaño parecido. Por ejemplo, si se tienen partículas de 5 mm, un filtro de superficie de 5 mm funciona mejor porque tiene mayor área superficial que otros filtros. Comparado con los filtros de superficie, los filtros de profundidad tienen un área superficial limitada, pero tienen la ventaja de la profundidad. En general, se puede afirmar que si el tamaño del área superficial del filtro es mayor, entonces se permiten flujos mayores, los filtros tienen una vida útil mayor y la capacidad de retención de contaminantes aumenta. (Richardson, 2002:402)

Figura 2
Diferentes tipos de carcazas de filtros de cartucho



3. **Medios filtrantes.** La función de un medio filtrante generalmente es actuar como soporte de la torta de filtración y son las capas iniciales de la torta las que realmente funcionan como filtro. El medio filtrante debe ser mecánicamente fuerte, resistente a la acción corrosiva del fluido, y debe ofrecer la menor resistencia posible al flujo del filtrado. El medio filtrante de cualquier filtro debe cumplir los siguientes requerimientos:

- a. Retener los sólidos a filtrar, según el nivel de claridad deseado.
- b. No obstruirse rápidamente.
- c. Ser química y físicamente resistente para soportar las condiciones del proceso.
- d. Permitir que la torta formada se desprenda de una forma limpia y completa.
- e. No ser en exceso caro.

En la filtración industrial, un medio filtrante frecuente es la tela de lona, de diferentes pesos y modelos de tejido, dependiendo del objetivo que se persiga. Los líquidos corrosivos requieren el empleo de otros medios filtrantes tales como telas de lana, de metal monel o acero inoxidable, de vidrio o de papel. Las fibras sintéticas como nylon, propileno, y varios poliésteres tienen también una elevada resistencia química. En una tela de un tamaño de malla dado, las fibras metálicas o las sintéticas lisas son menos efectivas que las fibras naturales para separar partículas muy finas. Sin embargo, por lo general esto sólo es una desventaja al comienzo de la filtración debido a que, excepto con partículas gruesas y duras que no contienen finos, el medio filtrante real lo constituye la primera capa de sólidos depositados. El filtrado es turbio al principio, pero luego se hace claro. El filtrado turbio se devuelve al tanque que contiene la suspensión para filtrarse de nuevo. (McCabe, 2003: 1084)

4. **Coadyuvantes de filtración.** Los sólidos muy finos que forman una torta densa e impermeable, obstruyen con rapidez cualquier medio filtrante que sea suficientemente fino para retenerlos. La filtración práctica de estos materiales requiere que la porosidad de la torta aumente de forma que permita el paso de líquido con una velocidad razonable. Esto se realiza añadiendo un coadyuvante de filtración, tal como sílice de diatomeas, perlita, celulosa de madera purificada u otros sólidos porosos inertes a la suspensión antes de la filtración. Un coadyuvante de filtración es un material sólido finamente dividido formado por partículas duras y fuertes que cuando están en masa son incompresibles. El coadyuvante de filtración se separa después de la torta de filtración. Si los sólidos no tienen valor, se desechan junto con el coadyuvante.

En la filtración de torta el líquido pasa a través de dos resistencias en serie: la de la torta y la del medio filtrante. La resistencia del medio filtrante normalmente sólo es importante durante las primeras etapas de la filtración en torta. La resistencia de la torta es nula al principio y aumenta con el tiempo a medida que transcurre el proceso de filtración. A medida que transcurre el proceso de filtración, o bien disminuye la velocidad de flujo o aumenta la caída de presión. En la filtración a presión constante, la caída de presión

permanece constante y la velocidad de flujo va disminuyendo con el tiempo; es menos frecuente que la caída de presión aumente progresivamente para promover a un proceso de filtración a velocidad constante. (McCabe, 2003: 1085)

5. Efecto de la presión. La caída global de presión en un instante es la suma de las caídas de presión en el medio filtrante y en la torta. Si p_a es la presión en la entrada, p_b la presión en la salida y p' la presión en el límite de separación entre el medio filtrante y la torta, entonces, (McCabe, 2003: 1085)

$$\text{Ecuación 1:} \quad \Delta p = p_a - p_b = (p_a - p') + (p' - p_b) = \Delta p_c + \Delta p_m$$

donde: Δp : caída de presión global

Δp_c : caída de presión en la torta

Δp_m : caída de presión en el medio filtrante (McCabe, 2003: 1085)

En general, la tela filtrante por sí misma, es raramente el verdadero medio filtrante. El tamaño medio de las partículas es considerablemente menor que la apertura media de las fibras del tejido. El medio filtrante real es una capa del precipitado mismo, que se forma en la superficie de la tela. Por tanto, la formación de esta primera capa es de primordial importancia para seguridad de la operación de filtrado. El método más sencillo es aplicar la totalidad de la presión al principio de la filtración y mantenerla constante durante toda ella. Una desventaja muy seria de este método es que si la presión inicial es muy elevada, las primeras partículas atrapadas se apelmazan en una masa muy apretada que llena completamente los poros de la tela y da lugar a una velocidad de filtración baja durante el resto del ciclo. (McCabe, 2003: 1085)

Si la suspensión no es homogénea, es decir que contiene cristales y partículas coloidales, una presión inicial elevada tiende a forzar a las partículas coloidales del lodo al interior de los intersticios entre las partículas granulares y disminuye extraordinariamente la velocidad de filtración. Por otra parte, si la presión inicial es baja, la capa inicial de precipitado será mucho más abierta que anteriormente y por ello las velocidades de filtración serán más altas, y esta capa no estará apretada en el interior de las fibras de la tela, con lo que resulta que la torta se separará mucho más fácil y limpiamente de la tela filtrante. Una presión inicial baja puede hacer que las primeras porciones de filtrado que salen de la prensa no sean claras pero esto queda compensado con creces por la mayor rapidez de filtración y en consecuencia por una mayor capacidad del filtro. (McCabe, 2003: 1085)

Otro método es mantener una velocidad de filtración casi constante, partiendo de baja presión e ir aumentando continuamente la presión a medida que aumenta la resistencia de la torta hasta que se alcanza la máxima presión y termina la filtración. La dificultad de este método es que la presión máxima solo se alcanza al final de la filtración y, por tanto, durante la totalidad del ciclo está a una capacidad menor que la

máxima. Un método común de hacer frente a las dificultades de la filtración a presión constante es operar a una velocidad de filtración constante durante la primera parte de la filtración. (McCabe, 2003: 1085)

A medida que las telas se recubren bien con la torta y el líquido filtrado sale claro, se aumenta la presión hasta el máximo y se completa la filtración a presión constante. Las ventajas relativas de operar a presión constante o velocidad constante depende en gran parte de que el precipitado sea granular, coloidal o una mezcla de ambos. Para lodos muy comprensibles, no es siempre cierto que la velocidad de filtración aumente con la presión. A medida que la presión aumenta, no obstante, estos 2 factores tienden a hacerse iguales y a una cierta presión óptima, la velocidad de filtración es máxima. (McCabe, 2003: 1085)

6. Resistencia del medio filtrante. La resistencia del medio filtrante R_m se define como,

Ecuación 2:
$$R_m \equiv \frac{p' - p_b}{\mu u} = \frac{\Delta p_m}{\mu u}$$

donde: R_m : resistencia del medio filtrante

μ : viscosidad del filtrado

u : velocidad lineal del filtrado basado en el área del filtro

La resistencia del medio filtrante varía con la caída de presión, debido a que la velocidad del líquido más alta causado por una caída de presión hace que partículas adicionales de sólidos penetren en el medio filtrante. La resistencia también varía con el tiempo y la limpieza del medio filtrante; pero como sólo es importante durante las primeras etapas de la filtración, casi siempre resulta satisfactorio suponer que es constante durante cualquier filtración. Cuando la resistencia se trata como una constante empírica, incluye también cualquier resistencia al flujo que pudiera existir en las líneas de acceso y salida del filtro. (McCabe, 2003; 1088)

B. Producción de hipoclorito de sodio al 5% p/p

La producción de hipoclorito de sodio al 5% p/p consiste primordialmente en cuatro etapas:

1. **Producción de salmuera pura.** La primera etapa consiste en la disolución de cloruro de sodio (sal industrial) en agua suave hasta obtener una solución saturada llamada salmuera. Posteriormente, esta salmuera es tratada químicamente para decantar todos los sólidos disueltos que conlleva. El sistema de decantación de salmuera tiene como objetivo de reducir las partículas gruesas en suspensión, a través de la adición de floculante, y reducir la dureza (iones de calcio y magnesio) de la salmuera saturada, a través de adición de químicos que reaccionen con los iones formando compuestos insolubles. (Sconce, 2003: 519)

Después del proceso de decantación, la salmuera pasa a través de un sistema de filtración para remover completamente las partículas gruesas y reducir la dureza total de la salmuera al mínimo. Para esta operación, se utilizan filtros de cartucho para la adsorción de partículas gruesas y columnas de filtración con resinas de intercambio iónico para la absorción de los iones de calcio y magnesio, ya que ambos causan una turbiedad leve y sedimentos. Al final de todo el proceso se obtiene salmuera saturada pura. (Sconce, 2003: 520)

Reacción 1: $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ (Disolución de cloruro de sodio)

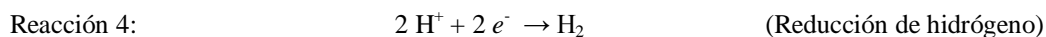
2. **Producción de gas cloro e hidróxido de sodio.** La segunda etapa consiste en producción de gas cloro e hidróxido de sodio a partir de la electrólisis de Cloruro de sodio y la hidrólisis de agua. Este proceso se lleva a cabo a través de un electrolizador formado por una serie de electrodos, ánodos y cátodos, conectados eléctricamente. El electrolizador de membrana produce gas cloro (Cl_2), hidróxido de sodio (NaOH) e hidrógeno (H_2) a partir de la electrólisis de la solución saturada de Cloruro de Sodio (NaCl) y la hidrólisis del agua (H_2O). Estas reacciones electroquímicas se producen a través de la conexión de los electrodos a una fuente de energía eléctrica continua. (Sconce, 2003: 520)

En los cátodos del electrolizador se lleva a cabo la oxidación de los iones cloruro (Cl^-), provenientes de la salmuera, produciendo gas cloro según la siguiente reacción: (Sconce, 2003: 521)

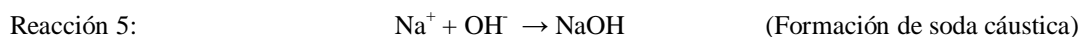
Reacción 2: $2 \text{Cl}^- \rightarrow 2 e^- + \text{Cl}_2$ (Formación de gas cloro)

En los ánodos del electrolizador se lleva a cabo la electrólisis del agua y la reducción del hidrógeno, según las siguientes reacciones: (Sconce, 2003: 521)

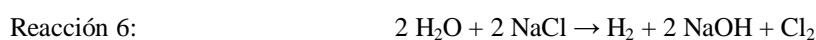
Reacción 3: $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2\text{OH}^-$ (Hidrólisis del agua)



Los iones de sodio provenientes de la salmuera atraviesan las membranas desde el cátodo hasta el ánodo, donde ocurre la electrólisis del agua y la reducción del hidrógeno, para la formación de soda cáustica (hidróxido de sodio): (Sconce, 2003: 521)



Todas estas reacciones se pueden resumir como a continuación en una reacción general de electrólisis: (Sconce, 2003: 522)



3. Producción de hipoclorito de sodio al 13% p/p. El objetivo de esta etapa es la producción continua de hipoclorito de sodio (NaOCl) al 13% p/p, a partir de gas cloro e hidróxido de sodio. Este proceso se lleva a cabo en una torre de absorción empacada con anillos Pall y su función es absorber en su totalidad el gas cloro generado por el electrolizador para producir hipoclorito de sodio. Esta reacción se lleva a cabo por la combinación a contracorriente de gas cloro, que entra por la parte inferior de la torre, e hidróxido de sodio, que se alimenta a la torre por la parte superior. Debido a que el hipoclorito de sodio es inestable a altas temperaturas, este es enfriado a través de intercambiadores de calor para minimizar su descomposición. Posteriormente, el hipoclorito de sodio al 13% p/p es almacenado en tanques con aislamiento térmico. (Sconce, 2003: 522)

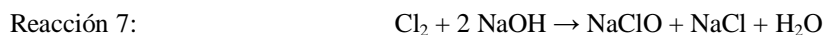
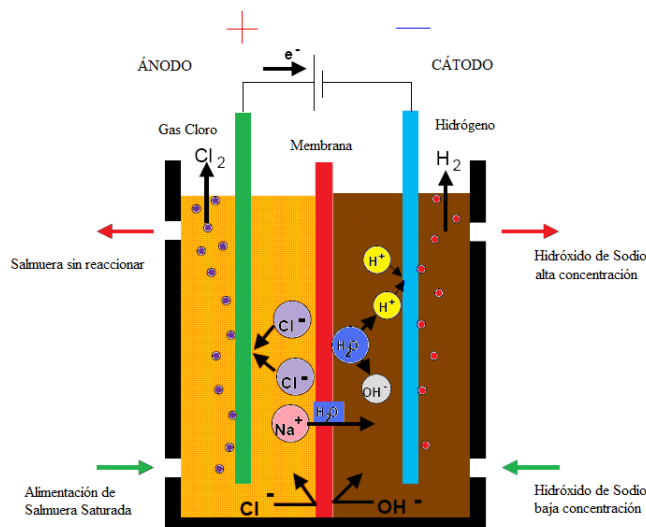


Figura 3

Esquema de las reacciones electroquímicas en el ánodo y cátodo



4. Producción de hipoclorito de sodio comercial al 5% p/p. Finalmente, el hipoclorito de sodio al 13% p/p es diluido al 5% p/p para venderse comercialmente. Después de ser diluido con agua, el hipoclorito de sodio es filtrado para aumentar la calidad del mismo. La turbidez del hipoclorito de sodio es fácilmente removida a través de un sistema de filtración que retenga todos los sólidos suspendidos y así el producto tendrá más larga vida de almacenamiento con menos limpieza y mantenimiento en los sistemas de alimentación y tanques de almacenaje. La prueba de sólidos suspendidos es la más importante característica para decidir la compra de hipoclorito de sodio, por lo tanto, es una ventaja competitiva el suministrar un producto amarillo brillante resultante de un buen proceso de filtración. (Sconce, 2033: 522)

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la empresa cuenta con un equipo por lotes para la filtración de hipoclorito de sodio que tiene un tiempo de residencia de 2 h para la filtración de 15 m³ de hipoclorito de sodio al 5% p/p. El filtro actual es un filtro de discos con telas y todos los repuestos son especialmente fabricados en Italia por lo que son muy costosos. La planta tiene un proyecto de aumento en el volumen de producción, el cuál está restringido principalmente por la ineficiencia del proceso de filtración. Por ello, es necesario cambiar el sistema de filtración por un equipo que aporte la misma calidad de filtración pero en un tiempo menor de operación para mejorar el proceso.

Además, debido a que la operación es 24 h al día, las telas del filtro sufren mucho desgaste y se rompen con mucha frecuencia. Esto ocasiona que los costos de mantenimiento de la operación de filtrado después de la expansión sean muy altos, aproximadamente Q 10,000.00 al mes, haciendo que los costos por unidad producida sean mayores a los deseados. Otro factor que influye en los costos de operación es que las telas de filtración requieren de un coadyuvante de filtración, es decir, un suministro sólido de tipo arcilloso. Este suministro es el agente filtrante que se adhiere a las telas, quienes funcionan únicamente como soporte. El costo de utilizar este suministro ascenderá a Q 12,000.00 al mes.

Al finalizar la filtración, es necesario declorinar y neutralizar los lodos generados durante la filtración representando Q 17,000.00 al mes de gasto en químicos especiales, además de ser necesario un recurso humano adicional al operador de turno, impactando directamente en el costo en Q 9,600.00 al mes. Debido a estos factores, el sistema de filtración de la planta limita la capacidad de producción para satisfacer la demanda de los clientes por su baja eficacia y reduce las utilidades de la empresa, por lo que es necesaria la implementación de un sistema de filtración más eficiente y que permita a la planta duplicar su volumen de producción y aumentar su rentabilidad.

IV. OBJETIVOS

A. General

Diseñar una batería de medios filtrantes eficiente y económica para filtrar hipoclorito de sodio al 5% p/p con una capacidad de producción de 300,000 kg al día.

B. Específicos

1. Diseñar una batería de medios filtrantes con una capacidad de producción de 300,000 kg al día.
2. Determinar el tamaño de poro del filtro necesario para eliminar la turbidez del hipoclorito de sodio al 5% p/p.
3. Aumentar la capacidad de filtración del área de manufactura de 150,000 kg al día a 300,000 kg al día.
4. Determinar el costo del sistema de filtración diseñado.
5. Disminuir los costos de mantenimiento del sistema de filtración actual.
6. Determinar el tiempo de recuperación de la inversión del sistema de filtración diseñado.

V. PROBLEMA A RESOLVER

Una planta productora de cloro comercial está planificando expandir su volumen de producción por lo que debe invertir en el aumento de su capacidad de filtración de producto terminado. Actualmente, el sistema de filtración de hipoclorito de sodio al 5% p/p es un proceso por lotes con un tiempo de residencia de 2 horas. Por ello, la operación de filtración representa el proceso limitante para el volumen de producción requerido por la planta para satisfacer la demanda de los clientes. Además, es necesario reducir los costos de mantenimiento del área de manufactura, así como el costo del manejo y desecho de los lodos generados durante la filtración.

VI. METODOLOGÍA

A. Pruebas experimentales

Se llevaron a cabo pruebas experimentales en un laboratorio para determinar el tamaño de poro requerido para una filtración eficiente de hipoclorito de sodio al 5% p/p y que cumpla con los requerimientos de turbidez según el estándar de manufactura y calidad. El procedimiento que se siguió fue:

- Preparación de una muestra de 0.035 m³ de hipoclorito de sodio al 5% p/p.
- Filtración de la muestra en el filtro de cartucho del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Determinación del porcentaje de turbidez retenida en filtros de tres tamaños distintos de poro: 25 µm, 5 µm y 1 µm.
- Determinación de la turbidez de la muestra inicial, así como a la salida de cada filtro.

B. Diseño de línea y estudio técnico

Con base a los resultados experimentales obtenidos, se determinó el tamaño de poro de los filtros a utilizar, así como la cantidad de filtros en paralelo necesarios para el caudal requerido, según el volumen de producción de la planta. Se calculó la bomba necesaria para el transporte del fluido a través de la batería de filtros de cartucho y su traslado hacia el tanque de producto terminado. También, se solicitaron cotizaciones del equipo al proveedor de filtros para cuantificar la inversión necesaria.

C. Estudio económico

Con la información obtenida del estudio técnico, se realizó un análisis financiero de inversión, costos anuales de mantenimiento y ahorros durante cinco años para evaluar la factibilidad del proyecto y el tiempo de recuperación de capital.

VII. RESULTADOS

A. Estudio técnico

1. Diseño del sistema de filtración

Cuadro 1

Especificaciones de los tanques de preparación y de producto terminado

| Requerimiento | Factor | Alto | Ancho | Capacidad nominal | Capacidad de operación |
|-------------------------------------|--------|------|--------|----------------------|------------------------|
| Tanques de 15 m ³ | 15% | 3 m | 2.71 m | 17.25 m ³ | 15 m ³ |
| Tanque almacenaje 45 m ³ | | 5 m | 3.63 m | 51.75 m ³ | 45 m ³ |

Cuadro 2

Cantidad de filtros de cartucho a utilizar

| Filtración | Filtros de cartucho en paralelo |
|------------------------|---------------------------------|
| Requerimiento actual | 4 |
| Crecimiento de volumen | 8 |

Cuadro 3

Especificaciones de los filtros de cartucho

| Requerimiento | Material cartuchos | Carcaza | Tamaño | Micronaje | Turbidez |
|---------------|--------------------|--------------|---------|-----------|-----------|
| Filtración | Polipropileno | Transparente | 0.508 m | 5 µm | 10.34 NTU |
| Clarificación | | | | 1 µm | 0 NTU |

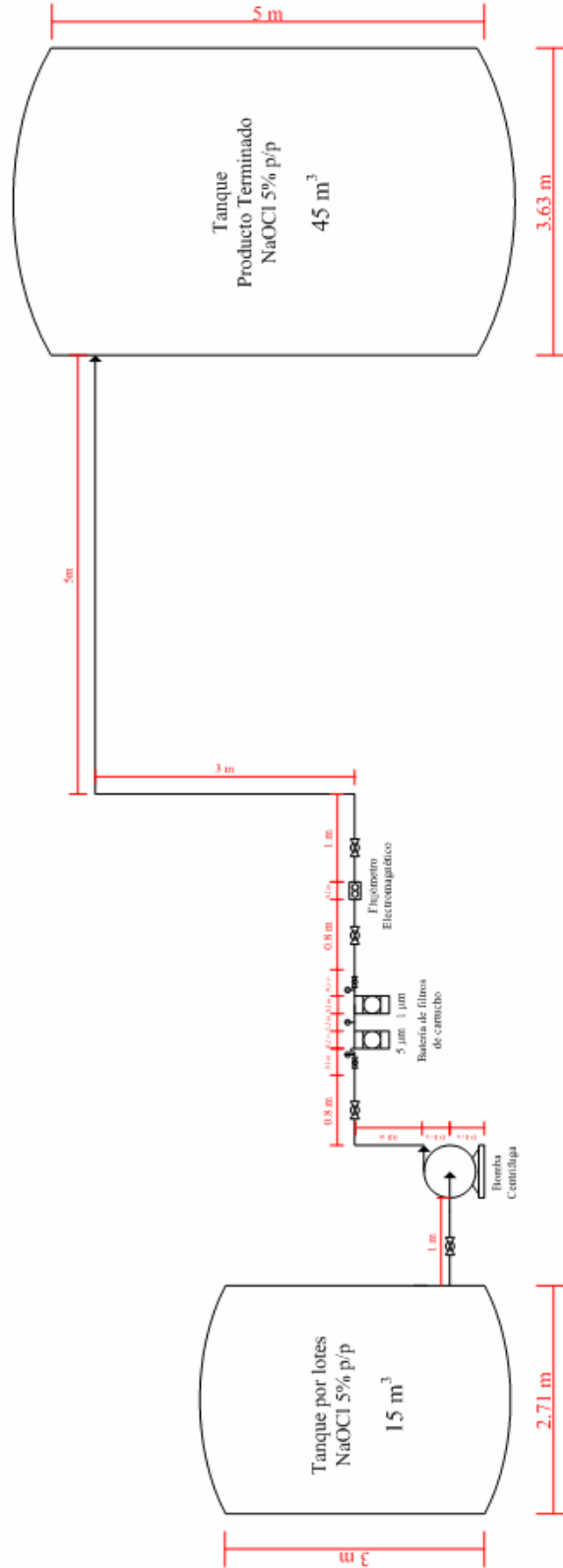
Cuadro 4

Dimensiones de la bomba centrífuga necesaria para la filtración

| Especificaciones | |
|------------------|---------------------------|
| Tipo | Centrífuga etapa simple |
| Caudal | 0.00347 m ³ /s |
| Potencia | 7,457 W (10 hp) |
| Eficiencia | 53% |
| Dimensiones | 2" x 5.5" x 2" |
| Velocidad | 3525 rpm |
| Material | Titanio |

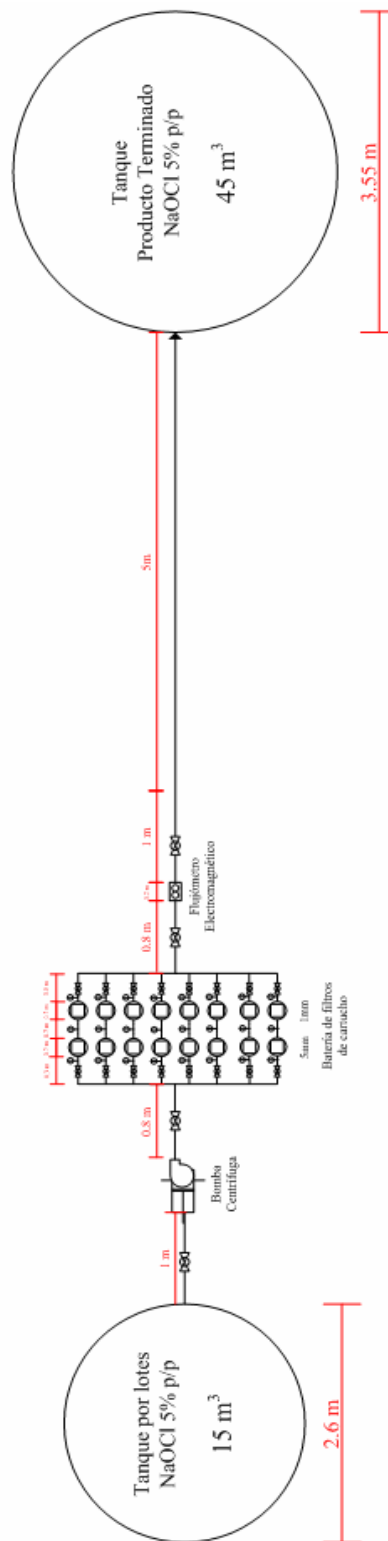
2. Diseño de la línea

Figura 4
Vista lateral de la línea de filtración



| ESCALA | |
|----------------------|-------------|
| Medición real | Equivalente |
| 1.1 cm | 1 m |
| Elaboró: Paola Lemus | |

Figura 5
Vista aérea de la línea de filtración



| ESCALA | |
|----------------------|-------------|
| Medición real | Equivalente |
| 1.1 cm | 1 m |
| Elaboró: Paola Lemus | |

B. Estudio económico

Cuadro 5

Cálculo de los ahorros de invertir en una batería de filtros de cartucho en vez de un filtro de discos con una inflación de 8%

| | | |
|--------------|----|------------|
| En inversión | Q. | 176,000.00 |
| Año 1 | Q. | 76,032.00 |
| Año 2 | Q. | 82,114.56 |
| Año 3 | Q. | 88,683.72 |
| Año 4 | Q. | 95,778.42 |
| Año 5 | Q. | 103,440.70 |

Cuadro 6

Cálculo financiero de rentabilidad de la inversión para un interés de 11.3% en una batería de filtros de cartucho

| Variable financiera | Resultado |
|------------------------------|---------------|
| VAN | Q. 442,900.60 |
| B/C Incremental | 1.6 |
| Recuperación de la inversión | 2 años |

VIII. DISCUSIÓN

El propósito de la investigación es diseñar un sistema de filtración eficiente para una solución de hipoclorito de sodio en una empresa en Guatemala para reducir los costos de producción y garantizar siempre un producto de calidad para los consumidores. Para ello, es necesario dimensionar todo el equipo de la línea de filtrado y seleccionarlo de acuerdo a los requerimientos del proceso y a las mejores opciones en el mercado actual para evaluar su rentabilidad. El diseño completo abarca un tanque de preparación, una bomba centrífuga, una batería de filtros de cartucho y un tanque de almacenamiento.

Es importante mencionar que algunas de las características que distinguen el producto del resto de marcas en el mercado es el brillo verdoso característico del hipoclorito de sodio y la transparencia del mismo. Esto es un indicador de que el producto fue elaborado bajo un estricto control de calidad y muestra que los clientes pueden confiar plenamente en que el producto que están comprando cumple con los estándares requeridos. Por ello, para la planta es importante contar con un sistema de filtrado que garantice que los clientes quedarán satisfechos con las especificaciones estándar que ellos esperan.

Para determinar si los filtros de cartucho eran eficientes para la filtración de hipoclorito de sodio al 5% p/p, se hizo una prueba en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, utilizando 3 diferentes tamaños de micronaje en los cartuchos, 25 μm , 5 μm y 1 μm . El primer paso fue medir la turbidez inicial de la solución, la cual fue 35 ± 0.1 NTU. La turbidez obtenida después del filtro de 25 μm fue 30.8 ± 0.1 NTU. El porcentaje de sólidos retenidos por el filtro de 25 μm fue $12.0 \pm 0.032\%$, lo que indica que un bajo porcentaje de los sólidos suspendidos en la solución tiene un tamaño de partícula mayor a 25 μm . La turbidez obtenida en la salida del filtro de 5 μm fue 10.34 ± 0.1 NTU. El porcentaje de sólidos retenidos por el filtro de 5 μm fue $70.45 \pm 0.064\%$, respecto a los sólidos que contenía la solución inicial. Esto indica que la mayor parte de los sólidos suspendidos tienen un tamaño promedio entre 25 y 5 μm . Finalmente, la turbidez obtenida en la salida del filtro de 1 μm fue 0.0 ± 0.1 NTU. El porcentaje de sólidos retenidos por el filtro de 1 μm fue $100 \pm 0.128\%$, respecto a los sólidos iniciales. Esto indica que los filtros de 1 μm logran remover todos los sólidos contenidos en la solución de hipoclorito de sodio.

Durante la práctica, se midió la turbidez de una muestra del producto terminado que se desea obtener para comparar la turbidez ideal del hipoclorito de sodio como producto comercial. La turbidez de dicha muestra patrón fue 0.0 ± 0.1 NTU. Esto demuestra que se necesita una retención de sólidos suspendidos del 100% para lograr llevar la solución al estándar de calidad requerido, es decir, sin turbidez. Por ello, se recomienda realizar la filtración de esta solución con un filtro de 5 μm y un filtro 1 μm para lograr una retención total de sólidos y obtener el producto final dentro de los parámetros establecidos que cumpla siempre con los requerimientos del cliente.

En la sección de resultados (pág 16), se puede observar en el Cuadro 1 las dimensiones necesarias para un tanque de preparación por lotes de 15 m^3 y para un tanque de almacenamiento de 45 m^3 . El diseño propuesto para ambos tanques cuenta con un factor de seguridad de 15% para evitar derrames e incidentes de seguridad. Se decidió calcular los anchos de los tanques con alturas estándar para el diseño debido a que la planta cuenta con ciertas restricciones de espacio por las plataformas instaladas sobre la tapa superior de los tanques. El material de los tanques debe ser tolerante al hipoclorito de sodio por lo que se decidió trabajar con tanques en fibra de vidrio debido a su fácil mantenimiento y reparación.

El diseño de la bomba a utilizar en el proceso fue basado en las gráficas 1-5 que se encuentran en la sección del apéndice (pág 28). La bomba que se diseñó para el traslado del hipoclorito de sodio desde el tanque de preparación por lotes hacia el tanque de almacenamiento es una bomba centrífuga de simple etapa equivalente al modelo A-8475 de 2" x 5.5" x 2" (succión x impelente x descarga). La caída de presión que la bomba debe superar es de 413,571 Pa, esto en base a la suposición de la saturación total de todos los filtros de cartucho. De acuerdo con esta información, la potencia de la bomba debe ser 6.42 kW exactamente con una eficiencia de 53% con una velocidad radial de 3,525 rpm, pero para ajustar el proceso a la disponibilidad de bombas en el mercado, lo más recomendable sería comprar una bomba de 7.457 kW (10 hp). El material de la bomba a utilizar debe ser compatible con el hipoclorito de sodio al 5% a una temperatura de 23° C por lo que debe estar fabricada en titanio o teflón para soportar la corrosión ocasionada por un químico tan fuerte y que puede cristalizarse.

La tubería utilizada para conectar todo el trayecto desde el tanque de preparación hasta el tanque de almacenamiento debe ser de PVC cédula 80 para que soporte la presión que generará la bomba. La conexión entre el tanque de preparación y la bomba debe ser tubo de 0.0508 m de diámetro y se utilizarían los siguientes accesorios de 0.0508 m de diámetro: 2 bridas y empaques de vitón. La conexión entre la bomba y la batería de filtros de cartucho es tubería de 0.0508 m de diámetro y se emplearían los siguientes accesorios de 0.0508 m de diámetro: un brida, un empaque de vitón, una unión, y un reductor de 0.0508 m a 0.0254 m de diámetro. La tubería y accesorios de la batería de filtros de cartucho serían de un diámetro de 0.0254 m. Finalmente, la conexión entre la batería de filtros y el tanque de almacenamiento sería de 0.0508 m de diámetro y necesitaría una unión, y un reductor de 0.0508 m a 0.0254 m de diámetro, un brida y un empaque de vitón. Adicionalmente se colocarán válvulas de bola para que los equipos (bomba, cartuchos, y flujómetro electromagnético) sean fácilmente aislables para los mantenimientos y reparaciones correctivas que sean necesarias.

El diseño que se propone como sistema de filtración es una batería de filtros de cartucho con 8 ramificaciones en paralelo pasando primero por un cartucho de $5 \mu\text{m}$, para la remoción de las partículas más grandes y luego, cada uno de estos está en serie con otro cartucho de $1 \mu\text{m}$ para la clarificación final.

Ambos tipos de cartuchos deben tener un tamaño de 0.508 m (20") para soportar el caudal y deben ser instalados en carcazas transparentes para que el operador fácilmente pueda notar anomalías en el proceso.

El diseño contempla un 13% de sobre dimensionamiento, considerando que el cambio de cada uno de los filtros no detenga el flujo normal del proceso sino que se pueda seguir filtrando mientras se hace el reemplazo de cada cartucho. Además, esto ayudará a que los cartuchos tengan un tiempo de vida mayor, para que el operador se evite el retrabajo de cambiar filtros con mayor frecuencia. El tiempo de reemplazo será determinado por el cambio en la presión de entrada y de salida de cada filtro, por lo cual se colocará un manómetro previo al cartucho de 5 μm , un manómetro entre ambos cartuchos y uno después del cartucho de 1 μm , ya que, soportan un diferencial de presión de 206.8 kPa cada uno.

En los procesos donde se utilizan filtros de cartucho, es importante tomar en cuenta la presión de operación. Altas presiones de trabajo hacen que los filtros de cartucho pierdan su tamaño de poro al abrirlos debido a la fuerza que ejerce el fluido sobre ellos. Por ello, es importante controlar la presión de trabajo de cada uno de los filtros, tanto por la durabilidad de los filtros como por ser un indicador de saturación. A medida que los filtros se saturan logran retener mayores cantidades de sólidos suspendidos, aumentando la eficiencia de sólidos retenidos. Un incremento en la presión del sistema de filtración indica saturación de los filtros al reducir el tamaño de poro debido a la incrustación de partículas sólidas de mayor tamaño.

Los cartuchos a utilizar deben ser de polipropileno, ya que, es un material compatible con el hipoclorito de sodio al 5% p/p y son cartuchos que garantizan una eficiencia constante en remoción de partículas a través de la vida útil del filtro. Este tipo de filtros poseen la ventaja de ocasionar una pequeña caída de presión inicial, aproximadamente de 13.8 kPa (2 psi) y logran alcanzar una presión máxima de operación de 255.0 kPa (37 psi). Además, los filtros de cartucho son fáciles de instalar y de desmontar al momento de saturarse. También, se eliminaría una fuente de contaminación del área, el coadyuvante de filtración, ya que representa un riesgo de calidad que algo de dicho suministro pueda liberarse al producto terminado y también mantiene sucia el área puesto que es un polvo fino y es difícil de adicionar a los tanques de preparación.

Uno de los mayores problemas que se tiene actualmente con el filtro de discos es que no hay un proveedor en Guatemala calificado para brindar los repuestos o hacerle las reparaciones necesarias, por lo que, para poder darle un mantenimiento completo al filtro es necesario enviarlo a Italia. Además, traer los repuestos desde Europa impacta muy fuerte en los costos de mantenimiento del área de manufactura y el tiempo de entrega es de cuatro meses como mínimo, poniendo en riesgo la continuidad del negocio por falta de los mismos. El proveedor de los filtros de cartucho y carcazas se encuentra en Guatemala por lo que la accesibilidad y mejora en costos de repuestos es mucho mayor. Otra ventaja de los filtros de cartucho sobre los filtros de discos es que representan un menor riesgo de seguridad debido a que no son

recipientes a presión, y son mucho más fáciles de limpiar y de darles mantenimiento. Actualmente el operador debe retrolavar los filtros de discos, luego abrirlos, desmontar los discos, lavarlos y volverlos a instalar, y el tiempo total perdido durante este complicado proceso es aproximadamente una hora.

El ahorro inmediato ocasionado por instalar una batería de filtros de cartucho en vez de un filtro de discos es Q 176,000.00, debido a que es un sistema de filtración que surte un proveedor local y no es una tecnología tan especializada como un filtro de discos. Otra implicación que tiene la instalación de un filtro de discos es que éste representa costos de operación de Q 583,200.00 al año, mientras que la batería de filtros de cartucho tendrá costos de operación de Q 532,800.00 al año, representado Q 50,400.00 de ahorro anual.

Otro beneficio en costo del reemplazo de la tecnología de filtración es que sería un proyecto de productividad de personal al reducir el costo de salario y horas extras de dos operadores que se encargarían de la decoloración y neutralización de los lodos ocasionados por el coadyuvante de filtración. Esta productividad impacta directamente en ahorros de Q. 9,600.00 al mes. También, el proyecto generaría un ahorro de Q 15,000.00 al mes al eliminar el uso de sulfito de sodio para la decoloración de los lodos y brindaría Q. 2,000.00 al mes en ahorro de consumo de ácido clorhídrico para neutralizaciones. Además, se eliminaría la necesidad de un filtro prensa para los lodos, el cual representa un costo de mantenimiento de Q. 2,000.00 al mes. El desecho de los filtros de cartucho sería directamente como un desecho sólido no peligroso.

Para determinar la factibilidad del nuevo diseño se determinaron tres parámetros: el valor actual neto (VAN), el B/C incremental y el período de recuperación de capital (RC). El Valor Actual Neto fue Q 442,900.60 con un interés de 11.3% para 5 años, considerando un 10% de costos de instalación para cada diseño y asumiendo una inflación de 8% anual. El interés utilizado se tomó en base a un promedio de la tasa bancaria actual para depósitos a plazo fijo. También se hizo la comparación entre ambas alternativas a través de un análisis B/C incremental. En este análisis si el resultado es menor que uno es mejor invertir en la primera opción y si es mayor que uno es mejor invertir en el nuevo proyecto. En este caso, el resultado fue 1.60 lo que significa que el proyecto retador o propuesto es más rentable que el diseño actual. El período de recuperación de inversión sería en dos años, considerando un incremento del doble de volumen producción.

IX. CONCLUSIONES

1. La turbidez de la solución de hipoclorito de sodio al final del filtro de 5 μm fue 10.34 ± 0.1 NTU para un porcentaje de turbidez eliminado de $70.45 \pm 0.064\%$, respecto a los sólidos que contenía la solución inicial.
2. La turbidez de la solución de hipoclorito de sodio al final del filtro de 1 μm fue 0 ± 0.1 NTU para un porcentaje de turbidez eliminado de $100 \pm 0.128\%$, respecto a los sólidos que contenía la solución inicial.
3. El Valor Actual Neto del proyecto es Q 442,900.60 con un interés de 11.3% y el periodo de recuperación de capital es de 2 años.
4. La cantidad total de filtros de cartucho necesarios para filtrar 300,000 kg/día son ocho de 5 μm instalados en paralelo y ocho de 1 μm instalados en serie con los de 5 μm .
5. La bomba que se diseñó para el traslado del hipoclorito de sodio desde el tanque de preparación por lotes hacia el tanque de almacenamiento es una bomba centrífuga de simple etapa equivalente al modelo A-8475 de 2" x 5.5" x 2" (succión x impelente x descarga).
6. La potencia de la bomba debe ser de 7.547 kW (10 hp) con una eficiencia de 53% con una velocidad radial de 3,525 rpm.
7. El análisis B/C incremental es 1.06 para una proyección de inflación de 8%.
8. Las dimensiones del tanque de preparación por lotes de 15 m^3 con un factor de seguridad del 15% son 3 m de alto y 2.71 m de ancho para un volumen absoluto de 17.25 m^3 y debe estar fabricado en fibra de vidrio.
9. Las dimensiones del tanque de almacenamiento de 45 m^3 con un factor de seguridad del 15% son 5 m de alto y 3.63 m de ancho para un volumen absoluto de 51.75 m^3 y debe estar fabricado en fibra de vidrio.
10. El material de la bomba a utilizar debe ser titanio para soportar la corrosión ocasionada por un químico tan fuerte y la abrasión que produce esta sustancia cristalizante.

11. La tubería utilizada para conectar todo el trayecto desde el tanque de preparación hasta el tanque de almacenamiento debe ser de PVC cédula 80 para que soporte la presión que generará la bomba.
12. La conexión entre el tanque de preparación y la bomba debe ser tubo de 0.0508 m de diámetro, la tubería y accesorios de la batería de filtros de cartucho serían de un diámetro de 0.0254 m y la conexión entre la batería de filtros y el tanque de almacenamiento sería de 0.0508 m de diámetro.
13. Ambos tipos de cartuchos deben tener un tamaño de 0.508 m para soportar el caudal y deben ser instalados en carcazas transparentes. El diseño contempla un 13% de sobre dimensionamiento.
14. Los cartuchos a utilizar deben ser de polipropileno, provocan una caída de presión inicial de 13.8 kPa (2 psi) y logran alcanzar una presión máxima de operación de 255.0 kPa (37 psi).

X. RECOMENDACIONES

1. Evaluar con el proveedor el aumento del rendimiento de los cartuchos si se instala un sistema de retrolavado con agua.
2. En el almacén de la planta tener como mínimo 2 carcazas completas para hacer reparaciones en caso de fallas en el sistema.
3. Agregar al plan de mantenimiento la inspección detallada de las carcazas y la programación del cambio de empaques.
4. Evaluar la posible colocación de un turbidímetro en línea con alarma para asegurar que todo el tiempo el producto que se está enviando cumple con las especificaciones de calidad y evitar cualquier contaminación por falla o desperfecto en algún cartucho.
5. Diseñar un dique de contención contra derrames para ambos tanques y para la batería de filtros de cartucho.
6. Instalar sensores de nivel en el tanque de almacenamiento que automáticamente apaguen la bomba centrífuga para evitar algún rebalse del tanque.
7. Incluir en el diseño de los tanques dispositivos de seguridad para rebalses y entradas hombre para facilitar la reparación de los mismos.

XI. BIBLIOGRAFÍA

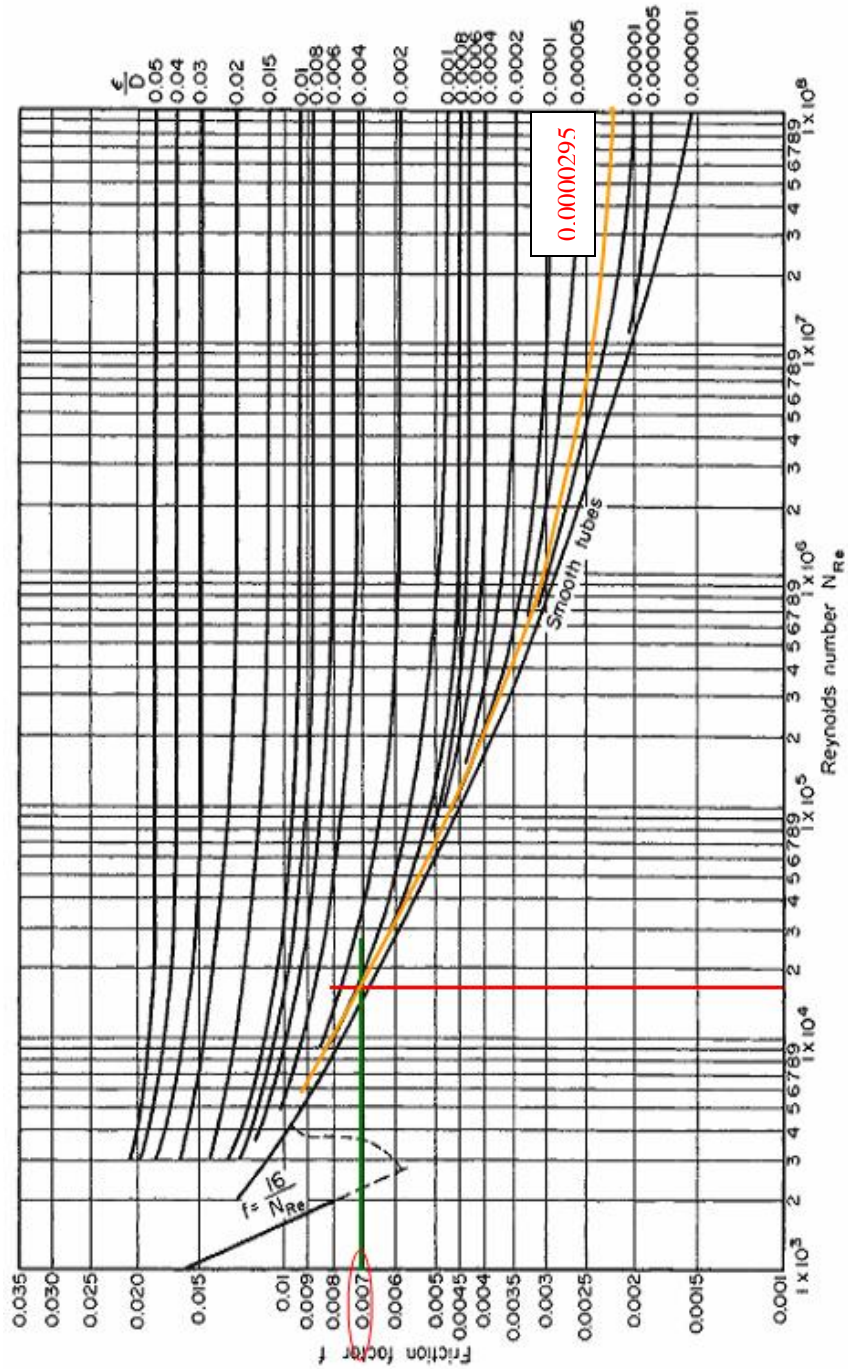
1. Chohey, N. 2004. *Handbook of Chemical Engineering Calculations*. 3ª ed. Nueva York, Estados Unidos. McGraw-Hill. 14-21 págs.
2. McCabe, W; Smith, J; Harriott, P. 1991. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 4ª ed. México. McGraw-Hill. 1199 págs.
3. Perry, R. 2001. *Manual del Ingeniero Químico*. 7ª ed. Vol VIII. España. McGraw-Hill. 18-131 págs.
4. Richardson, J. 2002. *Chemical Engineering*. 5ª ed. Nueva York, Estados Unidos. McGraw-Hill. 1229 págs.
5. Sapag, Nassir. 2007. *Proyectos de inversión, formulación y evaluación*. 1ª ed. México. Pearson Prentice Hall. 486 págs.
6. Sconce, J. 2003. *Chlorine, its manufacture, properties and uses*. 2ª ed. Nueva York, Estados Unidos. Litton Educational Inc. 834 págs.

XII. APÉNDICE

A. Gráficas

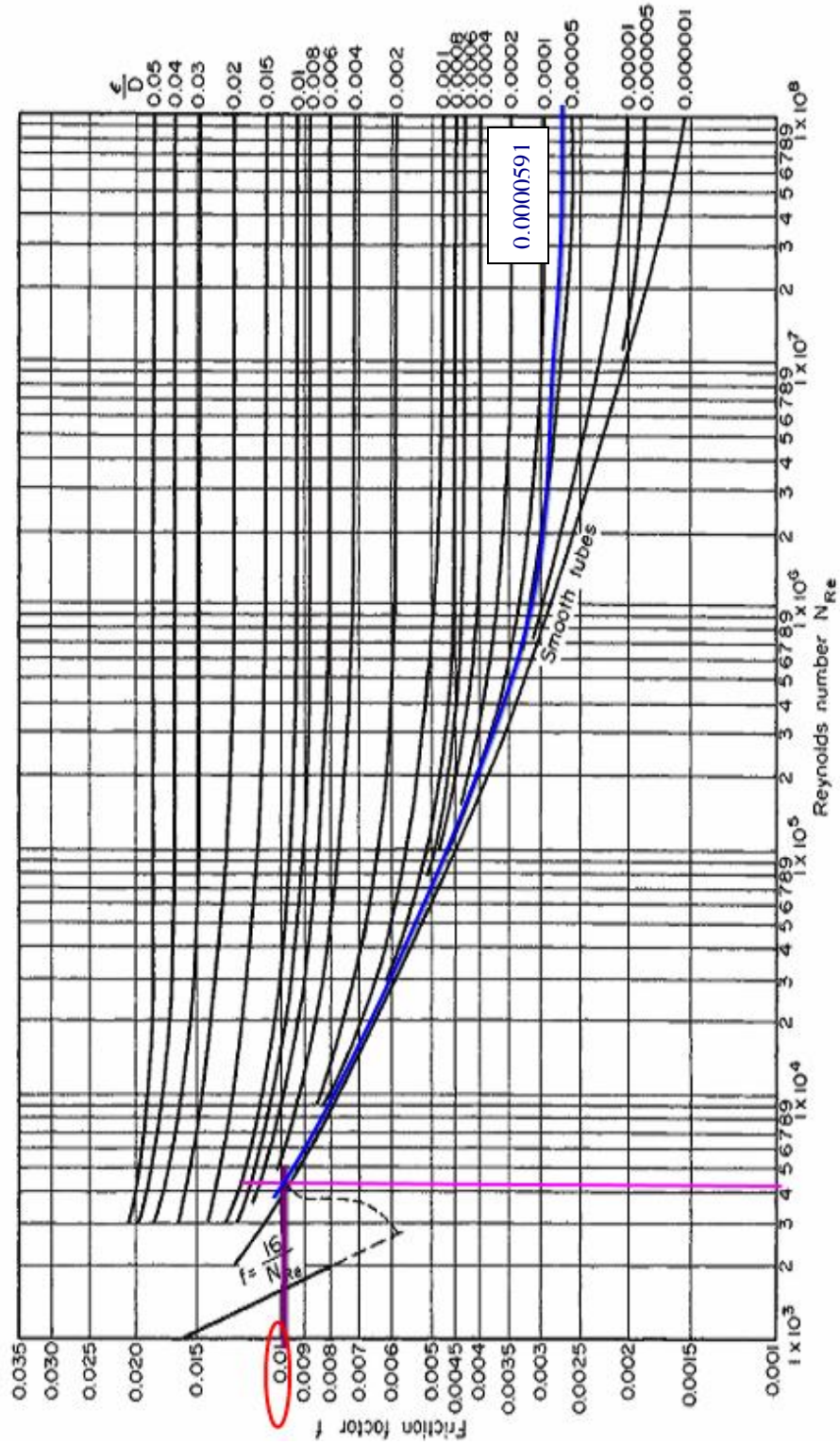
Gráfica 1

Gráfica del factor de fricción para un número de Reynolds de 17,081 y un diámetro de tubo de 0.0508 m



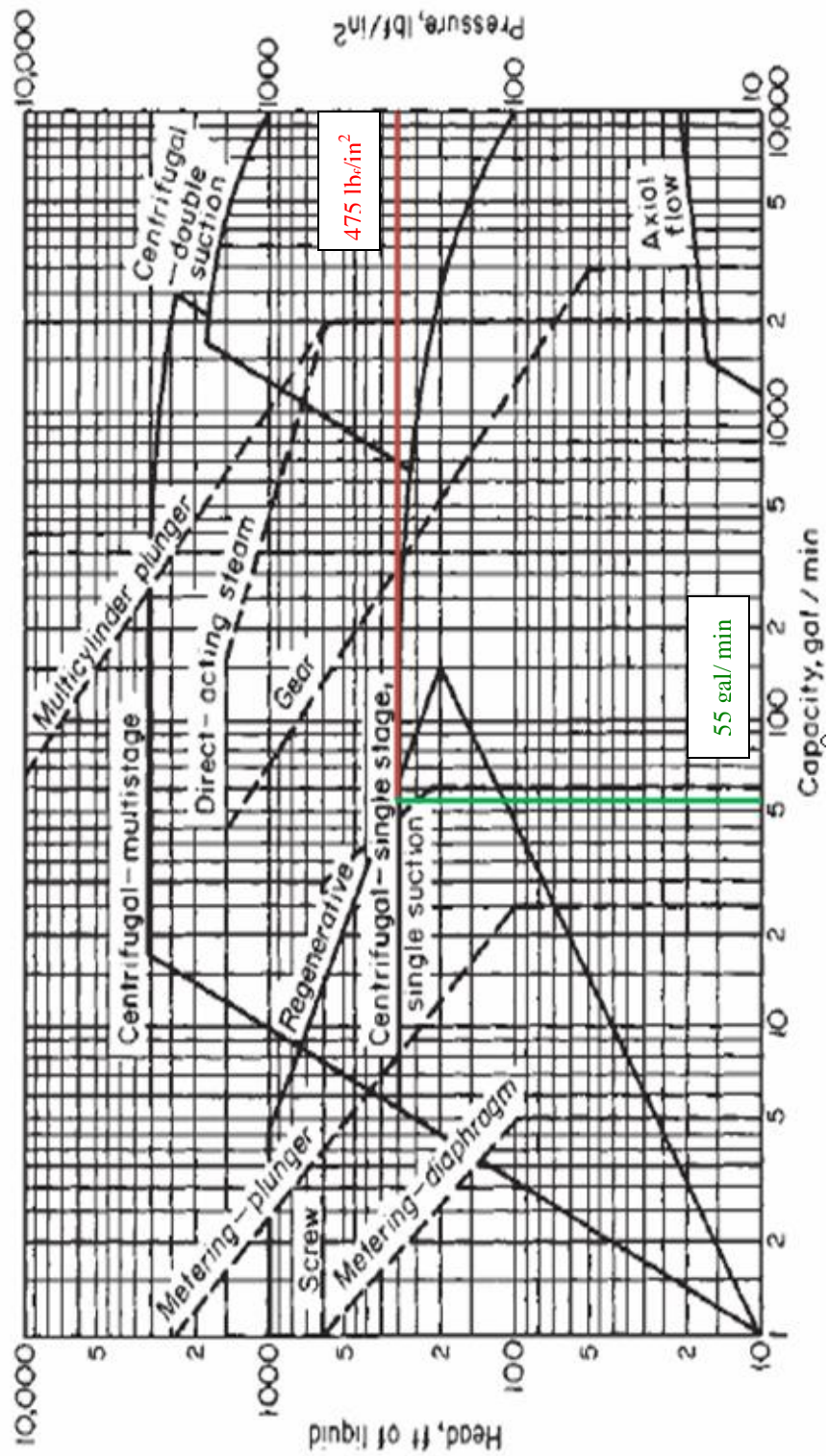
Gráfica 2

Gráfica del factor de fricción para un número de Reynolds de 4,270.4 y un diámetro de tubo de 0.0254 m



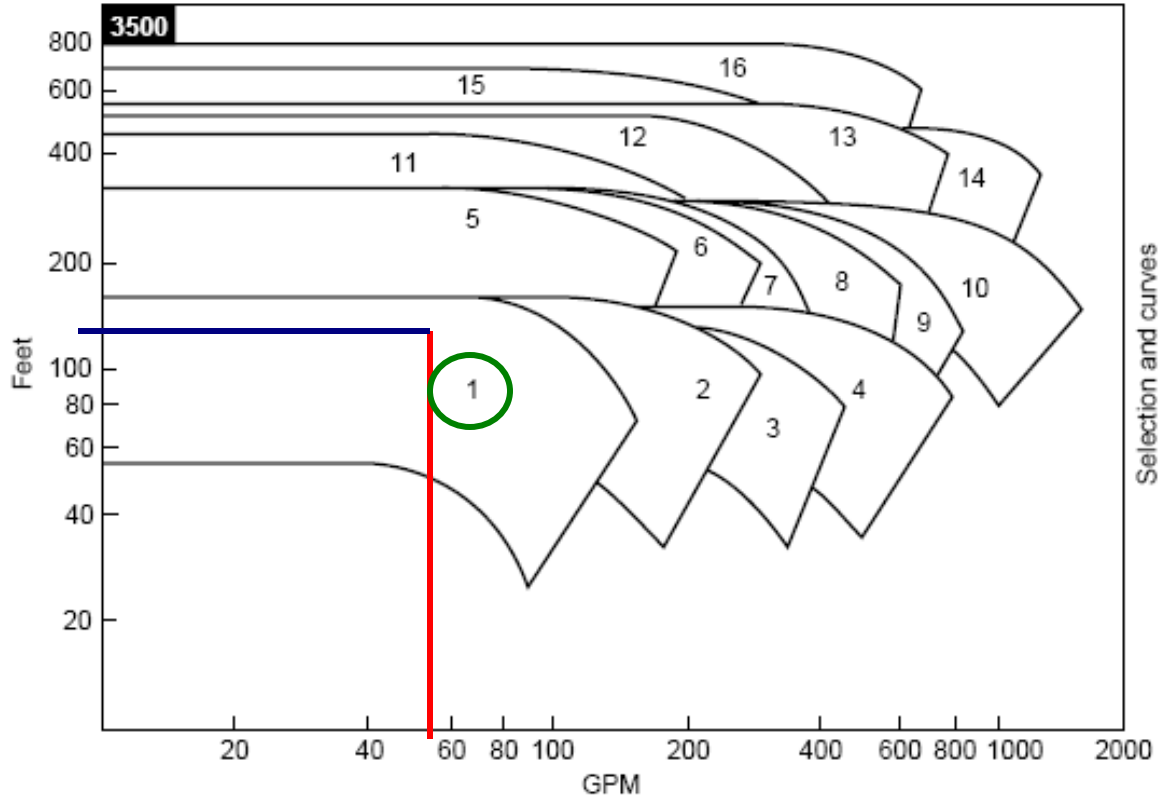
(Perry, 2003: 6-10)

Gráfica 3
Elección del tipo de bomba a utilizar



(Perry, 2003: 10-24)

Gráfica 4
Elección de la curva de bomba centrífuga a utilizar

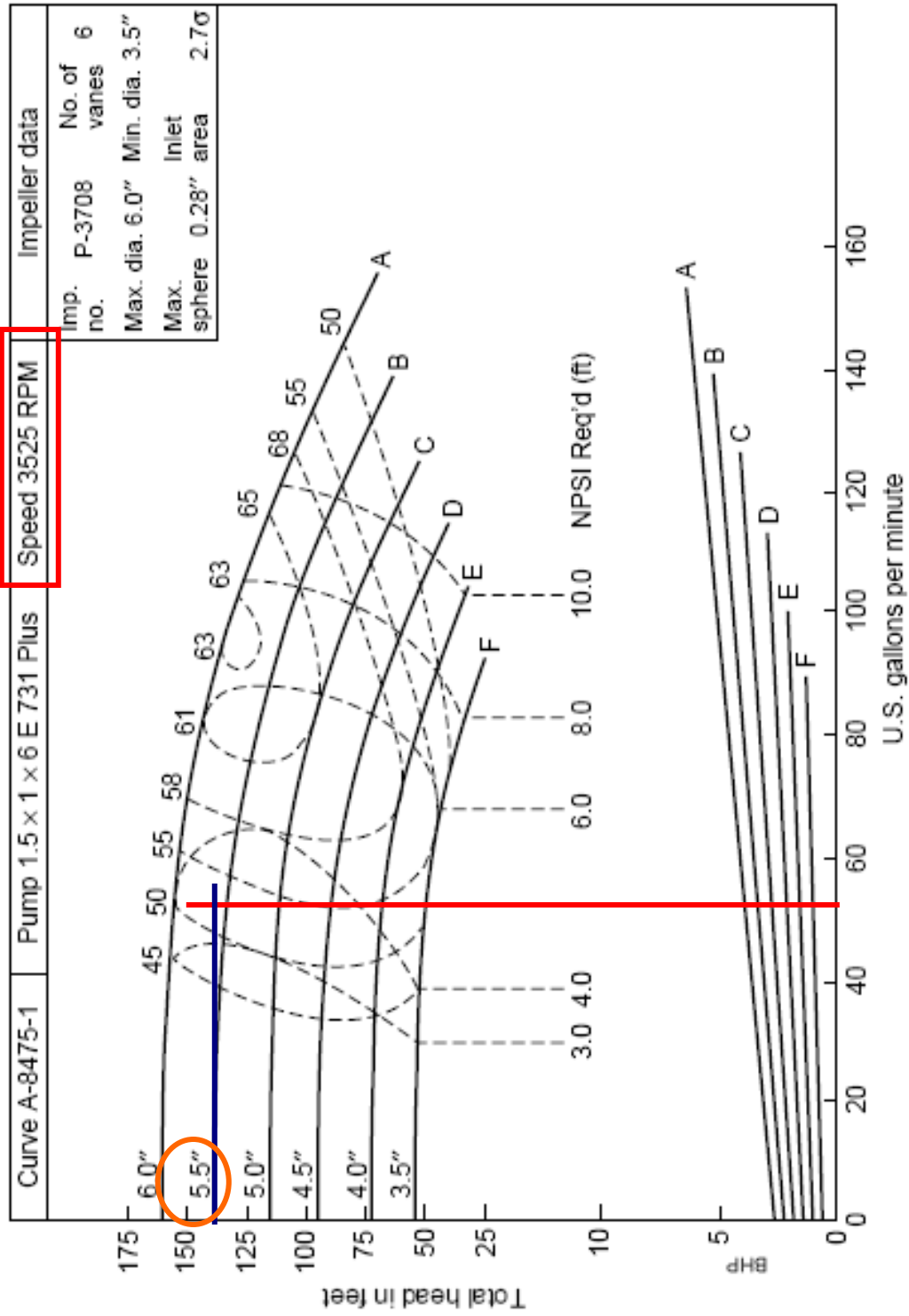


| Range No | Pump | Curve | Range No. | Pump | Curve |
|----------|--------------------------|--------|-----------|-------------------------|--------|
| 1 | 1.5 x 6 E 731 Plus | A-8475 | 9 | 4 x 3 x 8.5 731 Plus | A-8969 |
| 2 | 3 x 1.5 x 6 731 Plus | A-8982 | 10 | 6 x 4 x 8.5 731 Plus | A-8547 |
| 3 | 3 x 2 x 6 731 Plus | A-8159 | 11 | 2 x 1 x 10 E 731 Plus | A-8496 |
| 4 | 4 x 3 x 6 731 Plus | A-8551 | 12 | 3 x 1.5 x 11 E 731 Plus | A-8543 |
| 5 | 1.5 x 1 x 8 731 Plus | A-8153 | 13 | 3 x 2 x 11 731 Plus | A-8456 |
| 6 | 3 x 1.5 x 8 731 Plus | A-8155 | 14 | 4 x 3 x 11 731 Plus | A-7342 |
| 7 | 3 x 1.5 x 8.5 E 731 Plus | A-8529 | 15 | 3 x 1.5 x 13 E 731 Plus | A-8492 |
| 8 | 3 x 2 x 8.5 E 731 Plus | A-8506 | 16 | 3 x 2 x 13 731 Plus | A-7338 |

(Perry, 2003: 10-26)

Gráfica 5

Curva específica de las bombas centrífugas A-8475



(Perry, 2003: 10-26)

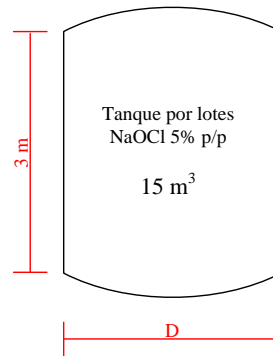
B. Cálculo de muestra

1. Cálculos técnicos

- a. Cálculo del ancho de un tanque cilíndrico vertical dada una altura fija

Figura 6

Tanque de preparación por lotes con capacidad de 15 m^3



Ecuación 3:
$$D = \sqrt{\frac{4f_s V}{\pi h}}$$

donde

- D = Diámetro del tanque
- f_s = Factor de seguridad
- V = Volumen requerido de fluido en el tanque
- h = Altura de tanque establecida

$$D = \sqrt{\frac{4(1.15)(15 \text{ m}^3)}{\pi(3 \text{ m})}} = 2.71 \text{ m}$$

- b. Caudal total

$$55 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{3.785 \text{ L}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1,000 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 3.47 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

- c. Área transversal de un tubo

Ecuación 4:
$$A = 2\pi r^2$$

donde r = radio del tubo

$$A = 2\pi(0.0254)^2 = 4.05 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

d. Velocidad lineal del flujo

Ecuación 5: $V = \frac{Q}{A}$

donde $Q =$ caudal de fluido en m^3/s
 $A =$ área transversal a través de la cual fluye el fluido.

$$V = \frac{3.47 \times 10^{-3} m^3/s}{4.05 \times 10^{-3} m^2} = 0.856 m/s$$

e. Longitud de tubo liso

$$0.6m + 0.2m + 0.8m + 3m + 5m = 9.6m$$

f. Número de Reynolds

Ecuación 6: $Re = \frac{DV\rho}{\mu}$

donde $D =$ diámetro del tubo
 $V =$ velocidad lineal con la que se desplaza el fluido
 $\rho =$ densidad del fluido en kg/m^3
 $\mu =$ viscosidad del fluido en $Pa \cdot s$.

$$Re = \frac{(0.0508m)(0.856m/s)(1,100kg/m^3)}{(0.0028Pa \cdot s)} = 17,083$$

∴ es un flujo turbulento

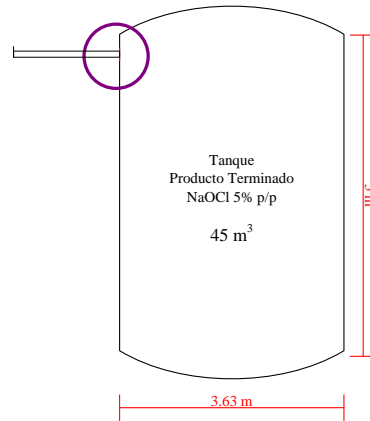
g. Ecuación de Blasius para flujos turbulentos en tubos lisos para la determinación del factor de fricción

Ecuación 7: $f = \frac{0.079}{(Re)^{0.25}} \quad 4,000 < Re < 10^5 \quad (\text{Ecuación 6-37 Perry})$

$$f = \frac{0.079}{(17,083)^{0.25}} = 0.0069$$

h. Coeficiente de pérdida por expansión

Figura 7

Expansión desde el tubo de 0.0508 m de diámetro hacia un tanque de 45 m³

Ecuación 8:
$$K_e = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

donde $A_1 =$ área transversal antes de la expansión
 $A_2 =$ área transversal después de la expansión. (McCabe, 2003:127)

Si $A_1 \ll A_2$, entonces $\frac{A_1}{A_2}$ tiende a cero y la pérdida por fricción debida a la expansión súbita es

$$K_e = (1 - 0)^2 = 1$$

i. Pérdidas por accesorios

Ecuación 9:
$$K_f = 2 K_{\text{codo } 90^\circ} + 2 K_{\text{válvula de bola}} + K_{\text{unión del tanque}}$$

$$K_f = 2(0.75) + 2(0.17) + 0.04 = 1.88$$

j. Pérdidas por fricción de forma en la ecuación de Bernoulli

Ecuación 10:
$$h_f = \left(4f \frac{L}{D} + K_c + K_e + K_f\right) \frac{\bar{V}^2}{2}$$

donde $f =$ factor de fricción
 $L =$ largo de tubería
 $D =$ diámetro de la tubería

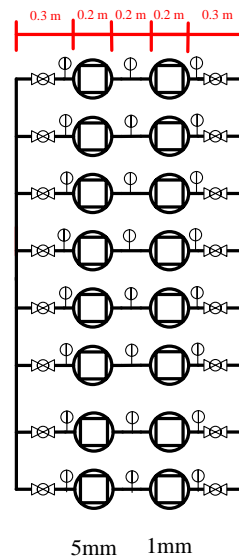
K_c = coeficiente de pérdidas por contracción
 K_e = coeficiente de pérdidas por expansión
 K_f = factor de pérdida por accesorios
 \bar{V} = velocidad lineal promedio del fluido. (McCabe, 2003:129)

$$h_f = \left(4(0.0069) \frac{9.6}{0.0508m} + 0 + 1 + 1.88 + 0.88 \right) \frac{(0.856m/s)^2}{2} = 3.2902 J/kg$$

k. Pérdida por fricción en filtros de cartucho completamente saturados

Figura 8

Batería de filtros de cartucho de 5 μm y 1 μm



Ecuación 11:
$$h_{f_{cartucho}} = \frac{\Delta P}{\rho}$$

donde ΔP = Diferencial de presión entre la alimentación y descarga del filtro en Pa
 ρ = densidad del fluido en kg/m^3

$$h_{f_{cartucho}} = \frac{\left(30 psi \times \frac{101,325 Pa}{14.7 psi} \right)}{1,100 \frac{kg}{m^3}}$$

1. Pérdida por fricción en filtros de cartucho completamente saturados

$$\text{Ecuación 12: } \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 + \eta W_s = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 + h_f$$

| | | | |
|-------|--------|---|---|
| donde | P_1 | = | Presión inicial en Pa |
| | P_2 | = | Presión final en Pa |
| | V_1 | = | Velocidad lineal inicial en m/s |
| | V_2 | = | Velocidad lineal final en m/s |
| | Z_1 | = | Altura inicial sobre el nivel de referencia en m |
| | Z_2 | = | Altura final sobre el nivel de referencia en m |
| | W_s | = | Trabajo efectivo ejercido por una bomba en W |
| | h_f | = | Pérdida por fricción en tubería y accesorios en m^2/s^2 |
| | ρ | = | Densidad del líquido bombeado kg/m^3 |
| | η | = | Eficiencia de la bomba en % |
| | g | = | Gravedad en m/s^2 |

$$\eta W_s = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) + h_f$$

$$\eta W_s = \frac{537,750Pa - 124,179Pa}{1,100 \frac{kg}{m^3}} + 9.8 \frac{m}{s^2} (1.1m - 0m) + 3,015.78 \frac{m^2}{s^2}$$

$$W_s = \frac{3402.53 \frac{m^2}{s^2}}{53\%} = 6,419.87W (8.60hp)$$

2. Cálculos financieros:

- a. Cálculo del valor futuro de una cantidad de dinero para n cantidad de años

Ecuación 13: $F = P(1 + i)^n$

donde F = Valor futuro de una cantidad de dinero actual
 P = Valor presente del dinero
 i = Tasa de interés proyectada
 n = Cantidad de años en los que se hace la proyección

$$F = 5,000(1 + 0.08)^5 = Q7,346.64$$

- b. Cálculo de anualidades homogéneas a pagar a partir de un valor presente durante n cantidad de años

Ecuación 14: $A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$

donde A = Valor anual homogéneo durante 5 años
 P = Valor presente del dinero
 i = Tasa de interés proyectada
 n = Cantidad de años en los que se hace la proyección

$$A = 245,000 \left[\frac{0.08(1+0.08)^5}{(1+0.08)^5 - 1} \right] = Q61,361.83$$

- c. Cálculo del valor actual neto dada una serie de valores en distintos años

Ecuación 15: $VAN = A(P/A, i\%, n) - IP$

donde VAN = Valor actual neto
 A = Valor anual recuperado durante 5 años
 IP = Valor presente de la inversión
 i = Tasa de interés proyectada
 n = Cantidad de años en los que se hace la proyección

$$VAN = 70,400(P/A, 11.3\%, 5) - 121,000 = Q442,900.60$$

- d. Cálculo de la relación Beneficio/Costo (B/C) incremental para comparación de alternativas

$$\text{Ecuación 16: } B/C = \frac{\Delta B}{\Delta C}$$

donde B/C = Relación incremental
 ΔB = Beneficios del retador – beneficios del defensor
 ΔC = Costos del retador – costos del defensor

$$B/C = \frac{(546,800 - 617,200)}{(30,305 - 74,386)} = 1.60$$

•• La opción más rentable es la batería de filtros de cartucho

- e. Cálculo del período de retorno de inversión para los filtros de cartucho

$$\text{Ecuación 17: } 0 = -IP + A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

donde IP = Valor presente de la inversión
 A = Valor anual recuperado durante 5 años
 i = Tasa de interés proyectada
 n = Cantidad de años en los que se recupera la inversión

$$0 = -121,000 + 70,400 \left[\frac{(1 + 0.113)^n - 1}{0.113(1 + 0.113)^n} \right]$$

$$n = 2$$

•• La inversión de capital se recupera en 2 años

C. Datos calculados

Cuadro 7

Producción diaria actual y después de la inversión

| Capacidades | kg/día |
|-----------------------------|---------|
| Actual (1 filtro de discos) | 150,000 |
| Requerida | 300,000 |

Cuadro 8

Tiempos efectivos de filtración

| Filtración | No. Lotes | Tiempo (horas) | |
|---------------------------------|-----------|----------------|------------|
| | | Lavado | Filtración |
| Actual (1 filtro de discos) | 9 | 1.75 | 22.25 |
| Requerida (2 filtros de discos) | 18 | 2.50 | 21.50 |
| Requerida (filtros de cartucho) | 18 | 1.00 | 23.00 |

Cuadro 9

Cantidad de filtros de cartucho en paralelo necesarios

| Filtración | Caudal necesario (m ³ /min) | Cantidad de filtros de cartucho en paralelo |
|---------------------------------|--|---|
| Actual (1 filtro de discos) | 0.102 | 4 |
| Requerida (2 filtros de discos) | 0.211 | 7 |
| Requerida (filtros de cartucho) | 0.198 | 7 |

Cuadro 10

Número de Reynolds y factor de fricción para un tubo de 0.0508 m de diámetro

| Parámetro | Cálculo |
|------------------|---------------------------|
| Radio del tubo | 0.0254 m |
| Caudal total | 0.00347 m ³ /s |
| Densidad | 1,100 kg/m ³ |
| Viscosidad | 0.0028 Pa · s |
| Área transversal | 0.00405 m ² |
| Velocidad lineal | 0.856 m/s |
| <i>Re</i> | 17,081.59 |
| <i>f</i> | 0.0069 |

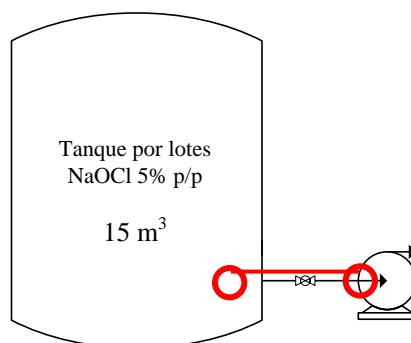
Cuadro 11

Número de Reynolds y factor de fricción para un tubo de 0.0254 m de diámetro

| Parámetro | Cálculo |
|------------------|---------------------------|
| Radio del tubo | 0.0127 m |
| Caudal total | 0.00043 m ³ /s |
| Densidad | 1,100 kg/m ³ |
| Viscosidad | 0.0028 Pa · s |
| Área transversal | 0.00101 m ² |
| Velocidad lineal | 0.428 m/s |
| Re | 4,270.40 |
| f | 0.0098 |

Figura 9

Tramo 1 del trayecto total desde el tanque de preparación hasta la bomba centrífuga



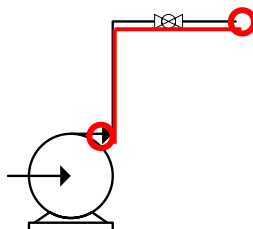
Cuadro 12

Fricción por tubería y accesorios del tramo 1

| Factores | Cálculo |
|---|---------|
| Longitud de tubo | 0.80 m |
| K longitud tubo | 0.44 |
| K contracción | 0.50 |
| K accesorios | 0.25 |
| $h_{f \text{ tramo 1}}$ (m ² /s ²) | 0.4342 |

Figura 10

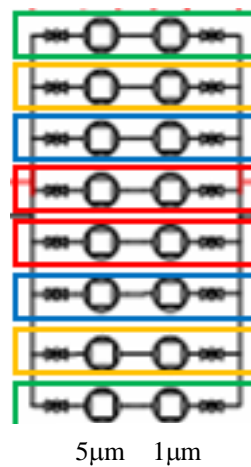
Tramo 2 del trayecto total desde la descarga de la bomba centrífuga hasta la batería de filtros de cartucho



Cuadro 13
Fricción por tubería y accesorios del tramo 2

| Factores | Cálculo |
|---|---------|
| Longitud de tubo | 1.40 |
| $K_{\text{longitud tubo}}$ | 0.76 |
| $K_{\text{contracción}}$ | 0.47 |
| $K_{\text{accesorios}}$ | 0.96 |
| $h_{f \text{ tramo 2}} \text{ (m}^2/\text{s}^2\text{)}$ | 0.8024 |

Figura 11
Tramo 3 del trayecto total abarca toda la batería de filtros de cartucho

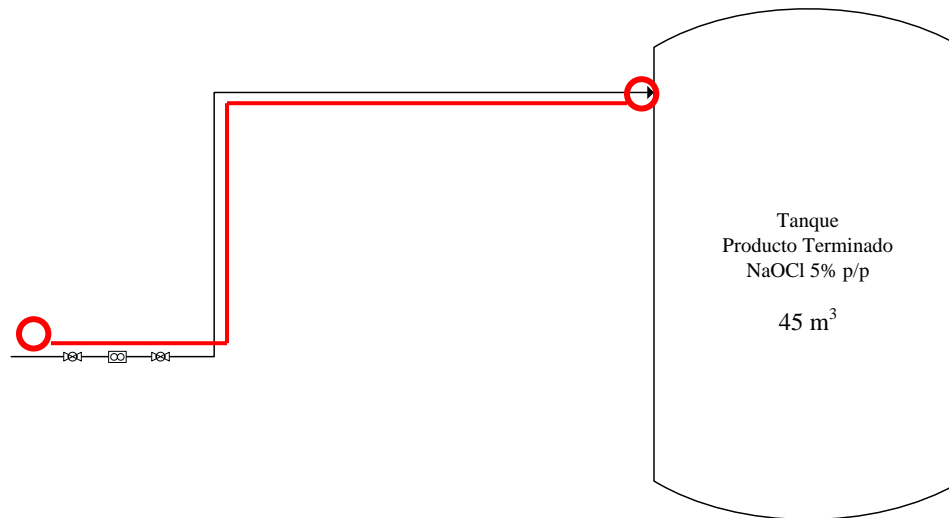


Cuadro 14
Fricción por tubería, accesorios y cartuchos del tramo 3

| Variables | Ramificación 1 | Ramificación 2 | Ramificación 3 | Ramificación 4 |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Flujo (m ³ /s) | 0.00043 | 0.00043 | 0.00043 | 0.00043 |
| Velocidad lineal (m/s) | 0.428 | 0.428 | 0.428 | 0.428 |
| $K_{\text{accesorios}}$ | 4.34 | 6.34 | 8.34 | 9.84 |
| $K_{\text{longitud tubo}}$ | 1.23 | 1.85 | 2.46 | 2.46 |
| $h_{f \text{ filtros}} \text{ (m}^2/\text{s}^2\text{)}$ | 375.97 | 375.97 | 375.97 | 375.97 |
| $h_{f \text{ ramificación}} \text{ (m}^2/\text{s}^2\text{)}$ | 376.48 | 376.72 | 376.96 | 377.10 |
| $h_{f \text{ total}} \text{ (m}^2/\text{s}^2\text{)}$ | 3,014.54 | | | |

Figura 12

Tramo 4 del trayecto total desde la salida de la batería de filtros de cartucho hasta el tanque de almacenaje



Cuadro 15

Fricción por tubería y accesorios del tramo 4

| Factores | Cálculo |
|---|---------|
| Longitud de tubo | 9.6 m |
| $K_{\text{longitud tubo}}$ | 5.22 |
| $K_{\text{expansión tanque}}$ | 1.00 |
| $K_{\text{expansión codo}}$ | 0.88 |
| $K_{\text{accesorios}}$ | 1.88 |
| $h_{f \text{ tramo 4}} \text{ (m}^2/\text{s}^2\text{)}$ | 3.2902 |

Cuadro 16

Gasto mensual en filtros de cartucho al mes durante el año 1

| Filtros de cartucho | Cambio | Precio unitario | Cantidad | Gasto mensual en el año 1 |
|-------------------------|----------------|-----------------|----------|---------------------------|
| Filtros 5 μm | 2 veces al día | Q. 64.80 | 60 u/mes | Q. 31,104.00 |
| Filtros 1 μm | 1 vez al día | Q. 70.20 | 30 u/mes | Q. 16,848.00 |
| | | | Total | Q. 47,952.00 |

Cuadro 17

Cálculo financiero de los gastos de un filtro de discos para 5 años con una inflación del 8%

| Gastos en quetzales | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Filtro extra | 150,000 | | | | | |
| Tanque extra | 50,000 | | | | | |
| Bomba | 70,000 | | | | | |
| Instalación completa | 27,000 | | | | | |
| Mantenimiento de las bombas | | 10,800 | 11,664 | 12,597 | 13,605 | 14,693 |
| Operador de lodos | | 124,416 | 134,369 | 145,119 | 156,728 | 169,267 |
| Mantto. Filtro Prensa | | 25,920 | 27,994 | 30,233 | 32,652 | 35,264 |
| Sulfito | | 194,400 | 209,952 | 226,748 | 244,888 | 264,479 |
| Ácido Clorhídrico | | 25,920 | 27,994 | 30,233 | 32,652 | 35,264 |
| Mantenimiento de telas | | 129,600 | 139,968 | 151,165 | 163,259 | 176,319 |
| Coadyuvante de filtración | | 155,520 | 167,962 | 181,399 | 195,910 | 211,583 |
| TOTAL | 297,000 | 666,576 | 719,902 | 777,494 | 839,694 | 906,869 |

Cuadro 18

Cálculo financiero de los gastos de una batería de filtros de cartucho para 5 años con una inflación del 8%

| Gastos en quetzales | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Batería de filtros de cartucho | 15,000 | | | | | |
| Tanque extra | 50,000 | | | | | |
| Bomba | 45,000 | | | | | |
| Instalación completa | 11,000 | | | | | |
| Mantenimiento de la bomba | | 15,120 | 16,330 | 17,636 | 19,047 | 20,571 |
| Filtros 5 µm cambio 1 vez turno | | 373,248 | 403,108 | 435,356 | 470,185 | 507,800 |
| Filtros 1 µm cambio 1 vez día | | 202,176 | 218,350 | 235,818 | 254,684 | 275,058 |
| TOTAL | 121,000 | 590,544 | 637,788 | 688,811 | 743,915 | 803,429 |

XIII. GLOSARIO

A. Coadyuvante de filtración

Un aditivo es una sustancia que se utiliza en pequeñas cantidades para cambiar las propiedades de otra.

B. Filtración

Es la operación unitaria cuyo objetivo 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.

C. Filtro

Equipo de las operaciones unitarias por medio del cual se realiza la filtración.

D. Filtro de cartucho

Son unidades que consisten en uno o más cartuchos reemplazables o renovables que contienen el elemento activo de filtración.

E. Medio filtrante

Es la barrera que permite que pase el fluido mientras retiene la mayor parte de los sólidos.

F. Valor Actual Neto (VAN):

Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros. Es el valor presente de una inversión. Si éste es mayor que cero, mostrará cuánto se gana con el proyecto, después de recuperar la inversión, por sobre la tasa i que se exigía de retorno al proyecto; si el resultado es igual a cero, indica que el proyecto reporta exactamente la tasa i que se quería obtener después de recuperar el capital invertido; y si el resultado es negativo, muestra el monto que falta para ganar la tasa que se deseaba obtener después de recuperada la inversión.

