

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Reciclaje de soda cáustica en el proceso de embotellado de bebidas, en envase de vidrio, en la fabricación de cerveza

Trabajo de investigación presentado por Jorge Alberto Santos Trejo para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala, 2005



Reciclaje de soda cáustica en el proceso de embotellado de bebidas, en envase de vidrio, en la fabricación de cerveza

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

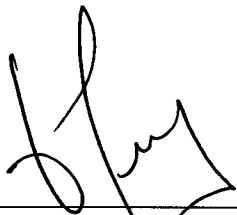
Reciclaje de soda cáustica en el proceso de embotellado de  
bebidas, en envase de vidrio, en la fabricación de cerveza

Trabajo de graduación presentado por Jorge Alberto Santos  
Trejo para optar al grado académico de Licenciado en  
Ingeniería Química

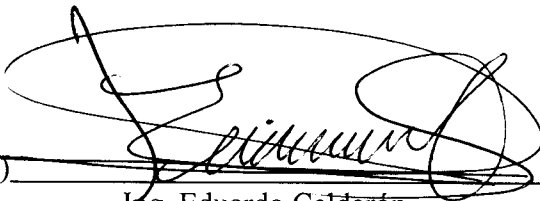
Guatemala

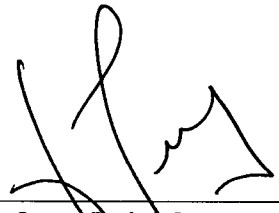
2005

Vo.Bo.:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Jorge Luis Muñoz  
Asesor

Tribunal:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Eduardo Calderón

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Jorge Luis Muñoz

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Alejandro Hidalgo

Fecha de aprobación: 12 de Diciembre de 2005

“Dedico este trabajo a Dios, familiares, amigos y catedráticos,  
de quienes aprendí, y seguiré aprendiendo por siempre.”

## PREFACIO

La realización de este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda de amigos y profesionales, y es por ello, que agradezco la ayuda del Ingeniero Jorge Luis Muñoz, quien fungió como asesor, así como a todo el personal de la embotelladora La Mariposa S. A., quienes hicieron posible la culminación de este proyecto.

## RESUMEN

Este trabajo consistió en diseñar un proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza, con el propósito de recuperar dicho álcali para su posterior reuso, en el proceso de lavado de envase de vidrio.

La primera parte del proceso, contempló el diseño de un tanque cónico vertical, de 4.50 metros de diámetro y 8.47 metros de altura, para la sedimentación de los sólidos contenidos en la soda cáustica que se desecha de la lavadora de envase de vidrio. Para el traslado del fluido, desde la descarga de la lavadora hacia dicho depósito, se calculó una bomba centrífuga de 5.59 kW (7 ½ hp).

En la segunda etapa, se instaló un clarificador, para eliminar toda la materia que se hallara en suspensión dentro del álcali, una vez terminado el proceso anterior. Previo al clarificador, en la descarga del primer aljibe, se calculó una segunda bomba, con una potencia de 0.74 kW (1.0 hp). Dicho dispositivo tiene como función, el traslado de la soda cáustica proveniente del tanque de sedimentación a través del sistema de clarificación, para después enviarlo hacia un depósito para su respectivo almacenamiento.

Las dimensiones de este tanque de almacenamiento son: 4.50 y 5.00 metros de diámetro y altura, respectivamente. A la descarga del mismo, se determinó una potencia de bomba de 0.74 kW (1.0 hp) para el traslado de la soda cáustica ya reciclada hacia la lavadora de envase de vidrio.

Con el diseño, se determinó que la cantidad que es capaz de recuperar dicho proyecto es de 11,627.50 kg de NaOH al 48 % (m/m), con una eficiencia del 80 %.

La inversión inicial para la implementación del proyecto, corresponde a una suma de Q 1,159,226.96. De acuerdo a esta inversión inicial, se determinó una tasa interna de retorno de 26 %, un valor actual neto de Q 3,199.98, y un punto de equilibrio de 60.08 % de eficiencia del proceso. El período de recuperación es de 3.08 años, por lo que es rentable la puesta en marcha de este proceso, tanto para beneficios económicos como ecológicos.

## ABSTRACT

The following research consisted in design a caustic soda's recycle process, on beer manufacturing, in which purpose is to recover this alkali for its reuse, during the wash bottle proceeding.

The first step of the process, contemplates a vertical conic vessel design, with dimensions of 4.50 meters of diameter, and 8.47 meters of height. The purpose of this container is the sedimentation of solids that are present in the caustic soda's waste coming from wash bottle compartments. A centrifugal pump of 7 ½ hp was calculated for the fluid transfer, from de wash bottle discharge to the sedimentation vessel.

In the second stage of this process, a clarification system was installed for remove all the suspended particles, once the sedimentation proceeding is finished. Previously, a pump of 1.0 hp was calculated for fluid transfer, from the sedimentation vessel, passes through the clarification system, to a storage vessel.

The dimensions of this storage vessel are 4.50 meters of diameter, and 5.00 meters of height. A pump of 1.0 hp was calculated on the discharge of this container, and is using for pump out the recycled alkali to the wash bottle machine.

By this process, it is possible to recover a quantity of 11,627.50 kg of sodium hydroxide at 48 % (m/m), with an efficiency of 80 %.

An investment of Q 1,391,072.35 is needed to start this project. Also, an internal payment rate of 26 %, an actual net value of Q 3,199.98, and an equilibrium point of 60.08 % of efficiency of the process are estimated. The initial investment can be recovered in a period of 3.08 years, getting economical and environmental benefits by using this process.

# CONTENIDO

	Página
PREFACIO.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE GRÁFICOS.....	xiii
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
A. La fermentación en la fabricación de cerveza.....	2
B. Proceso de fabricación de cerveza.....	3
C. Embotellamiento de la cerveza.....	5
D. Operaciones unitarias implicadas en el proceso de reutilización de soda cáustica.....	7
1. Sedimentación por gravedad.....	7
2. Filtración.....	7
a. Filtración con flujo transversal: tipos de membrana.....	7
b. Tipos de membranas.....	8
III. JUSTIFICACIÓN.....	9
IV. OBJETIVOS.....	10
A. Generales.....	10
B. Específicos.....	10
V. PROBLEMA A RESOLVER.....	11
VI. METODOLOGÍA.....	12
VII. RESULTADOS.....	14
A. Balance de masa del proceso de lavado de envase de vidrio, en la fabricación de cerveza....	14
B. Diseño del proceso de reciclaje de soda cáustica en el proceso de embotellado de bebidas, en envase de vidrio, en la fabricación de cerveza .....	15
1. Sedimentación por gravedad.....	19
2. Filtración por medio del sistema de clarificación.....	21
3. Almacenamiento del producto final reciclado.....	23

C.	Cantidad de soda cáustica recuperada y eficiencia del proceso de reciclaje para dicho álcali, en la fabricación de cerveza.....	24
D.	Inversión inicial, tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN), período de recuperación del proyecto (PR), y punto de equilibrio (PE) del proyecto.....	24
E.	Equipo de seguridad industrial para la operación del proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza.....	26
VIII.	DISCUSIÓN.....	27
IX.	CONCLUSIONES.....	30
X.	RECOMENDACIONES.....	31
XI.	BIBLIOGRAFÍA.....	32
XII.	APÉNDICE.....	34
A.	Datos originales.....	35
B.	Cálculo para diseño de equipo.....	52
1.	Determinación de la carga total para una bomba centrífuga.....	52
2.	Determinación del diámetro y altura del tanque sedimentador.....	57
3.	Determinación del álcali ingresado a los tanques de soda cáustica previa, principal y posterior.....	58
4.	Determinación del álcali desechado en los tanques de agua caliente I y agua caliente II.....	59
5.	Determinación de la soda cáustica consumida en el proceso de lavado de envase de vidrio, en la fabricación de cerveza.....	60
6.	Determinación de la concentración de soda cáustica al final del proceso de lavado de envase de vidrio, en la fabricación de cerveza .....	61
7.	Determinación del costo unitario de maquinaria y equipo del proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza.....	63
8.	Determinación del costo de energía anual en el proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza.....	64
9.	Determinación de la depreciación de la maquinaria y equipo.....	65
10.	Determinación de la tasa interna de retorno (TIR) y valor actual neto (VAN).....	65
11.	Determinación del período de recuperación del proyecto (PR).....	67
12.	Determinación del punto de equilibrio (PE).....	68
C.	Datos calculados.....	68
XIII.	GLOSARIO.....	74

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Características de la bomba No 1.....	19
2. Características del tanque de sedimentación.....	20
3. Características de la bomba No 2.....	21
4. Características del filtro clarificador.....	22
5. Características del tanque de almacenamiento para soda cáustica al 2.32 g/mL.....	23
6. Características de la bomba No 3.....	23
7. Cantidad de soda cáustica recuperada, y eficiencia del proceso de reciclaje para dicho álcali, en la fabricación de cerveza.....	24
8. Inversión inicial, tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN), período de recuperación (PR), y punto de equilibrio (PE) del proceso de reciclaje de soda cáustica en la fabricación de cerveza.....	24
9. Características de los tanques de soda cáustica de la lavadora Krones, LAVATEC KES.....	35
10. Características de los tanques de agua caliente I y agua caliente II de la lavadora Krones, LAVATEC KES.....	35
11. Propiedades físicas de la soda cáustica al 48 % (m/m).....	36
12. Densidades relativas para el hidróxido de sodio a diversos porcentajes (m/m), a temperatura de 20 °C.....	36

13. Datos de flujo volumétrico, velocidad de fluido, velocidad de carga, y pérdidas de carga para la tubería de 2 ½ pulg. normalizado, de acero al carbón.....	37
14. Datos de flujo volumétrico, velocidad de fluido, velocidad de carga, y pérdidas de carga para la tubería de 3 pulg. normalizado, de acero al carbón.....	37
15. Datos de flujo volumétrico, velocidad de fluido, velocidad de carga, y pérdidas de carga para la tubería de 4 pulg. normalizado, de acero al carbón.....	37
16. Datos de flujo volumétrico, velocidad de fluido, velocidad de carga, y pérdidas de carga para la tubería de 5 pulg. normalizado, de acero al carbón.....	38
17. Coeficientes de pérdida por fricción en accesorios de tubería con cuerda estándar.....	39
18. Valores de superficie para varios materiales.....	40
19. Especificaciones de la ASTM A20 para hojas de acero al carbón de tanques presurizados.....	45
20. Índices de costos anuales de 1964 – 1979.....	46
21. Índices de costos anuales de 1997 – 2004.....	46
22. Índices de costos para plantas en Ingeniería Química.....	47
23. Datos calculados para determinar la carga total entre los puntos de succión y descarga en el proceso de sedimentación por gravedad.....	68
24. Datos calculados para determinar la carga total entre los puntos de succión y descarga en el proceso de filtración por medio del sistema de clarificación.....	69
25. Datos calculados para determinar la carga total entre los puntos de succión y descarga, en el proceso de retorno de soda cáustica del tanque de almacenamiento, hacia la lavadora de envase de vidrio.....	69

26. Datos correspondientes a la cantidad de álcali que ingresa a los tanques de soda cáustica de la lavadora de botella Krones, LAVATEC KES.....	70
27. Costo de maquinaria y accesorios contemplados en el proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza.....	71
28. Tiempos de instalación para cada sección de tubería en el proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza.....	72
29. Costo de energía anual en el proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza..	72
30. Flujo de caja para el proceso de reciclaje de soda cáustica, en el proceso de embotellado de bebidas, en envase de vidrio, en la fabricación de cerveza.....	73

## LISTA DE GRÁFICOS

Ilustración	Página
1. Esquema del proceso fermentativo de la glucosa.....	2
2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de cerveza.....	4
3. Distribución de los líquidos en una lavadora de envase de vidrio, Kronen LAVATEC KES.....	6
4. Balance de masa del proceso de lavado de envase de vidrio, en la fabricación de cerveza.....	14
5. Diagrama de equipo que representa la distribución de tubería y accesorios desde la descarga de la lavadora hacia el tanque sedimentador.....	16
6. Diagrama de equipo que representa la distribución de tubería y accesorios desde la descarga del tanque sedimentador hacia el tanque de almacenamiento.....	17
7. Diagrama de equipo que representa la distribución de tubería y accesorios desde la descarga del tanque de almacenamiento hacia la lavadora de envase de vidrio.....	18
8. Dimensiones del tanque sedimentador a utilizar en el proceso de reciclado de soda cáustica, en la fabricación de cerveza.....	20
9. Filtro horizontal de platos presurizados.....	22
10. Representación gráfica del punto de equilibrio para el proceso de reciclaje de soda cáustica en la fabricación de cerveza.....	25
11. Gráfica del factor de fricción vrs. número de Reynolds.....	40
12. Curvas de rendimiento de bombas centrífugas de 1750 rpm.....	41

13. Curvas características de la bomba centrífuga 3 x 4-10 MT A70.....	42
14. Curvas características de la bomba centrífuga 1x 1 ½-8 ST AA.....	43
15. Curvas características de la bomba centrífuga 1 ½ x 3-6 ST AB.....	44
16. Costos de válvulas atornilladas.....	47
17. Costos de compra de recipientes de almacenamiento.....	48
18. Costos de compra de bombas centrífugas.....	49
19. Costos de compra para filtros.....	50
20. Costos y tiempo de instalación de tubería y accesorios de acero al carbón.....	51
21. Costos de tubería y accesorios de acero al carbón.....	51

# I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objeto principal diseñar un proceso de reutilización de soda cáustica en envase de vidrio, en la fabricación de cerveza, debido a que se ignoran los beneficios económicos y ambientales que se pueden obtener al recuperar dicho álcali.

La soda cáustica es importante para la limpieza y desinfección de los envases de vidrio que se utilizan para empacar la cerveza, ya que durante el proceso, se extrae todo tipo de suciedad de origen orgánico e inorgánico que el recipiente pueda contener. Una vez limpias las botellas, dicho álcali es desechado directamente al drenaje sin recibir un tratamiento previo, dándose como consecuencia, la contaminación de las principales fuentes de abastecimiento de agua.

Actualmente, las industrias han comenzado con la implementación de procesos para el cuidado del medio ambiente y recursos naturales, pues muchas de éstas se están certificando bajo las normas ISO 14000, las cuales exigen una serie de requisitos de gestión ambiental para lograr dicha certificación. Es por ello que varias empresas le han dado importancia al tema del medio ambiente, principalmente en el tratamiento de efluentes y emisiones de gases.

El proceso de reutilización de soda cáustica considera tres puntos principales: la capacidad de recuperar el álcali de la mejor manera posible para usarlo nuevamente en el proceso de lavado de las botellas para el empaque de la cerveza, disminuir la contaminación producida por su desecho y reducir los costos de adquisición del mismo.

Entre los capítulos que conforman este trabajo están los antecedentes, el cual recopila la información relacionada con el proceso de reutilización de soda cáustica; iniciando con la teoría de fermentación, fabricación y envasado de la cerveza. Asimismo, se incluyen los resultados para cada objetivo establecido, y su respectiva discusión, para finalizar con las conclusiones y recomendaciones más importantes aportadas durante el diseño del proceso de reciclaje de soda cáustica.

El trabajo se complementa con la justificación, problema a resolver, y metodología, capítulo que describe cómo se lleva a cabo el proyecto. Por último, todas las fuentes de información utilizadas para la elaboración del informe se encuentran especificadas en la bibliografía y la información secundaria, en el apéndice.

## II. ANTECEDENTES

La cerveza es un producto de bajo contenido alcohólico (2 a 7 %), obtenido por fermentación de diferentes cereales con lúpulo, añadido para impartir un sabor más o menos amargo y para controlar la fermentación. Los cereales que se emplean son: cebada, germinada para desarrollar las enzimas necesarias y el sabor deseado, así como maltas adicionales como hojuelas de arroz, avena y maíz.

### A. La fermentación en la fabricación de cerveza

La descripción tradicional de la fermentación de cerveza se ha definido como un proceso anaeróbico, en donde la levadura convierte la glucosa en etanol y dióxido de carbono:



Posteriormente se comprendió que la influencia de enzimas y coenzimas era la responsable de las reacciones más complejas producidas en la conversión. (Broderick, 1977: 55)

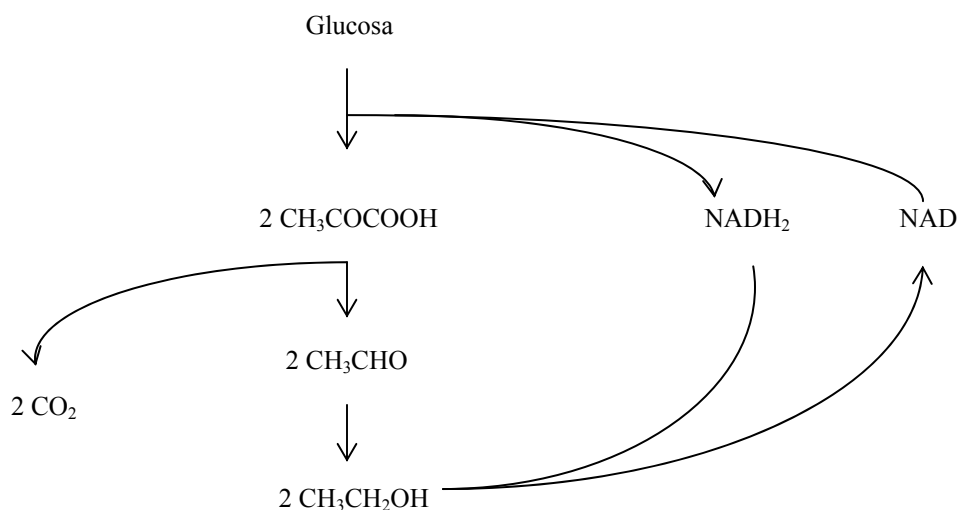


Figura No 1. Esquema del proceso fermentativo de la glucosa. NAD es la coenzima nicotidamida adenina dinucleotida y NADH<sub>2</sub> es la forma reducida.

En la actual fermentación cervecera no sólo participa la glucosa, sino también monosacáridos, disacáridos y en menor grado trisacáridos presentes en el mosto fermentable. Numerosos productos derivados se desarrollan durante la fermentación y muchos componentes del mosto son asimilados por la

levadura; lo cual tiene un impacto en el sabor y las características de la cerveza. Entre los componentes se pueden hallar compuestos como alcoholes, ácidos, ésteres, cetonas, aldehídos y compuestos sulfurados. (Broderick, 1977: 56)

Pese a su complejidad, la fermentación depende más que nada de tres parámetros básicos: la composición del mosto (nutrientes de la levadura), la levadura misma y las condiciones del proceso (duración, temperatura, volumen, presión, forma y tamaño del recipiente, agitación y corrientes dentro del mosto que está en fermentación). (Broderick, 1977: 56)

En el primer parámetro, la composición del mosto, las variables que determinan la fermentación son la presencia y la concentración de diversos nutrientes y el pH. (Broderick, 1977: 56)

La selección del tipo de levadura, determina el patrón de fermentación. Además, tanto la adición de levadura (siembra), cantidades y método, el estado de la levadura, como su distribución en el mosto tienen un gran impacto sobre la fermentación. Las levaduras de fermentación alta, como la *Saccharomyces cerevisiae*, producen cervezas *ale* y las levaduras de fermentación baja producen cervezas *lager, pilsen*, entre otras. La explicación es que durante la fermentación alta, la levadura se aglutina y sube a la superficie del mosto en fermentación, donde se recoje (se decanta la levadura de encima), a diferencia de la cerveza producida por fermentación baja, donde la levadura se aglutina y se sedimenta en el fondo. (Broderick, 1977: 56)

## B. Proceso de fabricación de cerveza

El diagrama de flujo para la manufacturación de cerveza que se muestra en la Figura No 2 se divide en tres grupos de procesos: (1) cocimiento del amasijo para formar el mosto lupulazo frío, (2) la fermentación y (3) almacenamiento, terminado y envasado para la venta.

Durante el cocimiento se extraen los componentes valiosos de la malta, las maltas adicionales y los azúcares mediante la maceración de los materiales molidos empleando agua para evitar un pH demasiado elevado, que tendería a oscurecer la cerveza. En el cocedor a presión, el almidón insoluble se convierte en almidón líquido, y la malta de almidón soluble se transforma en dextrina y azúcares de malta. El amasijo hirviendo del cocedor, mezclado con el resto de la malta en la cuba de maceración, eleva la temperatura a 75 °C y se utiliza para preparar el mosto de cerveza. Después de que se han solubilizado todos los ingredientes requeridos de los materiales fermentables, el amasijo total se lleva a la cuba de maceración al filtro prensa o a la cuba decantadora (lauter), en donde se separa el mosto de los granos insolubles a través del fondo falso y se conduce al cocedor para mosto. Para la recuperación completa de todas las sustancias disueltas, se rocía agua descarbonatada a 74 °C a través de los granos. (Austin, 1988: 615)

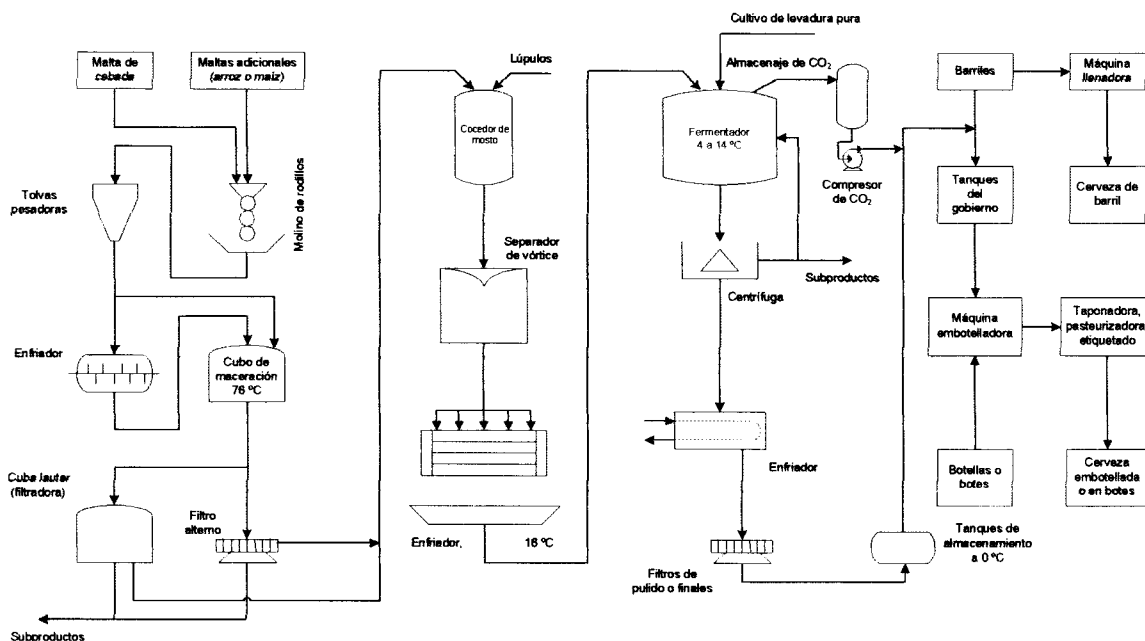


Figura No 2. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de cerveza.

El mosto se cuece durante 1 a 1.5 horas y parte del tiempo se encuentra en contacto con el lúpulo que se añade después de iniciada la cocción. Se hierve para concentrar el mosto, esterilizarlo y destruir todas las enzimas, para coagular ciertas proteínas mediante calor (82 °C), para modificar el olor a malta, y para extraer los taninos y el aroma del lúpulo añadido durante el proceso de cocción. Al final del ciclo, se separa rápidamente en una centrifuga el lúpulo agotado del mosto hirviendo. Puesto que el lúpulo agotado retiene 770 litros de mosto por cada 100 kilogramos de mosto, éste debe rociarse. A partir de este momento, puede procederse a enfriar el mosto. (Austin, 1988: 615)

El enfriamiento, además de reducir la temperatura, permite que el mosto absorba suficiente aire para facilitar el inicio de la fermentación. El mosto se enfría en un intercambiador de calor de platos hasta 48 °C y luego se aérea. Con frecuencia se utiliza aire esterilizado. (Austin, 1988: 616)

El mosto frío se mezcla con levaduras seleccionadas dentro de la tubería que la conduce a los fermentadores. Se utilizan de 285 a 380 gramos de levadura por cada 100 litros de cerveza. La temperatura inicial de fermentación es de 4 a 6 °C, pero conforme avanza la fermentación, la temperatura se eleva a 14 °C. Esto se debe a que la conversión del azúcar en dióxido de carbono y alcohol etílico mediante las enzimas de la levadura genera 650 kJ/kg de maltosa convertida. La temperatura se controla parcialmente por medio de enfriadores instalados dentro del fermentador. La mezcla se desnata para eliminar las sustancias extrañas que el monóxido de carbono desprendido arrastra a la superficie. El

monóxido de carbono formado se recupera en las cubas cubiertas y se almacena a 17,000 kPa de presión para ser empleada después de la carbonatación de la cerveza. (Austin, 1988: 616)

La levadura se asienta gradualmente en el fondo de los tanques de fermentación durante 7 a 10 días. Cuando la cerveza sale de los fermentadores contiene resinas de lúpulo, sustancias nitrogenadas y una cantidad regular de levadura. Posteriormente la cerveza se envía a un tanque de añejamiento (lagering) donde generalmente tiene lugar una segunda fermentación. La temperatura se mantiene lo suficientemente alta para iniciar la segunda fermentación y luego se enfría de 0 a 2 °C en reposo. Durante este período se mejoran el sabor y el aroma, y los taninos, proteínas y resinas de lúpulo se sedimentan, lo cual facilita su eliminación. Las cervezas con mayor contenido de lúpulo necesitan más tiempo de reposo que las de menor concentración de lúpulo. Al final del período de reposo, la cerveza se satura con CO<sub>2</sub> a una presión de 50 a 70 kPa. (Austin, 1988: 616)

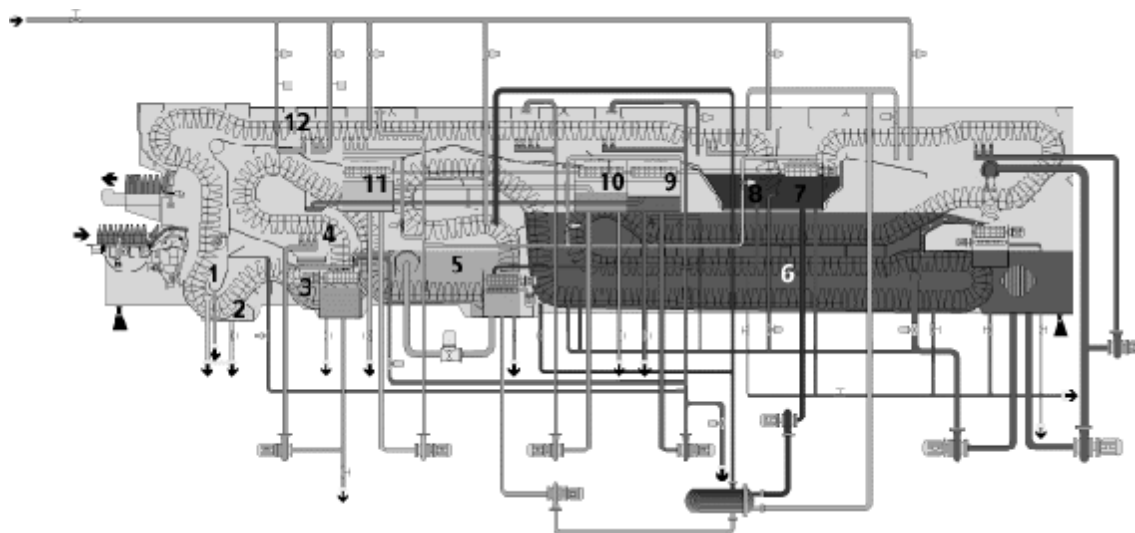
## C. Embotellamiento de la cerveza

La maquinaria para embotellar la cerveza se ha perfeccionado extraordinariamente, al mismo tiempo que el resto de la maquinaria para empacarla. El tipo actual de unidades embotelladoras automáticas puede llenar 200-300 botellas o botes de cerveza por minuto. Se diferencian de otras unidades embotelladoras por detalles especiales que permiten llenar las botellas con presión para evitar la formación de espuma, y comprenden aparatos para cerrar y pasteurizar. (Kirk *et. al.*, 1962: 702)

La cerveza terminada se bombea desde las cubas y pasa por contadores que registran el volumen en recipientes o tanques. Dichos tanques sirven como depósitos intermedios, desde los cuales se traslada la cerveza a las diferentes máquinas llenadoras por la presión del dióxido de carbono aplicado en los tanques correspondientes. (Kirk *et. al.*, 1962: 702)

Las botellas vacías devueltas entran en un aparato de limpieza juntamente con las botellas nuevas. Las botellas pasan a lo largo de una fila de tanques con soluciones cáusticas de concentración y temperatura crecientes y luego salen a una mesa de enjuague, en la cual se lavan por dentro y por fuera con agua clara. Un esquema de la distribución de los líquidos de lavado y enjuague, así como de la trayectoria del envase de vidrio dentro de una máquina convencional, aparece en la Figura No 3.

Las reglas sanitarias prescriben que las botellas devueltas y las nuevas permanezcan de 10 a 15 minutos en una solución cáustica de una concentración no inferior a 3 % y a la temperatura de 160-170 °F (71-76 °C). (Kirk *et. al.*, 1962: 702)



- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1. Vaciado residual        | 7. Sosa cáustica posterior                       |
| 2. Remojo previo I         | 8. Baño de inundación de sosa cáustica posterior |
| 3. Remojo previo II        | 9. Agua caliente I                               |
| 4. Rociado previo          | 10. Agua caliente II                             |
| 5. Sosa cáustica previa    | 11. Agua fría                                    |
| 6. Sosa cáustica principal | 12. Agua fresca                                  |

Figura No 3. Distribución de los líquidos en una lavadora de envase de vidrio, Kronos LAVATEC KES.

Inmediatamente después de enjuagados los envases con agua clara, las botellas pasan a un aparato llenador rotativo, en el cual se ponen bajo presión conectándolas con un tanque que hay en el centro de la máquina, que contiene también cerveza. Igualada la presión, la cerveza pasa por gravedad desde el fondo del tanque central a presión al interior de las botellas. Toda la operación se realiza en 10-15 segundos y en este tiempo se mueve la botella en la periferia de la máquina llenadora. Una vez llena la botella, se quita la presión, y la botella pasa a la máquina taponadora, en la cual el cierre con una corcholata está regulado de modo que la espuma ascendente expulsa la mayor parte del aire que queda en el hueco del cuello de la botella. (Kirk *et. al.*, 1962: 703)

Las botellas cerradas pasan a un pasterizador, que normalmente consiste en una ancha banda móvil sobre la cual permanecen las botellas mientras llueve sobre ellas agua caliente. El agua caliente se hace circular una y otra vez por medio de bombas y el intercambio de calor está regulado entre el extremo delantero y el extremo trasero del pasterizador, de modo que las botellas se calientan aproximadamente a 60 °C. (Kirk *et. al.*, 1962: 703)

Después de pasterizadas las botellas, se les pone la etiqueta, se empaican en cajas de plástico y se distribuyen para su embarque o almacenamiento por medio de transportadores automáticos. La eficiencia

de una planta embotelladora depende, en gran parte, de una buena instalación de transportadores que reduzca al mínimo el manejo de la cerveza embalada. (Kirk *et. al.*, 1962: 704)

## D. Operaciones unitarias implicadas en el proceso de reutilización de soda cáustica

1. Procesos de sedimentación por gravedad. Muchos métodos de separación mecánica se basan en la sedimentación de las partículas sólidas o gotas de líquido a través de un fluido, impulsadas por la fuerza de gravedad. El fluido puede ser un gas o un líquido; puede estar en movimiento o en reposo. En algunos casos, el objetivo del proceso es separar las partículas de una corriente de fluido con el fin de eliminar contaminantes del fluido o bien recuperar las partículas. En otros problemas, las partículas se suspenden deliberadamente en fluidos con el fin de obtener separaciones en fracciones de diferentes tamaños o densidades. Entonces el fluido se recupera a veces para reutilizarse a partir de partículas fraccionadas. (McCabe *et. al.*, 2001: 1118)

Las partículas más pesadas que el fluido en el que están suspendidas, pueden separarse de un gas o un líquido en un tanque de sedimentación grande, donde la velocidad de fluido es baja y las partículas tienen tiempo suficiente para sedimentar. Sin embargo, los dispositivos sencillos de este tipo tienen una utilidad limitada debido a que la separación no es completa y se requiere de mucha mano de obra para retirar las partículas sedimentadas del fondo del tanque. (McCabe *et. al.*, 2001: 118)

La mayoría de los separadores industriales están provistos de un sistema para la separación continua de los sólidos sedimentados. La separación puede ser parcial o prácticamente completa. Un sedimentador que separa casi todas las partículas de un líquido se conoce como *clarificador*, mientras que un dispositivo que separa los sólidos en dos fracciones recibe el nombre de *clasificador*. A ambos tipos de aparatos se aplican los mismos fundamentos de sedimentación. (McCabe *et. al.*, 2001: 1118)

2. Filtración. La filtración es la separación de partículas sólidas a partir de un fluido mediante el paso del fluido a través de un medio filtrante o pared separadora sobre el que se depositan los sólidos. El fluido puede ser un líquido o un gas, y la corriente valiosa procedente de un filtro puede ser el fluido, los sólidos o ambos productos. (Treybal, 1981: 512)

a. Filtración con flujo transversal: filtros de membrana. La filtración con flujo transversal se aplica a las suspensiones concentradas de partículas finas o material coloidal o para diluciones fraccionadas de macromoléculas. El término *microfiltración* se utiliza para partículas en el intervalo de tamaño de 0.5 a 5  $\mu\text{m}$ . La *ultrafiltración* (UF) abarca un intervalo de tamaño más amplio,

desde partículas de 0.5  $\mu\text{m}$  hasta moléculas de aproximadamente  $10^3 \mu\text{m}$  en tamaño. El término *hiperfiltración* se emplea para la separación de moléculas pequeñas o iones, pero la ósmosis inversa es un término más descriptivo, debido a que la presión osmótica tiene un efecto mayor sobre el flujo por unidad de área. La separación en la *ósmosis inversa* se efectúa mediante un mecanismo de difusión de la disolución en el polímero denso en lugar de la acción de tamizado en la superficie de membrana. (McCabe *et. al.*, 2001: 1103)

b. Tipos de membranas. La membrana ideal para la filtración con flujo transversal debe tener una porosidad alta y una distribución estrecha de tamaño del poro; con los poros más grandes se retienen las partículas y moléculas ligeramente más pequeñas. Algunas membranas comerciales utilizan varias clases de polímeros como acetato de celulosa, poliacrilonitrilo, polisulfona, poliamida y poliimida. El espesor de la superficie puede variar así como también el tamaño promedio del poro, según las condiciones de moldeado o tratamiento de postmoldeado. (McCabe *et. al.*, 2001: 1103)

Las membranas de ultrafiltración y microfiltración también están hechas de acero inoxidable sinterizado u otros metales y de carbón poroso o alúmina. Las ventajas de las membranas inorgánicas sobre las membranas de polímeros son que las primeras pueden operar a temperaturas más altas y soportan mejor el lavado químico o el tratamiento de esterilización. (McCabe *et. al.*, 2001: 1105)

Dentro de la industria, se emplean membranas de fibra hueca o tubular empleando láminas grandes en un filtro prensa o una unidad de espiral abierta. Las membranas tubulares son de 5 a 25 mm de diámetro interior y de más de 3 m de longitud; se utilizan velocidades de 1 a 5 m/s para obtener un flujo turbulento y buen transferencia de masa. Las membranas de polímeros están apoyadas por metal poroso o tubos cerámicos, y varios tubos apilados en una carcasa cilíndrica. Las membranas de alúmina se adquieren como tubos solos o con multicanales en su interior. Las membranas tubulares tienen como ventaja el reemplazamiento fácil de membrana y la viabilidad de limpieza mecánica. (McCabe *et. al.*, 2001: 1105)

### III. JUSTIFICACIÓN

La reutilización de la soda cáustica en los procesos de embotellado es muy importante, ya que este álcali es un recurso que se utiliza para la limpieza efectiva de los envases de vidrio que contiene al producto líquido. Generalmente, las lavadoras para este tipo de recipiente poseen un tanque o depósito en cuyo interior se encuentra la soda cáustica a una baja concentración y a una temperatura no mayor de 80 °C. A pesar de ello, dichas condiciones son suficientes para remover cualquier tipo de contaminación orgánica e inorgánica proveniente del exterior, las cuales el agua por sí sola no sería capaz de extraer.

Durante el proceso de embotellado en la fabricación de cerveza, el envase de vidrio se sumerge en soda cáustica y enjuagado, posteriormente, con agua previamente tratada dentro de la lavadora. A medida que la soda cáustica se utiliza, ésta acumula suciedad proveniente del envase de vidrio y después de cierto tiempo, se vacía, del tanque de almacenamiento de la lavadora, hacia el drenaje.

La problemática surge, no sólo porque se contaminan las aguas que este tipo de desecho encuentra, sino porque también existen residuos sólidos en suspensión, que pueden ser removidos, pudiéndose aprovechar nuevamente la soda cáustica para el proceso de lavado de envase de vidrio.

## IV. OBJETIVOS

### A. Generales

Diseñar un proceso para la recuperación de soda cáustica en procesos de embotellado de bebidas en envase de vidrio, que permita reciclar dicho material para volverlo a usar en la fabricación de cerveza y que brinde como beneficios la disminución de costos de adquisición, así como la resolución de problemas ambientales durante su manejo.

### B. Específicos

1. Implementar una alternativa para la recuperación de soda cáustica, de acuerdo a las problemáticas originadas en el proceso de fabricación de cerveza.
2. Diseñar un sistema que contribuya a reutilizar la soda cáustica usada en los procesos de embotellado en la fabricación de cerveza, de tal manera que ésta se pueda recuperar.
3. Diseñar un sistema que ayude a minimizar el impacto ambiental que puedan causar los desechos provenientes de la soda cáustica.
4. Calcular la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN), y el período de recuperación (PR) del proceso de reciclaje de soda cáustica.

## V. PROBLEMA A RESOLVER

Actualmente la soda cáustica que se utiliza en el proceso de lavado de envases de vidrio en la fabricación de cerveza se desecha hacia el drenaje después de su uso, dándose como consecuencia, la contaminación de las aguas a donde ésta desemboca.

## VI. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el estudio de factibilidad del proceso de reutilización de soda cáustica en el proceso de fabricación de cerveza, se tienen contemplados los siguientes puntos:

### A. Identificación y análisis de los puntos críticos del problema

Se identifican los principales problemas que surgen durante y después del lavado del envase de vidrio con soda cáustica, los cuales servirán para la implementación del proceso de reutilización de dicho álcali.

Entre estos puntos, se determinan los tipos de desechos que provienen del lavado del recipiente de vidrio, principalmente los que resultan de la reacción de la soda cáustica con el aluminio, que es uno de los principales componentes de la etiqueta metalizada.

### B. Aplicación de las operaciones unitarias a involucrar en el diseño del proceso de reutilización de soda cáustica

En esta fase se proponen las operaciones unitarias necesarias para el diseño del proceso de reutilización de soda cáustica, basándose en las condiciones en las que se encuentre éste álcali después de su uso.

Dentro de las etapas a contemplar en dicho proceso, se tienen las siguientes:

1. **Sedimentación por gravedad.** En esta etapa se recibirá la soda cáustica en tanques cilíndricos, los cuales tendrán la función de separar los sólidos más pesados procedentes de la solución cáustica del lavado.
2. **Filtración por clarificación.** En esta operación se hará pasar la soda cáustica por un filtro clarificador, con el fin de remover los sólidos que se hallen en suspensión.
3. **Reabastecimiento de soda cáustica para el álcali recuperado.** Puesto que parte de la soda cáustica utilizada se irá degradando, la concentración del álcali tiende a variar. Es por ello

que se deberá contar con un sistema de reabastecimiento para que la soda con potencial de reuso se encuentre a la concentración adecuada.

### C. Base de cálculo para el estudio económico y diseño del proceso de reutilización de soda cáustica

La base de cálculo para el estudio económico y diseño del proceso de reutilización de soda cáustica estará dada por el tamaño de la lavadora de envase de vidrio a utilizar dentro del proceso de fabricación de cerveza. El equipo del cual se hará referencia, corresponde a la lavadora marca Krones LAVATEC, modelo KES, la cual cuenta con las siguientes características:

1. Tamaño del equipo: 6.00 m de ancho x 11.50 m de largo x 3.6 m de altura.
2. Cantidad de soda cáustica que se alimenta: 80 m<sup>3</sup>.
3. Número de botellas lavadas por hora: 15,000 – 80,000 botellas/hora.

Las características de operación de la planta son las siguientes:

1. Operación horas (efectivas) por día: 20 horas/día.
2. Operación días por semana: 5 días/semana.
3. Operación semanas por mes: 4 semanas/mes.
4. Operación meses por año: 12 meses/año.

### D. Elaboración del diagrama de equipo para el proceso de reutilización de soda cáustica

Se elaborará un plano de planta, en donde se especificará el equipo necesario para implementar el proceso de reutilización de soda cáustica.

### E. Elaboración del estudio económico para el proceso de reutilización de soda cáustica

Se elaborará un informe final que presentará el costo total para la implementación del proceso de reutilización de soda cáustica, así como también, el beneficio económico que se obtendrá en la recuperación dicho álcali.

## VII. RESULTADOS

### A. Balance de masa del proceso de lavado de envase de vidrio, en la fabricación de cerveza

De la ecuación general de balance de masa:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación}$$

Puesto que no hay generación, consumo y acumulación, la ecuación queda como:

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = 0$$

$$\text{Soda cáustica agregada al inicio} + \text{Soda cáustica que se recarga} = \text{Soda cáustica a desechar}$$

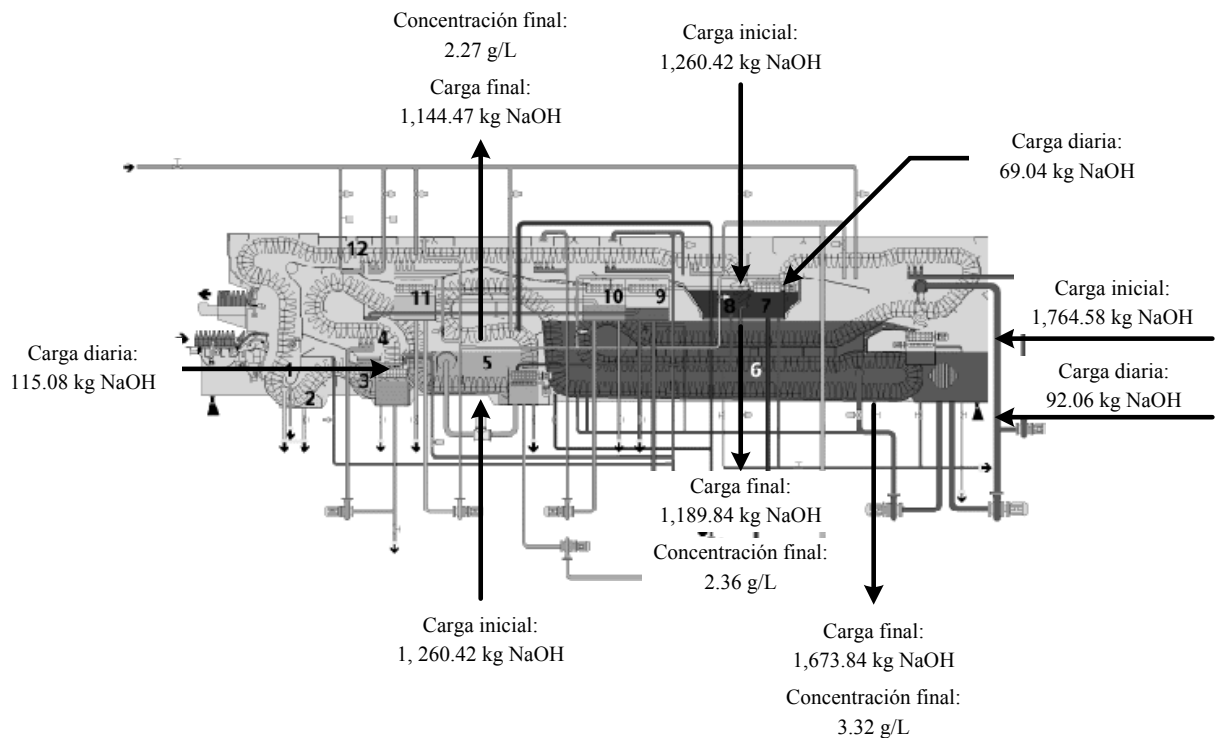
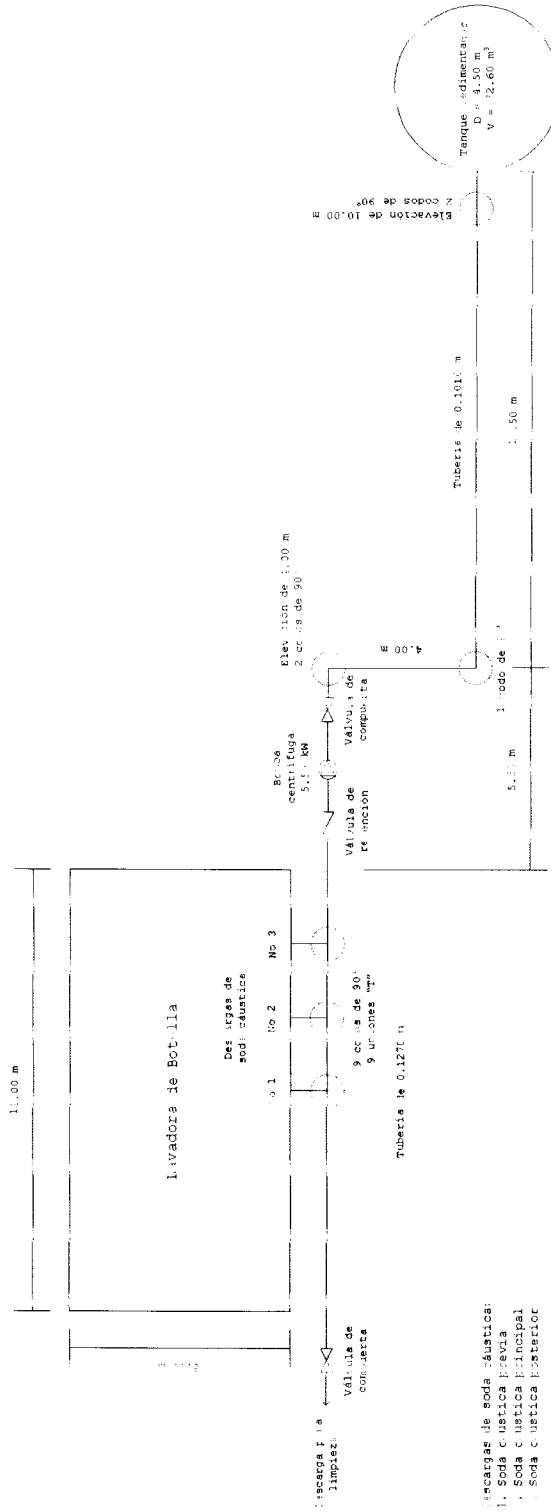


Figura No 4. Balance de masa del proceso de lavado de envase de vidrio, en la fabricación de cerveza.

## B. Diseño del proceso de reciclaje de soda cáustica en el proceso de embotellado de bebidas, en envase de vidrio, en la fabricación de cerveza

Los tres pasos a seguir en el desarrollo del proceso son los siguientes: 1) sedimentación por gravedad, 2) filtración por clarificación, y 3) almacenamiento de la soda cáustica reciclada. La descripción de cada una de las etapas, se especifica a continuación.



Sin escala

Figura No 5. Diagrama de equipo que representa la distribución de tubería y accesorios desde la lavadora hacia el tanque sedimentador.

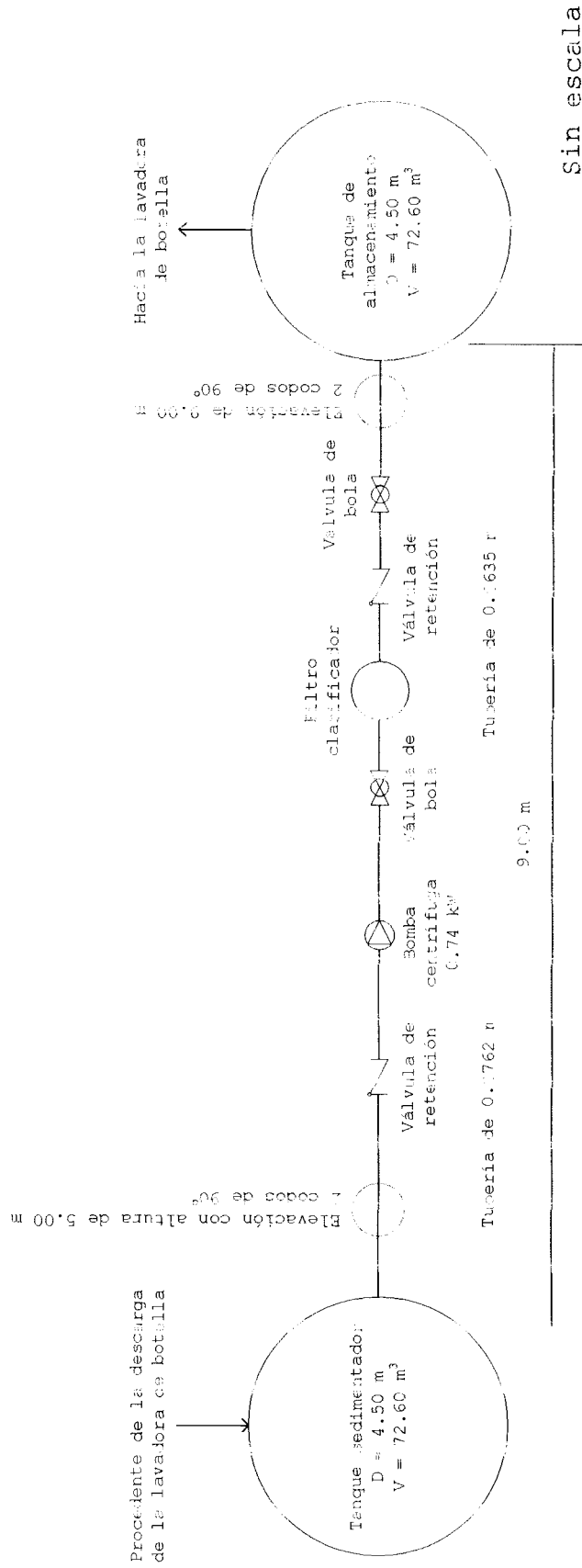
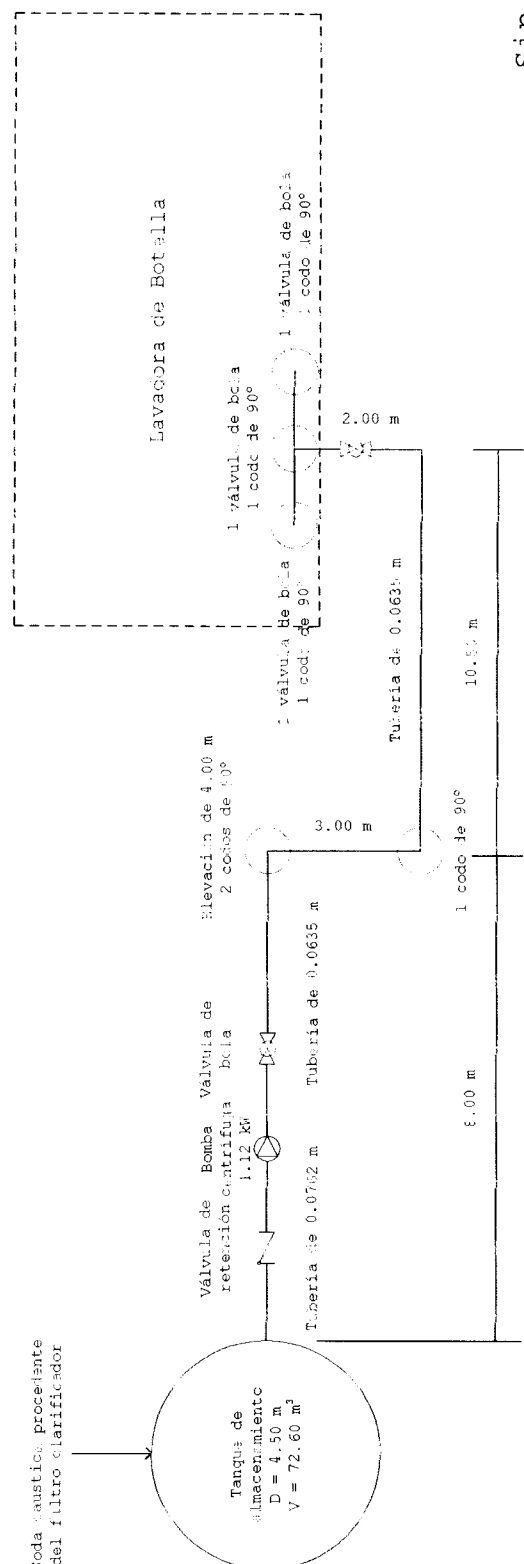


Figura No 6. Diagrama de equipo que representa la distribución de tubería y accesorios desde la descarga del tanque sedimentador hacia el tanque de almacenamiento.



Sin escala

Figura No 7. Diagrama de equipo que representa la distribución de tubería y accesorios desde la descarga del tanque de almacenamiento hacia la lavadora de envase de vidrio.

## 1. Sedimentación por gravedad

Cuadro No 1. Características de la bomba No 1.

	CARACTERÍSTICAS
TIPO DE BOMBA	Centrífuga
FLUJO VOLUMÉTRICO	0.0202 m <sup>3</sup> /s
CARGA TOTAL	33.19 m
TIPO DE BOMBA	3 x 4 – 10 MT A70
MODELO DE BOMBA	3196 STD
POTENCIA DE BOMBA	5.59 kW (7 ½ hp)
EFICIENCIA DE BOMBA	70 %
POTENCIA DE MOTOR	7.457 W (10 hp)
RPM DE BOMBA	1750
TAMAÑO DE BOMBA	0.0762 x 0.1016 – 0.2541: 0.0762 m de descarga 0.1016 m de succión 0.2541 m de rodete
DIÁMETRO NORMALIZADO TUBERÍA SUCCIÓN	0.1270 m (5 pulg.)
DIÁMETRO NORMALIZADO TUBERÍA DESCARGA	0.1016 m (4 pulg.)
CÉDULA DE TUBERÍA	40
LONGITUD DE TUBERÍA	42.00 m
MATERIAL	Acero al carbón

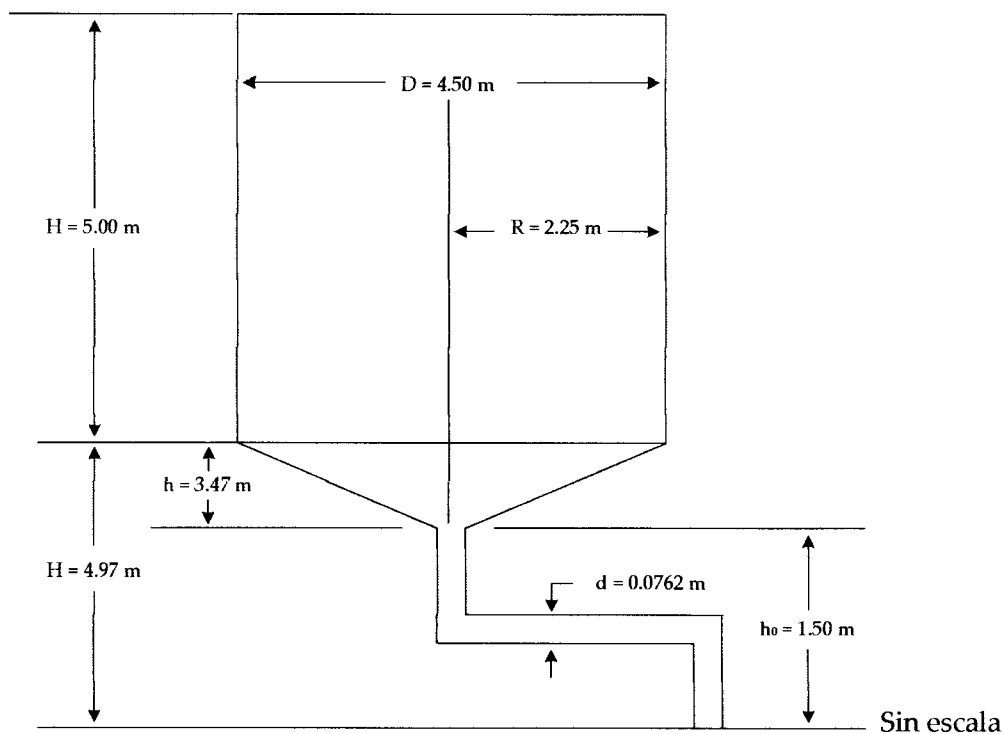


Figura No 8. Dimensiones del tanque sedimentador a utilizar en el proceso de reciclado de soda cáustica, en la fabricación de cerveza.

Cuadro No 2. Características del tanque de sedimentación.

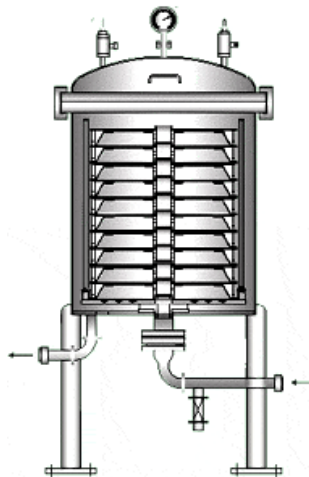
	CARACTERÍSTICAS
DIÁMETRO	4.50 m
ALTURA	5.00 m
ALTURA DEL CONO	3.47 m
ALTURA TOTAL	8.47 m
GROSOR DE PARED	0.0070 m (7.00 mm)
VOLUMEN	72.60 m <sup>3</sup>
MATERIAL	Acero al carbón
OTRAS CARACTERÍSTICAS	El tanque se encuentra elevado a 4.97 m del nivel del suelo. La base está conformada por un anillo de concreto. Cuenta con una descarga en su parte inferior, la cual servirá para la purga de los sólidos que sedimenten por gravedad, así como para la limpieza del mismo. Dicha descarga, consiste en una tubería de 0.0762 m (3 pulg.) de diámetro nominal, cédula 40, hierro galvanizado. El tiempo de descarga a través de la misma es de cinco horas, para un flujo volumétrico de 0.0041 m <sup>3</sup> /s.

## 2. Filtración por medio del sistema de clarificación

Cuadro No 3. Características de la bomba No 2.

	CARACTERÍSTICAS
TIPO DE BOMBA	Centrífuga
FLUJO VOLUMÉTRICO	0.0039 m <sup>3</sup> /s
CARGA TOTAL	14.16 m
TIPO DE BOMBA	1 x 1 ½ – 8 ST AA
MODELO DE BOMBA	3196 STD
POTENCIA DE BOMBA	0.74 kW (1.0 hp)
EFICIENCIA DE BOMBA	58 %
POTENCIA DE MOTOR	1.49 kW (2.0 hp)
RPM DE BOMBA	1750
TAMAÑO DE BOMBA	0.0254 x 0.0381 – 0.2032: 0.0254 m de descarga 0.0381 m de succión 0.2032 m de rodete
DIÁMETRO NORMALIZADO TUBERÍA SUCCIÓN	0.0762 m (3 pulg.)
DIÁMETRO NORMALIZADO TUBERÍA DESCARGA	0.0635 m (2 ½ pulg.)
CÉDULA DE TUBERÍA	40
LONGITUD DE TUBERÍA	15.00 m
MATERIAL	Acero al carbón

Figura No 9. Filtro horizontal de platos presurizados.



Cuadro No 4. Características del filtro clarificador.

	CARACTERÍSTICAS
DIÁMETRO DEL EQUIPO	0.84 m
ALTURA DE CADA PLATO	0.038 m
NÚMERO DE PLATOS	14
DIÁMETRO DE CADA PLATO	0.840 m
ÁREA DE FILTRACIÓN POR CADA PLATO	0.50 m <sup>2</sup>
ÁREA DE FILTRACIÓN TOTAL	7.0 m <sup>2</sup>
FLUJO VOLUMÉTRICO	0.0039 m <sup>3</sup> /s
PRESIÓN DE DISEÑO	392.266 kPa
TEMPERATURA DE DISEÑO	363.15 K
MATERIAL	Acero inoxidable 304
VENTAJAS DEL EQUIPO	<p>El cartucho o conjunto de platos son de fácil ensamblaje y extracción, gracias a la manecilla que posee en la parte superior del mismo.</p> <p>Los platos de mayor profundidad proveen mayor retención de los sólidos que los platos de superficie.</p> <p>La retención de sólidos en cada plato es estable y uniforme, proporcionando un filtrado de alta claridad y resplandor.</p> <p>El filtro de plato horizontal y su grosor previenen el paso de sólidos, asegurando una mejor calidad de filtrado.</p> <p>El área de filtración puede ser aumentado o disminuido, dependiendo de los requerimientos del proceso.</p>

### 3. Almacenamiento del producto final reciclado

Cuadro No 5. Características del tanque de almacenamiento para soda cáustica al 2.32 g/mL.

	CARACTERÍSTICAS
DIÁMETRO	4.50 m
ALTURA	5.00 m
GROSOR DE PARED	0.0070 m (7.00 mm)
VOLUMEN	72.60 m <sup>3</sup>
MATERIAL	Acero al carbón
OTRAS CARACTERÍSTICAS	El tanque se encuentra apoyado o cimentado sobre una base conformada por un anillo de concreto, cuya altura es de 1.00 m. Posee una descarga para su respectiva limpieza. Dicha descarga, consiste en una tubería de 0.0762 m (3 pulg.) de diámetro nominal, cédula 40, de hierro galvanizado. El tiempo de descarga a través de la misma es de cinco horas, para un flujo volumétrico de 0.0041 m <sup>3</sup> /s.

Cuadro No 6. Características de la bomba No 3.

	CARACTERÍSTICAS
TIPO DE BOMBA	Centrífuga
FLUJO VOLUMÉTRICO	0.0039 m <sup>3</sup> /s
CARGA TOTAL	12.76 m
TIPO DE BOMBA	1 ½ x 3 – 6 ST AB
MODELO DE BOMBA	3196 STD
POTENCIA DE BOMBA	0.74 kW (1.0 hp)
EFICIENCIA DE BOMBA	66 %
POTENCIA DE MOTOR	1.12 kW (1 ½ hp)
RPM DE BOMBA	1750
TAMAÑO DE BOMBA	0.0038 x 0.0762 – 0.1524: 0.0038 m de descarga 0.0762 m de succión 0.1524 m de rodete
DIÁMETRO NORMALIZADO TUBERÍA SUCCIÓN	0.0762 m (3 pulg.)
DIÁMETRO NORMALIZADO TUBERÍA DESCARGA	0.0635 m (2 ½ pulg.)
CÉDULA DE TUBERÍA	40
LONGITUD DE TUBERÍA	41.00 m
MATERIAL	Acero al carbón

C. Cantidad de soda cáustica recuperada y eficiencia del proceso de reciclaje para dicho álcali, en la fabricación de cerveza

Cuadro No 7. Cantidad de soda cáustica recuperada, y eficiencia del proceso de reciclaje para dicho álcali, en la fabricación de cerveza.

CANTIDAD DE SODA CÁUSTICA AL 48 % (m/m) QUE SE RECUPERA	11,627.50 kg de NaOH
EFICIENCIA DEL PROCESO	80 %

D. Inversión inicial, tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN), período de recuperación (PR), y punto de equilibrio (PE) del proyecto

Cuadro No 8. Inversión inicial, tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN), período de recuperación (PR), y punto de equilibrio (PE) del proceso de reciclaje de soda cáustica en la fabricación de cerveza.

INVERSIÓN INICIAL	Q 1,159,226.96
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	26 %
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	Q 3,199.98
PERÍODO DE RECUPERACIÓN (PR)	3 años
PUNTO DE EQUILIBRIO (PE)	0.6008

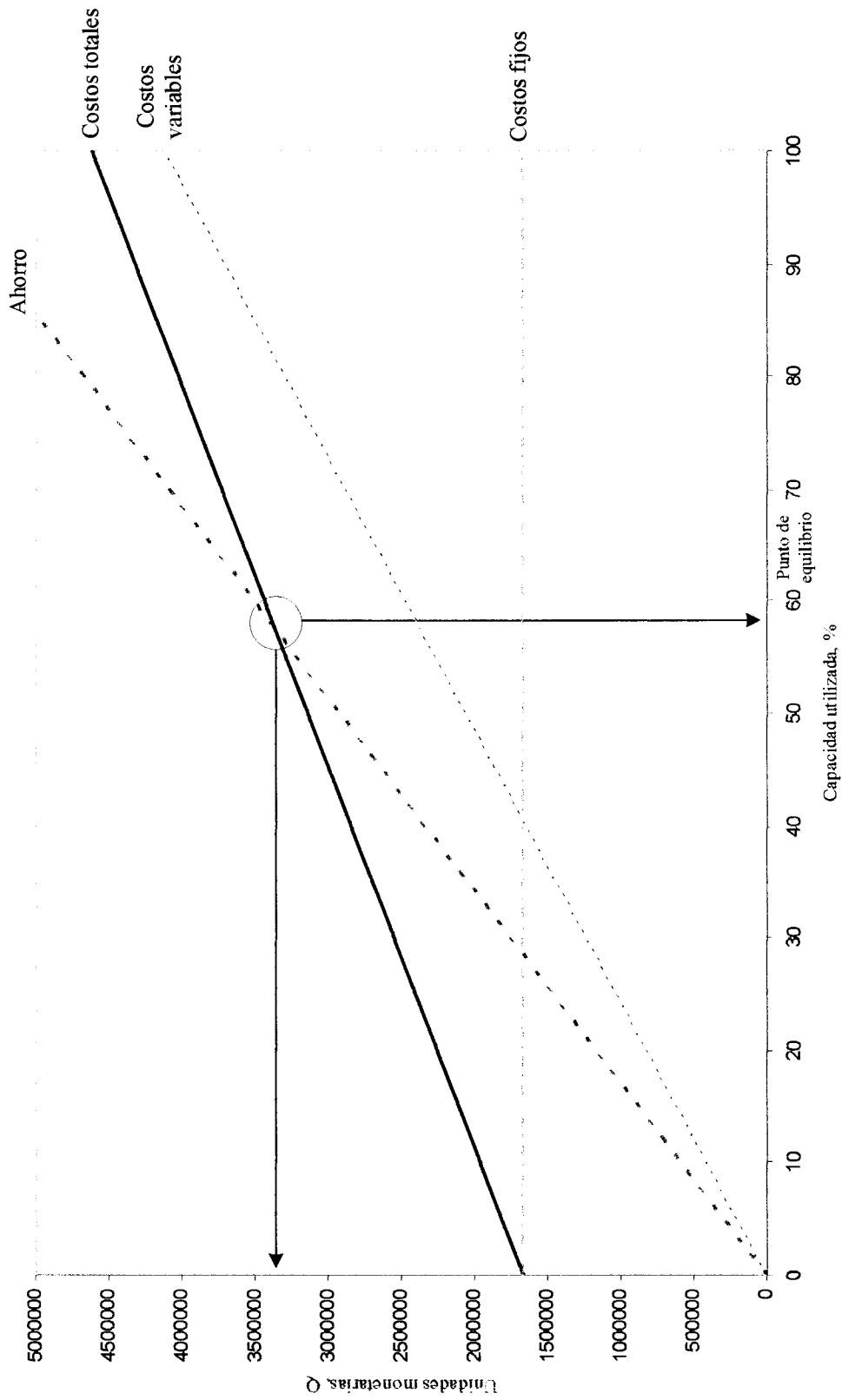


Figura No 10. Representación gráfica del punto de equilibrio para el proceso de reciclaje de soda cáustica en la fabricación de cerveza.

## E. Equipo de seguridad industrial para la operación del proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza

Durante la operación del proceso de reciclaje de soda cáustica todo el personal operativo deberá contar con el equipo mínimo de protección, detallado a continuación:

1. Casco de seguridad, para su uso dentro de la planta y el área de bodega, para la protección contra tuberías elevadas.
2. Lentes de seguridad, para la protección de la vista durante la operación de vaciado y llenado de la lavadora y proceso de reciclaje de soda cáustica.
3. Mascarilla, para la protección de las vías respiratorias durante el manejo de la soda cáustica en el proceso de reciclaje.
4. Overol, como traje de protección de las extremidades superiores e inferiores, y otras partes del cuerpo contra pequeños derrames de soda cáustica.
5. Guantes, para la protección de las extremidades superiores en la manipulación y operación de la soda cáustica durante el proceso de reciclaje.
6. Botas de cuero con punta de acero, para la protección de las extremidades inferiores contra todo tipo de material corrosivo y objetos.

Además del equipo de protección anteriormente señalado, el área de proceso de reciclaje de soda cáustica queda totalmente restringido para todo el personal que no pertenezca al área operativa del mismo así como agentes externos a la empresa.

## VIII. DISCUSIÓN

Para el diseño del proceso de reciclaje de soda cáustica en el proceso de embotellado de bebidas en envase de vidrio, en la fabricación de cerveza, se calculó una bomba centrífuga de 5.59 kW (7 ½ hp), la cual, transporta la soda cáustica desde la descarga de la lavadora hacia un tanque cónico vertical. Debido a que en el fondo de cada uno de los tanques de soda cáustica de la lavadora se asientan materiales sólidos, es necesario purgar inicialmente estos desechos, para evitar que la mayoría de éstos pasen hacia el sistema de recuperación. Otra de las dificultades que dicho proceso presenta, es que durante el transporte del fluido, se arrastran los sólidos que no se pueden desechar a través de las purgas, por lo que, la bomba centrífuga que desplace dicho fluido, deberá contar con un revestimiento contra la abrasión, para evitar el desgaste en su interior.

Previo a la succión de la bomba, se colocó una válvula de retención, debido a que, si se desea llevar a cabo una rutina de mantenimiento en la sección de descarga de la lavadora o realizar una purga, se impide el paso de cualquier fluido o sólidos hacia el sistema de recuperación. De igual forma, en la descarga de la bomba se ubicó una válvula de compuerta, con el fin de que exista un sellado seguro, en caso de que se presenten problemas con el sistema de bombeo.

El proceso de sedimentación por gravedad se lleva a cabo en un tanque cónico vertical, cuyas características se presentan en el Cuadro No 2, página 20. Por tratarse de un tanque que alberga un volumen de 72,600 litros (72.60 m<sup>3</sup>), su diseño se basó en un cilindro recto vertical, para la parte superior del tanque. Asimismo, en la parte inferior se determinó una altura o profundidad del cono, para el asentamiento de los sólidos, con un ángulo de inclinación de 10°. El ángulo de diseño para el cono no debe sobrepasar el valor anteriormente mencionado, ya que los sólidos que se posan en el fondo del tanque, pueden desarrollar velocidades que lleven como consecuencia, el aglomerado de las partículas en la descarga e impedir la purga de los mismos. La base del tanque debe constar de un anillo reforzado de concreto, para soportar el peso del volumen contenido, además de proporcionarle estabilidad.

A la descarga del tanque cónico vertical se ubicó una segunda válvula de retención, la cual tiene como propósito, enviar el fluido una vez terminado el proceso de sedimentación, en una sola dirección, es decir, hacia la succión de la bomba. Para fines del proceso, es mejor contar con una válvula de retención de oscilación, debido a que, por tratarse de un proceso batch, este tipo de válvula suele cerrarse completamente cuando el fluido llega a cero.

Seguidamente, se calculó una segunda bomba centrífuga de 0.74 kW (1.0 hp), la cual tiene por objeto, trasladar la soda cáustica hacia el sistema de clarificación, y posteriormente, a su almacenamiento. A la descarga de la bomba, se instaló una válvula de bola, con el fin de controlar el fluido que ingresa al

clarificador. Se determinó el empleo de este tipo de válvula con respecto a la de globo, debido a que tiene una alta resistencia a los químicos severos como la soda cáustica, así como también un coeficiente de fricción pequeño, menor peso y caída de presión. La única desventaja, es el desgaste en la superficie de la bola como en el asiento, en caso que el álcali a filtrar posea muchos sólidos en suspensión. Debido a lo anterior, el revestimiento interno del obturador debe ser contra la abrasión, al igual que el de la bomba.

Para el sistema de filtrado, se seleccionó un clarificador ya patentado con las características dadas en el Cuadro No 4, página 22. El propósito de su preferencia, fue por su capacidad de flujo  $0.0039 \text{ m}^3/\text{s}$  (14,040 L/h), así como por su área y capacidad de filtrado, para partículas de 0.1 a  $50 \text{ }\mu\text{m}$ , y caída de presión. Mediante este equipo, el proceso de filtrado se completa en 5.17 horas para un volumen de 72,600 litros. El material del mismo es de acero inoxidable, ya que por su función, se requiere mayor resistencia a la abrasión y corrosión por parte de la soda cáustica y de los sólidos a capturar por parte de los platos que se hallan en su interior. La desventaja que proporciona dicho proceso, es la pérdida de álcali retenido en los platos a medida que los éstos se vayan saturando.

A la salida del clarificador, se cuenta nuevamente con una válvula de retención y una válvula de bola, cuyas funciones son dirección y control del fluido. Al igual que la descarga de la segunda bomba, es mejor contar con una válvula de retención de oscilación que cierre completamente, una vez haya finalizado el proceso de filtración. Para esta etapa, no es necesario que las válvulas estén protegidas contra la abrasión, debido a que la soda cáustica se encuentra completamente purificada.

A la salida del tanque de almacenamiento, se tiene una tercera bomba centrífuga de 0.74 kW (1.0 hp). En comparación con las otras dos bombas, ésta no posee un revestimiento contra la abrasión, debido a que transporta un álcali filtrado. Previo a la succión de la bomba, se colocó una válvula de retención de oscilación, cuya función es la dirección del fluido y sellado una vez se haya pasado el fluido. A la descarga de la bomba, se cuenta con cinco válvulas de bola, las cuales tienen como propósito, el control del fluido que regresa a los tanques de soda cáustica de la lavadora. Aquí es importante señalar que no se optó por la instalación de válvulas de globo, debido a que toda la tubería que retorna el álcali hacia la lavadora se encuentra en un puente elevado, lo cual no lo facilita la válvula de globo por ser muy pesada.

En lo que respecta al proceso de reciclaje, la cantidad de soda cáustica al 48 % (m/m), una vez implementado el proyecto es de 11,627.50 kg, dando una eficiencia del 80 %, en donde las pérdidas de dicho álcali se dan principalmente en los lodos que se extraen durante la sedimentación por gravedad y el filtrado en el clarificador.

Para la implementación del proyecto, se determinó una inversión de Q 1,159,226.96 derivada de los costos de equipo e instalación. La adquisición anterior no sólo radica en el diseño del equipo, sino

también de la manufactura y material del que éstos constan. Para el proceso de reciclaje de soda cáustica, se optó porque el material de construcción para la maquinaria fuese de acero al carbón, con excepción del clarificador, puesto que dicho material es tolerable a la corrosión causada por dicho álcali, por lo que no fue necesario que toda la planta fuese en acero inoxidable. Con base en este monto inicial y los ahorros anuales una vez puesto en marcha el proyecto, se obtuvo una tasa interna de retorno (TIR) de 26 %, la cual establece que este proyecto debe aceptarse. Dicha tasa interna de retorno, también se encuentra apoyada por el valor actual neto (VAN), ya que reflejó una ganancia de Q 3,199.98 para un período de 10 años.

El valor para punto de equilibrio se representa gráficamente en la Figura No 9, página 22, siendo notorio que dicho punto de nivelación ocurre cuando la capacidad del proceso es de aproximadamente 60.08 %, dando a la vez, un beneficio de Q 3,400,000.00 aproximadamente. Debajo de dicha capacidad, se registrarán pérdidas, y por encima de una eficiencia de 60.08 % de dicho proceso se obtendrán siempre beneficios en el reciclaje de soda cáustica.

Por último, se determinó el período de recuperación del proyecto (PR), siendo éste de tres años. Este parámetro indica que el rescate de la inversión inicial se llevará a cabo en el tiempo anteriormente señalado, y que, por lo tanto, es rentable implementar dicho proceso, no sólo para fines económicos, sino que también para el aprovechamiento de recursos como la soda cáustica, cuya adquisición es muy costosa, y la resolución de problemas ambientales, los cuales han empezado a tomar mayor importancia debido a las exigencias y normas gubernamentales e internacionales.

Dentro del marco ambiental, cabe señalar que la puesta en marcha del proyecto conllevará a un menor índice de contaminación en los efluentes de la planta, lo cual permitirá, que los sistemas de tratamiento sean más simples y menos costosos, que los que se conocen actualmente dentro de las industrias cerveceras.

## IX. CONCLUSIONES

1. Se diseñó un tanque cónico vertical de acero al carbón para el proceso de sedimentación por gravedad. Asimismo, se calcularon tres bombas con potencias de 5.59 kW (7 ½ hp), 0.74 kW (1.0 hp) y 0.74 kW (1.0 hp), y eficiencias de 65 %, 58 % y 45 %, respectivamente. Por último, se diseñó un tanque de acero al carbón para el almacenamiento de la soda cáustica ya reciclada, cuyas dimensiones corresponden a una altura de 5.00 m y un diámetro de 4.50 m.
2. La cantidad de soda cáustica al 48 % (m/m) que se recupera una vez implementado el proceso es de 11,627.50 kg, para una eficiencia de 80 %.
3. El ahorro de soda cáustica al 48 % (m/m), una vez puesto en marcha el proyecto, corresponde a Q 4,959,655.39 anuales.
4. Se determinó una tasa interna de retorno (TIR), de 26 %, y un valor actual neto (VAN) de Q 3,199.98, para una inversión inicial de Q 1,159,226.96, en un plazo de diez años.
5. Se determinó un período de recuperación del proyecto de 3.08 años.
6. Se determinó un punto de equilibrio de 60.08 % de eficiencia del proceso.

## X. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda complementar las normas de seguridad industrial y ambiental para el manejo de desechos dentro del proceso de reciclaje de soda cáustica.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- Austin, George. 1988. *Manual de Procesos Químicos en la Industria*. 5ª ed. México D. F., McGraw Hill. 962 págs. 6 vols.
- Broderick, Harold. 1977. *El Cervecerero en la Práctica, un Manual para la Industria Cervecera*. 2ª ed. Caracas, Asociación de maestros cerveceros de Las Américas. 110 págs.
- Chang, Raymond. 1992. *Química*. 4ª ed. Bello, Silvia y Acosta, Gloria. México D. F., McGraw Hill. 1064 págs.
- Chen, Wu. 1997. <<Solid-Liquid Separation Via Filtration>>. *Revista de Chemical Engineering*. II (2): 66-72.
- Hayes, Keith. 2001. <<Process Filtration: Characterizing Fluids & Medium Selection>>. *Revista de Chemical Engineering*. VII (7): 72-78.
- Kirk, R. et al. 1962. *Enciclopedia de Tecnología Química*. México D. F., Hispano-América. 1038 págs. 20 vols.
- Kossik, John. 2000. <<Training Time for Unpumped Tanks>>. *Revista de Chemical Engineering*. VI (6): 115-119.
- Martínez, Augusto. 1999. *Mejoramiento del Sistema de Recuperación de Dióxido de Carbono, Producto de Fermentación en la Fabricación de Cerveza*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Ciudad de Guatemala. 105 págs.
- McCabe, Warren; Smith, Julian y Harriot, Peter. 2001. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 6ª ed. Lanto, María; Collí, María y Osorio, Anselmo. México D. F., McGraw Hill. 1199 págs.
- Peters, Max y Timmerhaus, Klaus. 1980. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. 3ª ed. New York, McGraw Hill. 973 págs.
- Perry, R. y Green, D. *Manual del Ingeniero Químico*. 6ª ed. México D. F., McGraw Hill. 2185 págs. 5 vols.
- Sahoo, Trinath. 2004. <<Pick the Right Valve>>. *Revista de Chemical Engineering*. VIII (8): 34-39.

- Sapan, Nassir. 1997. *Preparación y Evaluación de Proyectos*. 3ª ed. México D. F., McGraw Hill. 355 págs.
- Treybal, Robert. 1981. *Operaciones de Transferencia de Masa*. 3ª ed. México D. F., McGraw Hill. 784 págs.

## XII. APÉNDICE

## A. Datos originales

Cuadro No 9. Características de los tanques de soda cáustica de la lavadora Krones, LAVATEC KES.

	TANQUE SODA CÁUSTICA PREVIA	TANQUE SODA CÁUSTICA PRINCIPAL	TANQUE SODA CÁUSTICA POSTERIOR
VOLUMEN (L)	24,200	24,200	24,200
TEMPERATURA (°C)	50	75	65
CARGA INICIAL SODA CÁUSTICA (L)	639.73	798.72	639.73
CARGA DIARIA SODA CÁUSTICA EN 12 HORAS (L)	37.85	30.28	22.71
CONCENTRACIÓN SODA CÁUSTICA (g/mL)	2.50	3.50	2.50

Cuadro No 10. Características de los tanques de agua caliente I y agua caliente II de la lavadora Krones, LAVATEC KES.

	TANQUE AGUA CALIENTE I	TANQUE AGUA CALIENTE II
VOLUMEN (L)	24,200	10,000
TEMPERATURA (°C)	50	30
CONCENTRACIÓN SODA CÁUSTICA (g/mL)	0.50	0.30

Cuadro No 11. Propiedades físicas de la soda cáustica al 48 % (m/m).

NOMBRE QUÍMICO	Hidróxido de sodio
FÓRMULA MOLECULAR	NaOH
PESO MOLECULAR	40.01 g/g-mol (100 %)
pH	14.0 (solución acuosa al 5 %)
PUNTO DE EBULLICIÓN	140°C (284°F) a 1atm (760 mm Hg), solución al 50%
PUNTO DE FUSIÓN O CONGELACIÓN	12°C (53.6°F) a 1 atm, solución al 50 %
SOLUBILIDAD EN AGUA	Completamente soluble en todas las proporciones
DENSIDAD	1.51 g/mL
VISCOSIDAD	78.3 cP a 20 °C

Cuadro No 12. Densidades relativas para el hidróxido de sodio a diversos porcentajes (m/m), a temperatura de 20 °C.

% (m/m)	20 °C
1	1.0095
2	1.0207
4	1.0428
8	1.0869
12	1.1309
16	1.1751
20	1.2191
24	1.2629
28	1.3064
32	1.3490
36	1.3900
40	1.4300
44	1.4685
48	1.5065
50	1.5253

Cuadro No 13. Datos de flujo volumétrico, velocidad de fluido, carga de velocidad, y pérdidas de carga para la tubería de 2 ½ pulg. normalizado, de acero al carbón.

Flujo (m <sup>3</sup> /h)	Acero estándar – cédula 40		
	2.469" de área interna		
	Velocidad (m/s)	Carga de velocidad (m)	Pérdidas de carga (m/100 m)
0.0032	1.0213	0.0530	1.91
0.0035	1.1250	0.0643	2.28
0.0038	1.2256	0.0765	2.69
0.0041	1.3293	0.0899	3.13
0.0044	1.4299	0.1043	3.60

Cuadro No 14. Datos de flujo volumétrico, velocidad de fluido, carga de velocidad, y pérdidas de carga para la tubería de 3 pulg. normalizado, de acero al carbón.

Flujo (m <sup>3</sup> /h)	Acero estándar – cédula 40		
	3.068" de área interna		
	Velocidad (m/s)	Carga de velocidad (m)	Pérdidas de carga (m/100 m)
0.0038	0.7927	0.0320	0.912
0.0041	0.8598	0.0378	1.06
0.0044	0.9268	0.0436	1.22
0.0047	0.9909	0.0503	1.38
0.0050	1.0579	0.0570	1.56

Cuadro No 15. Datos de flujo volumétrico, velocidad de fluido, carga de velocidad, y pérdidas de carga para la tubería de 4 pulg. normalizado, de acero al carbón.

Flujo (m <sup>3</sup> /h)	Acero estándar – cédula 40		
	4.026" de área interna		
	Velocidad (m/s)	Carga de velocidad (m)	Pérdidas de carga (m/100 m)
0.0151	1.8445	0.1735	3.19
0.0164	1.9970	0.2034	3.72
0.0177	2.1524	0.2360	4.28
0.0189	2.3049	0.2707	4.89
0.0202	2.4573	0.3079	5.53

Cuadro No 16. Datos de flujo volumétrico, velocidad de fluido, carga de velocidad, y pérdidas de carga para la tubería de 5 pulg. normalizado, de acero al carbón.

Flujo (m <sup>3</sup> /h)	Acero estándar – cédula 40		
	5.047" de área interna		
	Velocidad (m/s)	Carga de velocidad (m)	Pérdidas de carga (m/100 m)
0.0164	1.2713	0.0823	1.19
0.0177	1.3689	0.0954	1.37
0.0189	1.4665	0.1098	1.56
0.0202	1.5640	0.1247	1.77
0.0215	1.6616	0.1409	1.98

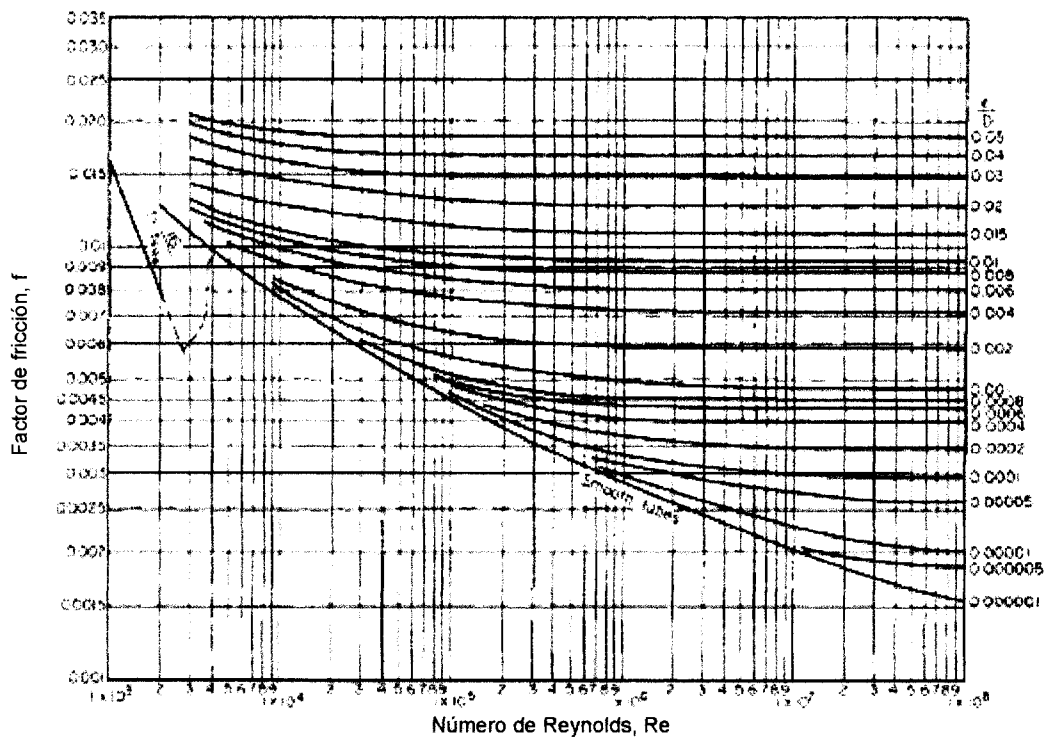
Cuadro No 17. Coeficientes de pérdida por fricción en accesorios de tubería con cuerda estándar.

Tipo de accesorio o válvula	Pérdida adicional por fricción, No. equivalente de cargas de velocidad, $\lambda$
L de 45°, estándar	0.35
L de 45°, radio largo	0.2
L de 90°, estándar	0.75
Radio largo	0.45
Cuadrada o inglete	1.3
Codo de 180°, retorno cerrado	1.5
T estándar en un tramo, bifurcación sellada	0.4
Se usa como L al entrar a un tramo	1.0
Se usa en L al entrar a una bifurcación	1.0
Flujo que se bifurca	1
Acoplamiento	0.04
Unión	0.04
Válvula de compuerta, abierta	0.17
¾ abierta	0.9
½ abierta	4.5
¼ abierta	24.0
Válvula de diafragma, abierta	2.3
¾ abierta	2.6
½ abierta	4.3
¼ abierta	21.0
Válvula de globo de asiento biselado, abierta	6.0
½ abierta	9.5
De asiento compuesto, abierta	6.0
½ abierta	8.5
De tapón, abierto	9.0
¾ abierta	13.0
½ abierta	36.0
¼ abierta	112.0
Válvula angular, abierta	2.0
Y o válvula de escape, abierta	3.0
De llave ciega, $\theta = 5^\circ$	0.05
10°	0.29
20°	1.56
40°	17.3
60°	206.0
Válvula de mariposa, $\theta = 5^\circ$	0.24
10°	0.52
20°	1.54
40°	10.8
60°	118.0
Válvula de retención de columpio	2.0
De disco	10.0
De bola	70.0
Válvula de pie	15.0
Medidor de agua, disco	7.0
De pistón	15.0
Rotatoria (disco en estrella)	10.0
De rueda de turbina	6.0

Cuadro No 18. Valores de superficie para varios materiales.

MATERIAL	ASPEREZA DE SUPERFICIE	
	$\epsilon$ , PIE	$\epsilon$ , PULG
Tubos estirados (latón, plomo, vidrio y similares)	0.000005	0.00006
Acero comercial o hierro	0.00015	0.0018
Hierro fundido asfaltado	0.0004	0.0048
Hierro galvanizado	0.0005	0.006
Hierro fundido	0.00085	0.010
Duelas de madera	0.0006-0.003	0.0072-0.036
Concreto	0.001-0.01	0.012-0.12
Acero remachado	0.003-0.03	0.036-0.36

Figura No 11. Gráfica del factor de fricción vrs. número de Reynolds.



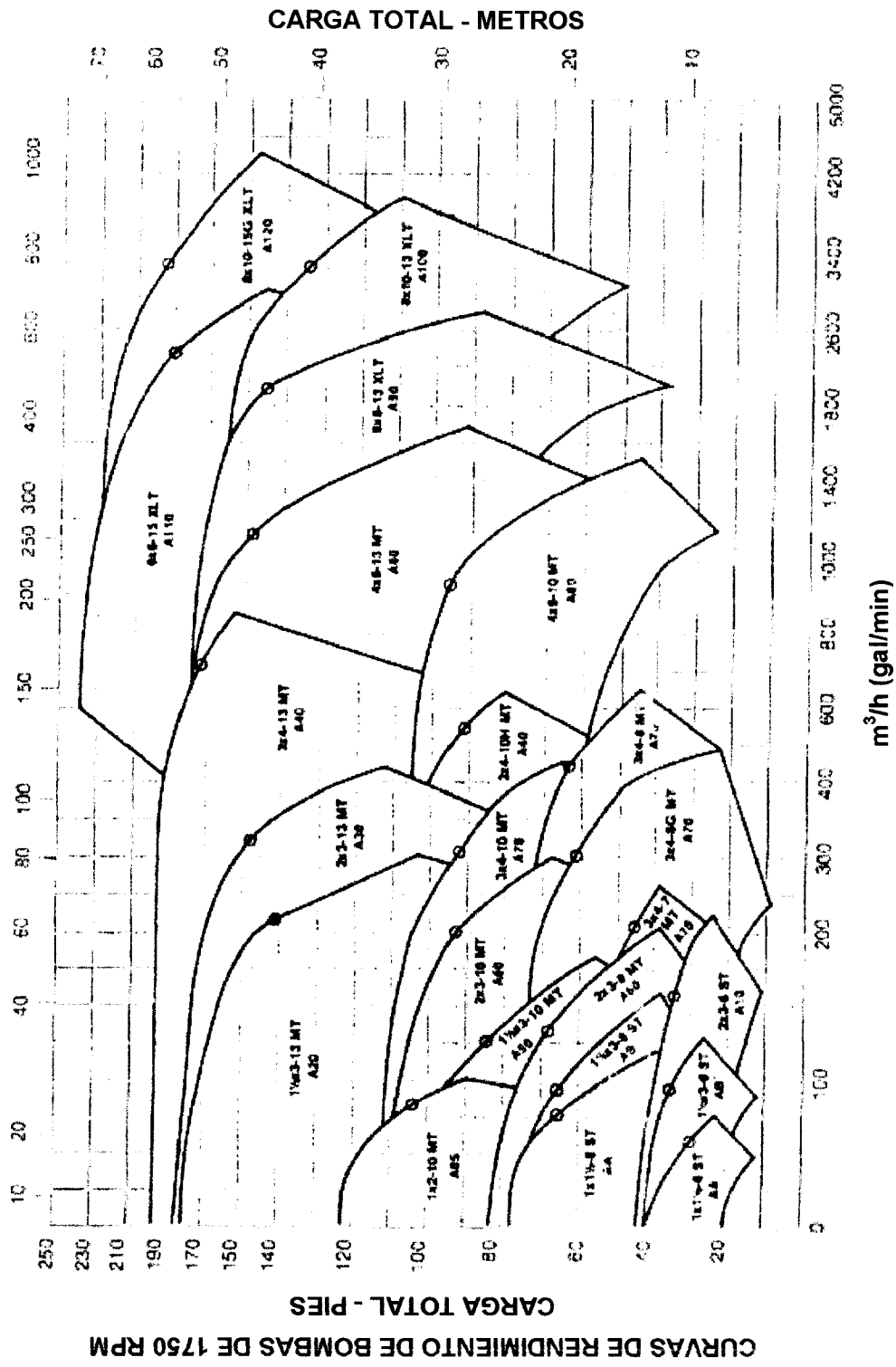


Figura No 12. Curvas de rendimiento de bombas centrífugas de 1750 rpm.

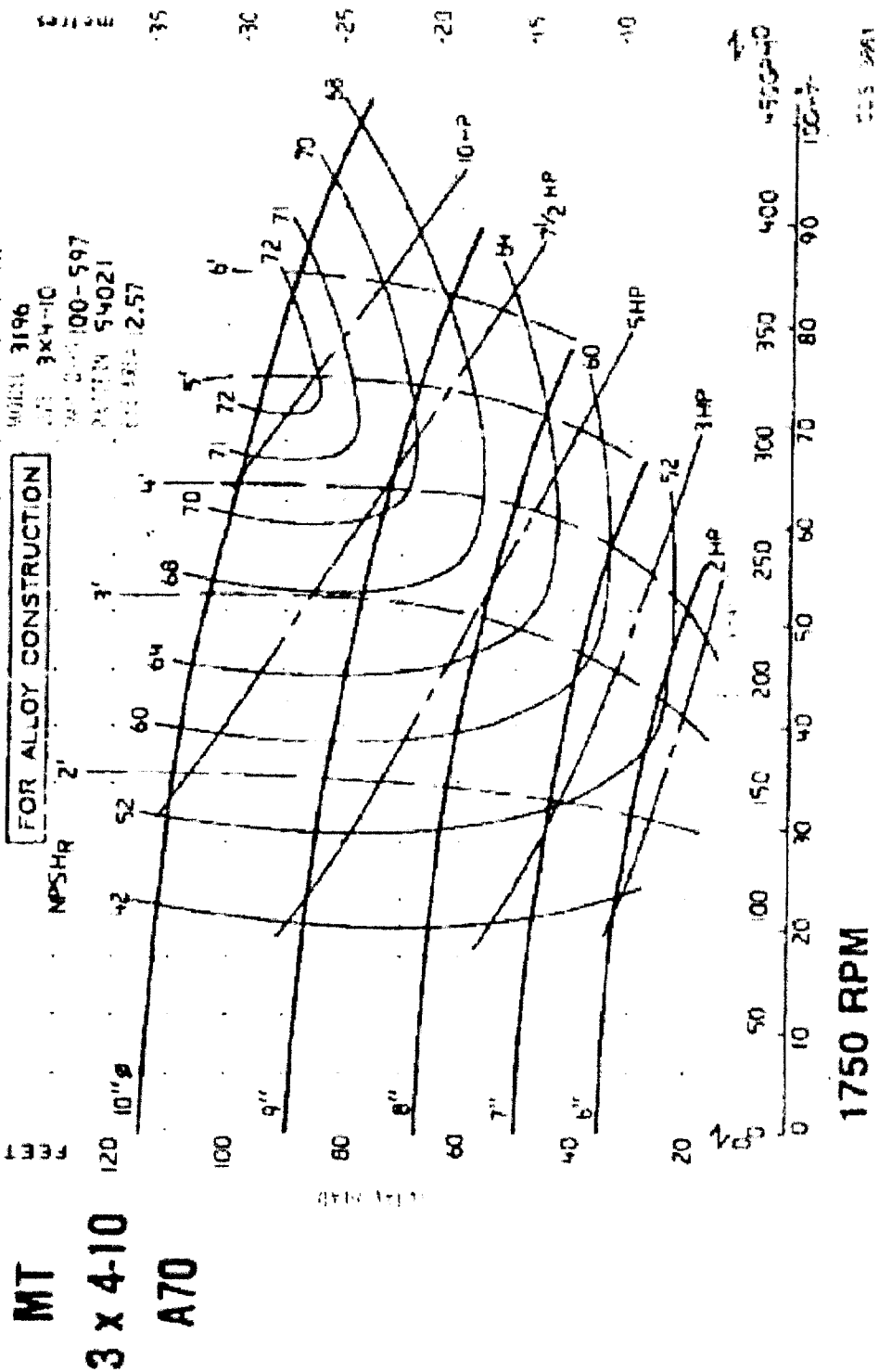


Figura No 13. Curvas características de la bomba centrífuga 3 x 4-10 MT A70.

ST

1 x 1 1/2-8

AA

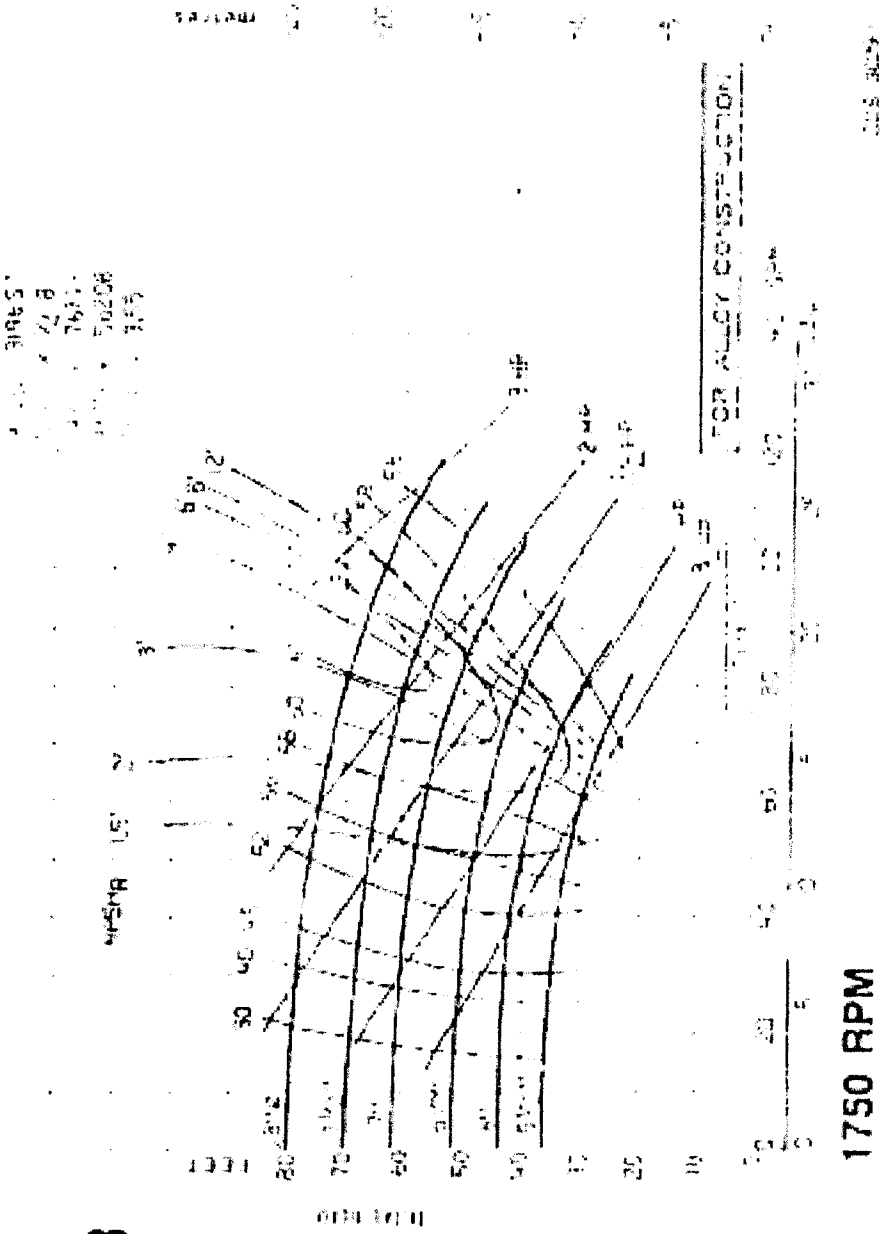


Figura No 14. Curvas características de la bomba centrífuga 1X 1 1/2-8 ST AA.

**ST**  
**1 1/2 X 3-6**  
**AB**

3195  
 V2A3-B  
 75792  
 50207  
 4.65

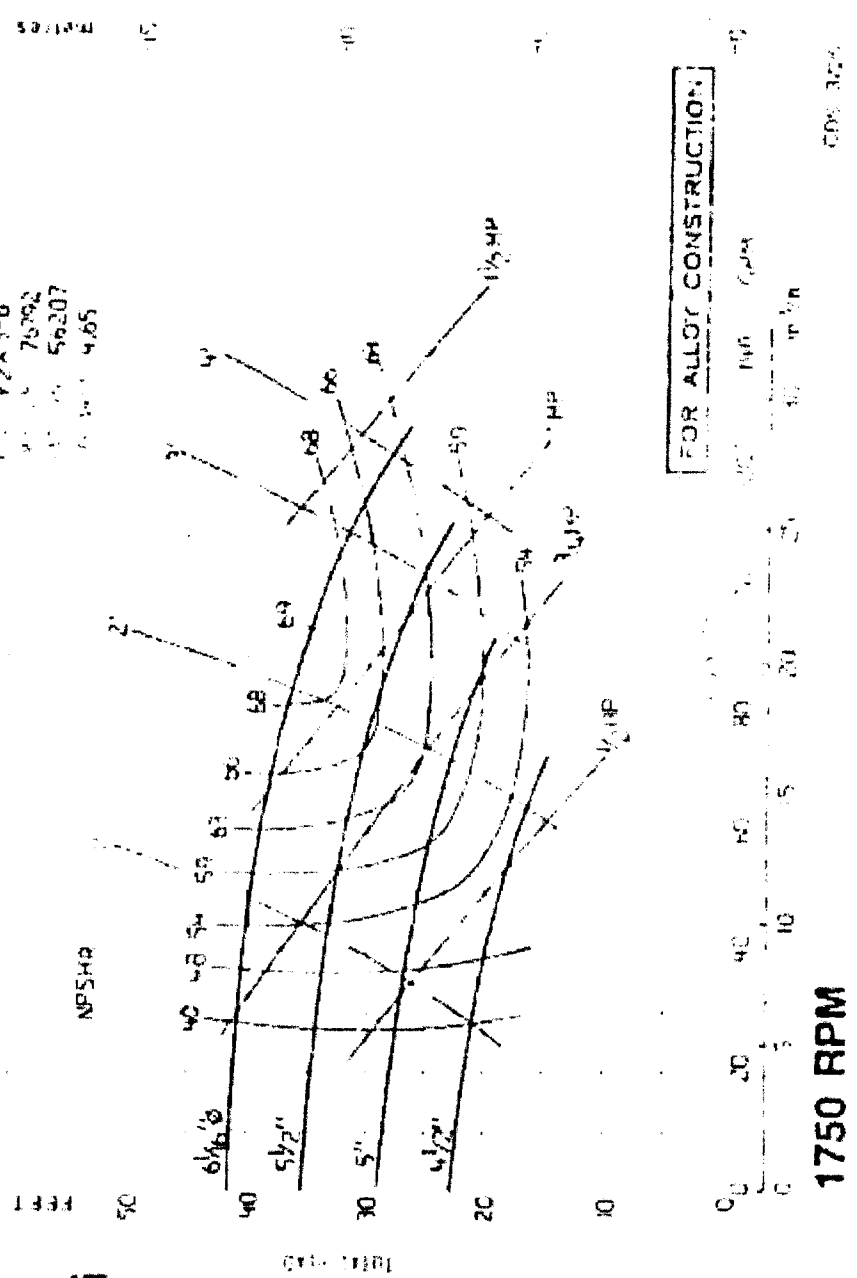


Figura No 15. Curvas características de la bomba centrífuga 1 1/2 X 3-6 ST AB.



Cuadro No 20. Índices de costos anuales de 1964 – 1979.

AÑO	ÍNDICE DE COSTO PARA PLANTAS QUÍMICAS
1964	103
1965	104
1966	107
1967	110
1968	114
1969	119
1970	126
1971	132
1972	137
1973	144
1974	165
1975	182
1976	192
1977	204
1978	219
1979 (Enero)	230

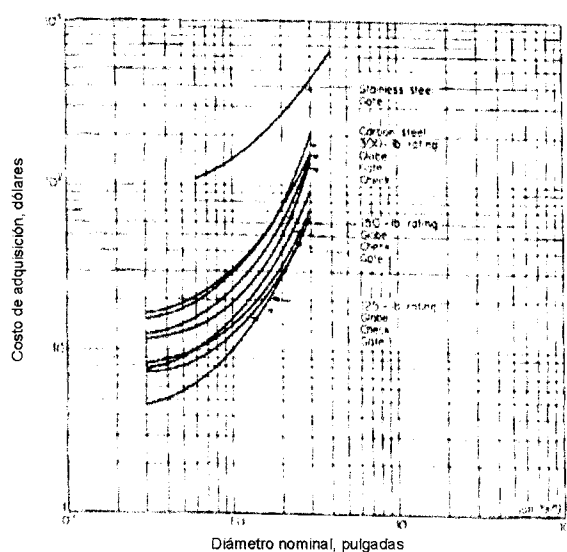
Cuadro No 21. Índices de costos anuales de 1997 – 2004.

AÑO	ÍNDICE DE COSTO PARA PLANTAS QUÍMICAS
1997	386.5
1998	389.5
1999	390.6
2000	394.1
2001	394.3
2002	395.6
2003	402.0
2004	444.2

Cuadro No 22. Índices de costos para plantas en Ingeniería Química.

	MARZO 2005 FINAL	ABRIL 2005 FINAL	ABRIL 2004 FINAL
Índice CE	468.3	468.1	437.9
Equipo	544.8	544.8	498.7
Intercambiadores de calor y tanques	518.9	518.9	449.2
Maquinaria para proceso	519.5	519.4	484.4
Tubería, válvulas y accesorios	618.0	618.0	600.2
Instrumentación para procesos	382.6	382.5	372.2
Bombas y compresores	753.4	753.4	715.8
Equipo eléctrico	369.2	369.2	347.6
Estructuras	588.4	588.4	519.2
Mano de obra	302.4	301.8	307.4
Edificios	445.9	445.7	423.7
Ingeniería y supervisión	346.0	345.4	346.7

Figura No 16. Costos de válvulas atornilladas.



1. Para convertir metros a pulgadas, multiplicar por el factor 39.36.

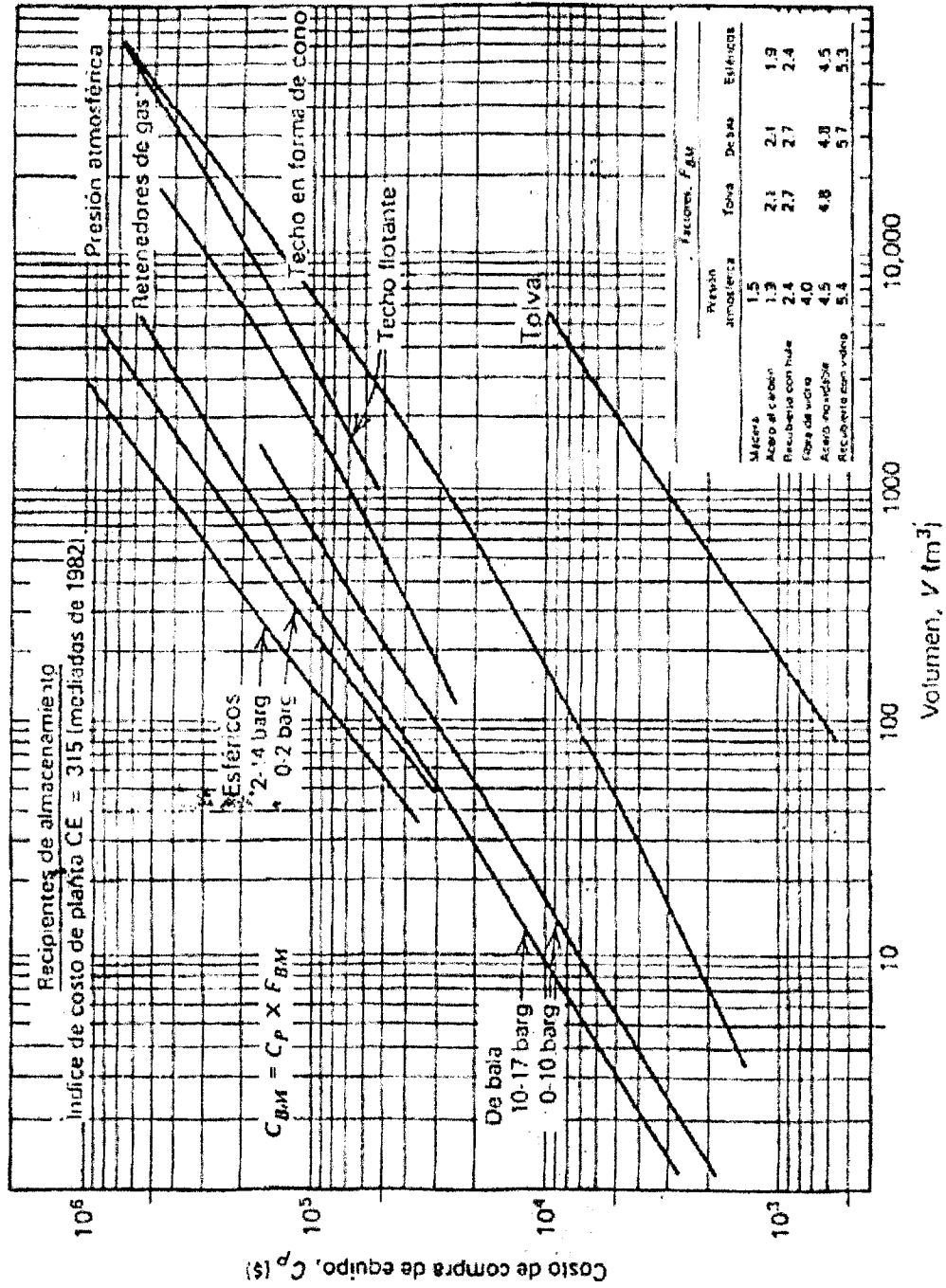


Figura No 17. Costos de compra de recipientes de almacenamiento.

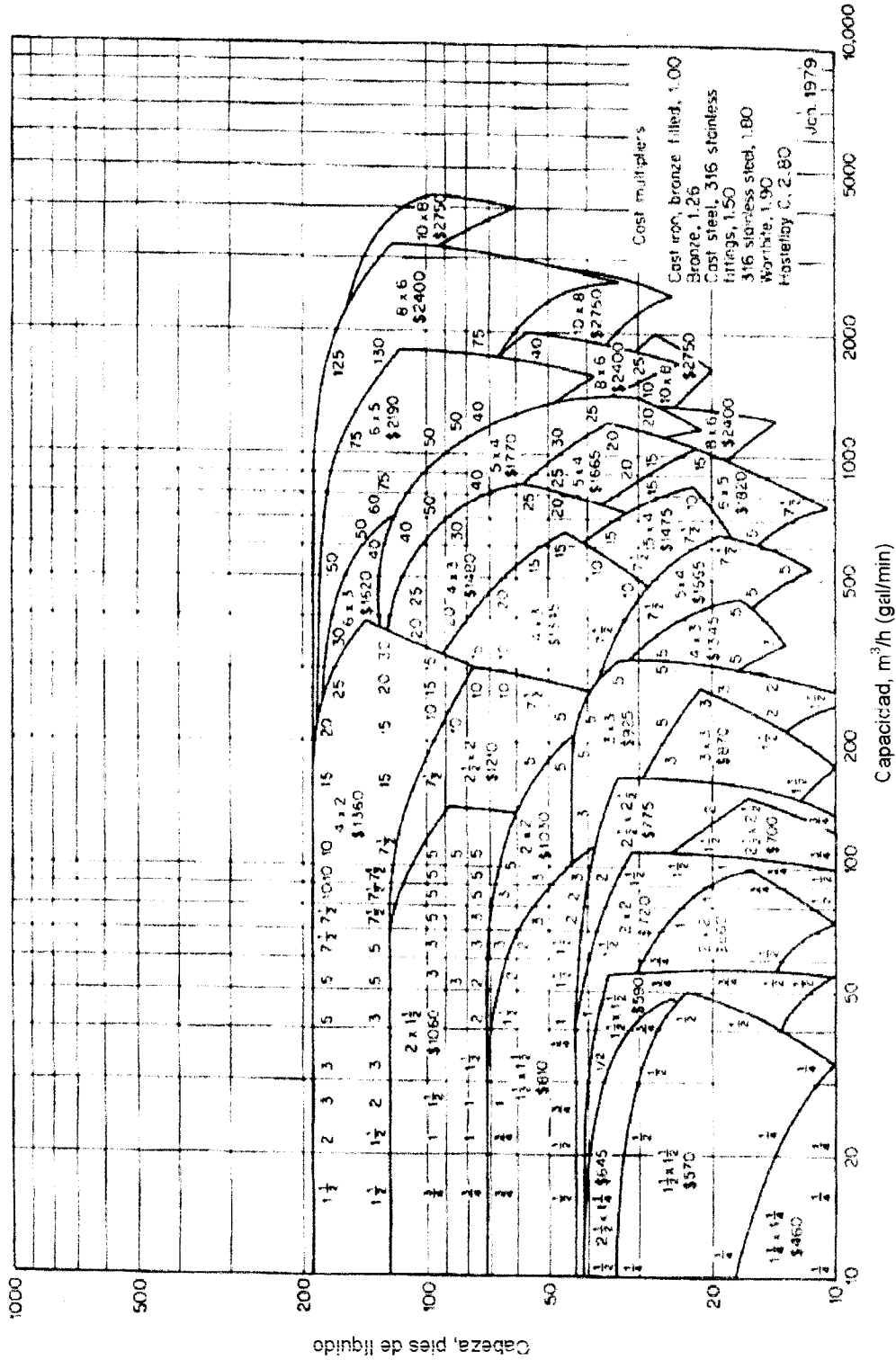


Figura No 18. Costos de compra de bombas centrifugas.

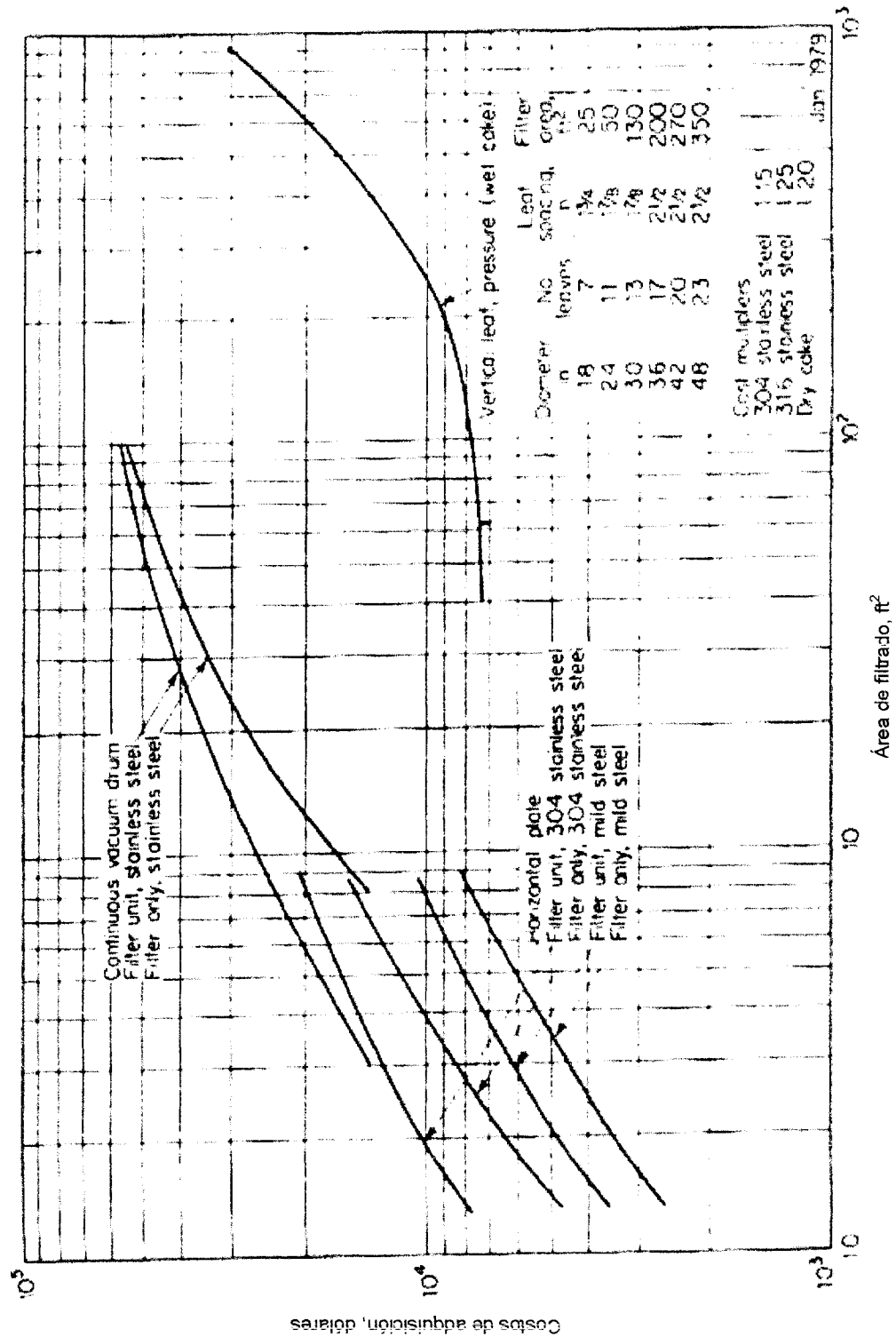


Figura No 19. Costos de compra para filtros.

Figura No 20. Costos y tiempo de instalación de tubería y accesorios de acero al carbón.

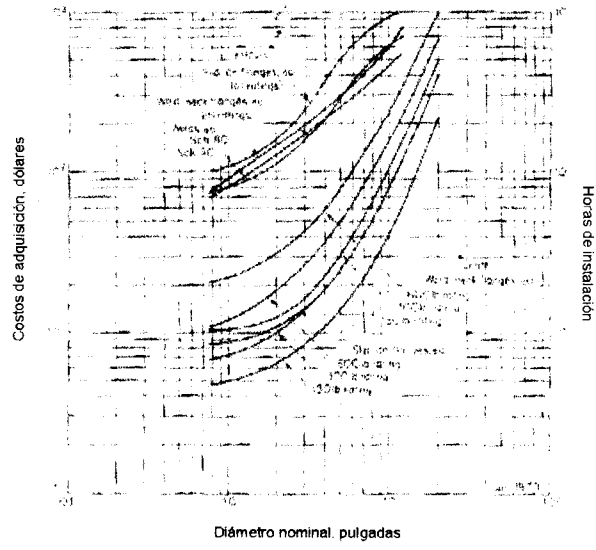
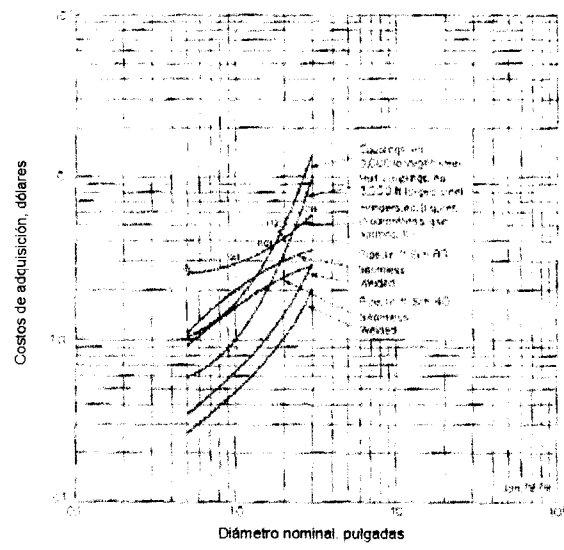


Figura No 21. Costos de tubería y accesorios de acero al carbón.



## B. Cálculo para diseño de equipo

1. Determinación de la carga total para una bomba centrífuga. Para la primera bomba centrífuga, el flujo volumétrico es de  $0.0202 \text{ m}^3/\text{s}$ , con una velocidad de  $2.46 \text{ m/s}$ . La succión de la tubería es de  $0.1270 \text{ m}$  (5 pulg.) de diámetro nominal, y la descarga es de  $0.1016 \text{ m}$  (4 pulg.) de diámetro nominal, cédula 40, hierro galvanizado. La longitud de la tubería es de  $42.00 \text{ m}$ , y cuenta con los siguientes accesorios: una válvula de compuerta y cinco codos de  $90^\circ$ . El extremo de tubería de descarga está a  $10.00 \text{ m}$ .

Con los datos anteriores, se procedió a calcular la pérdida de presión, empleando la ecuación de Bernoulli con la corrección debida a la fricción del fluido:

$$\frac{P_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \bar{V}_a^2}{2} = \frac{P_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \bar{V}_b^2}{2} + h_f$$

Para determinar la pérdida por fricción,  $h_f$ , se empleó la siguiente expresión:

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

donde  $f$  = Factor de fricción de Fanning, adimensional.

$K_c$  = Coeficiente de pérdida por contracción, adimensional.

$K_e$  = Coeficiente de pérdida por expansión, adimensional.

$K_f$  = Factor de pérdida por accesorios o válvulas, adimensional.

El coeficiente de pérdida por contracción, se calculó a partir de la expresión

$$K_c = 0.4 \left( 1 - \frac{S_b}{S_a} \right)$$

donde  $S_a$  y  $S_b$  corresponden a las áreas de succión y descarga respectivamente. Dichas áreas, se calcularon a partir del área de un círculo:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

De esta manera, el área para la tubería de 0.127 m (5 pulg.) de diámetro es de 0.0129 m<sup>2</sup>, y para la tubería cuyo diámetro es de 0.102 m (4 pulg.), el área corresponde a 0.0082 m<sup>2</sup>.

Con estos datos, se tiene que el coeficiente de pérdida por contracción es de:

$$K_c = 0.4 \left( 1 - \frac{0.0082 \text{ m}^2}{0.0129 \text{ m}^2} \right)$$

$$K_c = 0.1457$$

El coeficiente de pérdida por expansión está dado por:

$$K_e = \left( 1 - \frac{S_a}{S_b} \right)^2$$

Conociendo las áreas de succión y descarga, se tiene:

$$K_e = \left( 1 - \frac{0.0129 \text{ m}^2}{0.0082 \text{ m}^2} \right)^2$$

$$K_e = 0.3285$$

El factor de pérdida por accesorios o válvulas está dado por los coeficientes de pérdida por fricción de los accesorios contemplados en la descarga, entre estos, una válvula de compuerta y cinco codos de 90°. Los datos para dichos coeficientes se encuentran adjuntos en el Cuadro No 17, apéndice A, pág. 39.

$$K_f = 1 \times 0.17 + 5 \times 0.75$$

$$K_f = 3.92$$

El factor de fricción de Fanning se determinó calculando el número de Reynolds, y empleando los datos de la Figura No 11, y del Cuadro No 18, apéndice A, pág. 40.

Para el número de Reynolds, se tiene:

$$Re = \frac{D\rho\bar{V}}{\mu}$$

La densidad de la soda cáustica al 2.32 g/mL fue hallada a partir de los datos del cuadro No 12 (apéndice A, pág. 36), por medio de una interpolación. El valor de ésta fue de 1026.20 kg/m<sup>3</sup>. Asimismo, se utilizó la densidad para encontrar la viscosidad de dicho álcali, mediante la relación de Arrhenius:

$$\mu = 0.324\rho^{0.5}$$

donde las unidades de densidad y viscosidad son g/cm<sup>3</sup> y cP respectivamente. La viscosidad calculada para la soda cáustica al 2.32 g/mL fue 0.0003282 kg/m·s.

Conociendo el diámetro de tubería, la densidad y viscosidad de la soda cáustica al 2.32 g/mL y la velocidad del fluido, se tiene:

$$Re = \frac{(0.107 \text{ m}) \times (1026.20 \text{ kg} / \text{m}^3) \times (2.46 \text{ m} / \text{s})}{0.0003282 \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Re = 823,023.66$$

Para la relación  $\varepsilon/D$ , se tiene un valor de  $\varepsilon$  de 0.152 mm para el hierro forjado y un diámetro de tubería de 0.107 m (106.86 mm):

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.152 \text{ mm}}{106.86 \text{ mm}}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0.0014$$

Buscando la intersección del valor de  $\varepsilon/D$ , y el número de Reynolds en la figura No 11, apéndice A, pág. 40, se obtuvo un factor de fricción de Fanning de 0.0055.

Para la pérdida por fricción,  $h_f$ , se obtuvo:

$$h_f = \left( 4 \times 0.0014 \times \frac{42 \text{ m}}{0.107 \text{ m}} + 0.1457 + 0.3285 + 3.92 \right) \times \frac{(2.46 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$h_f = 39.42 \text{ J/kg}$$

Para el cálculo de la pérdida de presión,  $P_a - P_b$ , se tomaron valores de  $Z_a = 0$  y  $V_a = 0$  en el punto  $a$  (succión), y un valor para el factor de corrección de la energía cinética,  $\alpha_b = 1$ , en el punto  $b$ . El factor de corrección de la energía cinética suele ser igual a uno, cuando se trata de flujos totalmente turbulentos, con  $Re > 4,000$ .

$$\frac{P_a - P_b}{\rho} = gZ_b + \frac{\alpha_b \bar{V}_b^2}{2} + h_f$$

$$P_a - P_b = \left[ (9.81 \text{ m/s}^2)(10.00 \text{ m}) + \frac{(2.46 \text{ m/s})^2}{2} + 39.42 \text{ m}^2/\text{s}^2 \right] \times [1026.20 \text{ kg/m}^3]$$

$$P_a - P_b = 144,228.10 \text{ N/m}^2$$

Para encontrar la diferencia de carga entre los puntos de succión y descarga ( $a$  y  $b$ ), fue necesario emplear la siguiente expresión:

$$H_a = \frac{P_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \bar{V}_a^2}{2}$$

$$H_b = \frac{P_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \bar{V}_b^2}{2}$$

$$H_a - H_b = \frac{P_a - P_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \bar{V}_b^2}{2}$$

Para la ecuación anterior,  $\alpha_b=1$ , por ser un flujo turbulento ( $Re > 4,000$ ). Sustituyendo los valores ya conocidos, se tiene:

$$H_a - H_b = \frac{136,489.65 \text{ N/m}^2}{1026.20 \text{ kg/m}^3} + (9.81 \text{ m/s}^2) \times (10.00 \text{ m}) - \frac{(2.46 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$H_a - H_b = 228.08 \text{ J/kg}$$

Dividiendo entre la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ), se obtiene la diferencia de carga en metros:

$$\frac{H_a - H_b}{g} = \frac{228.08 \text{ J/kg}}{9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$\frac{H_a - H_b}{g} = 23.24 \text{ m}$$

2. Determinación del diámetro y altura del tanque sedimentador. Para el diseño del tanque sedimentador, se relacionó el volumen de descarga de la lavadora con el área de un cilindro, a manera de encontrar la razón diámetro – altura apropiada.

Con la fórmula del área de un círculo, y seleccionando un diámetro de 4.50 m, se obtuvo:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \pi \times (4.50 \text{ m})^2 = 15.90 \text{ m}^2$$

Conociendo el volumen de descarga de soda cáustica de la lavadora,  $72.60 \text{ m}^3$ , y con la fórmula del volumen de un cilindro, se obtuvo la altura del tanque sedimentador:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} h = Ah$$

$$h = 72.60 \text{ m}^3 / 15.90 \text{ m}^2 = 5.00 \text{ m}$$

por lo que la altura del cilindro recto corresponde a 5.00 m y el diámetro, a 4.50 m.

Por otro lado, y debido a que el fondo del tanque sedimentador tiene forma cónica, fue necesario determinar la profundidad del cono a un ángulo de diez grados, de la siguiente manera:

Profundidad del cono:

$$r = h \tan \alpha$$

$$h_{\text{cono}} = 2.25 \text{ m} / \tan [10^\circ] = 3.47 \text{ m}$$

Área del cono:

$$A = \pi h^2 [\tan \alpha]^2$$

$$A_{cono} = 15.90 \text{ m}^2$$

El grosor de la pared del tanque sedimentador fue seleccionado a partir del diámetro y altura del tanque, según las normas ASTM (cuadro No 19, apéndice A, pág. 45) para recipientes comprimidos. Según dichas normas, el ancho de pared del recipiente corresponde a 0.0070 m (7.0 mm).

3. Determinación del álcali ingresado a los tanques de soda cáustica previa, principal y posterior. Para el cálculo del álcali ingresado a los tanques de soda cáustica previa, principal y posterior, se partió de la carga inicial y carga diaria de soda cáustica para cada compartimiento (cuadro No 9, apéndice A, página 35). Asimismo, se utilizó la densidad de la soda cáustica a una concentración del 48 % (m/m), que corresponde a 1,520 kg/m<sup>3</sup> (1.52 g/mL).

El siguiente ejemplo, ilustra el cálculo del álcali agregado en el tanque de soda cáustica previa:

Para la carga inicial de soda cáustica (entrada), se tiene:

$$169 \text{ gal NaOH} \times \frac{3.7854 \text{ L}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \times \frac{1.52 \text{ g NaOH}}{\text{mL}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 972.39 \text{ kg NaOH}$$

Para la carga diaria de soda cáustica en 12 horas (entrada), se tiene:

$$20 \text{ gal NaOH} \times \frac{3.7854 \text{ L}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \times \frac{1.52 \text{ g NaOH}}{\text{mL}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 115.08 \text{ kg NaOH}$$

por lo que la carga diaria en 24 horas corresponde a 230.16 kg de NaOH.

Puesto que la soda cáustica contenida en dicho depósito se desecha al término de tres meses, la carga diaria del álcali debe calcularse para dicho período, de la siguiente manera:

$$3 \text{ meses} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} \times \frac{5 \text{ días}}{1 \text{ semana}} \times \frac{230.16 \text{ kg NaOH}}{\text{día}} = 13,809.14 \text{ kg NaOH}$$

donde el tiempo de operación corresponde a 5 días/semana y 4 semanas/mes respectivamente.

Para la determinación del total de soda cáustica dentro del tanque, se tiene la carga inicial y la carga diaria del álcali, por lo que la adición de estas dos cantidades otorga:

$$\text{Total de soda cáustica en el tanque} = \text{Carga inicial} + \text{Carga diaria}$$

$$\text{Total de soda cáustica en el tanque} = 972.39 \text{ kg NaOH} + 13,809.14 \text{ kg NaOH}$$

$$\text{Total de soda cáustica en el tanque} = 14,781.53 \text{ kg NaOH}$$

4. Determinación del álcali desechado en los tanques de agua caliente I y agua caliente II. Para el cálculo del álcali que se desecha en los tanques de agua caliente I y agua caliente II, se tomó como base, la capacidad de cada compartimiento. Asimismo, fue necesario emplear para cada caso, la concentración de la soda cáustica dentro del depósito 0.5 g/mL, así como la concentración original 48 % (m/m).

El siguiente ejemplo, ilustra el cálculo para el tanque de agua caliente I:

$$12,100 \text{ L solución} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \times \frac{0.5 \text{ g NaOH}}{100 \text{ mL solución}} \times \frac{100 \text{ g NaOH}}{48 \text{ g NaOH}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 126.04 \text{ kg NaOH}$$

La cantidad anterior representa los kilogramos de soda cáustica que se eliminan diariamente, por lo que, considerando un tiempo de operación de 5 días/semana y 4 semanas/mes, se tiene la cantidad del álcali desechado en tres meses:

$$3 \text{ meses} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} \times \frac{5 \text{ días}}{1 \text{ semana}} \times \frac{126.04 \text{ kg NaOH}}{\text{día}} = 7,562.50 \text{ kg NaOH}$$

La cantidad de soda cáustica desechada en el tanque de agua caliente I, corresponde a 7,562.50 kg.

5. Determinación de la soda cáustica consumida en el proceso de lavado de envase de vidrio, en la fabricación de cerveza. Para determinar la soda cáustica consumida en el proceso de lavado de envase de vidrio, en la fabricación de cerveza, está dado por la ecuación general de balance de masa:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación}$$

en donde la entrada está conformada por la carga inicial y carga diaria de soda cáustica en la lavadora. La salida está compuesta por las pérdidas que hay durante el proceso de lavado diario, es decir, la cantidad que se desecha a través de los tanques de enjuague (agua caliente I y agua caliente II). La generación y acumulación son cero.

De esta manera, la entrada de soda cáustica hacia la lavadora está conformada por:

$$\text{Carga inicial de soda cáustica} = 972.39 \text{ kg} + 1,214.05 \text{ kg} + 972.39 \text{ kg} = 3,158.83 \text{ kg}$$

$$\text{Carga diaria de soda cáustica} = 13,809.14 \text{ kg} + 5,523.66 \text{ kg} + 4,142.74 \text{ kg}$$

$$\text{Carga diaria de soda cáustica} = 23,475.54 \text{ kg}$$

$$\text{Entrada de soda cáustica a la lavadora} = 26,634.37 \text{ kg}$$

La salida de soda cáustica está dado por las pérdidas diarias de soda cáustica en los tanques de agua caliente I y agua caliente II:

$$\text{Salida de soda cáustica} = 7,562.50 \text{ kg} + 4,537.50 \text{ kg}$$

$$\text{Salida de soda cáustica} = 12,100 \text{ kg}$$

El consumo de soda cáustica, está dado por la diferencia entre la entrada y salida de dicho álcali en la lavadora:

$$\text{Consumo} = 26,634.37 \text{ kg} - 12,100 \text{ kg}$$

$$\text{Consumo} = 14,534.37 \text{ kg}$$

por lo que, la masa de soda cáustica al 48 % (m/m) que ha reaccionado al término de tres meses corresponde a 14,534.37 kg.

6. Determinación de la concentración de soda cáustica al final del proceso de lavado de envase de vidrio, en la fabricación de cerveza. Para encontrar la concentración de soda cáustica al final de cada operación diaria, se efectuará un balance de masa, que contempla la carga inicial como entrada y la cantidad de álcali a una concentración desconocida en la salida.

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación}$$

Puesto que no hay generación, consumo y acumulación, la ecuación queda como:

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = 0$$

$$\text{Soda cáustica agregada al inicio} + \text{Soda cáustica que se recarga} = \text{Soda cáustica a desechar}$$

Para la soda cáustica inicial, se calcularon los kilogramos presentes al inicio de la operación, con una concentración de 2.5 g/mL:

$$72,600 \text{ L solución} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \times \frac{2.5 \text{ g NaOH}}{100 \text{ mL solución}} \times \frac{100 \text{ g NaOH}}{48 \text{ g NaOH}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 3,781.25 \text{ kg NaOH}$$

Para la soda cáustica final, se calcularon los kilogramos presentes al final de la operación en 24 horas, con una concentración en g/mL:

$$72,600 \text{ L solución} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \times \frac{\text{masa g NaOH}}{100 \text{ mL solución}} \times \frac{100 \text{ g NaOH}}{48 \text{ g NaOH}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 1,512.50 \text{ m kg NaOH}$$

Para la soda cáustica agregada en 24 horas, se calcularon los kilogramos adicionados en dicho período, utilizando para ello la concentración del álcali a concentración de 48 % (m/m):

$$48 \text{ gal NaOH} \times \frac{3.7854 \text{ L}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \times \frac{1.52 \text{ g NaOH}}{\text{mL}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 276.18 \text{ kg NaOH}$$

De esta manera, la ecuación señalada anteriormente, queda como sigue:

$$3,781.25 \text{ kg NaOH} - 1,512.50 \text{ m kg NaOH} = 276.18 \text{ kg NaOH}$$

Despejando la incógnita *masa*, se obtiene la masa final de la soda cáustica después de 24 horas de operación:

$$\text{masa} = 3,505.07 \text{ kg}/1,512.50 \text{ kg}$$

$$\text{masa} = 2.32$$

por lo que, el valor de la concentración de la soda cáustica al final del proceso de lavado, pasadas las 24 horas, es de 2.32 g/mL.

Del mismo modo, se puede llevar a cabo el procedimiento anterior para calcular las concentraciones finales de cada tanque de soda cáustica en la lavadora, tomando como base un volumen de 24,200 L y la carga individual del álcali agregado a cada compartimiento (Cuadro No 9, Apéndice A, pág. 35).

Tanque de soda cáustica previa:

$$1,260.42 \text{ kg NaOH} - 504.17 \text{ masa kg NaOH} = 115.08 \text{ kg NaOH}$$

Después de 24 horas, se tiene una concentración en el tanque de soda cáustica previa de 2.27 g/mL.

Tanque de soda cáustica principal:

$$1,764.58 \text{ kg NaOH} - 504.17 \text{ masa kg NaOH} = 92.06 \text{ kg NaOH}$$

Después de 24 horas, se tiene una concentración en el tanque de soda cáustica principal de 3.32 g/mL.

Tanque de soda cáustica posterior:

$$1,260.42 \text{ kg NaOH} - 504.17 \text{ masa kg NaOH} = 69.04 \text{ kg NaOH}$$

Después de 24 horas, se tiene una concentración en el tanque de soda cáustica posterior de 2.36 g/mL.

7. Determinación del costo unitario de maquinaria y equipo del proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza. El costo unitario de la maquinaria y equipo se determinó utilizando los índices de costos adjuntos al final de ésta sección. El siguiente ejemplo, ilustra el cálculo del costo del tanque sedimentador. Las variables a contemplar dentro del costo se encuentran: el costo proporcionado en la gráfica, el factor del material a emplear (en algunos casos), el

índice de costo para el año proporcionado por la gráfica y el año actual, y el cambio de dólar a quetzal vigente.

Para el tanque cónico vertical, se tiene un costo de \$ 6,500.00 en la gráfica, un factor del material acero al carbón de 1.9 para tanques atmosféricos, un índice de costo de 315 para el año 1982 y 518.9 para el 2005, así como una tasa de cambio de Q 1.00 por dólar en 1982 y Q 7.61 por dólar en el 2005.

Efectuando el cálculo, se obtiene:

$$\$ 6,500.00 \times 1.9 \times \frac{518.9 (CE 2005)}{315 (CE 1982)} \times \frac{Q 1.00}{\$ 1.00} \times \frac{Q 7.61}{Q 1.00} = Q 154,779.50$$

por lo que el costo de un tanque cónico vertical de acero al carbón, es de Q 154,779.50.

8. Determinación del costo de energía anual en el proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza. Para determinar el costo de energía anual en el proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza, se tomó como base la potencia de la bomba y del motor. El siguiente ejemplo, ilustra el costo de energía anual para ambos equipos:

Bomba No 1:

$$7,457 W \times \frac{1 kW}{1000 W} \times \frac{Q 1.42}{kW-h} \times \frac{1 h}{día} \times \frac{1 día}{semana} \times \frac{48 semanas}{año} = Q 508.26 / año$$

donde la tarifa es de Q 1.42/kW-h, el tiempo de operación de la bomba y motor es de un día por semana, y cuarenta y ocho semanas al año.

9. Determinación de la depreciación de la maquinaria y equipo. El método utilizado para calcular la depreciación de la maquinaria y equipo, fue el método de la línea recta, el cual relaciona la inversión inicial entre el número de años:

$$\text{Depreciación (LR)} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Número de años}}$$

$$\text{Depreciación (LR)} = \frac{Q\ 1,159,226.96}{10\ \text{años}}$$

por lo que la depreciación anual de la maquinaria y equipo es de Q 115,922.70.

#### 10. Determinación de la tasa interna de retorno (TIR) y valor actual neto (VAN).

Para la determinación de la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN), se tomó como base de cálculo, las cargas inicial y diaria de soda cáustica al 48 % (m/m), así como los kilogramos de álcali que se desechan diariamente a través de los tanques de enjuague.

Sabiendo que el total de soda cáustica al 48 % (m/m) utilizada en el proceso de lavado de envase de vidrio durante tres meses es de 38,734.37 kg, y con un costo de Q 2,663.50 por 45.36 kg de álcali, se tiene:

$$\frac{38,734.37\ \text{kg}\ \text{NaOH}}{3\ \text{meses}} \times \frac{2.2\ \text{lb}}{1\ \text{kg}} \times \frac{\$ 350.00}{100\ \text{lb}} \times \frac{12\ \text{meses}}{1\ \text{año}} \times \frac{Q\ 7.61}{\$ 1.00} = Q\ 9,078,871.52 / \text{año}$$

lo cual indica que el costo de la soda cáustica al 48 % (m/m) que se emplea en operación normal durante un año es de Q 9,078,871.52.

Anteriormente se determinó la cantidad de soda cáustica al 48 % (m/m) que se consume “realmente” en el proceso de lavado de envase de vidrio, correspondiendo a 14,534.37 kg en un período de tres meses. Para el 80 % que se recupera con el proceso de reciclaje, se tiene el siguiente costo:

$$\frac{11,627.50 \text{ kg NaOH}}{3 \text{ meses}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{\$ 350.00}{100 \text{ lb}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \times \frac{Q 7.61}{\$ 1.00} = Q 2,725,346.47 / \text{año}$$

Puesto que la cantidad de soda cáustica al 48 % (m/m) recuperada es de 11,627.50 kg, el volumen a partir de la misma es:

$$11,627.50 \text{ kg NaOH} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1,520 \text{ kg NaOH}} = 7.65 \text{ m}^3 \text{ NaOH}$$

Por otro lado, se tiene la carga total inicial de soda cáustica al 48 % (m/m) que se agrega a la lavadora de envase de vidrio en operación normal, que corresponde a 8.31 m<sup>3</sup> (8,312.76 L) al año; por lo que, al contemplar el volumen del álcali recuperado, únicamente se tiene un gasto de 0.66 m<sup>3</sup> (659.99 L) de dicha base.

El costo de soda cáustica al 48 % (m/m) a emplear una vez recuperado el álcali de la operación anterior, está dado por la cantidad de álcali de la carga inicial a agregar (0.66 m<sup>3</sup>), junto con la carga diaria:

Para la carga inicial de soda cáustica al 48 % (m/m) se tiene:

$$\frac{0.66 \text{ m}^3 \text{ NaOH}}{3 \text{ meses}} \times \frac{1,520 \text{ kg NaOH}}{\text{m}^3} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{\$ 350}{100 \text{ lb}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \times \frac{Q 7.61}{\$ 1.00} = Q 235,138.04 / \text{año}$$

Para la carga diaria de soda cáustica al 48 % (m/m) se tiene:

$$\frac{48 \text{ gal NaOH}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{264.17 \text{ gal}} \times \frac{1,520 \text{ kg NaOH}}{\text{m}^3} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{\$ 350}{100 \text{ lb}} \times \frac{20 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \times \frac{Q 7.61}{\$ 1.00} = Q 3,884,078.09 / \text{año}$$

El total del costo anual de ambos es de Q 4,119,216.13; por lo que, comparado con la cantidad de álcali que se agrega sin la recuperación de la misma, Q 9,078,871.52, se tiene un ahorro de Q 4,959,655.39 al año.

Para el cálculo de la tasa interna de retorno, TIR, se usó una hoja electrónica en Microsoft Excel 2003. La función contemplada fue la siguiente:

$$\text{TIR}(\text{primera\_celda}:\text{última\_celda})$$

donde la primera celda corresponde a la inversión inicial, junto con el resto de costos diferenciales en cada año.

Asimismo, se determinó el valor actual neto, VAN, en Microsoft Excel 2003, cuya función utilizada fue:

$$\text{VAN}(\text{TIR}, \text{flujo de caja en año 1}:\text{flujo de caja en año 10}) + \text{inversión inicial}$$

11. Determinación del período de recuperación de la inversión (PR). Para determinar el período de recuperación del proyecto, se empleó la siguiente fórmula:

$$PR = \frac{I_0}{BN}$$

donde  $PR$ , período de recuperación, expresa el número de períodos necesarios para recuperar la inversión inicial  $I_0$  cuando los beneficios generados por el proyecto en cada período son  $BN$ .

Puesto que la inversión inicial corresponde a Q 1,391,072.32, y los beneficios anuales son de Q 451,418.22, se tiene como tiempo de recuperación de la inversión:

$$PR = \frac{Q\ 1,391,072.32}{Q\ 451,418.22} = 3.08 \text{ años}$$

12. Determinación del punto de equilibrio (PE). Para determinar el punto de equilibrio del proceso de reciclaje de soda cáustica en la fabricación de cerveza, se utilizó la siguiente relación:

$$PE = \frac{\text{costos fijos totales}}{\text{ahorro} - \text{costos variables totales}}$$

donde los costos fijos totales estaban definidos por la maquinaria, depreciación, energía eléctrica, mantenimiento y costo de operación. Los costos variables totales se conformaron únicamente de la materia prima, según el flujo de caja, apéndice C, página 73).

### C. Datos calculados

Cuadro No 23. Datos calculados para determinar la carga total entre los puntos de succión y descarga en el proceso de sedimentación por gravedad.

Número de Reynolds, $Re$	823,023.66
$\varepsilon/D$	0.0014
Factor de fricción de Fanning, $f$	0.0055
Coefficiente de pérdida por contracción, $K_c$	0.1417
Coefficiente de pérdida por expansión, $K_e$	0.3285
Coefficiente de pérdida por accesorios o válvulas, $K_f$	3.92
Pérdida por fricción de forma, $h_f$ (J/kg)	39.42
Caída de presión, $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	136,489.65
Diferencia de carga total, $\Delta H$ (J/kg)	235.62

Cuadro No 24. Datos calculados para determinar la carga total entre los puntos de succión y descarga en el proceso de filtración por medio del sistema de clarificación.

Número de Reynolds, $Re$	266,149.13
$\varepsilon/D$	0.0024
Factor de fricción de Fanning, $f$	0.0070
Coefficiente de pérdida por contracción, $K_c$	0.1417
Coefficiente de pérdida por expansión, $K_e$	0.3007
Coefficiente de pérdida por accesorios o válvulas, $K_f$	17.00
Pérdida por fricción de forma, $h_f$ (J/kg)	21.23
Caída de presión, $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	83,095.98
Diferencia de carga total, $\Delta H$ (J/kg)	138.95

Cuadro No 25. Datos calculados para determinar la carga total entre los puntos de succión y descarga, en el proceso de retorno de soda cáustica del tanque de almacenamiento, hacia la lavadora de envase de vidrio.

Número de Reynolds, $Re$	266,149.13
$\varepsilon/D$	0.0024
Factor de fricción de Fanning, $f$	0.0070
Coefficiente de pérdida por contracción, $K_c$	0.1417
Coefficiente de pérdida por expansión, $K_e$	0.3007
Coefficiente de pérdida por accesorios o válvulas, $K_f$	34.50
Pérdida por fricción de forma, $h_f$ (J/kg)	46.77
Caída de presión, $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	89,171.08
Diferencia de carga total, $\Delta H$ (J/kg)	125.25

Cuadro No 26. Datos correspondientes a la cantidad de álcali que ingresa a los tanques de soda cáustica de la lavadora de botella Krones, LAVATEC KES.

TANQUE	CARGA DE SODA CÁUSTICA	CANTIDAD DE SODA CÁUSTICA (kg)
Soda cáustica previa	Inicial	972.39
	Diaria	13,809.14
	Total	14,281.53
Soda cáustica principal	Inicial	1,214.05
	Diaria	5,523.66
	Total	6,737.71
Soda cáustica posterior	Inicial	972.39
	Diaria	4,142.74
	Total	5,115.13
Agua caliente I	Salida	7,562.50
Agua caliente II	Salida	4,537.50

Cuadro No 27. Costo de maquinaria y accesorios contemplados en el proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza.

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Q)	COSTO TOTAL (Q)
Tanque cónico vertical	1	154,779.50	154,779.50
Tanque cilíndrico	1	154,779.50	154,779.50
Filtro clarificador	1	108,416.03	108,416.03
Bomba 5.59 kW (7 ½ hp)	1	33,901.69	33,901.69
Bomba 0.74 kW (1 hp)	1	17,947.95	17,947.95
Bomba 0.74 kW (1 ½ hp)	1	17,947.95	17,947.95
Válvula check de 0.1270 m (5 pulg.)	1	20,442.50	20,442.50
Válvula check de 0.0762 m (3 pulg.)	2	1,839.82	3,679.65
Válvula check de 0.0635 m (2 ½ pulg.)	1	1,226.55	1,226.55
Válvula de compuerta de 0.1270 m (5 pulg.)	4	20,442.50	81,770.00
Válvula de compuerta de 0.1016 m (4 pulg.)	1	20,442.50	20,442.50
Válvula de bola de 0.0635 m (2 ½ pulg.)	7	1,942.04	13,594.26
Tubería de 0.1270 m (5 pulg.)	5.00 m	2,044.25	10,221.25
Tubería de 0.1016 m (4 pulg.)	42.00 m	2,044.25	85,858.50
Tubería de 0.0762 m (3 pulg.)	7.00 m	40.88	286.19
Tubería de 0.0635 m (2 ½ pulg.)	55.00 m	32.71	1,798.94
Unión T de 137,895.14 N/m <sup>2</sup> (20 lb/pulg. <sup>2</sup> ) y 0.1270 m (5 pulg.)	3	2,044.25	6,132.75
Reductor de 0.1016 m (4 pulg.)	1	2,044.25	2,044.25
Reductor de 0.0635 m (2 ½ pulg.)	2	6,132.75	12,265.50
Codos de 90° de 0.1016 m (4 pulg.)	5	2,044.25	10,221.25
Codos de 90° de 0.0762 m (3 pulg.)	2	143.10	286.19
Codos de 90° de 0.0635 m (2 ½ pulg.)	9	102.21	919.91
Instalación Tubería de 0.1270 m (5 pulg.)	5.00 m	5,110.62	25,553.12
Instalación Tubería de 0.1016 m (4 pulg.)	42.00 m	4,292.92	180,302.85
Instalación Tubería de 0.0762 m (3 pulg.)	7.00 m	3,679.65	25,757.55
Instalación Tubería de 0.0635 m (2 ½ pulg.)	55.00 m	3,066.37	168,650.62
Total		586,931.00	1,159,226.96

Cuadro No 28. Tiempos de instalación para cada sección de tubería en el proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza.

TUBERÍA	CANTIDAD	TIEMPO UNITARIO (hora por metro)	TIEMPO TOTAL (h)
Instalación Tubería de 0.1270 m (5 pulg.)	5.00 m	2.50	12.50
Instalación Tubería de 0.1016 m (4 pulg.)	42.00 m	2.00	84.00
Instalación Tubería de 0.0762 m (3 pulg.)	7.00 m	1.80	12.60
Instalación Tubería de 0.0635 m (2 ½ pulg.)	55.00 m	1.50	82.50

Cuadro No 29. Costo de energía anual en el proceso de reciclaje de soda cáustica, en la fabricación de cerveza.

No BOMBA	COSTO DE ENERGÍA AL AÑO (Q)
1	508.26
2	381.20
3	127.06
Total	1,016.52

Cuadro No 30. Flujo de caja para el proceso de reciclaje de soda cáustica, en el proceso de embotellado de bebidas, en envase de vidrio, en la fabricación de cerveza.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aborro		Q4.959.655,39	Q4.959.655,39	Q4.959.655,39	Q4.959.655,39	Q4.959.655,39	Q4.959.655,39	Q4.959.655,39	Q4.959.655,39	Q4.959.655,39	Q4.959.655,39
Maquinaría y equipo	-Q1.159.226,96										
Depreciación		-Q115.922,70	-Q115.922,70	-Q115.922,70	-Q115.922,70	-Q115.922,70	-Q115.922,70	-Q115.922,70	-Q115.922,70	-Q115.922,70	-Q115.922,70
Energía eléctrica		-Q1.016,52	-Q1.016,52	-Q1.016,52	-Q1.016,52	-Q1.016,52	-Q1.016,52	-Q1.016,52	-Q1.016,52	-Q1.016,52	-Q1.016,52
Mantenimiento		-Q42.404,52	-Q42.404,52	-Q42.404,52	-Q42.404,52	-Q42.404,52	-Q42.404,52	-Q42.404,52	-Q42.404,52	-Q42.404,52	-Q42.404,52
Costo de operación		-Q345.600,00	-Q345.600,00	-Q345.600,00	-Q345.600,00	-Q345.600,00	-Q345.600,00	-Q345.600,00	-Q345.600,00	-Q345.600,00	-Q345.600,00
Materia prima		-Q4.119.216,13	-Q4.119.216,13	-Q4.119.216,13	-Q4.119.216,13	-Q4.119.216,13	-Q4.119.216,13	-Q4.119.216,13	-Q4.119.216,13	-Q4.119.216,13	-Q4.119.216,13
Flujo de caja	-Q1.159.226,96	Q335.495,52	Q335.495,52	Q335.495,52	Q335.495,52	Q335.495,52	Q335.495,52	Q335.495,52	Q335.495,52	Q335.495,52	Q335.495,52

### XIII. GLOSARIO

- A. **Fermentación:** cambios químicos en las sustancias orgánicas producidos por la acción de enzimas.
- B. **Levadura:** hongo microscópico unicelular capaz de hacer fermentar el cuerpo con el que se mezcla.
- C. **Lúpulo:** planta del mismo nombre cuyos frutos desecados se emplean para aromatizar y dar sabor amargo a la cerveza.
- D. **Mosto:** mezcla de cereales base con lúpulo, antes de fermentar.
- E. **Malta:** cebada que, germinada artificialmente y tostada, se emplea en la fabricación de la cerveza.
- F. **Cerveza Ale:** cerveza de alta fermentación, fabricada principalmente en Estados Unidos e Inglaterra. Existen varios subtipos como Bitter, India Pale, Mild, Old, Stout, Brown, etc.
- G. **Cerveza Lager:** cerveza de baja fermentación de color dorado a oscuro.
- H. **Cerveza Pilsen:** cerveza de baja fermentación que presenta un aroma fresco, un sabor seco y un grado alcohólico comprendido entre 4.5 y 5.5 %.
- I. **Tanino:** sustancia astringente contenida en la nuez de agallas, en las cortezas de la encina, olmo, sauce y otros árboles, y en la raspa y hollejo de la uva y otros frutos.
- J. **Maltosa:** disacárido formado por dos moléculas de glucosa.

**K. Ósmosis Inversa:** proceso en donde el solvente se difunde desde la solución más concentrada hacia la menos concentrada a través de una membrana dentro de una solución diluida.

**L. Tamizado:** método de separación de partículas basado exclusivamente en el tamaño de las mismas.