

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Reutilización del agua de purga de caldera para fundir silicato de sodio en la producción jabón sintético lavaplatos en una fábrica de jabones

Trabajo de investigación presentado por
Helwe Irasema Hernández Pérez
para optar al grado de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala
2006

Reutilización del agua de purga de caldera para fundir
silicato de sodio en la producción jabón sintético lavaplatos en
una fábrica de jabones

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Reutilización del agua de purga de caldera para fundir
silicato de sodio en la producción jabón sintético lavaplatos en
una fábrica de jabones

Trabajo de investigación presentado por
Helwe Irasema Hernández Pérez
para optar al grado de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala
2006

PREFACIO

El agua no sólo es un recurso vital en la manufactura de productos químicos, sino también es un recurso natural que se debe usar con máxima eficiencia. Es por ello que es importante que toda industria se enfoque en la reducción de consumo de recursos naturales y desechos, con el fin de minimizar el impacto que pueda ocasionar al medio ambiente. Este trabajo de graduación, surge como un proyecto ambiental, el cual se enfoca en la reducción de consumo de agua para la producción de jabones sintéticos lavaplatos en una fabrica de jabón en Guatemala.

Le doy gracias a Dios, a mis padres, hermanas y a mi familia, en general, por su apoyo en todo momento. Asimismo, agradezco a todas las personas que me brindaron toda la información y los recursos necesarios para la elaboración de este proyecto.

RESUMEN

El proyecto consistió en el diseño de un sistema de recuperación y reutilización de agua de purga de caldera para la fundición de silicato de sodio.

Para su efecto, se evaluó el sistema actual de fundición de silicato de sodio, el cual es una materia prima empleada para la producción de jabón sintético lavaplatos. El diseño del sistema de reutilización de agua de purga de caldera, consistió en especificar el tipo de tubería y accesorios necesarios. Finalmente se estimó la bomba a instalar para trasladar el agua recuperada hacia el área de fundición de silicato de sodio.

Asimismo, se llevó a cabo un análisis económico del proyecto, el cual se basó en la inversión inicial necesaria para implementar el sistema propuesto y en el ahorro de costos que este proyecto representa para la fábrica de jabones.

Con los resultados obtenidos, puede concluirse que el sistema de recuperación de agua de purga de caldera para la fundición de silicato de sodio, no sólo contribuirá a la reducción de costos de producción, sino también mejorará el desempeño ambiental de dicha fábrica.

ABSTRACT

The following graduation job emerges as an environmental project, which was focused in reduction of water consumption in a soap factory in Guatemala to produce dishwasher synthetic detergents.

In order to make this project possible, the actual sodium silicate melt process was evaluated. The sodium silicate is a raw material used to produce dishwasher synthetic detergents. The design to reuse the boiler purge water consisted in specifying the necessary pipe type and fittings for the proposed process. Finally, the pump to install was estimated. This pump will be used to translate the water to the sodium silicate area.

An economical analysis was also made, which was based on the necessary initial inversion for the proposed system and the costs savings that the implementation of this project represents to the soap factory.

By the obtained results, it can be concluded that the recuperation of the boiler purge water to melt the sodium silicate will not only contribute to the reduction of manufacturing costs but will also improve the factory's environmental performance.

ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|-------------------------|--------|
| PREFACIO..... | iv |
| RESUMEN..... | v |
| ABSTRACT..... | vi |
| LISTADO DE TABLAS..... | viii |
| LISTADO DE FIGURAS..... | ix |

Capítulos

| | |
|---|----|
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. ANTECEDENTES..... | 2 |
| A. Proceso de producción de jabones en barra, cremas lavaplatos y productos limpiadores..... | 2 |
| 1. Formulación..... | 2 |
| 2. Proceso de producción de los jabones sintéticos..... | 4 |
| B. Sistema de tuberías..... | 4 |
| 1. Tamaños de tuberías..... | 5 |
| 2. Selección de tamaño de tuberías..... | 5 |
| 3. Válvulas..... | 5 |
| 4. Soportes y cargadores..... | 7 |
| 5. Fricción debida a variaciones de velocidad o dirección..... | 8 |
| C. Medición de caudal..... | 9 |
| 1. Medidores de flujo que utilizan caída de presión..... | 11 |
| 2. Medidores volumétricos..... | 11 |
| 3. Medidores másicos..... | 11 |
| D. Bombas..... | 11 |
| 1. Bombas Centrífugas..... | 12 |
| III. JUSTIFICACIÓN..... | 15 |

| | |
|-------------------------|----|
| IV. OBJETIVOS..... | 16 |
| V. PROBLEMA..... | 17 |
| VI. METODOLOGÍA..... | 18 |
| VII. RESULTADOS..... | 19 |
| VIII. DISCUSIÓN..... | 24 |
| IX. CONCLUSIONES..... | 28 |
| X. RECOMENDACIONES..... | 29 |
| XI. BIBLIOGRAFÍA..... | 30 |
| XII. APÉNDICES..... | 31 |

| | |
|--|----|
| Apéndice A: Condiciones de operación del sistema propuesto..... | 31 |
| Apéndice B: Cálculos de muestra..... | 31 |
| Apéndice C: Determinación de la bomba a instalar para el sistema propuesto | 38 |
| Apéndice D: Datos originales obtenidos para análisis de costos..... | 40 |
| Apéndice E: Análisis de costos para proyecto..... | 41 |
| Apéndice F: Gráficas características de las bombas..... | 43 |

LISTADO DE TABLAS

| | | Página |
|---------------|---|--------|
| Tabla No. 1: | Coefficientes de pérdida por fricción en accesorios de tubería..... | 8 |
| Tabla No. 2: | Datos de la tubería del sistema propuesto para el transporte del agua de purga de la caldera hacia la fosa de almacenamiento..... | 19 |
| Tabla No. 3: | Válvula de acero al carbón del sistema de tubería propuesto para el transporte del agua de purga calderas hacia la fosa de almacenamiento..... | 19 |
| Tabla No. 4: | Datos de la tubería del sistema propuesto para el transporte del agua de purga de la caldera hacia el área de fundición de silicato de sodio..... | 19 |
| Tabla No. 5: | Accesorios de acero al carbón del sistema de tuberías propuesto para transporte del agua de purga calderas hacia el área de fundición de silicato de sodio..... | 19 |
| Tabla No. 6: | Válvulas de acero al carbón del sistema de tuberías propuesto para transporte del agua de purga calderas hacia el área de fundición de silicato de sodio..... | 19 |
| Tabla No. 7: | Dimensiones de la bomba para el transporte del agua de purga hacia área de fundición de silicato de sodio..... | 20 |
| Tabla No. 8: | Resultados de indicadores económicos para evaluación del proyecto..... | 20 |
| Tabla No. 9: | Datos de las condiciones de operación del sistema de recuperación del agua de purga de calderas..... | 31 |
| Tabla No. 10: | Accesorios y válvulas a colocar en tubería y su correspondiente K_L | 34 |
| Tabla No. 11: | Datos calculados para graficar la curva del sistema..... | 37 |
| Tabla No. 12: | Dimensiones comerciales de tubo de acero al carbón..... | 38 |
| Tabla No. 13: | Bases de diseño de la bomba a instalar para el sistema de reutilización de agua de purga..... | 39 |
| Tabla No. 14: | Características de la bomba modelo 3196_A 1 x 1.5 - 6 STX | 39 |
| Tabla No. 15: | Costos de inversión inicial..... | 40 |
| Tabla No. 16: | Costos de materia prima de la planta de tratamiento por metro cúbico tratado | 40 |
| Tabla No. 17: | Costos de mano de obra del personal de la planta de tratamiento por metro cúbico tratado | 40 |
| Tabla No. 18: | Datos calculados de beneficios a obtener con la implementación del proyecto de recuperación y reutilización de agua de purga de la caldera..... | 40 |
| Tabla No. 19: | Flujo de caja para el proyecto de recuperación de agua de purga de caldera para fundición de silicato de sodio..... | 41 |

LISTADO DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| Figura No. 1: Válvula de compuerta..... | 5 |
| Figura No. 2: Válvula de globo..... | 6 |
| Figura No. 3: Válvula de bola..... | 6 |
| Figura No. 4: Válvula de mariposa..... | 7 |
| Figura No. 5: Tipos de soportes y cargadores, por MSS..... | 7 |
| Figura No. 6: Medidor de flujo de venturi..... | 9 |
| Figura No. 7: Tubo de pitot..... | 10 |
| Figura No. 8: Medidores de orificio..... | 10 |
| Figura No. 9: Diagrama de bomba centrífuga..... | 13 |
| Figura No. 10: Diagrama de flujo del proceso propuesto para reutilización del agua de purga de calderas..... | 20 |
| Figura No. 11: Layout del sistema de recuperación de condensado de caldera..... | 22 |
| Figura No. 12: Layout isométrico del sistema de recuperación de condensado de caldera.... | 23 |
| Figura No. 13: Curva de la bomba a utilizar para el sistema de reutilización de agua de purga de la caldera..... | 39 |
| Figura No. 14: Ejemplo de curva típica de una bomba centrífuga..... | 42 |
| Figura No. 15: Ejemplo de curva típica de una bomba centrífuga..... | 42 |

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene por objetivo diseñar un sistema de recuperación y reutilización del agua de purga de caldera para fundir silicato de sodio en la manufactura de jabón sintético lavaplatos en una fábrica de jabones en Guatemala, para así disminuir, no sólo los costos de producción sino también, el consumo tanto de agua como de energía y al mismo tiempo, contribuir a la reducción del impacto ambiental.

El diseño del sistema de tuberías, válvulas y accesorios para recuperar el agua de purga de caldera, se hará en base a los datos que se recolecten, por medio de un análisis, del sistema actual de fundición de silicato de sodio. Asimismo, se evaluará y dimensionará la bomba que se empleará para impulsar el agua de purga, hacia el área de fundición.

Finalmente, como parte de este trabajo, se hará el análisis económico del diseño propuesto, el cual se cimentará en los resultados obtenidos.

II. ANTECEDENTES

A. Proceso de producción de jabones en barra, cremas lavaplatos y productos limpiadores

Los syndets, también son conocidos como jabones sintéticos, han sido perfeccionados a través del tiempo y su mayor aplicación se ha desarrollado para lavado a mano. En los países subdesarrollados los productos más importantes en el lavado de ropa y platos, los constituyen las barras de jabón duro.

Los jabones sintéticos y las cremas lavaplatos, son productos pastosos utilizados en aplicaciones de lavado a mano. En 1916 se desarrolló el primer detergente sintético en Alemania debido a la falta de grasas para hacer jabón como consecuencia de la Primera Guerra Mundial. Este tipo de jabones han sido perfeccionados a través del tiempo y su mayor aplicación se ha desarrollado para lavado a mano.

Estos jabones no reaccionan en presencia de aguas duras y por tanto, no forman los precipitados característicos de los jabones comunes. Los syndets requieren una elaboración mucho más compleja, encareciendo el producto, por lo que su popularidad es menor. Poseen poder detergente, humectante y espumante, siendo capaces de eliminar bacterias.

La composición básica de este tipo de productos, consiste en un alquilbencensulfonato como ingrediente activo, carbonato de sodio como endurecedor del producto y controlador de la alcalinidad, carbonato de calcio como abrasivo, agua y soda cáustica como ingredientes de la reacción de neutralización del ácido emplead, y en la mayoría de casos sulfato de sodio, que es un estabilizante de la densidad final del producto, entre otros.

1. **Formulación:** Las formulaciones típicas constan de jabón sódico, perborato sódico, silicato sódico y pequeñas cantidades de reforzadores de espuma, agentes fluorescentes de blanqueado, perfumes y agua. Pueden también estar presentes carbonato sódico y/o fosfatos sódicos. Estos productos dominaron una vez el mercado del lavado de ropa, pero ahora han sido desplazados casi por completo en la mayoría de los mercados del mundo por productos basados en alquilbencenosulfonatos. Una notable excepción ocurre en Gran Bretaña, donde los jabones en polvo todavía tienen una importante proporción del mercado del lavado de ropa.

La formulación consiste básicamente en establecer la cantidad de algunos compuestos y su tipo o calidad, que deben utilizarse para garantizar la obtención de los productos buscados. En este sentido, existen varios materiales que son necesarios regular, entre los cuales se encuentran:

a. **El ingrediente activo:** Comúnmente existen dos tipos de ingrediente activo que se pueden emplear en los jabones sintéticos, que son:

- 1) Sulfonato de sodio ramificado
- 2) Sulfonato de sodio lineal

La química de cada uno es totalmente diferente; en general, el ABS ramificado produce pastas que son más fáciles de procesar que aquellas conteniendo ABS lineal, esto se debe a que estas últimas tienden a

llegar a viscosidades altas, lo cual no se puede modificar por medio de aditivos, y hace la pasta difícil de procesar. Sin embargo, las pastas de dodecilsulfonato de sodio lineales tienen una mayor biodegradabilidad, lo que les confiere la propiedad de ser menos contaminantes que las ramificadas; y en general, las lineales presentan una consistencia que provee mejores rendimientos en el lavado a mano.

b. **El regulador de densidad:** El sulfato de sodio es el compuesto que se emplea para regular la densidad. Sin embargo, no debe agregarse en proporciones considerables, dado que puede afectar la formación del ingrediente activo, e incluso la hidratación y cristalización del carbonato de sodio, lo que conlleva a la formación de grandes cristales y al endurecimiento irregular de la pasta.

c. **El carbonato de sodio:** Este material se emplea con dos propósitos principalmente, el primero es regular la alcalinidad de la mezcla y en el lavado, lo cual como en el caso de los detergentes, puede llevar a la saponificación de las grasas cuando se está lavando, y por lo tanto a la solubilización de estos materiales.

El segundo propósito es el de endurecer las pastas o limpiadores, efecto que se debe a la hidratación de este compuesto en el enfriamiento, lo que disminuye la cantidad de agua libre y aumenta la dureza de los productos finales. El grado de hidratación, depende de la temperatura de la mezcla y del ambiente, así como también de la presencia de otros componentes en polvo que puedan interferir en la hidratación

La hidratación correcta, puede asegurarse por medio de la adición de pequeñas cantidades de humectantes como el sorbitol, que previenen la formación de grandes cristales o endurecimiento irregular.

d. **El carbonato de calcio:** Este material se emplea generalmente en los productos de limpieza como un abrasivo, que por el lavado a mano, ayuda en la remoción de suciedad por medio de la fricción generada en la acción mecánica que se ejerce sobre el objeto lavado. En general, no se tienen restricciones de adición para este material, sin embargo, debe tomarse en cuenta el balance de sólidos para el endurecimiento, así como también el tamaño de partícula (<300 mesh) dado que partículas muy grandes de este componente serán base de formación de endurecimiento irregular.

e. **El perfume:** Este es un material muy importante en el mercadeo y venta del producto, dado que debe proveer de una sensación de limpieza y frescura, sin que interfiera con los objetos, dejando olores, que luego llegan hasta lo que se ponga en contacto con ellos. Además, el perfume debe ser relativamente estable, para que no cambie el olor con el tiempo o los ingredientes. Este componente suele agregarse de último, dado que la reacción de neutralización es exotérmica, y esto podría evaporar el perfume. (Nuñez, 2004, p 35)

f. **Silicato de sodio:** Es considerado como un aditivo. Es inhibidor de la corrosión, ya que protege las partes del metal de las lavadoras, los utensilios y platos de la acción de detergentes y agua. Existe una gran variedad de tipos de silicato de sodio. El silicato de sodio puede ser considerado como combinaciones de SiO₂ (dióxido de silicato), Na₂O y en algunos casos H₂O. Hay dos grupos principales:

- 1) Silicatos cristalinos, los cuales son compuestos químicos definidos.

Ortosilicato de sodio, $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Na}_2\text{O}$ (Na_4SiO_4)

Sesquisilicato de sodio, $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Na}_2\text{O}$ ($\text{Na}_6\text{Si}_2\text{O}_7$)

Metasilicato de sodio, $\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O}$ (Na_2SiO_3)

- 2) Silicatos coloidales los cuales no son compuestos químicos definidos y tiene una proporción de $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ entre 1.6 y 3.85. La proporción es normalmente expresada en masa. En la industria de detergentes, la proporción comúnmente utilizada es de 3.2 en masa, la cual es conocida como silicato neutro y 2.0 conocido como silicato alcalino. La alcalinidad de una solución de silicato de sodio está directamente relacionada con su contenido de Na_2O .

Soluciones de silicato de sodio pueden ser manejadas en equipo de acero suave o hierro. Los tanques deberán ser cubiertos para evitar la solidificación de la solución de silicato, debido a la evaporación del agua. Instalaciones de calor adecuadas son necesarias en los tanques que están sujetos climas fríos o templados, para evitar la viscosidad excesiva debido a la baja temperatura. (Woollant, 1982, p. 38)

2. Proceso de producción de los jabones sintéticos: La producción de jabones sintéticos presenta un flujo simple de materiales, los cuales se mezclan en los denominados mezcladores sigma. Luego de mezclados, los materiales se pasan a un compartimiento de bombeo o transporte, de donde al pasar por los transportadores, son dosificados con una forma dada hacia los empaques designados para cada uno.

El flujo es bastante simple, dado que los mezcladores sigma son multifuncionales, por lo que en ellos se lleva a cabo la reacción de neutralización, la hidratación de polvos y la mezcla final con perfume. Sin embargo, los mezcladores de este tipo proveen de poco margen de error, dado que no se puede manejar viscosidades muy variables por problemas en la agitación de la mezcla y los tiempos de la misma.

El mezclador mencionado en realidad es especial para pastas, y consta de agitadores con forma de sigma, que abarcan casi todo el volumen del mezclador, lo cual garantiza que la agitación de los materiales sea la adecuada como para producir una mezcla homogénea. Esta mezcla homogénea es importante, dado que, de lo contrario, se producen los ya mencionados problemas de cristalización de gran tamaño y de irregularidades en el endurecimiento, dado que los componentes no llegan a entrar en contacto. Además, la mezcla no debe de ser excesiva en tiempo, porque el consumo de energía de este equipo es considerable por la potencia manejada, con lo que la búsqueda de una homogeneidad debe de hacerse basado en tiempos estándar de agitación. (Nuñez, 2004, p. 36)

B. Sistema de tuberías

Los fluidos se transportan por lo general en tuberías, los cuales tienen una sección transversal disponible en una variedad de tamaños, espesores de pared y materiales de construcción. En general, la tubería tiene pared gruesa y diámetros relativamente grandes y vienen en longitudes moderadas de 6 a 12 metros. Las paredes de las tuberías son por lo general ligeramente rugosas. Los tramos de las tuberías se unen por collarines, tornillos o accesorios soldados.

Las tuberías están hechas de diversos materiales, incluyendo metales y aleaciones, madera, cerámica, vidrio y plásticos variados. El cloruro de polivinilo o PVC, es ampliamente utilizado como tubería en las conducciones de agua. En las plantas de procesos, el material más común es el acero de bajo contenido de carbono, con el que se fabrica la llamada tubería de hierro negro. Con frecuencia se utilizan también las tuberías de hierro forjado y de fundición para propósitos especiales. (McCabe, 2001, p. 203)

1. **Tamaños.** Las tuberías se clasifican en función de su diámetro y de su espesor de pared. En las tuberías de acero, los diámetros nominales estándar, en Estados Unidos, están comprendidos en un intervalo de 1/8 a 30 pulgadas. Para tuberías con diámetros mayores a 12 pulgadas, los diámetros nominales son los diámetros externos reales, para las tuberías pequeñas el diámetro nominal no corresponde a ninguna dimensión real. El espesor de la pared de una tubería está indicado por el número de norma, el cual aumenta con el espesor.

2. **Selección de tamaños de tubería.** El tamaño seleccionado de tubería para una instalación particular depende sobre todo de los costos de la tubería y accesorios, así como de la energía requerida para el bombeo del fluido. El costo de la tubería y del capital anual de la carga se incrementa con el diámetro de la tubería.

3. **Válvulas.** Las válvulas sirven para moderar, regular y/o controlar el flujo.

a. **Válvulas de compuerta.** La válvula de compuerta es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento (Figura No. 1). Este tipo de válvula se recomienda para: servicio con apertura total o cierre total, sin estrangulación, para uso poco frecuente, para resistencia mínima a la circulación, para mínimas cantidades de fluido o líquido atrapado en la tubería. La válvula de compuerta supera en número a los otros tipos de válvulas en servicios en donde se requiera circulación ininterrumpida y poca caída de presión.

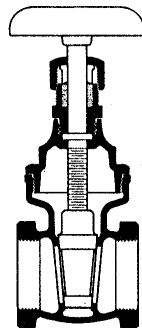


Figura No. 1: Válvula de compuerta

Las ventajas asociadas a esta válvula son su alta capacidad, cierre hermético, el bajo costo, su diseño y funcionamiento sencillo, y la poca resistencia a la circulación.

Dentro de las desventajas se puede mencionar el control deficiente de la circulación, se requiere mucha fuerza para accionarla, produce cavitación con baja caída de presión, debe estar abierta o cerrada por completo y la posición para estrangulación producirá erosión del asiento y del disco.

Los tipos de materiales para el cuerpo son: bronce, hierro fundido, hierro, acero forjado, acero fundido, acero inoxidable, plástico de PVC.

En cuanto a instrucciones especiales para instalación y mantenimiento, cabe señalar que se debe lubricar a intervalos periódicos, corregir de inmediato las fugas por la empaquetadura, enfriar siempre el sistema al cerrar una tubería para líquidos calientes y al comprobar que las válvulas estén cerradas, no cerrar nunca las llaves a la fuerza con la llave o una palanca, abrir las válvulas con lentitud para evitar el choque hidráulico en la tubería y cerrar las válvulas con lentitud para ayudar a descargar los sedimentos y mugre atrapados.

b. **Válvulas de globo.** Una válvula de globo es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que cierra, corta o regula el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería, y este último es su uso principal. (Figura No. 2).

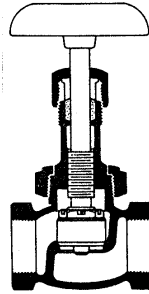


Figura No. 2: Válvula de globo

La válvula de globo se recomienda emplearla para estrangulación o regulación de circulación, para accionamiento frecuente, para corte positivo de gases o aire

Las principales ventajas que presenta son: una estrangulación eficiente con estiramiento o erosión mínimos del disco o asiento, carrera corta del disco y pocas vueltas para accionarlas, lo cual reduce el tiempo y desgaste en el vástago y el bonete, control preciso de la circulación., disponible con orificios múltiples.

Cabe mencionar que este tipo de válvulas provocan gran caída de presión y tienen un costo relativo elevado. El material del cuerpo puede ser de: bronce, hierro, hierro fundido, acero forjado, acero inoxidable, plásticos.

c. **Válvulas de bola.** Las válvulas de bola son de $\frac{1}{4}$ de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto (Figura No. 3).

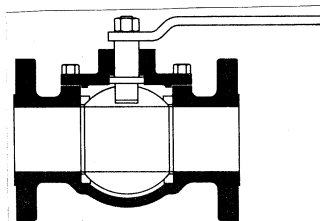


Figura No. 3: Válvula de bola

No son satisfactorias para estrangulación, son de rápida operación, de fácil mantenimiento, no requieren lubricación y producen cierre hermético con baja torsión. Son de bajo costo, alta capacidad, presentan pocas fugas, se limpia por si sola, no requiere lubricación, tienen un tamaño compacto.

d. Válvulas de mariposa. La válvula de mariposa es de $\frac{1}{4}$ de vuelta y controla la circulación por medio de un disco circular, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación (Figura No. 4).



Figura No. 4: Válvula de mariposa

La válvula de mariposa es recomendada para servicio con apertura total o cierre total, servicio con estrangulación, para accionamiento frecuente, cuando se requiere corte positivo para gases o líquidos, cuando solo se permite un mínimo de fluido atrapado en la tubería y para baja caída de presión a través de la válvula.

Se puede aplicar para servicio general, líquidos, gases, pastas semilíquidas, líquidos con sólidos en suspensión. Las ventajas que presenta son su peso ligero, compacta y bajo costo, requiere poco mantenimiento, número mínimo de piezas móviles, no tiene bolas o cavidades, alta capacidad, circulación en línea recta y se limpia por si sola.

Sin embargo, se necesita alta torsión para accionarla, tiene capacidad limitada para caída de presión y es propensa a la cavitación.

4. Soportes y cargadores. Los sistemas de tuberías deben ser adecuadamente soportados y protegidos contra daño físico y excesivos esfuerzos debidos a vibración, dilatación, contracción o asentamiento. La MSS (Manufacturers Standardization Society) en su norma SP-58 “Tipos de soportes y cargadores”, propone 58 tipos diferentes de soportes y colgadores para instalar en tuberías, como lo muestra la figura No. 5.

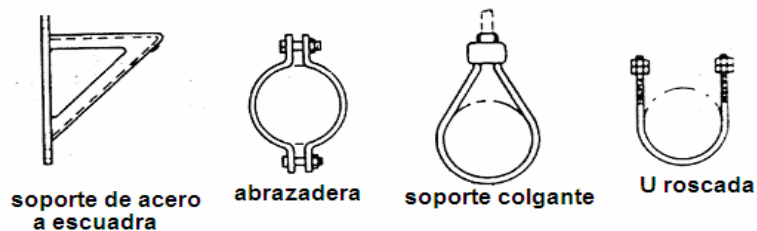


Figura No. 5: Tipos de soportes y cargadores, por MSS

5. Fricción debida a variaciones de velocidad o dirección. Siempre que varía la velocidad de un fluido, tanto en dirección como en magnitud, se genera una fricción adicional a la fricción en la superficie, debida al flujo a través de la tubería recta. En la mayor parte de los casos estos efectos no se pueden calcular con exactitud y es preciso recurrir a datos empíricos.

a. Efectos de válvulas y accesorios. Las válvulas y accesorios alteran las líneas normales de flujo y dan lugar a fricción. En conductos de corta longitud con muchos accesorios, las pérdidas por fricción causadas a los mismos llegan a ser mayores que las correspondientes a la longitud recta de la tubería. El factor K_f se determina experimentalmente y es diferente para cada tipo de conexión. En la tabla 1 se presenta una pequeña lista de estos factores. La pérdida por fricción de flujo h_{ff} debida a los accesorios, se calcula a partir de:

$$h_{ff} = K_f \frac{\bar{V}_a^2}{2} \quad (\text{Ecuación No. 1})$$

donde,

K_f = factor de pérdida para el accesorio

\bar{V}_a^2 = velocidad media en la tubería que conduce al accesorio

Tabla No. 1: Coeficientes de pérdida por fricción en accesorios de tubería

| Accesorio | K_f |
|---|-------|
| Codo estándar | |
| 45° enroscado | 0.4 |
| 90° enroscado | 1.5 |
| T | |
| En líneas rectas | 0.9 |
| Retorno, 180° | 1.5 |
| Válvulas de compuerta | |
| Semiabierta | 4.5 |
| Completamente abierta | 0.17 |
| Válvula de bola | 0.05 |
| Válvula de cheque | 2.0 |
| Válvula de globo, completamente abierta | 6.0 |

b. Pérdidas por fricción de forma en la ecuación de Bernoulli. Las pérdidas por fricción de forma se incorporan en el término h_f y se combinan con las pérdidas por fricción de superficie de la tubería recta para dar lugar a la pérdida de fricción total.

C. Medición de flujo o caudal

La medición del flujo es la variable más importante en la operación de una planta, sin esta medida el balance de materia, el control de calidad y la operación misma de un proceso continuo serían casi imposibles de realizar. Existen muchos métodos confiables para la medición de flujo, uno de los más comunes es el que se basa en la medición de las caídas de presión causadas por la inserción, en la línea de flujo, de algún mecanismo que reduce la sección; al pasar el fluido a través de la reducción aumenta su velocidad y su energía cinética; las placas de orificio y el Venturi estudiados en esta práctica pertenecen a esta clase.

1. Medidores de flujo que utilizan caída de presión. En los medidores de presión diferencial, el flujo obtenido se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_v = K\sqrt{H} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde, H = Diferencia de altura de presión del fluido o presión diferencial

K = Constante que depende de los diámetros de la placa y de la tubería

Este tipo de medidores de flujo usan realmente un sensor de presión diferencial para producir una señal eléctrica.

a. Medidor de flujo de venturi. Este medidor es el más exacto teniendo una mínima pérdida de presión permanente. El aparato está formado por tres secciones principales, una convergente con ángulo menor a 7° , una sección intermedia que constituye la garganta o estrechamiento y una divergente. Un medidor de venturi usa una ligera restricción, donde el diámetro del tubo se hace más estrecho para crear la caída de presión.

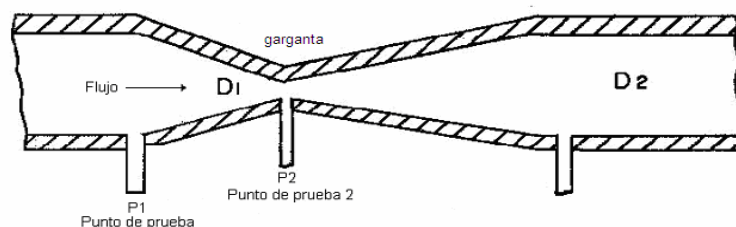


Figura No. 6: Medidor de flujo de venturi

b. Tubo de pitot. El tubo de pitot es un dispositivo que tiene dos tubos que están colocados en un flujo de fluido para detectar una caída de presión. Es uno de los medidores más exactos para medir la velocidad de un fluido dentro de una tubería. El equipo consta de un tubo cuya abertura está dirigida hacia arriba, de modo que el fluido penetre dentro de ésta y suba hasta que la presión aumente lo

suficiente dentro del mismo y equilibre el impacto producido por la velocidad. El Tubo de Pitot mide las presiones dinámicas y con ésta se puede encontrar la velocidad del fluido, hay que anotar que con este equipo se puede verificar la variación de la velocidad del fluido con respecto al radio de la tubería (perfil de velocidad del fluido dentro de la tubería).

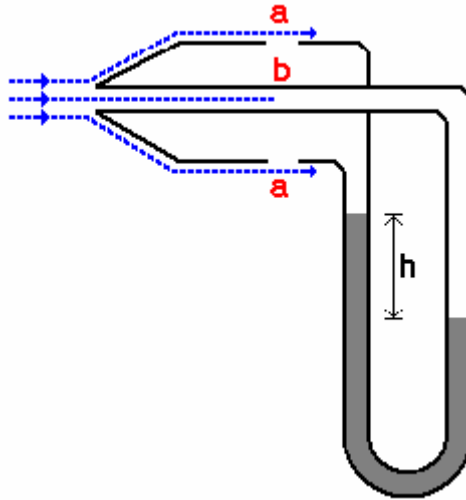


Figura No. 7: Tubo de pitot

c. **Medidores de orificio.** El medidor de orificio es un elemento más simple, consiste en un agujero cortado en el centro de una placa intercalada en la tubería. El paso del fluido a través del orificio, cuya área es constante y menor que la sección transversal del conducto cerrado, se realiza con un aumento apreciable de la velocidad (energía cinética) a expensa de una disminución de la presión estática (caída de presión). Por esta razón se le clasifica como un medidor de área constante y caída de presión variable. Algunos tipos de placas orificios son los siguientes:

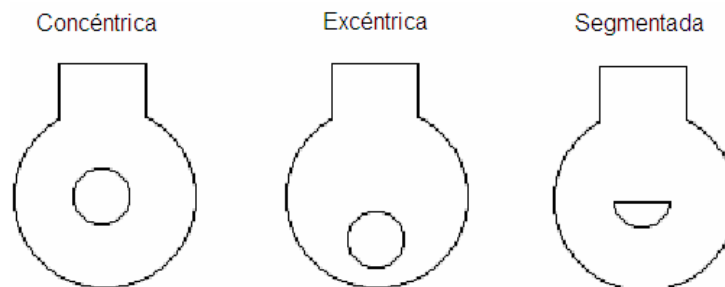


Figura No. 8: Medidores de orificio

La concéntrica sirve para líquidos, la excéntrica para los gases donde los cambios de presión implican condensación, cuando los fluidos contienen un alto porcentaje de gases disueltos.

La gran ventaja de la placa de orificio en comparación con los otros elementos primarios de medición, es que debido a la pequeña cantidad de material y al tiempo relativamente corto de maquinado que se requiere en su manufactura, su costo llega a ser comparativamente bajo, aparte de que es fácilmente reproducible, fácil de instalar y desmontar y de que se consigue con ella un alto grado de exactitud. Además que no retiene muchas partículas suspendidas en el fluido dentro del orificio.

El uso de la placa de orificio es inadecuado en la medición de fluidos con sólidos en suspensión pues estas partículas se pueden acumular en la entrada de la placa. El comportamiento en su uso con fluidos viscosos es errático pues la placa se calcula para una temperatura y una viscosidad dada y produce las mayores pérdidas de presión en comparación con los otros elementos primarios. (Ordoñez, 2005)

Las mayores desventajas de este medidor son su capacidad limitada y la pérdida de carga ocasionada tanto por los residuos del fluido como por las pérdidas de energía que se producen cuando se forman vórtices a la salida del orificio.

Para la medición del flujo o caudal se pueden adoptar dos métodos generales de medición, denominados volumétrico o másico.

2. Medidores volumétricos. Los medidores volumétricos determinan el flujo en volumen del fluido, ya sea en forma directa por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida) o directamente (indicando el desplazamiento).

3. Medidores másicos. Los medidores de masa de flujo diferentes de los demás en que miden directamente el peso del flujo y no su volumen. El medidor de masa de flujo de la General Eléctrica mide flujos gaseosos o líquidos, por ejemplo, expresándolos directamente en libras y, por tanto no le afectan las variaciones de presión, temperatura ni densidad del fluido. La unidad completa incluye cuatro componentes básicos: el elemento sensible a la velocidad del flujo, el mecanismo del giroscopio integrador, el registrador ciclométrico y el accionador de contactos.

D. Bombas

Las bombas incrementan la energía mecánica del líquido, aumentando su velocidad, presión o elevación, o las tres anteriores. Las dos clases principales son las bombas de desplazamiento positivo y las bombas centrífugas. Las unidades de desplazamiento positivo aplican presión directamente al líquido por un pistón reciprocante, o por miembros rotatorios, los cuales forman cámaras alternadamente llenas o vacías del líquido. Las bombas centrífugas generan altas velocidades de rotación, entonces convierten la energía cinética resultante del líquido en energía de presión. (McCabe, 2001, p.211)

Las bombas son unas máquinas que suministran al agua una cierta cantidad de energía, para poder llegar a un cierto punto de la instalación a una presión determinada. Las bombas más utilizadas son bombas centrífugas. La resistencia que tienen que vencer es sólo la del movimiento del fluido por la tubería. Por lo tanto, no hay que vencer ninguna presión hidrostática del fluido.

La potencia suministrada a la bomba desde una fuente externa se representa por P_B . Y se calcula a partir de W_p .

$$P_B = \dot{m}W_p = \frac{\dot{m}\Delta H}{\eta} \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde \dot{m} es la velocidad de flujo másico.

La potencia distribuida al fluido se calcula a partir de la velocidad de flujo másico y la carga desarrollada por la bomba. Se representa por P_f y está definida por

$$P_f = \dot{m}\Delta H \quad (\text{Ecuación 4})$$

A partir de las ecuaciones (3) y (4)

$$P_B = \frac{P_f}{\eta} \quad (\text{Ecuación 5})$$

La potencia calculada mediante la ecuación (4) depende de la diferencia de presión entre la descarga y la succión, y es independiente del nivel de presión. A partir de consideraciones de energía, es irrelevante que la presión de succión sea inferior o superior a la presión atmosférica, siempre que el fluido permanezca en estado líquido. Sin embargo, si la presión de succión es sólo ligeramente mayor que la presión del vapor, es posible que algo del líquido se evapore súbitamente dentro de la bomba, dando lugar a un proceso llamado cavitación, el que reduce de manera importante la capacidad de la bomba y causa una severa erosión. Si la presión de succión es en realidad menor que la presión del vapor, se producirá vaporización en la línea de succión, y el líquido no puede entrar en la bomba. Para evitar la cavitación, es preciso que la presión a la entrada de la bomba exceda a la presión de vapor en un cierto valor, llamado carga neta de succión positiva. El valor requerido es alrededor de 2 a 3 metros para bombas centrífugas pequeñas; pero el valor aumenta con la capacidad de la bomba, la velocidad del rotor y la presión de descarga. Valores hasta de 15 metros se recomiendan para bombas muy grandes. (McCabe, 2001, p. 213)

1. Bombas centrífugas. Es el tipo que más se utiliza en la industria química para transferir líquidos de todos los tipos, así como también para los servicios generales de abastecimiento de agua, alimentación a los quemadores, circulación de condensadores, retorno de condensado, etc. Estas bombas están disponibles en una variedad amplia de tamaños, en capacidades de 0.5 m³/h a 2 x 10⁴ m³/h, y para cabezas de descarga desde unos cuantos metros hasta aproximadamente 48 Mpa.

Las ventajas primordiales de una bomba centrífuga son la sencillez, el bajo costo inicial, el flujo uniforme (sin pulsaciones), el pequeño espacio necesario para su instalación, los bajos costos de mantenimiento y el funcionamiento silencioso.

Una bomba centrífuga en su forma más simple, consiste en un impulsor que gira dentro de una carcasa. El impulsor consta de cierta cantidad de alabes, ya sean abiertas o resguardadas, montadas sobre un eje que se proyecta al exterior de la carcasa. Los impulsores pueden tener ejes de rotación horizontal o

vertical para adaptarse al trabajo que se va a realizar. Por lo común, los impulsores de tipo cerrado suelen ser más eficientes. Los impulsores del tipo abierto o semiabierto se emplean para líquidos viscosos o que contengan materiales sólidos. Este tipo de bombas también se emplean para servicios generales. Los impulsores pueden ser del tipo de succión simple o doble, simple si el líquido entra por un lado, doble, si entra por los dos lados.

Las carcasas son de tres tipos generales, sin embargo siempre consisten en una cámara en la que gira el impulsor, con una entrada y una salida para el líquido que se bombea. La forma más simple de las carcasas es la circular, que consiste en una cámara anular en torno al impulsor. No se ha hecho ningún intento por superar las pérdidas debidas a los choques y remolinos que se producirán cuando entra a la cámara al líquido que sale del impulsor con velocidades relativamente elevadas. Es raro que se utilicen esas carcasas.

Las carcasas de voluta en espiral toman esa forma, con un área de sección transversal creciente al acercarse a la salida. Las volutas convierten eficientemente la energía de velocidad que el impulsor imparte al líquido en energía de presión.

En las bombas de turbina o de tipo de difusor se utiliza un tercer tipo de carcasa. En este último, se interponen difusores o paletas de guía entre el impulsor y la cámara de la carcasa. En las bombas de este tipo que están bien diseñadas, las pérdidas son mínimas y la eficiencia se puede mejorar en un amplio intervalo de capacidades. Esta construcción se utiliza con frecuencia en las bombas de etapas múltiples y cargas elevadas.

a. **Acción de una bomba centrífuga.** En forma esquemática se puede mostrar la acción de una bomba centrífuga por la figura No. 9. Se aplica potencia de una fuente exterior al eje A, que hace girar el impulsor B dentro de la carcasa estacionaria C. Las hojas del impulsor al girar producen una reducción de presión a la entrada u orificio del impulsor. Esto hace que fluya líquido al impulsor desde la tubería de succión D. Este líquido se ve obligado a salir a lo largo de las paletas a velocidades tangenciales crecientes. La carga de velocidad que adquiere al salir de las puntas de las paletas, se convierte en carga de presión conforme pasa el líquido a la cámara espiral y, de esta última, a la descarga E.

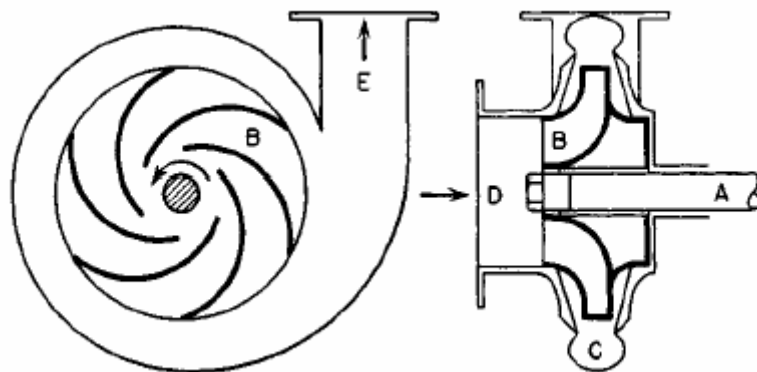


Figura No. 9: Diagrama de bomba centrífuga

b. Características de las bombas centrífugas. En las figuras No. 14 y No. 15, página 43 en el apéndice, se muestra una curva típica de una bomba centrífuga. Es importante observar que, a cualquier velocidad fija, la bomba funcionará a lo largo de la curva y no en otros puntos. Por ejemplo, sobre la curva que se muestra, a $45.5 \text{ m}^3/\text{h}$, la bomba generará una carga de 26.5 m. Si se hace aumentar la carga a 30.48 m, la salida será de $27.25 \text{ m}^3/\text{h}$. No es posible reducir la capacidad a $27.25 \text{ m}^3/\text{h}$ con una carga de 26.5 m a menos que se acelere la descarga de modo que se genere en realidad al interior de la bomba una carga de 30.48 m.

Resulta importante recordar que la carga o presión producida será la misma para cualquier líquido limpio de la misma viscosidad. No obstante, el aumento de presión variará en proporción con la densidad relativa. Las viscosidades de menos de 50 kPa s (50 centipoises) no afectan materialmente la carga.

Una bomba ideal que opera a una velocidad determinada, genera una velocidad de descarga constante para cada carga específica desarrollada. Las bombas reales, debido a la fricción y otras características, tienen una eficiencia algo menor del caso ideal. (Perry, 1997, p.10-24)

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, se desea disminuir el consumo tanto de energía como el de agua a nivel industrial. En una fábrica de jabones se cuenta con dos calderas pirotubulares, cuya agua de purga está siendo tratada en la planta de tratamiento de aguas residuales y posteriormente llevada hacia el drenaje municipal. Asimismo, como parte de la materia prima empleada en la producción de detergente en polvo y jabón sintético lavaplatos, se funde silicato de sodio utilizando agua de proceso. Sin embargo, el agua de purga de caldera puede ser recuperada y reutilizada para fundir silicato de sodio, con esto se estaría ahorrando tanto agua, como energía y los costos de tratamiento de agua residuales y costos de producción de jabón sintético lavaplatos disminuirán.

IV. OBJETIVOS

A. General

Reutilizar el agua de purga de calderas para fundir silicato de sodio, el cual es una materia prima empleada en la producción de jabón sintético lavaplatos en una fábrica de jabones.

B. Específicos

1. Descripción del proceso actual de fundición de silicato de sodio.
2. Diseñar el sistema de tuberías, válvulas y accesorios para reutilizar el agua de purga de calderas.
3. Dimensionar la bomba a utilizar para impulsar el agua de purga de calderas hacia área de fundición de silicato de sodio.
4. Elaborar el diagrama de flujo del proceso propuesto.
5. Elaborar el Layout para la instalación del proceso propuesto.

V. PROBLEMA A RESOLVER

En una fábrica de jabón, en Guatemala, como parte de la materia prima empleada para la elaboración de jabón sintético lavaplatos se utiliza silicato de sodio fundido. Actualmente para fundir el silicato de sodio, se utiliza agua de pozo. Esta empresa también cuenta con dos calderas pirotubulares, cuya agua de purga se desecha, se lleva a una planta de tratamiento de aguas residuales y finalmente se descarta en el drenaje municipal.

VI. METODOLOGÍA

Con el fin de disminuir tanto el consumo de agua como de energía, se seguirá la siguiente metodología, mediante la cual se logrará alcanzar los objetivos específicos y por ende se cumplirá con el objetivo general.

- A. Estudio del proceso actual de fundición de silicato de sodio
 - 1. Evaluación del problema
 - 2. Especificaciones del problema

- B. Diseñar el sistema de tuberías, válvulas y accesorios para reutilizar el agua de purga de calderas.
 - 1. Determinación del material de tubería
 - 2. Determinación de tipos de válvulas
 - 3. Determinación de accesorios

- C. Dimensionar la bomba a utilizar para impulsar el agua de purga de calderas hacia área de fundición de silicato de sodio.
 - 1. Determinación de caudal
 - 2. Determinación de presiones
 - 3. Dimensionar bomba necesaria

- D. Elaborar el diagrama de flujo del proceso propuesto

- E. Elaborar el Layout para la instalación del proceso propuesto
 - 1. Contratista

VII. RESULTADOS

A. Resultados de diseño de sistema de tuberías, válvulas y accesorios

Tabla No. 2: Datos de la tubería del sistema propuesto para el transporte del agua de purga de calderas hacia la fosa de almacenamiento

| Especificaciones de la tubería | Valor |
|--------------------------------|------------------|
| Número de cédula | 40 |
| Diámetro de la tubería | 152.40 mm (6 in) |
| Largo de la tubería | 14.4 m |
| Material | Acero al carbón |

Tabla No. 3: Válvula de acero al carbón del sistema de tubería propuesto para el transporte del agua de purga calderas hacia la fosa de almacenamiento

| Válvula | Cantidad |
|--------------------------------|----------|
| Válvula de cheque de 152.40 mm | 1 |

Tabla No. 4: Datos de la tubería del sistema propuesto para el transporte del agua de purga calderas hacia el área de fundición de silicato de sodio

| Especificaciones de la tubería | Valor |
|--------------------------------|-------------------|
| Número de cédula | 40 |
| Diámetro de la tubería | 38.10 mm (1.5 in) |
| Largo de la tubería | 32.5 m |
| Material | Acero al carbón |

Tabla No. 5: Accesorios de acero al carbón del sistema de tuberías propuesto para transporte del agua de purga calderas hacia el área de fundición de silicato de sodio

| Accesorio | Cantidad |
|--|----------|
| Codo 90° enroscado de 38.18 mm de diámetro | 10 |
| Codo 45° enroscado de 38.18 mm de diámetro | 1 |
| Unión universal de 38.18 mm de diámetro | 10 |
| Tee enroscada de 38.18 mm de diámetro | 1 |
| Medidor de flujo másico | 1 |

Tabla No. 6: Válvulas de acero al carbón del sistema de tuberías propuesto para transporte del agua de purga calderas hacia el área de fundición de silicato de sodio

| Accesorio | Cantidad |
|---|----------|
| Válvula de bola enroscada de 38.18 mm de diámetro | 1 |
| Válvula de cheque enroscada de 38.18 mm de diámetro | 1 |

B. Resultados de bomba dimensionada

Tabla No. 7: Dimensiones de diseño de la bomba para el transporte del agua de purga hacia área de fundición de silicato de sodio

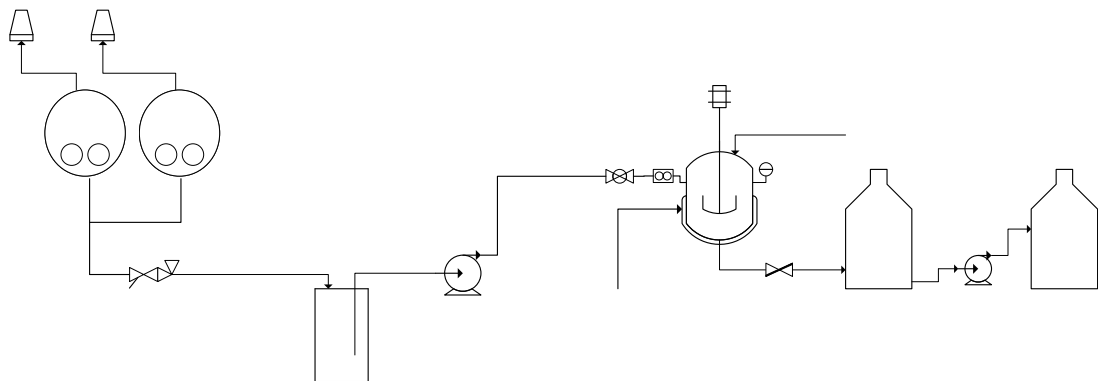
| Símbolo | Descripción | Flujo de la bomba (m ³ /h) | Potencia de la bomba (W) | Materiales de construcción |
|---------|------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| B - 1 | Bomba centrífuga | 7.56 | 329.8 | Acero al carbón |

C. Resultados del análisis económico para el proceso propuesto

Tabla No. 8: Resultados de indicadores económicos para evaluación del proyecto

| | |
|-------------------------------|-------------|
| Tasa Interna de Retorno (TIR) | 38% |
| Valor Actual Neto (VAN) | Q 21,454.85 |
| Tiempo de recuperación | 2.5 años |

D. Diagrama de flujo del proceso propuesto



| Símbolo | Descripción |
|---------|--|
| B - 1 | Bomba centrífuga |
| C - 1 | Caldera pirotubular, 223.71 kW |
| C - 2 | Caldera pirotubular, 223.71 kW |
| CH - 1 | Chimenea |
| CH - 2 | Chimenea |
| F - 1 | Fosa de almacenamiento, 2.6 m ³ |
| T - 1 | Tanque almacenamiento de silicato fundido, 16,470 kg |
| T - 2 | Tanque almacenamiento de silicato fundido, 16,470 kg |

Figura No. 10: Diagrama de flujo del proceso propuesto para reutilización del agua de purga de calderas

E. Layout del proceso propuesto

En las siguientes páginas se encuentran los planos del Layout del proceso de recuperación y reutilización del agua de purga de caldera propuesto.

VIII. DISCUSIÓN

Actualmente, en una fábrica de jabones en Guatemala, se utiliza agua de pozo para la fundición de silicato de sodio, el cual es parte de la materia prima que se emplea para producción de jabón sintético lavaplatos. El silicato de sodio se funde en una autoclave. Para su efecto, el operador debe verificar primero que la válvula de descarga de la autoclave se encuentre cerrada. Luego deberá de enganchar a un polipasto, el jumbo que contiene la cantidad de silicato de sodio requerida, según la fórmula, y dirigirlo a la apertura superior de la autoclave. Se debe vaciar la totalidad de silicato de sodio, hasta completar la cantidad indicada en la fórmula. En caso que debido a la humedad del ambiente, el silicato de sodio se solidifique en una sola piedra, el operador puede hacer uso de un martillo para pulverizarlo. Posteriormente, se abre la llave de paso del agua de proceso que va a la autoclave y se cierra ésta válvula hasta que los kilos de agua, según la fórmula, se agreguen. Este dato se verifica por medio de un medidor de flujo másico que está colocado en la tubería de agua, a un costado de la llave de paso. Luego se lubrica la tapadera de la autoclave con grasa.

Se procede a colocar la tapadera de la autoclave y se atornilla. Hay que tomar en consideración que para que la tapadera cierre adecuadamente, ésta se debe atornillar en cruz. Después de cerrar la autoclave, hay que abrir la llave de paso de vapor. Se debe esperar que la presión dentro de la autoclave se estabilice en un rango de 827 kPa a 965 kPa (120 PSI a 140 PSI). Al alcanzar la presión indicada hay que cerrar la válvula de vapor y luego abrir la válvula de descarga de la autoclave. Para evacuar la carga de la autoclave, se debe abrir la llave de transferencia para que la presión de la autoclave llegue a 0 kPa (0 PSI) y así poder abrir la válvula de desahogo y destapar la autoclave. El silicato fundido se trasiega a un primer tanque y posteriormente a un segundo tanque, dónde se almacena y queda listo para su disposición según lo requiera la producción de jabón sintético lavaplatos.

Asimismo, dicha fábrica cuenta con dos calderas piro-tubulares para producir vapor con capacidad de 223.71 kW cada una. El agua de purga de estas calderas se lleva a una planta de tratamiento de aguas residuales para reducirle la temperatura, ya que por razones ambientales, esta agua cuenta con temperatura mayor de cuarenta grados Celsius, hecho por el cual no puede ser descartada al drenaje municipal. Por tal motivo, el agua de purga llega a la planta de tratamiento, dónde recibe un tratamiento fisicoquímico junto con aguas residuales provenientes de la actividad industrial que se lleva a cabo dentro de esta empresa. Dentro de las materias primas que se utilizan para tratar el agua residual, se puede mencionar la cal hidratada, sulfato de aluminio y polímero. Finalmente el agua tratada es descartada en el drenaje municipal.

Sin embargo, con base a pruebas fisicoquímicas realizadas en el laboratorio de control de calidad de la empresa, se determinó que el agua de purga de la caldera puede utilizarse como materia prima para la fundición de silicato de sodio. Asimismo, cabe mencionar que dentro de las pruebas realizadas se empleó el agua de purga en la producción de una carga de silicato de sodio, la cual se utilizó posteriormente en la elaboración de jabón sintético lavaplatos. Finalmente, se hizo análisis de calidad rutinarios al producto final, cumpliendo éstos con los estándares establecidos por el laboratorio de control de calidad. En base a

los resultados obtenidos de los diferentes análisis realizados al agua de purga se consideró dentro de los proyectos ambientales de este proyecto.

El área de fundición de silicato de sodio se encuentra cercana al área de calderas. Se identificó una fosa que también se encuentra en el mismo sector, la cual se usará como fosa de almacenamiento del agua de purga de la caldera. Para llevar el agua de purga a dicha fosa, se emplea una tubería de 1.52 cm de diámetro, la cual cuenta con una válvula de cheque. La fosa tiene capacidad de 2.6 m³ de almacenamiento.

Por medio de la cantidad de agua necesaria para la fundición de silicato de sodio y el tiempo necesario de llenado, se determinó el caudal requerido por el sistema, el cual es 7.56 m³/h.

Ahora bien, para dimensionar la bomba que se emplearía para impulsar el agua de la fosa de almacenamiento hacia el área de fundición de silicato de sodio, fue necesario determinar primero el diámetro de la tubería a emplear y los accesorios e instrumentación asociada al sistema propuesto. El diámetro óptimo de la tubería se calculó empleando la ecuación No. 7 (pág. 31), ya que se trata de un flujo turbulento, debido a que el número de Reynolds es mayor que 4,000. El resultado obtenido fue de 33.69 mm. Sin embargo, comercialmente no existe tubería de dicho diámetro, hecho por el cual se aproximó al valor más cercano, el cual es de 38.1 mm (1½ in).

Se determinó que la longitud de la tubería necesaria es de 32.5 metros. La cantidad de accesorios a utilizar se determinó con base a la distancia entre la fosa de almacenamiento y el área de fundición de silicato de sodio. Cabe mencionar que los soportes a utilizar para la tubería, serán los soportes que ya se encuentran instalados, los cuales son soportes de acero a escuadra. Los accesorios necesarios para dicho tramo de tubería se encuentran resumidos en la tabla No. 5, en la sección de resultados. Asimismo, es importante hacer notar que dentro del sistema de tubería propuesto, se consideró el uso de 10 uniones universales. Es recomendable que estos accesorios sean colocados a lo largo de la tubería, ya que en caso se necesite cambiar un tramo de tubería, o bien se desee hacer una modificación posterior, no será necesario desmontar toda la tubería instalada, sino que únicamente se desmonte la sección en cuestión. Este factor no sólo ahorra tiempo sino que a la vez disminuye costos de reinversión en tubería, ya que solamente se eliminará el tramo de tubería que sea necesario. Para regular el flujo de agua hacia la autoclave donde se hace la fundición de silicato de sodio, se recomendó el uso de una válvula de bola, ya que este tipo de válvula es de las más eficientes que hay para sistemas de tuberías, lo cual significa que las pérdidas por fricción debido a este accesorio serán mínimas. Además, este tipo de válvula presenta alta capacidad, bajo costo, presenta pocas fugas y requiere poco mantenimiento, ya que no necesita lubricación. Cabe mencionar que el medidor de flujo másico considerado dentro de los accesorios recomendados, se trata del medidor que se utiliza actualmente para el proceso, debido a que se encuentra en buenas condiciones de operación y se consideró que no era necesario su reemplazo.

El tipo de material propuesto para la tubería es de acero al carbón, cédula 40. Esta recomendación se basó en la tabla No. 12 (pág. 38) donde, con base al resultado obtenido mediante la ecuación No. 18 (pág. 37), el valor más cercano para tubería de 38.10 mm (1½ pulgada), es cédula 40. Esta propuesta del material se basa en la temperatura del agua de purga, debido a que ésta es menor de 450 °C, en caso contrario

se habría recomendado emplear tubería de acero al carbono molibdeno, al cromo molibdeno o bien acero inoxidable, ya que dichos materiales soportan mayores temperaturas.

Con fin de evitar la cavitación y como parte de la especificación de la bomba a recomendar, se calculó la carga de aspiración neta positiva disponible (CANP_D). Para su efecto, se tomó en cuenta la pérdida de carga entre el depósito y la entrada del impulsor de la bomba. Fue preciso que el valor de CANP disponible calculado fuese considerablemente mayor que el valor mínimo requerido por la bomba sugerida. Este factor ayuda a mejorar la eficiencia, sin que se produzcan ruidos molestos o daños inconvenientes en la bomba, tales como severa erosión. Asimismo, se evita la vaporización en la línea de succión, lo cual impide la entrada del agua de purga en la bomba.

La bomba a utilizar para el sistema de reutilización del agua de purga de la calera se determinó a partir de un programa computacional de selección de bombas de la compañía Goulds Pumps.

Cabe mencionar que existe una relación única entre la carga de la bomba real ganada por el fluido y el caudal, la cual está regida por el sistema de la bomba como esta indicado mediante la curva de eficiencia de la bomba. A efecto de elegir una bomba para esta aplicación en particular fue necesario usar la curva del sistema, según es determinada por la ecuación del sistema (ecuación No. 17, pág. 37), y la curva de eficiencia de la bomba. Si ambas curvas se trazan en la misma gráfica, como se ilustra en la figura No. 13 (pág. 40) su intersección representa el punto de operación del sistema. Es decir, este punto proporciona la carga y el caudal que satisfacen tanto la ecuación del sistema como la ecuación de la bomba. La eficiencia de la bomba se muestra sobre la misma gráfica. Idealmente, se desea que el punto de operación esté próximo al mejor punto de eficiencia de la bomba. Es por ello, que la bomba recomendada cumple con estos criterios, ya que su punto de operación se encuentra cercano a los parámetros de diseño y eficiencia de la bomba. Asimismo, el valor de la CANP disponible es mayor que la CANP requerida, por lo cual se puede afirmar que cumple con todas las necesidades del sistema propuesto.

Respecto al análisis económico que se realizó, es necesario hacer notar que el proyecto tiene una rentabilidad aceptable, lo cual se puede ver en la tabla No. 8 (pág. 20), donde se presentan los valores de la tasa interna de retorno y el valor actual neto del proyecto propuesto. Cabe mencionar que dichos valores se calcularon en base al flujo de caja elaborado para el proyecto, el cual se encuentra en la tabla No. 19 (pág. 42). En el flujo de caja se contempló el ahorro no sólo de materia prima que la implementación del proceso propuesto conlleva, sino que también el ahorro de mano de obra que se tendría.

Es importante hacer notar nuevamente, que con la implementación del sistema de recuperación y reutilización de agua de purga de la caldera, dicha agua no será enviada a la planta de tratamiento de aguas residuales que tiene la fábrica de jabones. Este hecho implica disminución de costos de materia prima empleada para tratar esta agua. Asimismo, hay reducción de costos de mano de obra en lo que respecta al personal de la planta de tratamiento, ya que menor cantidad de agua residual estará llegando para ser tratada, lo cual se traduce a disminución de las horas de trabajo de los operadores.

Dentro del flujo de caja se consideró un factor ambiental, el cual se estimó según la medición de rentabilidad ambiental del proyecto, cuantificando la reducción de impacto ambiental que la inversión

ocasionará. Se empleó el método de costo evitado, ya que la implementación del sistema de recuperación y reutilización de agua de purga también evitará posibles multas hacia la fábrica. Dichas multas pueden deberse al hecho que el agua de purga actúa como diluyente de la concentración de contaminantes que llega a la planta de tratamiento. El tiempo de recuperación de la inversión es de 2.5 años. Es importante hacer notar que se trata de un proyecto ambiental, por lo que el tiempo de recuperación se considera aceptable.

Con los resultados obtenidos, puede concluirse que el sistema de recuperación de agua de purga de caldera para la fundición de silicato de sodio, no sólo contribuirá a la reducción de costos de producción, sino también mejorará el desempeño ambiental de la fábrica en cuestión.

IX. CONCLUSIONES

- A. El diámetro de la tubería a instalar para la reutilización del agua de purga de la caldera debe de ser de 38.10 mm (1 ½ in), cédula 40 y de acero al carbón.
- B. Con base a los resultados obtenidos la carga de aspiración neta positiva disponible es de 7.554 m.
- C. La potencia de la bomba para el sistema propuesto para reutilizar el agua de purga de la caldera para impulsarla al área de fundición de silicato de sodio debe de ser de 372.85 W (½ hp).
- D. La tasa interna de retorno para el proyecto propuesto es 38 %, el valor actual neto es de Q 21,454.85 y el tiempo de recuperación de 2.5 años.
- E. Por medio de la implementación de este proyecto se mejorará la eficiencia en el uso del agua y la reducción de aguas industriales a tratar en la planta de tratamiento de aguas residuales, lo cual aumentará la eficiencia de la misma.

X. RECOMENDACIONES

- A. Elaborar un procedimiento estándar de operación para el sistema propuesto y entrenar al personal involucrado en el proceso de fundición de silicato de sodio.
- B. Se recomienda a la industria en general, enfocarse en la reducción de residuos desde la fuente y tener siempre presente qué tipo de impacto ambiental pueden ocasionar las decisiones y operaciones involucradas en sus procesos químicos.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- McCabe, Warren, *et al.* 2002. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México. McGraw Hill, 6ta. Edición. 1176 págs.
- Nayyar, Mohinder L. 2000. *Piping Handbook*. E.E.U.U. McGraw Hill. 7ma. Edición. 5 Capítulos.
- Núñez, Luis. 2005. *Diseño de un reactor para la neutralización de ácido dodecibencensulfónico en plantas de fabricación de jabones y detergentes en Guatemala*. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Química) Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ciencias y Humanidades. 110 págs.
- Ordoñez, Alberto. 2005. *Medidores de flujo*. <http://www.monografias.com>
- Perry, R., *et al.* 1997. *Manual del Ingeniero Químico*; Mc Graw Hill, 7ma Edición. 30 Capítulos.
- Sinnott, R. 2004. *Chemical Engineering Design*. Inglaterra. Elsevier Butterworth – Heinemann, 3era. Edición. 1045 págs.
- Woollantt, Edgar. 1982. *The manufacture of soap, other detergents and glycerine*. England, Ellis Horwood Limited. 473 págs.

XII. APÉNDICE

Apéndice A: Datos originales obtenidos para dimensionar la bomba

Tabla No. 9: Datos de las condiciones de operación del sistema de recuperación del agua de purga de calderas

| VARIABLES DEL SISTEMA | VALOR |
|-----------------------------|------------------------------|
| Temperatura del agua | 25 °C |
| Densidad del agua a 25 °C | 997.1 kg/m ³ |
| Viscosidad del agua a 25 °C | 0.894E-03 N s/m ² |
| kg de agua por lote | 1,257 kg |

Apéndice B: Cálculos de muestra

Cálculo No. 1: Velocidad de flujo de masa, \dot{m} , requerido por el sistema

$$\dot{m} = \frac{\text{kilos de agua por lote}}{\text{tiempo de llenado}} \quad (\text{Ecuación No. 6})$$

Se estimó un tiempo de llenado de la autoclave de 10 minutos. Al sustituir este valor en la ecuación No. 6, se obtiene lo siguiente:

$$\dot{m} = \frac{\text{kilos de agua por lote}}{\text{tiempo de llenado}} = \frac{1257 \text{ kg}}{10 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 2.095 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Cálculo No. 2: Estimación del diámetro óptimo de la tubería

Para estimar el diámetro de la tubería se empleó la ecuación No. 7.

$$d_{\text{optimo}} = \frac{293(\dot{m})^{0.53}}{\rho^{-0.37}} \quad (\text{Ecuación No. 7})$$

donde, \dot{m} : Velocidad de flujo de masa, kg/s

ρ : Densidad del agua a 25°C

Mediante el flujo másico previamente calculado y la densidad del agua a 25 °C, se llegó al siguiente cálculo.

$$d_{,optimo} = 293(2.095 \text{ kg/s})^{0.53} (997.1 \text{ kg/m}^3)^{-0.37} = 33.69 \text{ mm}$$

Comercialmente se puede adquirir la tubería de 38.10 mm (1½ in) por lo que utilizará ese diámetro.

Cálculo No. 3: Determinación del numero de Reynolds

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi\mu D} \quad (\text{Ecuación No. 8})$$

donde, \dot{m} : Flujo másico, kg/s

μ : Viscosidad, Ns/m²

D: Diámetro de la tubería, m

$$Re = \frac{4(2.095 \text{ kg/s})}{\pi(0.894 \times 10^{-3} \text{ N} \times \text{s/m}^2)(38.10 \times 10^{-3} \text{ m})} = 7.831 \times 10^4$$

$$\boxed{Re = 7.831 \times 10^4 > 4,000 \Rightarrow} \text{ flujo turbulento}$$

Por lo tanto, el diámetro de la tubería debería ser de 38.10 mm (1.5 pulgadas)

Cálculo No. 4: Determinación del flujo volumétrico, Q

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (\text{Ecuación No. 9})$$

donde, \dot{m} : Velocidad de flujo de masa, kg/s

ρ : Densidad, kg/m³

$$Q = \frac{2.095 \text{ kg/s}}{997.1 \text{ kg/m}^3} = 2.101 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo No. 5: Área de la sección transversal de la tubería

$$\text{Area de la sección transversal} = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (\text{Ecuación No. 10})$$

Donde, D: Diámetro de la tubería

$$\text{Area de la sección transversal} = \frac{\pi}{4} (38.10 \times 10^{-3})^2 = 1.14 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Cálculo No. 6: Cálculo de la velocidad lineal del fluido por la tubería, V

$$V = \frac{Q}{\text{area sección transversal}} \quad (\text{Ecuación No. 11})$$

$$V = \frac{Q}{\text{area sección transversal}} = \frac{2.101 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{1.14 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 1.843 \text{ m/s}$$

donde, Q: flujo volumétrico, m³/s

área de la sección transversal, m²

Cálculo No. 7: Cálculo del factor de fricción

Se tiene que la rugosidad equivalente para tubería de acero al carbón es: $\varepsilon = 0.046 \text{ mm}$

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} \right) + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right]^2} \quad (\text{Ecuación No. 12})$$

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln\left(\frac{0.046 \times 10^{-3} \text{ m}}{(3.7)(38.10 \times 10^{-3} \text{ m})} \right) + \frac{5.74}{(7.831 \times 10^4)^{0.9}} \right]^2} = 2.056 \times 10^{-2} \text{ m}$$

donde, D: diámetro de la tubería, m

Re: número de Reynolds

ϵ : rugosidad equivalente, 0.046 mm

Cálculo No. 8: Carga de Aspiración Neta Positiva Disponible ($CANP_D$)

Es necesario conocer cuales son los accesorios con los que cuenta la nueva red de distribución del sistema de agua propuesto para la fundición del silicato de sodio. Los accesorios a colocar en la tubería se listan en la tabla No. 8.

Tabla No. 10: Accesorios y válvulas a colocar en tubería y su correspondiente K_L

| Accesorio | Cantidad | K_L | Cantidad x K_L |
|-------------------|----------|-------|------------------|
| Codo 90° | 10 | 1.5 | 15 |
| Codo 45° | 1 | 0.4 | 0.4 |
| Unión universal | 10 | 0.08 | 0.8 |
| Válvula de bola | 1 | 0.05 | 0.05 |
| Válvula de cheque | 1 | 2 | 2 |
| Tee | 1 | 0.9 | 0.9 |
| | | Total | 19.15 |

$$CANP_D = \frac{P_{atm}}{\gamma} - z_1 - \sum h_L - \frac{P_v}{\gamma} \quad (\text{Ecuación No. 13})$$

donde, P_{atm} : Presión atmosférica

P_v : Presión de vapor del agua a 25 °C

γ : peso específico, N/m³

h_L : Perdidas por fricción en la tubería y las perdidas menores que ocurren en los accesorios y válvulas

z_1 : distancia de la superficie del fluido hasta la entrada del impulsor de la bomba

Asimismo, las pérdidas por fricción en la tubería y las pérdidas menores que ocurren en los accesorios y válvulas se definen de la siguiente manera

$$\sum h_L = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} + K_L \frac{u^2}{2g} \quad (\text{Ecuación No. 14})$$

donde, l : es el largo de la tubería en la succión de la bomba

V : la velocidad lineal del fluido, m/s

D : diámetro de la tubería, m

K_L : coeficiente de pérdida de accesorio, adimensional

g : aceleración de la gravedad, m/s^2

$$\sum h_L = 2.056 \times 10^{-2} \frac{2.30 \text{ m}}{38.1 \times 10^{-3} \text{ m}} \frac{(1.843 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} + 1.5 \frac{(1.843 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} = 0.4746 \text{ m}$$

$$CANP_D = \frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2}{(997.1 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)} - 2 \text{ m} - 0.476 \text{ m} - 0.33 \text{ m}$$

$$CANP_D = 7.554 \text{ m}$$

Cálculo No. 9: Potencia de la bomba

A partir de la ecuación de Bernoulli se puede llegar a calcular la potencia de la bomba.

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1}{2g} + z_1 + h_p = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2}{2g} + z_2 + h \quad (\text{Ecuación No. 15})$$

donde, P : presión, Pa

V : velocidad lineal del fluido, m/s

z : altura, m

γ : peso específico, N/m^3

g : gravedad, m/s^2

h_p : carga de la bomba, m

h : pérdidas mayores y menores ($h_L + \sum h_f$), m

Debido a que tanto la fosa de almacenamiento de agua de purga de la caldera y el tanque de fundición de silicato de sodio se encuentran a presión atmosférica, estos valores se anulan de la ecuación No. 15. Asimismo, las velocidades se anulan debido a que el diámetro de la tubería es el mismo en todo lo largo del sistema de tuberías. Por lo tanto, reordenando se llega a la siguiente ecuación se tiene

$$h_p = z_2 - z_1 + h_L + \sum h_f \quad (\text{Ecuación No. 15.1})$$

Se sustituyen los valores calculados anteriormente,

$$h_p = 2.3\text{ m} + \frac{(1.843\text{ m/s})^2}{2(9.81\text{ m/s}^2)} \left[(2.056 \times 10^{-2}\text{ m}) \left(\frac{32.5\text{ m}}{38.10 \times 10^{-3}\text{ m}} \right) + 20.65\text{ m} \right]$$

$$h_p = 8.911\text{ m}$$

La potencia se calcula con la siguiente ecuación

$$\text{Potencia} = \rho \times g \times Q \times h_p \quad (\text{Ecuación No. 16})$$

donde, ρ : densidad, kg/m^3

g : aceleración de la gravedad, m/s^2

Q : flujo volumétrico, m^3/s

h_p : carga de la bomba, m

$$\text{Potencia} = (997.1\text{ kg/m}^3)(9.81\text{ m/s}^2)(2.101 \times 10^{-3}\text{ m}^3/\text{s})(8.911\text{ m})$$

$$\text{Potencia} = 183.13\text{ W}$$

La potencia teórica para la bomba es de 183.13Watts. Sin embargo, se empleó un factor de 20% adicional para seleccionar la bomba. Por lo tanto, se llegó a lo siguiente

$$\text{Potencia} = (183.13\text{ W} \times 1.20) = 219.76\text{ W}$$

Debido a que en la industria se tiene estandarizado la potencia de las bombas se concluye que la potencia de la bomba, aproximando el resultado del calculo anterior debe de ser de 372.85 Vatios ($\frac{1}{2}$ hp).

Cálculo No. 10: Determinación de la ecuación de la curva del sistema de la bomba

A partir de la siguiente ecuación No. 15.1

$$h_p = z_2 - z_1 + h_L + \sum h_f$$

y la ecuación No. 11

$$V = \frac{Q}{\text{area sección transversal}}$$

Sustituyendo la ecuación No. 11 en la ecuación No. 15.1 e ingresando los valores respectivos, se tiene

$$h_p = 2.3 + 1.499 \times 10^6 Q^2 \quad (\text{Ecuación No. 17})$$

Siendo ésta la ecuación de la curva del sistema.

Tabla No. 11: Datos calculados para graficar la curva del sistema

| Flujo volumétrico, Q (m ³ /h) | Carga de bomba, h _p (m) |
|---|---------------------------------------|
| 2 | 2.76 |
| 4 | 4.11 |
| 6 | 6.48 |
| 8 | 9.55 |

Cálculo No. 11: Determinación del número de cédula de la tubería

Para el cálculo del número de cédula de la tubería se empleó la siguiente ecuación

$$\text{Número de cédula} = \frac{P_s \times 1000}{\sigma_s} \quad (\text{Ecuación No. 18})$$

donde, P_s: presión máxima de trabajo de la bomba, 97.1 kPa

σ_s: esfuerzo admisible tubería de acero al carbón a temperatura de -29 °C a 343 °C, 82737.09 kPa

$$\text{Número de cédula} = \frac{97.1 \text{ kPa} \times 1000}{82,737.09 \text{ kPa}} = 1.17$$

Aproximando este resultado al valor más cercano para tubería de 38.10 mm (1½ pulgada), se tiene que el número de cédula debe de ser de 40.

Tabla No. 12: Dimensiones comerciales de tubo de acero al carbón

| Diámetro nominal de tubería | Diámetro exterior de tubería | Espesor nominal de pared | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|--------------|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| | | cédula 10 | cédula 20 | cédula 30 | Estan- dar | cédula 40 | cédula 60 | Extra fuerte | cédula 80 | cédula 100 | cédula 120 | cédula 140 | cédula 160 | XX fuerte |
| ¼ | 0.405 | .... | .... | .... | 0.068 | 0.068 | .... | 0.095 | 0.095 | | | | | |
| ¼ | 0.540 | .... | .... | .... | 0.088 | 0.088 | .... | 0.119 | 0.119 | | | | | |
| ¾ | 0.675 | .... | .... | .... | 0.091 | 0.091 | .... | 0.126 | 0.126 | | | | | |
| ½ | 0.840 | .... | .... | .... | 0.109 | 0.109 | .... | 0.147 | 0.147 | .... | .... | .... | 0.188 | 0.294 |
| ¾ | 1.050 | .... | .... | .... | 0.113 | 0.113 | .... | 0.154 | 0.154 | .... | .... | .... | 0.219 | 0.308 |
| 1 | 1.315 | .... | .... | .... | 0.133 | 0.133 | .... | 0.179 | 0.179 | .... | .... | .... | 0.250 | 0.358 |
| 1¼ | 1.660 | .... | .... | .... | 0.140 | 0.140 | .... | 0.191 | 0.191 | .... | .... | .... | 0.250 | 0.382 |
| 1½ | 1.900 | .... | .... | .... | 0.145 | 0.145 | .... | 0.200 | 0.200 | .... | .... | .... | 0.281 | 0.400 |
| 2 | 2.375 | .... | .... | .... | 0.154 | 0.154 | .... | 0.218 | 0.218 | .... | .... | .... | 0.344 | 0.436 |
| 2½ | 2.875 | .... | .... | .... | 0.203 | 0.203 | .... | 0.276 | 0.276 | .... | .... | .... | 0.375 | 0.552 |
| 3 | 3.5 | .... | .... | .... | 0.216 | 0.216 | .... | 0.300 | 0.300 | .... | .... | .... | 0.438 | 0.600 |
| 3½ | 4.0 | .... | .... | .... | 0.226 | 0.226 | .... | 0.318 | 0.318 | .... | .... | .... |  |  |
| 4 | 4.5 | .... | .... | .... | 0.237 | 0.237 | .... | 0.337 | 0.337 | .... | 0.438 | .... | 0.531 | 0.674 |
| 5 | 5.563 | .... | .... | .... | 0.258 | 0.258 | .... | 0.375 | 0.375 | .... | 0.500 | .... | 0.625 | 0.750 |
| 6 | 6.625 | .... | .... | .... | 0.280 | 0.280 | .... | 0.432 | 0.432 | .... | 0.562 | .... | 0.719 | 0.864 |
| 8 | 8.625 | .... | 0.250 | 0.277 | 0.322 | 0.322 | 0.406 | 0.500 | 0.500 | 0.594 | 0.719 | 0.812 | 0.906 | 0.875 |
| 10 | 10.75 | .... | 0.250 | 0.307 | 0.365 | 0.365 | 0.500 | 0.500 | 0.594 | 0.719 | 0.844 | 1.000 | 1.125 | 1.000 |
| 12 | 12.75 | .... | 0.250 | 0.330 | 0.375 | 0.406 | 0.562 | 0.500 | 0.688 | 0.844 | 1.000 | 1.125 | 1.312 | 1.000 |
| 14 OD | 14.0 | 0.250 | 0.312 | 0.375 | 0.375 | 0.438 | 0.594 | 0.500 | 0.750 | 0.938 | 1.094 | 1.250 | 1.406 | |
| 16 OD | 16.0 | 0.250 | 0.312 | 0.375 | 0.375 | 0.500 | 0.656 | 0.500 | 0.844 | 1.031 | 1.219 | 1.438 | 1.594 | |
| 18 OD | 18.0 | 0.250 | 0.312 | 0.438 | 0.375 | 0.562 | 0.750 | 0.500 | 0.938 | 1.156 | 1.375 | 1.562 | 1.781 | |
| 20 OD | 20.0 | 0.250 | 0.375 | 0.500 | 0.375 | 0.594 | 0.812 | 0.500 | 1.031 | 1.281 | 1.500 | 1.750 | 1.969 | |
| 22 OD | 22.0 | 0.250 | 0.375 | 0.500 | 0.375 | .... | 0.875 | 0.500 | 1.125 | 1.375 | 1.625 | 1.875 | 2.125 | |
| 24 OD | 24.0 | 0.250 | 0.375 | 0.562 | 0.375 | 0.688 | 0.969 | 0.500 | 1.218 | 1.531 | 1.812 | 2.062 | 2.344 | |
| 26 OD | 26.0 | 0.312 | 0.500 | .... | 0.375 | .... | .... | 0.500 | .... | .... | .... | .... | .... |  |
| 28 OD | 28.0 | 0.312 | 0.500 | 0.625 | 0.375 | .... | .... | 0.500 | .... | .... | .... | .... | .... |  |
| 30 OD | 30.0 | 0.312 | 0.500 | 0.625 | 0.375 | .... | .... | 0.500 | .... | .... | .... | .... | .... |  |
| 32 OD | 32.0 | 0.312 | 0.500 | 0.625 | 0.375 | 0.688 | .... | 0.500 | .... | .... | .... | .... | .... |  |
| 34 OD | 34.0 | 0.312 | 0.500 | 0.625 | 0.375 | 0.688 | .... | 0.500 | .... | .... | .... | .... | .... |  |
| 36 OD | 36.0 | 0.312 | 0.500 | 0.625 | 0.375 | 0.750 | .... | 0.500 | .... | .... | .... | .... | .... |  |
| 42 OD | 42.0 | .... | .... | .... | 0.375 | .... | .... | 0.500 | .... | .... | .... | .... | .... |  |

Apéndice C: Determinación de la bomba a instalar para el sistema propuesto

Para la selección de la bomba a instalar para el sistema de reutilización de agua de purga de la caldera, se empleó un programa computacional de selección de bombas de la compañía Goulds Pumps. En dicho programa se puede ingresar las bases de diseño del proyecto propuesto y en base a ellas, el programa sugiere la utilización de la bomba que más se adecuada a las necesidades del sistema por medio de los catálogos asociados a éste. En este caso, las bases de diseño ingresadas en el programa son las siguientes:

Tabla No. 13: Bases de diseño de la bomba a instalar para el sistema de reutilización de agua de purga

| | |
|--|-------------------------|
| Flujo volumétrico | 7.56 m ³ /h |
| Carga de aspiración neta positiva disponible | 7.554 m |
| Cabeza de la bomba | 2.3 m |
| Tipo de fluido | Agua |
| Temperatura del fluido | 25 °C |
| Densidad a la temperatura del fluido | 997.1 kg/m ³ |
| Diámetro de la tubería | 38.10 mm |

Finalmente la bomba sugerida por el programa fue una bomba centrífuga modelo 3196_A 1 x 1.5 - 6 STX, marca Gould Pump y sus características se listan en la siguiente tabla.

Tabla No. 14: Características de la bomba modelo 3196_A 1 x 1.5 - 6 STX

| | | |
|---------------------|---|------------------------|
| Especificaciones | Carga de aspiración neta positiva requerida | 0.61 m |
| Límites de la bomba | Velocidad mínima | 600 rpm |
| | Velocidad máxima | 1750 rpm |
| Curva de la bomba | Flujo mínimo de bomba | 0.68 m ³ /h |
| | Flujo máximo a 0.51 kW | 14.3 m ³ /h |
| | Eficiencia máxima de bomba a 11 m ³ /h | 52 % |
| | Presión máxima de bomba | 97.1 kPa |
| | Cabeza máxima de bomba | 9.9 m |

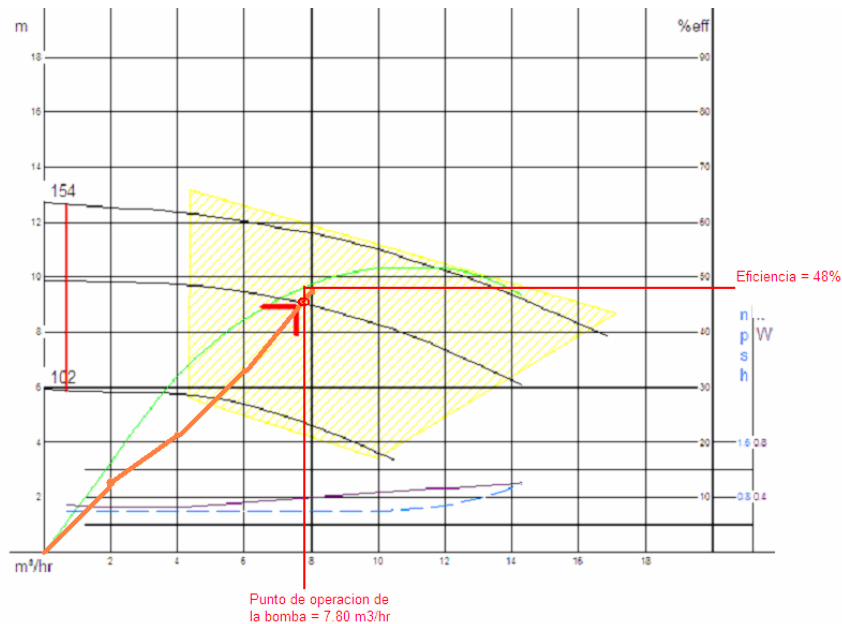


Figura No. 13: Curva de la bomba a utilizar para el sistema de reutilización de agua de purga de la caldera

Apéndice D: Datos originales obtenidos para análisis de costos

Tabla No. 15: Costos de inversión inicial

| Compra y/o servicio | Monto (Q) |
|--|-----------|
| Compra y colocación de válvula de 6" y corte de tubo acero al carbón cédula 40 en 2 partes para soldadura de los 2 flanges | 7,025.00 |
| Construcción de caja de registro de 1.00x0.85x1.00 | 2,565.00 |
| Compra y colocación de tubo galvanizado de 6" cedula 40 | 4,455.00 |
| Compra de bomba centrífuga acero al carbón | 3,354.00 |
| Instalación eléctrica | 3,290.00 |
| Instalación hidráulica | 2,056.00 |
| Inversión inicial total | 22,745.00 |

Tabla No. 16: Costos de materia prima de la planta de tratamiento por metro cúbico tratado

| Materia Prima | Costo por metro cúbico (Q) |
|---------------------------------|----------------------------|
| Sulfato de aluminio | 6.03 |
| Cal | 0.37 |
| Polímero | 0.10 |
| Costos totales de materia prima | 6.50 |

Tabla No. 17: Costos de mano de obra del personal de la planta de tratamiento por metro cúbico tratado

| Número de operadores en planta de tratamiento | Costo por metro cúbico |
|---|------------------------|
| 3 | Q 2.86 |

Apéndice E: Análisis de costos para proyecto

Tabla No. 18: Datos calculados de beneficios a obtener con la implementación del proyecto de recuperación y reutilización de agua de purga de la caldera

| | |
|------------------------------------|------------|
| Total de cargas por mes | 30 |
| m ³ empleados por carga | 1.235 |
| Total m3 ahorrados al mes | 37 |
| Total m3 ahorrados al año | 445 |
| Total de costos ahorrados al año | Q 4,161.46 |

Tabla No. 19: Flujo de caja para el proyecto de recuperación de agua de purga de caldera para fundición de silicato de sodio

| | Año | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Ahorro costos (Q) | | 4,161.16 | 4,161.16 | 4,161.16 | 4,161.16 | 4,161.16 | 4,161.16 | 4,161.16 | 4,161.16 | 4,161.16 | 4,161.16 | 4,161.16 |
| Factor Ambiental (Q) | | 6,241.74 | 6,241.74 | 6,241.74 | 6,241.74 | 6,241.74 | 6,241.74 | 6,241.74 | 6,241.74 | 6,241.74 | 6,241.74 | 6,241.74 |
| Depreciación (Q) | | (2,274.50) | (4,094.10) | (3,275.28) | (2,620.22) | (2,097.09) | (1,676.31) | (1,489.80) | (1,489.80) | (1,489.80) | (1,489.80) | (746.04) |
| Utilidades antes de impuestos (Q) | | 8,128.40 | 6,308.80 | 7,127.62 | 7,782.68 | 8,305.81 | 8,726.59 | 8,913.10 | 8,913.10 | 8,913.10 | 8,913.10 | (746.04) |
| Impuesto (Q) | | (1,381.83) | (1,072.50) | (1,211.70) | (1,323.05) | (1,411.99) | (1,483.52) | (1,515.23) | (1,515.23) | (1,515.23) | (1,515.23) | 126.83 |
| Utilidad neta (Q) | | 6,746.57 | 5,236.30 | 5,915.92 | 6,459.62 | 6,893.82 | 7,243.07 | 7,397.88 | 7,397.88 | 7,397.88 | 7,397.88 | (619.21) |
| Depreciación (Q) | | 2,274.50 | 4,094.10 | 3,275.28 | 2,620.22 | 2,097.09 | 1,676.31 | 1,489.80 | 1,489.80 | 1,489.80 | 1,489.80 | 746.04 |
| Inversión inicial (Q) | (22,745.00) | | | | | | | | | | | |
| Flujo de caja (Q) | (22,745.00) | 9,021.07 | 9,330.40 | 9,191.20 | 9,079.85 | 8,990.91 | 8,919.38 | 8,887.67 | 8,887.67 | 8,887.67 | 8,887.67 | 126.83 |

El factor ambiental, tal como se discutió en la página 26 y 27 se estimó en base a la medición de rentabilidad ambiental del proyecto, cuantificando la reducción de impacto ambiental que la inversión ocasionaría. Se empleó el método de costo evitado, ya que la implementación del sistema de recuperación y reutilización de agua de purga también evitará posibles multas hacia la fábrica, las cuales podrían deberse al hecho que el agua de purga actúa como diluyente de la concentración de contaminantes que llega a la planta de tratamiento.

Apéndice F: Gráficas características de las bombas

Cabe mencionar que las curvas características de las bombas que se a continuación están en el sistema ingles, ya que la mayoría de los equipos están comercialmente especificados en dicho sistema, razón por la cual se presentan las siguientes gráficas en dicho sistema.

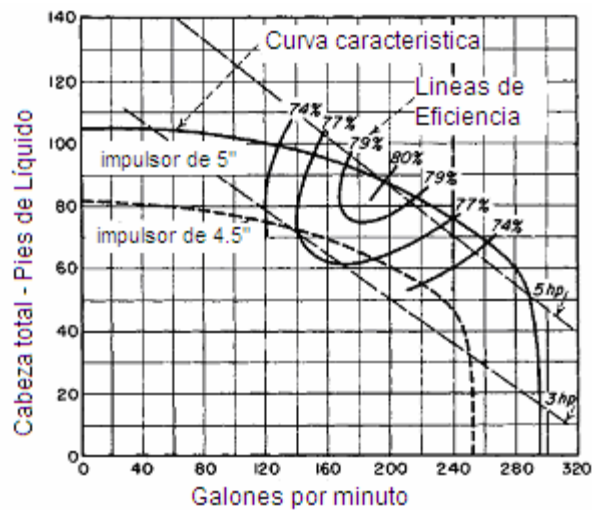


Figura No. 14: Ejemplo de curva típica de una bomba centrífuga

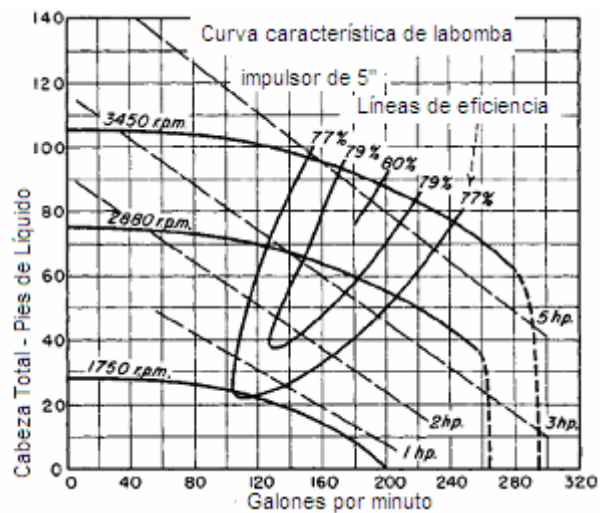


Figura No. 15: Ejemplo de curva típica de una bomba centrífuga

Para emplear estas curvas, es necesario que el flujo volumétrico sea convertido del sistema internacional al sistema inglés (galones / minutos). La cabeza total del líquido también debe de ser convertida al sistema inglés (pies). El procedimiento a seguir para interpretar las curvas se encuentra en la página 14.