

UNIVERSIDAD DE MATANZAS

“CAMILO CIENFUEGOS”



FACULTAD QUÍMICA - MECÁNICA

# TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Alternativas de disponibilidad de agua tratada en la Corporación Cuba Ron Ronera Cárdenas.

Diplomante: Anabel Fernández Fraga

Tutor: Dra. Juana Zoila Junco Horta

Año 2009

**Nota de aceptación.**

---

---

---

---

---

Presidente del tribunal.

---

Tribunal.

---

Tribunal.

---

Anabel Fernández Fraga.

Matanzas, 22 de junio 2009.

## **Pensamiento.**

**“ La enseñanza, ¿Quién no lo sabe?,  
Es ante todo una obra de infinito amor”**

**José Martí.**

## **Dedicatoria.**

A mi madre del alma, la persona que más me hubiese apoyado y la que sería capaz de sentirse tan o más feliz que yo si hubiese estado aquí.

A mi padre y hermana que me han servido de apoyo para seguir adelante con mi carrera.

## **Agradecimientos.**

Agradezco a la Revolución por darme la oportunidad de estudiar.

A Reny quien ha sido mi brazo derecho durante toda mi carrera.

A mi tutora la Dra. Juana Zoila que ha dado lo mejor de sí para la realización de este trabajo.

A mis compañeros de aula por el tiempo que pasamos juntos, unidos y apoyándonos mutuamente unos a otros y a María que me ha ayudado mucho en todos estos años de estudio.

A mi familia que me ha estimulado y apoyado en todo este tiempo.

También a mis compañeros de trabajo por considerarme durante este periodo y en especial a Marialys.

A todos los profesores de la facultad de ingeniería Química que se dedicaron a enseñarnos y a darnos lo mejor de sí con tanto amor.

## **Declaración de autoridad.**

Yo, Anabel Fernández Fraga, declaro ser la única autora de este trabajo de diploma y autorizo a la facultad de ingeniería Química - Mecánica de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos" a darle el uso que considere necesario al mismo.

---

Firma.

	Índice.	páginas
	Introducción	1
Capítulo 1.	Revisión bibliográfica.	2
1.1	Definición, composición y propiedades del agua.	2
1.2	Clasificación del agua.	2
1.3	Calidad en función de su uso.	3
1.4	Sistemas de tratamiento para lograr calidad extrema.	5
1.5	Fundamentos del método de intercambio iónico.	6
1.6	Operaciones del sistema de columnas.	9
1.7	Intercambio iónico (ciclo sodio).	11
1.8	Membranas para tratamiento de agua.	14
1.9	Filtración por ósmosis inversa.	25
1.1	Conclusiones derivadas del análisis de la bibliografía.	27
Capítulo 2.	Materiales y métodos.	28
	Descripción de los métodos y materiales a utilizar en el desarrollo experimental de la investigación.	29
2.1		29
2.2	Procesamiento estadístico.	30
	Balance de masa a la salida de la columna	
2.3	rectificadora.	30
	Diseño y evaluación de columnas de intercambio	
2.4	iónico.	31
	Cálculo del costo de adquisición de la columna	
2.4.1	intercambiadora.	32
2.5	Cálculo de la bomba a utilizar.	32
	Cálculo del costo de adquisición de la bomba	
2.5.1	seleccionada.	38
Capítulo 3.	Análisis de los resultados.	39
3.1	Resultados de la caracterización de las aguas.	40
	Resultado del balance de masa en la columna	
3.2	rectificadora.	42
3.3	Resultados del procesamiento estadístico.	44
3.4	Resultado del diseño de la columna de intercambio.	45
	Resultado del cálculo del costo de adquisición de la	
3.4.1	columna intercambiadora.	47
3.5	Resultados de la evaluación del sistema de bombeo.	47
	Resultado del cálculo del costo de adquisición de la	
3.5.1	bomba	50
	Conclusiones	52
	Recomendaciones	53
	Bibliografía	54

## **Resumen.**

La presente tesis se realiza en la Corporación Cuba Ron ronera Cárdenas S.A. en la cual se estudia la calidad del agua tratada que se adquiere de la Empresa José Antonio Echeverría, del agua cruda que se emplea en la planta y del agua residual procedente de la columna rectificadora de la destilaría. Se efectúa una comparación de la calidad de dichas aguas y de la mezcla de agua residual con agua cruda en una proporcionalidad 40% y 60% (calculado mediante un balance de masa en el proceso) mediante el paquete estadístico *Statgraphic* versión S.1 donde se corrobora la necesidad de tratar el agua para su uso en la generación de vapor. Se propone una planta de tratamiento de agua por el método de intercambio iónico y se calcula el costo de adquisición de la unidad intercambiadora diseñada mediante el *software Capcost*. Se propone el diagrama de flujo de la instalación requerida para reutilizar el efluente de la columna rectificadora con el fin de disminuir el consumo de agua y se calcula la carga de la bomba necesaria para dicho fin.



## **Abstract:**

Present it thesis Inc. Cárdenas in the one that the quality of water treated that it is acquired of the Empresa José Antonio Echeverría, of the hard water that is used in the plant and of residual appropriate water of the rectifying column is studied sells off in the Corporation Cuba Ron ronera himself of he would distill it. Takes effect a comparison of the quality of the aforementioned waters and of the residual water mixture with raw water in a proportionality 40 % and 60 ( once the process was estimated around a balance of mass interveningly ) intervening % the statistical parcel *Statgraphic* version S.1 where the need to process the water for his use in the steam-driven generation is corroborated. He proposes a water plant of treatment for the method of ionic interchange and the inter-moneychanger estimates the cost of acquisition of the unit herself designed intervening the *software Capcost*. The flow chart of the installation required for reutilizar intends the outflow of the rectifying column with the aim of decreasing the consumption of water and the load of the necessary bomb for the aforementioned end is calculated.

## **Introducción.**

La Corporación Cuba Ron ronera Cárdenas S.A. tiene como principal objetivo la producción y comercialización de rones de una marca reconocida, tanto nacional como internacionalmente, por su elevada calidad y es de vital importancia su funcionamiento estable por la incidencia económica que tiene para el territorio.

El agua constituye un recurso esencial para la producción de dicha entidad, sin embargo no existe estabilidad en el suministro de agua tratada con la calidad que exige el proceso.

### **Se declara como problema de investigación:**

¿Podrá la empresa Cuba Ron ronera Cárdenas S.A. autoabastecerse de agua tratada?

### **Para dar respuesta al problema de investigación se formula como hipótesis:**

Si se estudia la calidad de las posibles fuentes de abasto de agua y reutilización de los residuales de la industria, así como el flujo requerido para el proceso, podrá diseñarse el flujo tecnológico para la obtención de agua tratada en dicha entidad.

### **Objetivo:**

Proponer un esquema tecnológico para la obtención de agua tratada en la empresa Cuba Ron ronera Cárdenas S.A. a partir de las disponibilidades internas de la industria.

### **Objetivos específicos:**

- 1- Caracterizar la fuente de abasto de agua cruda, agua residual de la columna rectificadora de la destilería y agua tratada suministrada a la empresa.
- 2- Calcular el flujo de agua residual a la salida de la columna rectificadora.
- 3- Calcular parámetros de diseño de unidad intercambiadora iónica y el costo de adquisición.
- 4- Calcular la carga de la bomba para el suministro de agua cruda.

# **Capítulo 1: Revisión Bibliográfico.**

## **1.1. Definición, composición y propiedades del agua.**

El agua es el compuesto químico más abundante y el de mayor significación para la vida (El agua, 2005; Babor, 1978). Desde la antigüedad se considera como uno de los recursos naturales fundamentales junto al aire, la tierra y el fuego. Sus características físico – químicas la definen como un líquido incoloro, inodoro e insípido que está compuesto por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Su fórmula química se identifica de la siguiente manera: (H<sub>2</sub>O). A la presión atmosférica normal (0,1 MPa), el punto de congelación del agua es a los 0°C y su punto de ebullición, a los 100°C. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4°C y se expande al congelarse. El agua tiene una gran importancia como medio en el que se verifican numerosos procesos químicos. Todas las reacciones asociadas con la vida vegetal o animal necesitan la presencia del agua para proseguir dentro del organismo viviente. Se le conoce como el disolvente universal teniendo en cuenta el carácter de su solubilidad que hace que muchas sustancias sean solubles en ella y que además pueda combinarse con ciertas sales para formar hidratos, reaccionar con los óxidos de los metales formando ácidos y actuar como catalizador en muchas reacciones químicas importantes.

## **1.2 Clasificación del Agua.**

La clasificación dada por Urbietta (2005) de los diferentes tipos de agua acorde a su procedencia y uso es, agua de manantial, potable y residual.

El agua de manantial es el flujo natural de agua que surge del interior de la tierra desde un solo punto o por un área restringida. Puede aparecer en tierra firme o dirigirse a cursos de agua, laguna o lagos. Su localización está en relación con la naturaleza de las rocas, la disposición de estratos permeables e impermeables y el perfil del relieve, ya que un manantial tiene lugar donde un nivel freático se intercepta con la superficie.

La naturaleza a través del ciclo del agua, trabaja para limpiarla, sin embargo no tiene la capacidad suficiente para eliminar todas las sustancias y contaminantes que se vierten al agua. Por ello el agua captada de los ríos es llevada por una línea de

conducción a una planta de tratamiento con el objetivo de purificarla y hacerla potable y apta para el consumo humano.

Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual. Las aguas residuales pueden tener origen:

Doméstico, industrial, subterráneo o meteorológico y se denominan según su procedencia en : domésticas, industriales, de infiltración y pluviales.

### **1.3 Calidad en función de su uso.**

Química de las aguas para consumo industrial.

De la misma manera que se establecen normas de calidad para las aguas de consumo humano, se establecen normas de calidad para las aguas de uso industrial (Tratamiento de aguas y aguas residuales, 2006, Raúl Díaz Betancourt.). Estas suelen clasificarse en aguas que intervienen directamente como materia prima dentro del proceso, en aguas para enfriamiento, calentamiento y generación de vapor, aguas para limpiezas de equipos e instalaciones y agua para resolver los requerimientos higiénicos sanitarios del personal.

Cada uno de los tipos de agua mencionados debe poseer una determinada calidad.

El agua para intercambio calórico y la generación de vapor debe cumplir con toda una serie de requisitos específicos, y en especial el agua utilizada para la generación. En lo referente a las características requeridas para las aguas de proceso es prácticamente imposible definir normas de calidad universales. Las normas dependen del tipo de producción y de la tecnología utilizada.

#### **Aguas de enfriamiento:**

Las aguas de enfriamiento que se emplearán una sola vez y después serán desechadas deberán estar libres de sólidos suspendidos que puedan depositarse en el sistema y causar tupiciones, así como de contaminación apreciable con organismos vivos; es difícil, no obstante, establecer límites cuantitativos generales; sin embargo, sí cabe establecer que cualquier tratamiento que se emplee deberá ser muy económico, dado los grandes volúmenes que deberán manejarse.

Algunas especificaciones de carácter general plantean que la turbiedad no debe ser superior a 50 unidades, el hierro y el manganeso en conjunto inferior a  $0.5\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  y los iones sulfatos (como  $\text{H}_2\text{S}$ ) menos de  $5\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ; éstos valores se pueden aplicar también a sistemas abiertos con recirculación.

### **Aguas para generación de vapor:**

En el caso de aguas para calderas existen normas y valores recomendados en dependencia de la presión de trabajo.

### **Aguas de calentamiento:**

Existe actualmente la tendencia a producir, en lugar de vapor, agua caliente a una presión superior a la atmosférica. Esta alternativa parece ser provechosa cuando se trata de industrias grandes, pues los diámetros de tubería requerido son inferiores a los necesarios para el vapor, comúnmente se produce agua entre  $(120-220)^\circ\text{C}$  a presiones entre  $(0.2-2)\text{Mpa}$   $(2-10)\text{atm}$ ; esta agua se transforma en vapor a baja presión o agua a menor temperatura en los intercambiadores de calor.

Los requerimientos de esta aguas se reducen a mantener un bajo contenido de sólidos suspendidos en el sistema lo que permite evitar trastornos en los equipos de bombeo siempre que no existan fugas, escapes, salideros, entre otros, determinan que como promedio el sistema pierda un volumen completo de agua durante un mes de trabajo; de ser esto así requiere mantener un control de la corrosión con cromato de sodio entre  $(500-2000)\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , nitrato de sodio  $(2500\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3})$ , o sulfito de sodio  $(50-100)\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

A medida que la presión de trabajo del sistema aumente  $(1.5\text{Mpa})$  será necesario utilizar un agua completamente desionizada y desaireada para la alimentación del sistema.

El agua del sistema deberá mantenerse en un valor de pH mínimo de 9.5, una concentración de sulfito de sodio entre  $(50-100)\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  y una concentración de iones fosfato entre  $(30-60)\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

#### **1.4 Sistemas de tratamientos para lograr una calidad extrema. Tratamiento de aguas naturales.**

Las aguas naturales deberán recibir en la mayoría de los casos un tratamiento previo a su utilización. El mismo dependerá de dos factores fundamentales:

1-Calidad del agua.

2-Empleo de la misma.

Para ello existen una gran variedad de operaciones, las que empleadas individualmente o en combinación suelen dar los resultados deseados. Estas operaciones suelen ser: tratamientos físicos, físico-químicos o químicos.

Operaciones más empleadas:

-Cribado.

-Precloración.

-Sedimentación libre.

-Aireación.

-Ablandamiento coagulación y floculación filtración.

-Postcloración.

-Sobrecloración.

-Adsorción en carbón activo.

-Tratamientos químicos especiales.

-Desalinización.

-Intercambio iónico.

Por supuesto que no todas estas operaciones se tienen que llevar a cabo con todas las aguas, aunque en ciertos casos pudiera ser así. En las plantas solo se incluyen aquellas que están justificadas.

Tipos de plantas:

-Plantas potabilizadoras

-Plantas de ablandamiento.

Las plantas de ablandamiento son muy comunes en todas las industrias; su objetivo es disminuir parcial y casi totalmente la dureza del agua para su empleo posterior y así evitar o reducir las incrustaciones en equipos y tuberías.

Los procesos empleados son los de precipitaciones químicas e intercambio iónico, estos últimos utilizados fundamentalmente para el tratamiento del agua de alimentación de las calderas.

### 1.5 Fundamentos del Método de Intercambio Iónico.

El método de intercambio iónico no es más que el desplazamiento de iones de una especie dada de una sustancia insoluble por iones de diferentes especies disueltas en un disolvente; al pasar la disolución por la sustancia intercambiadora ocurrirá el intercambio de la siguiente manera:



Donde:

$B^+_1, B^+_2$ : Cationes de dos especies diferentes.

$A^-_1, A^-_2$ : Aniones de dos especies diferentes.

R: Radical.

El intercambio se comporta como una interacción química reversible entre una sustancia intercambiadora ionizada y los iones en disolución.

El equilibrio de la reacción (1.1) en estos casos viene dado por:

$$K = \frac{[B^+_2][RB_1]}{[B^+_1][RB_2]} \quad (1.3)$$

Donde:

K: Constante de equilibrio.

Cuando el valor de la constante K se hace mayor que la unidad, se dice que el equilibrio es favorable, o sea, que la sustancia intercambiadora tomará los cationes  $B^+_1$  de la disolución, liberando los  $B^+_2$  (los cuales pasarán ahora a la disolución).

Para la reacción (2) puede plantearse una expresión similar, atendiendo al valor de la constante de equilibrio es posible establecer un orden de desplazamiento de los iones de la sustancia intercambiadora por los de la disolución. (Tabla 1.1).



**Tabla 1.1 Orden de desplazamiento de los iones de la sustancia intercambiadora por los de la disolución, atendiendo al valor de la constante de equilibrio.**

Cationes	Aniones
$\text{La}^{3+}$	$\text{SO}_4^{2-}$
$\text{Y}^{3+}$	$\text{CrO}_4^{2-}$
$\text{Ba}^{2+}$	$\text{NO}_3^-$
$\text{Sr}^{2+}$	$\text{AsO}_4^{3-}$
$\text{Ca}^{2+}$	$\text{PO}_4^{3-}$
$\text{Mg}^{2+}$	$\text{MoO}_4^{2-}$
$\text{Cs}^+$	$\text{I}^-$
$\text{Rb}^+$	$\text{Cl}^-$
$\text{K}^+$	$\text{F}^-$
$\text{Na}^+$	$\text{OH}^-$
$\text{Li}^+$	
$\text{H}^+$	

Los iones que en la tabla 1.1 aparecen en una posición inferior serán desplazados de la sustancia intercambiadora por los que se encuentran en una posición superior; no obstante, debe aclararse que como el desplazamiento está en función del valor que tome la constante de equilibrio, este desplazamiento dependerá también de la concentración (o de la actividad en el caso de las disoluciones concentradas).

Cuando la sustancia intercambiadora haya cedido una cantidad apreciable de sus iones, de forma que la constante de equilibrio se haga igual a la unidad, cesará el intercambio y se dice que la sustancia intercambiadora se ha agotado, por lo que será necesario regenerarla, para lo cual se emplea una disolución concentrada de los iones originales y desplazar así el equilibrio hacia la izquierda (ecuación 1.1 y 1.2). Una vez regenerada, se puede reutilizar nuevamente.

### **1.6 Operación de sistemas de columnas.**

La operación de columnas y sistemas de columnas de intercambio iónico trae consigo aparejados varios pasos:

- 1- Agotamiento (etapa de servicio)
- 2- Contra lavado
- 3- Regeneración
- 4- Lavado o enjuague

#### Agotamiento:

Es la etapa de operación de la columna, es el periodo de tiempo durante el cual se está haciendo pasar agua a tratar por la misma. La operación dura hasta el momento en que el agua salga con las especificaciones de calidad establecidas. El periodo de agotamiento de una columna se puede calcular a partir de los parámetros de operación de la resina (brindados por el fabricante). así como por la calidad del agua a tratar y la calidad que desea obtener en el agua tratada.

Una vez agotada la columna se procede al contra lavado.

#### Contralavado:

En este caso se realiza un lavado a contracorriente con agua cruda, el cual tiene como objetivo arrastrar los sólidos suspendidos que pueden haberse depositado en

la columna durante la operación y además, resuspender la resina eliminando cualquier posible atorrónamiento que puede propiciar canalizaciones indeseables.

Debe señalarse que los sólidos suspendidos que pudiera arrastrar el agua son, en la mayoría de los casos, producto de una mala operación durante el tratamiento previo de la misma o debido a la carencia de dicho tratamiento. Con frecuencia el agua para calderas, antes de ser sometida al proceso de intercambio iónico, se ablanda por precipitación química; cualquier fallo durante este proceso (mala operación del reactor, del sedimentador o de los filtros) puede acarrear el arrastre de proporciones considerables de pequeños flocos que se depositan en la columnas y entorpecen su operación; en casos extremos, puede, incluso, afectarse la resina.

El volumen de agua a utilizar para el contralavado, así como la velocidad del flujo de agua a emplear, se especifica por el fabricante en dependencia del tipo de resina.

Al contralavado le sigue la regeneración.

#### Regeneración:

El objetivo de esta operación es restituirle a la columna las cargas originales para que pueda continuar operando, esto es posible hacerlo gracias a que las reacciones de intercambio son reversibles. No obstante, para lograr esta reacción inversa, es necesario emplear disoluciones de regenerantes con concentraciones relativamente altas. Cada fabricante recomienda el tipo y concentración de regenerantes adecuado para cada caso.

La regeneración se realiza, por lo general con más cantidad de regenerante que el estequiométricamente necesario. El exceso de regenerante a emplear depende de varios factores; entre ellos se encuentran las características de la resina, el modo de funcionamiento elegido y el grado de regeneración necesario para obtener la calidad de agua deseada.

Los fabricantes de resina ofrecen tablas y gráficos donde se recomiendan los niveles de regeneración y concentraciones del regenerante para obtener diferentes calidades de agua, en función de la calidad de agua a tratar, cabe destacar que en dependencia del nivel de regeneración utilizado se encontrará la capacidad de intercambio de la resina.

Una vez regenerada, la columna se somete a un proceso de lavado o enjuague.

### Lavado o enjuague:

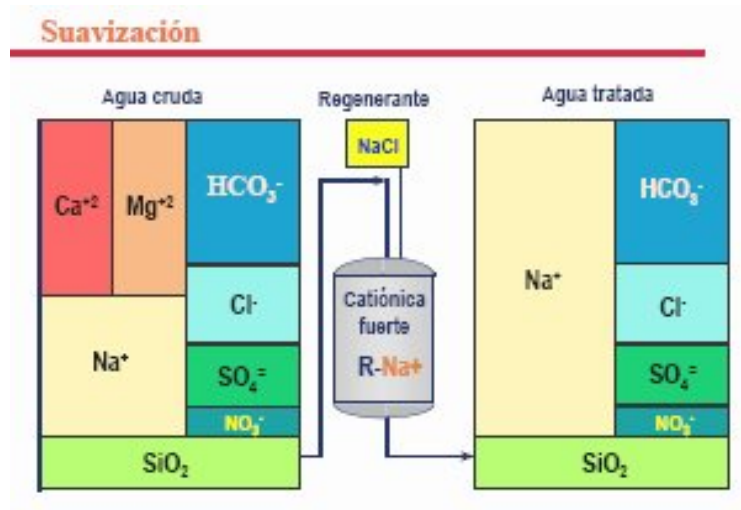
Se realiza con vistas a eliminar los restos del regenerante. El lavado se hace en el mismo sentido en que fluye el agua en la columna (al igual que la regeneración). Por lo general se usa agua cruda. Los fabricantes ofrecen datos (según el tipo de resina) del volumen de agua a utilizar y la velocidad de flujo adecuada para estos fines.

El proceso de lavado se debe efectuar mientras que la conductividad del agua de salida no alcance los valores establecidos para el agua, concluido el lavado, la columna vuelve a ser puesta en operación.

Cabe señalar en este momento que cuando sea necesario un suministro de agua tratada, es necesario contar con más de una columna o sistema de columnas, esto es debido a que, como es lógico, durante las operaciones de lavado a contracorriente, regeneración y enjuague no se puede garantizar un abastecimiento de agua tratada. Estas tres operaciones en conjunto pueden demorar entre (1-4) h, en dependencia del tamaño de la columna.

### **1.7. Intercambio iónico (ciclo sodio).**

El intercambio iónico consiste en sustituir los iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) por iones sodio ( $\text{Na}^+$ ), a través de una reacción química entre el agua y una resina de intercambio catiónico. Cuando la resina ha perdido su capacidad de intercambiar iones, se dice que se ha agotado y entonces hay que regenerarla con una solución de cloruro de sodio. La resina además de regenerarse, debe contralavarse (para eliminar la suciedad y descompactar la resina) y enjuagarse (para arrastrar el regenerante remanente) que hay en ella (Herrera, 2001) Ver figura 1.1.



*Figura 1.1: Esquema de intercambio iónico.*

Independientemente de su naturaleza, todas las sustancias intercambiadoras que se utilizan en ciclo  $\text{Na}^+$ , están constituidas por una molécula compleja y de una naturaleza tal que resulta insoluble, química y físicamente estable y permeable a la difusión de los iones contenidos en el agua. Unida a esta molécula, se encuentra una gran cantidad de grupos intercambiables, en este caso en forma de  $\text{Na}^+$ .

La reacción anterior constituye la reacción fundamental que se produce en el suavizamiento de agua, mediante intercambio iónico.

Los intercambiadores, son generalmente instalados en el pre-tratamiento para la ósmosis inversa, durante esta operación se minimizan los requerimientos de limpieza y desincrustación en los equipos de ósmosis inversa, a través de la eliminación de dureza y trazas de metales. Estos equipos aumentan el grado de pureza del agua permeada, sin embargo sirven de superficie para el crecimiento microbiano. Además pueden ser de cloruro de polivinilo (PVC), también de fibra de vidrio reforzada con polietileno. Estos cuentan con cabezal automático para el control de todas las operaciones (contralavado, aspiración de sal-reposo y enjuague).

Una resina de intercambio iónico es un polímero sintético, el cual contiene iones que puede intercambiar con los iones presentes en el agua o en las soluciones que se ponen en contacto con ellos (Herrera, 2001). Ver figura 1.2.



*Figura 1.2: Representación de la resina catiónica fuerte.*

Una resina tiene monómero (estireno divinil benceno) que tiene grupos fijos y móviles (grupos activos).

Para el caso del tratamiento de agua se utilizan resinas fuertemente ácidas (catiónica fuerte) cuyo grupo activo es el sulfónico ( $\text{SO}_3\text{H}$ ).

En cuanto a la contaminación en las resinas (McGowan, 1987) intervienen los siguientes factores:

- La canalización debido a inapropiados flujos de agua. Apropriadamente velocidades de flujo de agua (5 a 50 m/h).
- Ensuciamiento orgánico de la resina.
- Ruptura de la perla de la resina. La resina debe permanecer húmeda constantemente para evitar la ruptura de la misma.
- Contaminación de la solución salina usada para la regeneración. La buena preparación de la salmuera es un aspecto importante en el funcionamiento del sistema de intercambio iónico, los intercambiadores necesitan salmuera limpia y con el máximo contenido de cloruro de sodio a la concentración adecuada. Sal común con un 10 % máximo de impurezas. Se debe utilizar agua suavizada para la preparación de la salmuera como modo de mantener al mínimo el arrastre de endurecedores.

Medidas de Control:

- Recirculación del agua durante los períodos largos de uso de agua.
- Desinfección periódica de la resina y sistema de preparación de la salmuera.
- Uso de equipos de control microbiológico (luz ultravioleta, cloro).
- Frecuencia apropiada de la regeneración.
- Monitoreo de la dureza.

### **1.8 Membranas para tratamiento de aguas.**

Filtración por membranas:

Un procedimiento para aislar un producto soluble en agua, deseado, de un caldo de fermentación, en el que el caldo se filtra por flujo transversal sobre una membrana cerámica, por el que se aplica una primera presión transmembrana inicial y con posterioridad una segunda presión transmembrana, por el que se aplica la segunda presión transmembrana de al menos 0,1 5 mPa, y por el que la primera presión transmembrana es menor que la segunda presión transmembrana, después de lo cual una disolución acuosa que contiene el producto soluble en agua, atraviesa la membrana, y se recoge con posterioridad.



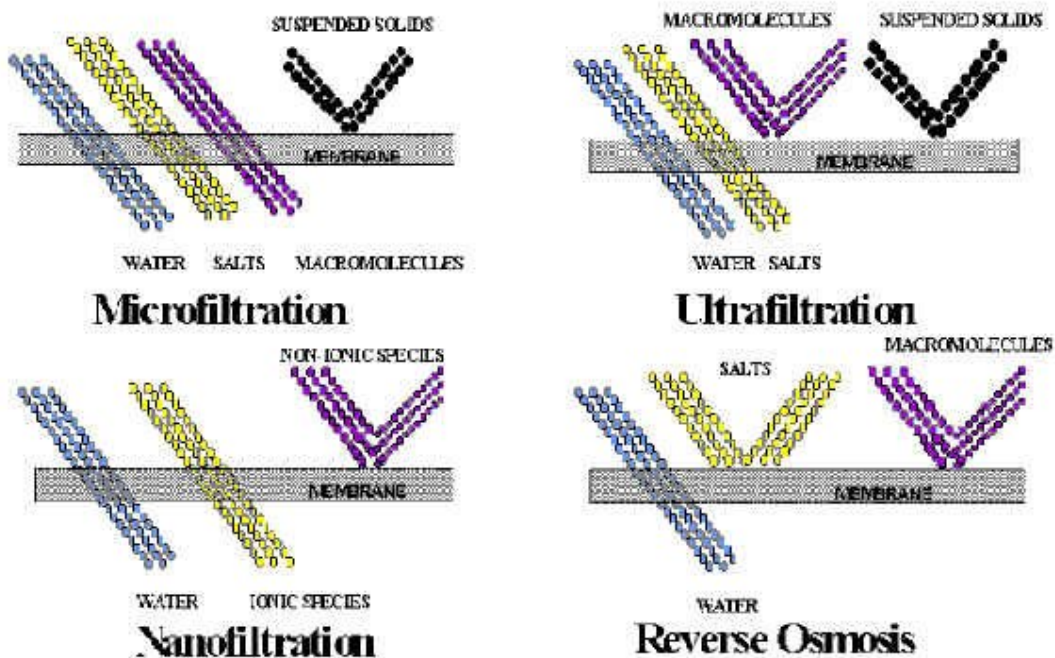
**Figura 1.1 Tipos de membranas.**

**Fuente:** <http://www.acsmedioambiente.com/equipos/ultrafiltración.htm>

Las membranas de Osmosis Inversa (RO), Ultrafiltración (UF), Nanofiltración (NF) y Microfiltración (MF), ofrecen muchas ventajas contra tratamientos de agua convencionales: Tecnología de primer nivel, "Tratamiento Limpio" ya que casi hace desaparecer el uso de químicos en la operación, reduce importantes costos de operación y disposición, sistemas automatizados, mediciones más controladas y confiables, espacios reducidos, flujos y calidades constantes y muchos otros fácilmente verificables. Ya sea en reemplazo de membranas o con un sistema nuevo su empresa conocerá las ventajas de las nuevas tecnologías en tratamientos de agua. Existen para todo tipo de aplicaciones: agua residual, para proceso, pura, ultrapura, potable, sanitaria, biológica, municipal y para todos los flujos.

<http://www.acsmedioambiente.com/equipos/ultrafiltración.htm>





**Figura 1.2 Operaciones de filtración por membranas.**

Aunque las técnicas convencionales mecánicas dominan las separaciones líquido sólido, la filtración por membranas está ganando aceptación en un gran número de aplicaciones. La tecnología ha sido aplicada en campos desde biotecnología y electrónica hasta en procesos de comida y papel. Por ejemplo en el pulido del efluente de fotoacabado, conteo de microbios, intermediarios farmacéuticos, recuperación de ácidos carboxílicos, y clarificación de aldehídos metálicos.

Paradójicamente la filtración por membrana ha encontrado su uso más amplio en las aplicaciones más demandantes, procesos como desalinización, que requiere el poro de membrana más pequeño y la mayor diferencial de presión. En los últimos 20 años, se ha visto un incremento constante en el uso de membranas. Esto logra que hacer más eficiente a la tecnología y al cubrir mayores demandas, los precios tienden a la baja.

Esta aceptación se debe a un número de factores. Primero a diferencia de los sistemas mecánicos de separación como la centrifugación, mallas o filtración tradicional. Las membranas pueden trabajar en continuo, ahorrar energía, son

fácilmente escalables y combinables con otros procesos. Además las unidades trabajan en condiciones medias de proceso sin aditivos, mientras que sus propiedades pueden acercarse a las especificaciones de los usuarios finales.

Las membranas para tratamiento de agua, pueden trabajar en continuo, ahorrar energía, son fácilmente escalables y combinables con otros procesos. Además las unidades trabajan en condiciones medias de proceso sin aditivos, mientras que sus propiedades pueden acercarse a las especificaciones de los usuarios finales.

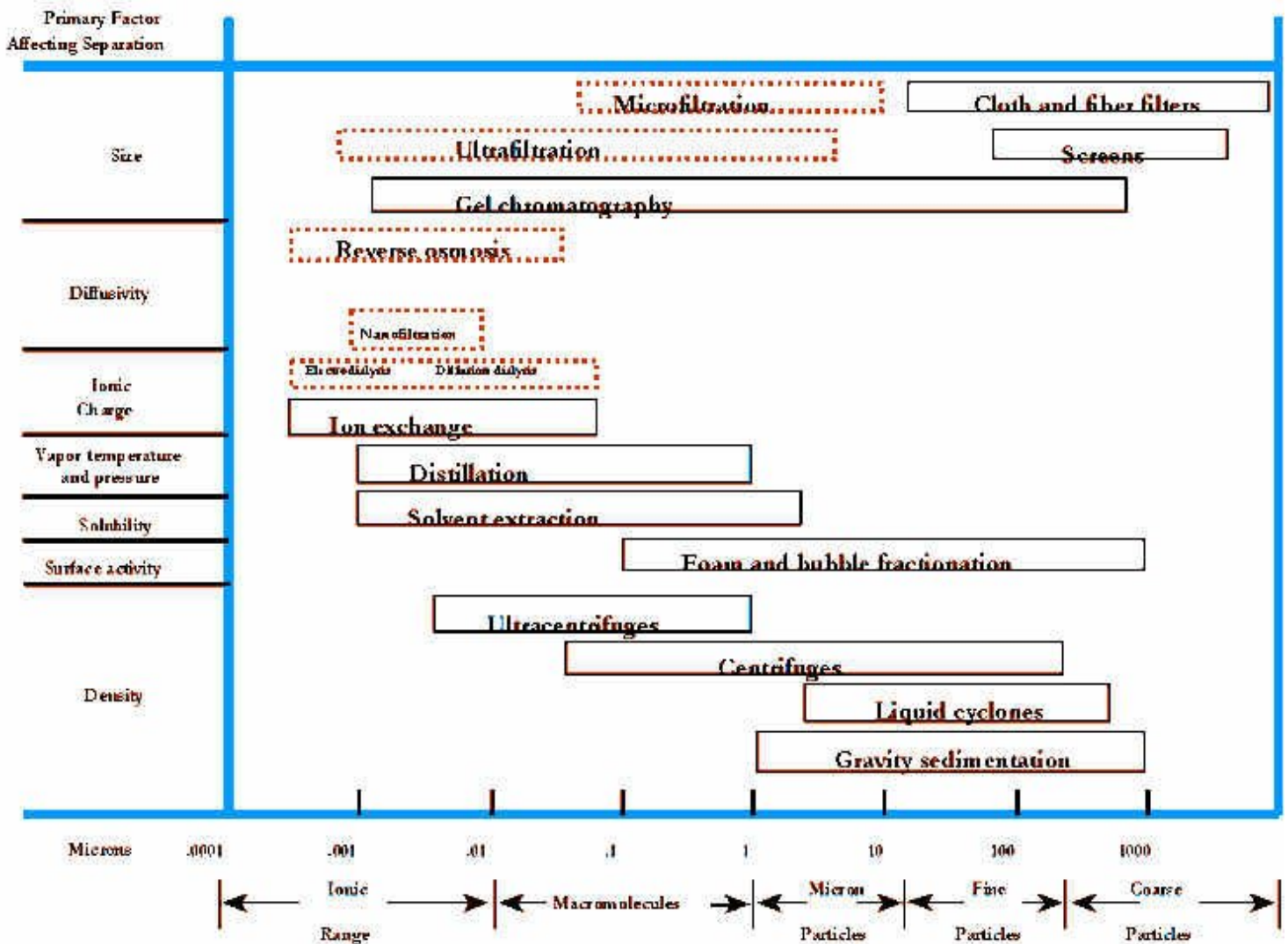
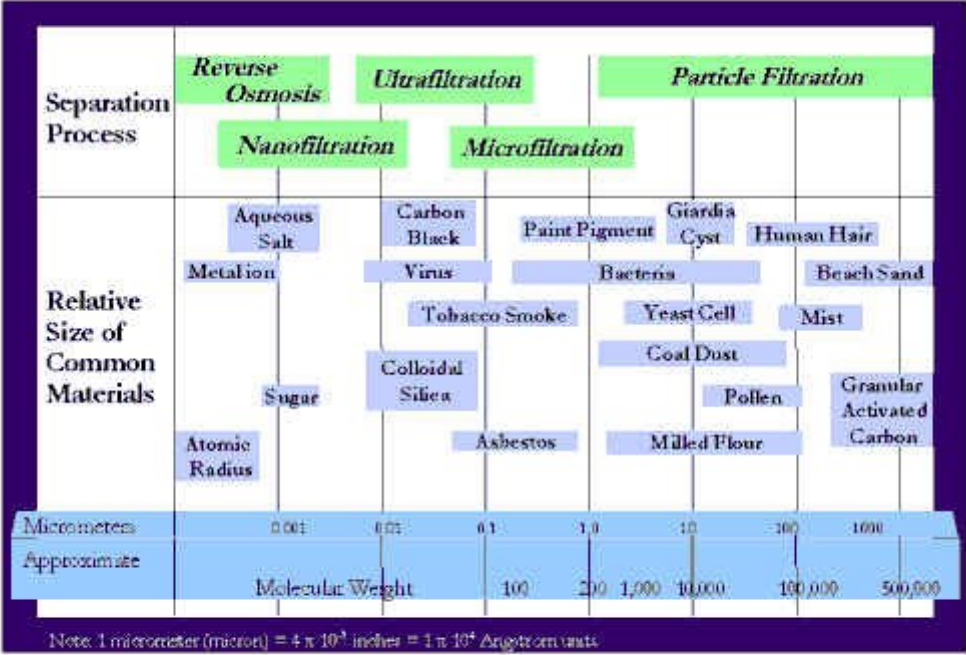


Figura 1.3 Esquema de etapas de filtración por membrana.

La filtración por membranas demostró un gran potencial en lo que se conoce como descarga cero y al ir minimizando el desperdicio en compañías de industrias muy diversas.

Sin embargo, estos elementos todavía no son perfectos, existen deficiencias inherentes por ejemplo, en la microfiltración cuando se intenta filtrar partículas de (0.10 - 10) micras de diámetro y en la ultrafiltración donde los intervalos de diámetros van de (0.01 - 0.1) micras, en estos casos las partículas de mayor masa molecular tienden a bloquear la superficie de la membrana, causando contaminación de los materiales de soporte y disminuyendo la eficiencia. En estas circunstancias será necesario un prefiltro.

Cuando las partículas de menos de 0.01 micra de diámetro requieren ser retenidas, se puede aumentar la presión de la unidad de filtración para aumentar la retención, o el *flux*. Sin embargo cuando las partículas son mayores de 0.01 micras, el aumentar la presión causa que la calidad de salida disminuya.



## **Figura 1.4 Representación de separaciones por membrana de partículas pequeñas.**

Estas membranas están siendo incorporadas al tratamiento de agua cada vez más frecuentemente, ya que no requieren de químicos para los diferentes tratamientos. Además cada vez son más resistentes y más adaptables a cada aplicación

Las membranas son capas de hojas muy delgadas microporosas sujetas a una estructura de soporte más gruesas y porosa, generalmente hechas de polipropileno, poliéster o hasta de politetrafluoretileno. A diferencia del papel o la tela, el material de las membranas que varía desde acetato de celulosa o cerámicos y otros polímeros como polisulfonatos, polivinildieno, funcionan como filtros asimétricos. En general, la resistencia al flujo y la caída de presión depende del lado de la membrana que dé al flujo de proceso.

En la filtración por membrana, las capas, superiores son las que tienen contacto directo con el agua o fluido a tratar, y la estructura de soporte tiene poros que generalmente se hacen más grandes al irse alejando de la superficie.

Al aplicar diferencias de presión moderadas se provoca que la membrana actúe como una malla. El tamaño físico de las moléculas de soluto o partículas determina si se permean o se quedan en el lado de la superficie como concentrado.

Dependiendo de la composición de la membrana y el tamaño de poro de su capa delgada, los procesos pueden diseñarse para separar moléculas o partículas de tamaños cada vez más pequeños, a un punto donde en esencia todos los sólidos disueltos y suspendido sean rechazados.

Otro modo de entender cómo funciona una separación por membranas es relacionar los intervalos de separación con el tipo de material retenido. Por ejemplo la filtración convencional captura partículas suspendidas solo mayores de (1-10) micras. La microfiltración por membrana rechaza partículas 10 veces debajo de un micrómetro. La ultrafiltración rechaza macromoléculas como las proteínas; la nanofiltración rechaza sales divalentes, azúcares y ácidos disociados; la ósmosis inversa rechaza sales monovalentes y ácidos no disociados.



**Figuras 1.5 Ejemplo de tipos de membranas.**



**Figura 1.6 Ejemplo de tipos de membranas.**

En general se pueden decir que los procesos de membranas usan una barrera permeable para filtrar componentes seleccionados de mezclas. Los sistemas de procesamiento con membranas pueden disminuir los costos de energía, eliminar emisiones y mejorar la calidad del producto en alguna aplicación.

Al irse entendiendo mejor el uso de separación por membranas, habrá mayores aplicaciones que quieran mayores *fluxes*. Se define el *flux* como el volumen de permeado por unidad de área y tiempo.

El *flux* varía de acuerdo al intervalo de separación de la membrana, y el modo en que varía es diferente en cada intervalo.

La relación lineal entre el *flux* y la presión con la ósmosis inversa se hace más problemática en el intervalo de microfiltración. A presiones mayores de 0.1 mPa el *flux* decrece. Para mantener los *fluxes* cuando se usa una membrana en el intervalo de microfiltración es esencial prevenir incrustaciones de los rechazos en la superficie de la membrana o dentro del soporte de la membrana. Esta acumulación de material aumenta la resistencia al flujo de permeado.

Las membranas de filtración original se hacían de acetato de celulosa. Sin embargo el material no soporta niveles de pH que salgan de 2 a 9 y en temperaturas arriba de 35°C. Además las membranas de acetato de celulosa tienen una resistencia química limitada.

Para resolver estas limitantes se han desarrollado cerámicos y membranas poliméricas, incluyendo polisulfonatos fluoruro de polivildieno y poliacrilonitrilos. Comparadas con las de acetato de celulosa, las membranas de polisulfonatos están hechas para desempeño en un intervalo de pH entre 1 a 14, a una temperatura máxima de 110°C, con buena resistencia química.

Los cerámicos se usan en sistemas tubulares, generalmente en aplicaciones donde se necesita resistencia a pH extremos y niveles de temperatura extremos.

Muchos de estos materiales han sido combinados en estructuras como los metales cerámicos o en estructuras multipoliméricas, donde una membrana delgada de un material, por ejemplo, polisulfonato es añadido a la superficie de un material de soporte diferente como el poliéster.

## Romicon Hollow Fiber Advantages

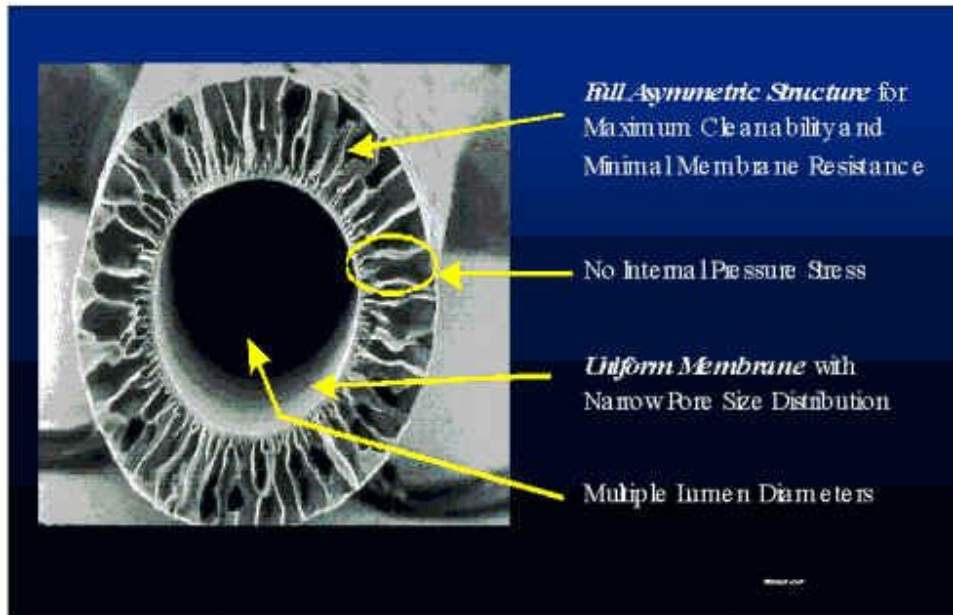


Figura 1.7 Datos de las características de una membrana.



**Figura 1.8 Instalación de filtración por membranas.**

Para determinados casos una filtración con membranas puede suponer la mejor alternativa de tratamiento. Membranas de nanofiltración, microfiltración o ultrafiltración pueden separar infinidad de contaminantes de un efluente acuoso.

La filtración convencional (lenta y rápida) usa material particulado, mientras que la filtración por membranas emplea membranas especiales. La diferencia entre las categorías reside en el tamaño de los poros de la membrana filtrante. En tal sentido, la propiedad desinfectante de estas membranas depende de la capacidad que tengan para retener los microorganismos patógenos debido a que las dimensiones de estos son superiores al tamaño de los poros.

Las membranas para tratamiento de agua, pueden trabajar en continuo, ahorran energía, son fácilmente escalables y combinables con otros procesos. Entre las ventajas del uso de membranas en el tratamiento de agua potable se encuentran: el efecto de barrera absoluta contra los microorganismos, menor requerimiento de cloro para la desinfección secundaria y menor tamaño de la planta. Cada tipo de membrana también tiene sus ventajas específicas.



Existe una gran diversidad industrial en cuanto a sus aplicaciones:

### **Tratamiento de aguas industriales.**

- Tratamiento de emulsiones de aceite en agua. Recuperación de aceites lubricantes (UF).
- Eliminación de sólidos y coloides en aguas de entrada a industrias (MF, UF)
- Eliminación de metales en aguas residuales (UF)
- Obtención de agua ultrapura en la industria de semiconductores (UF)
- Recuperación de pinturas, pigmentos y colorantes (UF)
- Recuperación de disolventes de extracción de aceites (UF)
- Concentración de látex, pectina y agar (UF)
- Tratamiento de efluentes de la industria papelera (UF)

### **Numerosas ventajas**

La aplicación de la filtración por membrana ofrece una amplia gama de ventajas tanto para el consumidor como para el productor.

Por una parte, la tecnología de la filtración constituye un modo eficaz de lograr una calidad y seguridad superiores, sin mermar las características sensoriales fundamentales del producto. Elimina los ingredientes no deseados, como microorganismos o sedimentos, que tienen un efecto negativo en la calidad del producto, mejorando la textura del producto final e incrementando su duración. Por otro lado, puede acortar las etapas de producción y aumentar el rendimiento, permite un elevado grado de selectividad, mejora el control del proceso de producción y sus costes energéticos son reducidos.

El desarrollo de técnicas de filtración y su distribución sigue adelante. Existe un desarrollo continuo de nuevas aplicaciones basadas en esta técnica. Los nuevos métodos, especialmente el desarrollo de membranas mejores y más duraderas, ofrecen nuevas perspectivas. (Thomet, 2003)

## **1.9 Filtración por ósmosis inversa.**

La osmosis inversa es una membrana semipermeable de alta presión, para separar partículas de baja masas molar y sales disueltas en agua, dejando pasar únicamente agua, dejando pasar únicamente agua.

<http://www.acsmedioambiente.com/equipos/ultrafiltracion.htm>

La osmosis inversa es un proceso en el que se fuerza el agua para que entre a presión a través de una membrana semipermeable, eliminando una parte de los componentes disueltos y de las impurezas suspendidas. La calidad del agua obtenida depende, obviamente de la del agua original.

Es preciso seleccionar el módulo de membrana de ósmosis inversa adecuada a las características del agua a tratar y obtener los datos sobre los contaminantes en el agua original, a la presión a la que se vaya a trabajar. Es así mismo necesario establecer la producción total de agua para economizar el máximo en su uso sin comprometer la calidad final de la operación. La elección de las configuraciones de las hendiduras depende del grado de suciedad del agua a tratar con independencia de la configuración utilizada, puede hacerse necesario un pretratamiento para minimizar la contaminación de la membrana por coloide o partículas, así como la introducción de cloro, hierro y otros compuestos oxidantes que pueden degradar las membranas inversas. Es necesario realizar una limpieza periódica de los módulos de membranas. Citado por Díaz de Santos S.A. 1989.

El equipo que caracteriza el proceso de ósmosis inversa es sofisticado, encargado de realizar las funciones mencionadas a muy alta presión. El afluente se conduce a las membranas semi-permeables, para pasar de un estado de alta concentración, a un estado bajo. Libera hasta en un 99.5% el agua tratada de sus contaminantes. Esta membrana solo dejará pasar las moléculas de agua, atrapando incluso las sales disueltas. Durante la operación el agua misma es usada para lavar la membrana, lo que disminuye los gastos de operación. Aunque la mayoría de las veces el equipo de ósmosis inversa es la parte final del sistema de tratamiento de aguas residuales por la fineza de su trabajo, se utiliza en procesos de potabilización, agua para proceso, desalinización y otras. La capacidad es de: 24 a 16000 litros por hora (L/h) o capacidades mayores adaptados a la medida.

<http://www.bogota-dc.com/agua/osmosis-inversa.htm>.)

Una planta de tratamiento de agua nunca satisface en directo la demanda, trabaja constantemente y almacena en caso de que las demandas futuras sean grandes, por esto es que el diseño de la planta de tratamiento de agua nunca debe ser igual a la demanda actual, sino por el contrario se debe preparar para crecimientos futuros programados, ya sea de capacidad instalada mayor y/o modular.

<http://www.acsmedioambiente.com/longevo/junio2.htm>.)

Si el agua no se encuentra muy cargada de materias en suspensión, puede bastar un filtrado como única depuración. Para cantidades pequeñas se fabrican filtros portátiles que pueden transportarse con todos sus accesorios.

Filtros de carbón activado: empleados como material filtrante, elimina olor, sabor y color del agua.

Las plantas de filtración para agua potable, utilizan un tratamiento de agua que se compone de filtro multimedia, filtro de carbón activado, suavizadores, filtración por ósmosis inversa y desinfección.

<http://www.acsmedioambiente.com/longevo/junio2.htm>.)

### **1.10 Conclusiones derivadas del análisis de la bibliografía.**

Después de valorar las fuentes bibliográficas estudiadas en relación con el objeto de investigación, se llegó a las siguientes conclusiones parciales:

- 1 El agua es el compuesto químico más abundante. Se clasifica de acuerdo a su procedencia como: agua de manantial, potable y residual.
- 2 Existen varios tipos de aguas para el consumo industrial que deben poseer una calidad determinada, como también existen tratamientos para lograr una calidad extrema.
- 3 Los tratamientos o métodos más utilizados para el tratamiento de agua son: Intercambio iónico, ósmosis inversa y filtración por membranas.

Por las disponibilidades de acceso a las tecnologías estudiadas se aprecia que la más adecuada para las condiciones del país y de la empresa, es el intercambio iónico que es el método que se empleará para el desarrollo de la investigación.

## **Capítulo 2: Materiales y Métodos.**

La corporación Cuba Ron Ronera Cárdenas S.A, dedicada a la fabricación de rones, se encuentra ubicada en la calle Sáez, municipio Cárdenas, provincia Matanzas. Está compuesta por cuatro unidades empresariales de base( UEB):

- Destilería.
- Ronera.
- Aseguramiento técnico material (ATM).
- Mantenimiento e inversión.

La presente tesis se realiza en la UEB destilería la cual presenta problemas con el suministro y calidad de agua tratada para la generación de vapor por lo que se analiza alternativas de suministro de agua tratada para la generación de vapor a partir de la fuente de suministro de agua cruda ,reutilización de residuales y combinaciones de agua cruda y residual .De acuerdo a los requerimientos de calidad del agua a emplear se hace necesario proponer un esquema tecnológico que satisfaga dichos requerimientos. Se propone el empleo de una planta de tratamiento de agua por el método de intercambio iónico, que permita tratar un flujo de agua cruda, mezclado con el agua residual efluente de la columna rectificadora que responda a las necesidades de la generación de vapor,  $17\text{m}^3/\text{h}$  de agua a tratar.Para ello fue necesario realizar los siguientes cálculos y análisis:

- .-Caracterización de las aguas.
- Análisis estadístico.
- Balance de masa a la salida de la columna rectificadora con el objetivo de conocer el flujo de agua residual.
- Diseño y evaluación de la columna de intercambio iónico, así como el costo de adquisición del equipo.
- Cálculo de la bomba.

Para la determinación de las características del agua en el laboratorio se tomaron muestras cuyos resultados permitirán identificar la situación real.

La caracterización del agua residual, agua cruda, agua tratada y la mezcla que contiene un (60%) de agua cruda y un (40%) de agua residual, juega un papel fundamental, ya que dicha caracterización se realiza con el fin de comparar los parámetros de calidad que posee el agua que se examina, con los parámetros de calidad que realmente requiere el agua para la generación de vapor. El laboratorio de ensayo donde se realizaron estos análisis tiene implantado el sistema de gestión de la calidad y se encuentra acreditado por la NC- ISO/IEC 17025:2006, en él se utilizan los siguientes métodos y materiales para su investigación según el manual (ALASTOR; 2005).

## **2.1 Descripción de los métodos y materiales a utilizar en el desarrollo experimental de la investigación.**

### **Análisis para agua de caldera y aguas crudas.**

#### **Análisis de pH:**

Se realizó por el método potenciómetro con el empleo del peachímetro, marca Metter Toledo y modelo D 650. El electrodo a utilizar es de vidrio.

#### **Conductividad:**

Se utiliza el método potenciométrico con el empleo de un conductímetro BASIC 30. El electrodo que presenta es de  $1.052 \text{ cm}^{-1}$ .

#### **Dureza Total:**

Se realiza por el método volumétrico por complexometría con el empleo de Etilen Diamino Tetra Acético (EDTA).

#### **Alcalinidad a la P:**

(Alcalinidad Parcial)

Se realiza por el método volumétrico por neutralización.

Con utilización de ácido sulfúrico como agente neutralizante.

#### **Alcalinidad a la M:**

(Alcalinidad Total)

Se realiza por el método volumétrico por neutralización.

Con utilización de ácido sulfúrico como agente neutralizante.

### **Determinación de Sulfito ( $\text{SO}_3^{2-}$ ):**

Se realiza por el método volumétrico por Iodometría.

### **Determinación de Cloruro ( $\text{Cl}^-$ ):**

Se realiza por el método de Mohr.

Se utilizan reactivos.

## **2.2 Procesamiento estadístico.**

Para procesar el análisis estadístico de las muestras de agua fue necesario realizarle una prueba de hipótesis a cada parámetro y compararlo con el valor normado, para lo cual se empleó el paquete estadístico *Statgraphic* versión S.1. Los resultados se muestran en el capítulo 3

## **2.3 Balance de masa a la salida de la columna rectificadora.**

Con el objetivo de conocer el volumen de agua residual, efluente de la columna rectificadora se realizó un balance de masa para lo cual se utilizaron las ecuaciones que se describen a continuación:

### **Balance de masa general.**

$$\text{SALE} = \text{ENTRA} + \overset{0}{\cancel{\text{GENERA}}} - \overset{0}{\cancel{\text{CONSUME}}} \quad (2.1)$$

$$\text{ENTRA} = \text{SALE} \quad (2.2)$$

$$F_{(A)} + F_{(B)} + F_{(C)} + F_{(D)} = F_{(E)} + F_{(F)} + F_{(G)} + F_{(H)} + F_{(X)} \quad (2.3)$$

### **Flujo por componentes.**

$$F_{(A)} * X_{(A)} + F_{(B)} * X_{(B)} + F_{(C)} * X_{(C)} + F_{(D)} * X_{(D)} = F_{(E)} * X_{(D)} + F_{(F)} * X_{(F)} + F_{(G)} * X_{(G)} + F_{(H)} * X_{(H)} + F_{(X)} \quad (2.4)$$

## **2.4 Diseño y Evaluación de Columnas de intercambio iónico.**

El diseño y la evaluación de las columnas de intercambio iónico se realizan a partir de los datos que ofrece el fabricante. Los parámetros de diseño que se calcularán son:

- Volumen de la resina.
- Altura del lecho.
- Velocidad del flujo.
- Nivel de regeneración.
- Cantidad de regenerante.

A continuación se describen las expresiones utilizadas para el cálculo de los parámetros de diseño y evaluación de una columna de intercambio iónico con el empleo de la resina catiónica fuerte KPS:

### **Ecuaciones a utilizar:**

#### **Salinidad:**

$$\text{Salinidad} = 2Dt \quad (\text{ciclo de sodio}) \quad (2.5)$$

#### **Volumen de la resina:**

$$\text{Volumen de la resina} = \text{Salinidad} * \text{Volumen de agua} / \text{Capacidad específica} \quad (2.6)$$

#### **Altura del lecho:**

$$A = \pi * d^2 / 4 \quad (2.7)$$

$$H = \text{Volumen de la resina} / \text{Área}. \quad (2.8)$$

#### **Velocidad del flujo:**

$$V = F/A \quad (2.9)$$

#### **Cantidad de regenerante:**

$$\text{Cantidad de regenerante} = \text{Nivel de regeneración} * \text{Volumen de la resina}. \quad (2.10)$$



### **2.4.1 Cálculo del costo de la unidad intercambiadora.**

Se calcula el costo de adquisición de la unidad intercambiadora diseñada mediante el *software Capcost* (<http://quimec/apps/engineer/capcos.>), con los datos de:

Altura de la columna = 2,5 m (según recomendaciones de fabricante)

Diámetro de la columna = 1,6 m

Presión de operación de la caldera = 0,0375 atmósfera.

Material a utilizar para la fabricación del intercambiador: acero inoxidable.  
Perry,(1999)

Se recomienda la utilización del acero inoxidable por su elevada resistencia a la corrosión, resistencia a altas temperaturas, excelentes propiedades mecánicas así como un bajo costo. [http://www.utp.edu.co/~publio17/ac\\_inox.htm#clasificacion](http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_inox.htm#clasificacion).

### **2.5 Cálculo de la bomba.**

Para determinar el tipo de bomba a utilizar, es necesario calcular la carga de la misma. Par ello se calcularán algunos parámetros tales como:

- Velocidad del fluido.
- Número de Reynolds.
- Pérdidas por fricción totales antes y después de la bomba.

Estos valores serán utilizados posteriormente en el balance de carga.

**- La velocidad del flujo se calcula como:**

$$v = \frac{q}{A} \tag{2.11}$$

$$v = \frac{q}{\frac{\Pi * d^2}{4}} \tag{2.12}$$

$$v = \frac{4q}{\Pi * d^2} \tag{2.13}$$

**El número de Reynolds se calcula como:**

$$R_E = \frac{\rho * v * d}{\mu} \quad (2.14)$$

Los valores de viscosidad y densidad se tomarán de la tabla 5 del apéndice del Rosabal para una temperatura de 30°C.

**Pérdidas por fricción en tuberías antes de la bomba.**

Para calcular estas pérdidas es necesario conocer un factor de fricción (f) que depende del número de Reynolds y de la relación que existe entre la rugosidad (e) y el diámetro de la tubería. Los valores de rugosidad se encuentran en la tabla 9 del apéndice del Rosabal y el valor del factor de fricción se busca en la figura 3.9 (página 89 del Rosabal).

$$h_f = f \frac{l}{d} * \frac{v^2}{2g} \quad (2.15)$$

**Pérdidas por fricción en accesorios antes de la bomba.**

Para conocer este valor es necesario buscar en la tabla 3.1 del Rosabal los coeficientes de resistencia de cada uno de los accesorios (K).

Codo de 45°----- K= 0.35

$$h_f = K \frac{v^2}{2g} \quad (2.16)$$

**Pérdidas por fricción totales antes de la bomba.**

$$h_f = h_{facc} + h_{tub} \quad (2.17)$$

### **Pérdidas por fricción en tuberías después de la bomba.**

$$h_f = f \frac{l}{d} * \frac{v^2}{2g} \quad (2.18)$$

### **Pérdidas por fricción en accesorios después de la bomba.**

Para conocer este valor es necesario buscar en la tabla 3.1 del Rosabal los coeficientes de resistencia de cada uno de los accesorios (K)

Tres codos de 45° ----- K= 0.35

Una válvula de globo 1/2 abierta ---- K= 9.0

$$h_f = K \frac{v^2}{2g} \quad (2.19)$$

### **Pérdidas por fricción totales después de la bomba.**

$$h_f = h_{facc} + h_{tub} \quad (2.20)$$

### **Pérdidas por fricción totales.**

$$hf(total) = hf(antes) + hf(después) \quad (2.21)$$

### **Cálculo de la carga de la bomba.**

$$z_1 + \alpha_1 * \frac{(v_1)^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho * g} + H_b = z_2 + \alpha_2 * \frac{(v_2)^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho * g} + h_f \quad (2.22)$$

En esta ecuación  $z_1=0$  porque es el punto de referencia.

El término  $\frac{\alpha_1 * v_1^2}{2g}$  se considera igual a 0 por existir el efecto piscina en el punto 1.

La presión en el punto 1 es igual a la del punto 2 por estar ambos tanques abiertos a atmósfera.

$\alpha_2 = 1$  por ser régimen turbulento.

Después de todos estos cambios la ecuación quedará de la siguiente forma:

$$H_b = Z_2 + \frac{\alpha_2 * v_2^2}{2g} + h_f(\text{totales}) \quad (2.23)$$

Donde:

$H_b$ : Carga real a la que está sometida la bomba. (m).

V: Velocidad del flujo de agua (m/s).

$\mu$ : Viscosidad

$\rho$ : Densidad del Agua.

d: Diámetro de la tubería.

g: Constante de gravedad. (9,81 m/s<sup>2</sup>).

Z: altura o carga geométrica.(m)

$\alpha$ : Factor de corrección de energía cinética.

$h_f$ : Pérdidas por fricción.

K: coeficiente de resistencia.

f: Coeficiente de fricción. Depende de la rugosidad (e/d) y del número de Reynolds.

**Con los resultados de:**

- carga de la bomba
- flujo a utilizar en el proceso

Se selecciona en el catálogo de Bombas ITUR, el tipo de bomba a utilizar, diámetro del impelente y el NPSH.

Posteriormente a la selección de una bomba se debe tener en cuenta realizar la prueba de cavitación de la misma, para evitar problemas en el proceso tecnológico. La cavitación es un fenómeno que ocurre cuando la presión de entrada del líquido a la bomba, es menor que la presión de vapor del mismo. Esta prueba se basa en la comparación de los NPSH (carga neta de succión positiva) de la bomba y del sistema.

Si el NPSH del sistema es mayor que el NPSH de la bomba se puede decir que la bomba no cavita, si ocurre lo contrario entonces la bomba cavita.

El NPSH del sistema se calcula por la siguiente ecuación:

$$NPSH(sistema) = \frac{p_e - p_v}{\rho * g} \quad (2.24)$$

Donde:

Pe----- presión de entrada del líquido

Pv----- presión de vapor del líquido

Para conocer la presión de entrada del líquido a la bomba se realiza un balance de carga antes de la bomba:

Balance de carga antes de la bomba.

Para realizar este balance de carga se utiliza la ecuación de Bernoulli. En la misma  $H_b$  es la carga de la bomba y  $z_1$  es el nivel de referencia de la altura. Como en el balance de carga antes de la bomba el término  $H_b$  no existe, entonces este término se hará 0,

al igual que  $z_1$  por ser el nivel de referencia. También se debe tener en cuenta que el

término  $\frac{(v_1)^2}{2g}$  es igual a 0 por efecto piscina. Ver figura 2(anexos).

$$z_1 + \alpha_1 * \frac{(v_1)^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho * g} + H_b = z_2 + \alpha_2 * \frac{(v_2)^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho * g} + h_f \quad (2.25)$$

**Despejando la presión de entrada (  $p_2$  )**

$$p_2 = \rho * g * \frac{p_1}{\rho * g} - \frac{\alpha_2 (v_2)^2}{2g} - h_f - z_2 \quad (2.26)$$

Donde:

$P_1$ : Presión

V: Velocidad del flujo de agua

$\alpha$ : Factor de corrección de energía cinética.

$\rho$ : Densidad del Agua.

g: Constante de gravedad.

$Z_2$ : Altura final.

$h_f$ : Pérdidas por fricción

Con el resultado de la presión de entrada de la bomba se sustituye en la ecuación (2.24) y se obtiene como resultado el NPSH del sistema.

**2.5.1** Se calcula el costo de adquisición de la bomba seleccionada mediante el *software Capcost* (<http://quimec/apps/engineer/capcos.>), con los datos de:

-Potencia de la bomba, calculada mediante la ecuación:

$$P = \rho \cdot q \cdot H \cdot g \quad (2.27)$$

-Presión de succión

-Número de repuesto

Material de construcción.

**Los resultados de estos cálculos se reportan en el capítulo 3.**

## **Capítulo 3. Análisis de resultados.**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a través de todas las descripciones metodológicas expuestas en el Capítulo 2. La caracterización de las aguas, se les dio explicación a cada uno de sus ensayos correspondientes en el acápite 2.1. El análisis estadístico realizado, muestra su procedimiento en el acápite 2.2. La metodología empleada para determinar el flujo del residual efluente de la columna rectificadora se describe en el acápite 2.3. La metodología del diseño de la unidad intercambiadora iónica, se describe en el acápite 2.4. La metodología para el cálculo de la bomba en el acápite 2.5.

### **3.1 Resultados de la caracterización de las aguas.**

La caracterización de las aguas a utilizar en el proceso arroja los siguientes resultados en la tabla 3.1.



**Tabla 3.1 Caracterización de las muestras de estudio.**

Análisis	Agua cruda			Agua tratada			Agua de residual		
	Muestras			Muestras			Muestras		
	1-C	2-C	3-C	1-T	2-T	3-T	1-R	2-R	3-R
pH	7,30	7,10	7,20	7,80	7,50	7,60	10,70	10,80	10,60
Conductividad	816,00	811,00	898,0	845,0	920,0	882,0	1075,0	1126,0	1265,0
Alcalinidad parcial	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	171,80	151,40	175,30
Alcalinidad total	271,10	244,00	232,1	264,2	242,0	253,1	310,80	290,90	314,80
CL <sup>-</sup>	94,00	76,00	80,00	84,00	96,00	93,00	110,00	104,00	120,00
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,00	0,25	7,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	3,20	2,60	1,00	2,30	2,20	2,30	4,80	6,00	2,00
Dureza total	6,18	5,80	6,00	0,29	0,43	0,36	11,20	0,00	0,00

**Fuente: Elaboración propia.**

Conductividad=  $\mu\text{S/cm}$ . (microsiemes por centímetro)

Alcalinidad=mg/L

Cloruro=mg/L

Sulfito=mg/L

Fosfato=mg/L

Dureza total= mg/L

**Tabla 3.2 Caracterización de la mezcla de agua.**

Análisis	Mezcla de agua [Cruda (60%) – Residual (40%)]		
	Muestras		
	1-M	2-M	3-M
pH	8,20	7,90	8,10
Conductividad	785,00	770,00	776,00
Alcalinidad parcial	0,00	0,00	0,00
Alcalinidad total	181,30	134,40	157,90
CL <sup>-</sup>	92,00	94,00	93,00
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,00	0,25	0,22
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	4,80	1,40	2,90
Dureza total	0,11	0,15	0,12

**Fuente: Elaboración propia.**

### **3.2 Resultados del análisis estadístico.**

#### **Prueba de Hipótesis para pH**

Norma: 9 – 10.5

Prueba t-student.

Hipótesis nula: media sea  $\geq 10.5$

Hipótesis alternativa: media  $< 10.5$

Estadígrafo t computacional = -27.5914

P-Value = 0.000655492

Rechazar la hipótesis nula, para un  $\alpha = 0.05$

Hipótesis nula: media  $\leq 9.0$

Hipótesis alternativa: media  $> 9.0$

Computed t statistic = -10.583

P-Value = 0.995595

Aceptar la hipótesis nula, para un  $\alpha = 0.05$

La mezcla en cuanto al pH no cumple con la norma establecida (9 – 10.5) para un 95 % de confianza, pues la misma se encuentra por debajo de 10.5, pero no es mayor que 9, lo cual demuestra que esta mezcla debe ser tratada para su posterior uso.

#### **Prueba de Hipótesis para dureza total.**

Prueba t-student

Hipótesis nula: media  $\geq 10.0$

Hipótesis alternativa: media  $< 10.0$

Computed t statistic = -821.511

P-Value = 7.4087E-7

Rechazar la hipótesis nula, para un  $\alpha = 0.05$ .

En cuanto a la dureza total la mezcla si cumple con la norma, pues el p-value es menor que 0.05, rechazando la nula y aceptando la alternativa para un 95 % de confianza.

### **Prueba de Hipótesis para alcalinidad total.**

t-test

Hipótesis nula:  $\text{media} \leq 20.0$

Hipótesis alternativa:  $\text{media} > 20$

*Computed t statistic* = 10.183

P-Value = 0.00475323

Rechazar la hipótesis nula para un  $\alpha = 0.05$ .

t-test

Hipótesis nula:  $\text{media} \geq 60.0$

Hipótesis alternativa:  $\text{media} < 60.0$

*Computed t statistic* = 7.22857

P-Value = 0.990697

No rechazar la hipótesis nula para un  $\alpha = 0.05$ .

En cuanto a la alcalinidad total la mezcla no cumple con la norma, pues es mayor que 20, pero no menor 60, para un 95 % de confianza, demostrando nuevamente la necesidad de ser tratada.

### **Prueba de Hipótesis para alcalinidad total.**

t-test

Hipótesis nula:  $\text{media} \leq 20.0$

Hipótesis alternativa:  $\text{media} > 20$

*Computed t statistic* = 10.183

P-Value = 0.00475323

Rechazar la hipótesis nula para un  $\alpha = 0.05$ .

t-test

Hipótesis nula: media  $\geq 60.0$

Hipótesis alternativa: media  $< 60.0$

*Computed t statistic = 7.22857*

P-Value = 0.990697

No rechazar la hipótesis nula para un  $\alpha = 0.05$ .

En cuanto a la alcalinidad total la mezcla no cumple con la norma, pues es mayor que 20, pero no menor 60, para un 95.5 de confianza, demostrando nuevamente la necesidad de ser tratada.

Como se aprecia los resultados del análisis estadístico corrobora la necesidad de tratar el agua para cumplir con los parámetros establecidos por lo que se propone diseñar una planta de tratamiento .

### **3.3 Resultados del balance de masa en la columna rectificadora:**

Datos:

#### Entra

Mezcla de agua - alcohol (Flema)=50L/min.=93% de alcohol en volumen (A)

Vapor (desflemadora)=40L/min. Porcentaje de alcohol en volumen (B)

Flujo de entrada a la desflemadora=6L/min.5% de alcohol en volumen (C)

Vapor (rectificadora) entra a la desflemadora=73,3L/min. (D)

#### Sale

Alcohol A que sale de la rectificadora=45 L/min 96% de alcohol en volumen (E)

Extracción de los Laterales (dos columnas)=4L/min 10% de alcohol en volumen (F).

Cabeza:

-Rectificadora=1,5 L/min 96,3% de alcohol en volumen (G)

-Destilación=4,8L/min 90,0% (H)

Residual=? (X)

Sustituyendo en la ecuación (2.4) se obtiene que el flujo de agua residual es de  $6,73\text{m}^3/\text{h}$

Este resultado atendiendo a que el flujo de agua a utilizar en el proceso es de  $17\text{ m}^3/\text{h}$  refleja que:

$6,73\text{m}^3/\text{h}$  de agua residual equivale a un 40% para la mezcla.

### **3.4 Resultados del diseño de la columna de intercambio.**

Como se concluyó en el capítulo 1 de los diferentes métodos de tratamiento que existen se selecciona el de intercambio iónico por ser el de mayores posibilidades de aplicación en las condiciones actuales, a continuación se presenta el cálculo de del diseño de esta columna y la propuesta del diagrama de flujo se muestra en la figura 1 (anexos).

El diseño de esta columna se realiza para condiciones extremas en que se trabaje solamente con agua cruda y se utiliza como valor de la dureza total  $280\text{ mg.L}^{-1}$  como valor promedio según estudios realizados por el CEMAM sobre las principales fuentes de abasto de la provincia de Matanzas. (Méndez; 2006)

**Se sustituye en la ecuación (2.5) y se obtiene el valor de:**

Salinidad =  $5,60\text{ mmol.dm}^{-3}$

**Se sustituye en la ecuación (2.6) y se obtiene el valor de:**

Volumen de la resina=  $3,29\text{ m}^3$

Se selecciona el diámetro a utilizar según recomendaciones del fabricante y se calcula el área.

Diámetro a utilizar =  $1,6\text{m}$

**Se sustituye en la ecuación (2.7):**

Área =  $2,01\text{m}^2$

**Se sustituye en la ecuación (2.8): y se obtiene el valor de:**

Altura del lecho =  $1,637\text{ m} = 1637\text{ mm}$ .

Por lo que se observa la altura del lecho resultante supera considerablemente los valores establecidos y recomendados por el fabricante (600-800 mm) y ocasionaría ineficiencia en el funcionamiento del intercambiador por lo que se propone trabajar con dos unidades de intercambio iónico en paralelo para que haya un buen funcionamiento y cumpla con los parámetros establecidos, según el flujo máximo a utilizar de  $17 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Resultado del cálculo de la altura del lecho para las dos unidades de intercambio:

Se sustituye en la ecuación (2.8) y se obtiene que:

Altura del lecho =  $8,20 \text{ m} = 820 \text{ mm}$

Como se observa la altura del lecho bajo estas consideraciones es ligeramente superior pero muy próximo al recomendado por lo que se acepta.

**Se sustituye en la ecuación (2.9) y se obtiene el valor de:**

Velocidad del flujo =  $8,26 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$

Esta velocidad del flujo es buena ya que es inferior a  $15 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$  que es la velocidad que da una expansión de 100%.

Por lo demostrado anteriormente se puede decir que la altura de la columna está bien seleccionada.

Nivel de regeneración: Para una salinidad de  $5,60 \text{ mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ , el nivel de regeneración debe ser  $140 \text{ g de Na Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$  Wofatita (según figura 5.4 página 167 Raúl Días Betancourt).

**Se sustituye en la ecuación (2.10) y se obtiene el valor de:**

Cantidad de regenerante =  $231 \text{ kg Na Cl}$ .

Con estos resultados se puede establecer que la unidad intercambiadora será diseñada con una altura cilíndrica de  $2,5 \text{ m}$  que es la recomendada por el fabricante, la altura del lecho de  $0,82 \text{ m}$  que cumple también con las recomendaciones del fabricante por lo que se acepta este valor, con un volumen de resina de  $1,65 \text{ m}^3$ , la velocidad del flujo de  $8,26 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$  es buena ya que la que recomienda el fabricante para una expansión de 100% es de  $15 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ , una cantidad de regenerante de  $231 \text{ kg de Na Cl}$ . Ver tabla 2 (anexos)

### 3.4.1 Resultados del costo de adquisición de la unidad intercambiadora:

Costo de adquisición de la columna intercambiadora = 14732.00 CUC

Costo de adquisición de la resina catiónica fuerte = 331.63 CUC (datos reportados por la Empresa)

Por lo expuesto anteriormente se puede llegar a la conclusión que la unidad intercambiadora está bien seleccionada ya que cumple con los parámetros recomendados por el fabricante y mediante la evaluación económica realizada se demostró que es factible la adquisición de esta unidad para la empresa.

### **3.5 Resultados del cálculo de la bomba.**

#### **Datos:**

$\mu$ : 0.800 cPs

$\rho$ : 995.7 kg/m<sup>3</sup>

Temperatura: 30<sup>0</sup> C

Flujo: 400 m<sup>3</sup>/día = 16.7 m<sup>3</sup>/h

Diámetro de tubería: 3 in = 0.076 m = 76 mm

Rugosidad ( $\epsilon$ ): 0.2

Longitud de tubería: 50.3 m

Se sustituye en la ecuación (2.13) y se obtiene el valor de velocidad del fluido:

$$v = \frac{4 * 16.7}{3.14 * (0.076)^2}$$

$$v = 3690.6 \text{ m} / \text{h}$$

$$v = 1.03 \text{ m} / \text{s}$$

Se sustituye en la ecuación (2.14) y se obtiene el valor del número de Reynolds:

$$Re = \frac{995.7 * 1.03 * 0.076}{0.8 * 10^{-3}}$$

$$Re = 4051005.45$$



Se cumple la condición  $Re > 2300$  por tanto se define régimen turbulento.

Se sustituye en la ecuación (2.15) y se obtiene el valor de las pérdidas por fricción en las tuberías antes de la bomba:

$$h_f = 0.026 * \frac{22.5}{0.076} * \frac{(1.03)^2}{2 * 9.81}$$

$$h_f = 0.41m$$

Se sustituye en la ecuación (2.16): y se obtiene el valor de las pérdidas por fricción en accesorios antes de la bomba.

$$h_f = 0.35 * \frac{(1.03)^2}{2 * 9.81}$$

$$h_f = 0.20m$$

Se sustituye en la ecuación (2.17): y se obtiene las pérdidas por fricción totales antes de la bomba.

$$h_f = 0.4 + 0.41$$

$$h_f = 0.61m$$

Se sustituye en la ecuación (2.18): y se obtiene las pérdidas por fricción en tuberías después de la bomba.

$$h_f = 0.026 * \frac{27.8}{0.076} * \frac{(1.03)^2}{2 * 9.81}$$

$$h_f = 0.51m$$

Se sustituye en la ecuación (2.19): y se obtiene las pérdidas por fricción en accesorios después de la bomba.

$$h_f = (3*0.75) + (1*9.0) * \frac{(1.03)^2}{2*9.81}$$

$$h_f = 0.60m$$

Se sustituye en la ecuación (2.20): y se obtiene las pérdidas por fricción en totales después de la bomba.

$$h_f = 0.6 + 0.51$$

$$h_f = 1,11m$$

Se sustituye en la ecuación (2.21): y se obtiene las pérdidas por fricción totales

$$h_f(\text{total}) = 0,61 + 1,11$$

$$h_f(\text{total}) = 1,7m$$

Se sustituye en la ecuación (2.23): y se obtiene la carga de la bomba.

$$H_b = 8 + 0,054 + 1,7$$

$$H_b = 9,7m$$

**Con los resultados de:**

- carga de la bomba = 9,7 m

- flujo a utilizar en el proceso = 16.7 m<sup>3</sup>/h

El tipo de bomba a utilizar según el catálogo es una bomba ITUR con 1740 rpm, un diámetro de impelente de 190 mm y el NPSH de 3 m.

Se sustituye en la ecuación (2.26) y se obtiene el resultado de la presión a la entrada de la bomba.

$$p_2 = 995.7 * 9.81 * \frac{101325}{995.7 * 9.81} - \frac{1(1.03)^2}{2 * 9.81} - 0.81 - 8$$

$$p_2 = 101318,64 Pa$$

Donde:

$P_1$ : Presión atmosférica=101325Pa

$V=1.03m/s$  Velocidad del flujo de agua (resultado de la ecuación (2.13))

$\alpha$ : Factor de corrección de energía cinética.

$\rho$ : Densidad del Agua=995.7 kg/m<sup>3</sup>

$g$ : Constante de gravedad=9.81m/s<sup>2</sup>

$Z_2$ : Altura =8m altura que tiene desde el nivel de referencia hasta el punto 2 que es la entrada de la bomba.

$h_f = 0.81m$  Pérdidas por fricción totales antes de la bomba(resultado de la ecuación (2.17))

Con el resultado de la presión de entrada de la bomba se sustituye en la ecuación (2.24) y se obtiene como resultado el NPSH del sistema:

$$NPSH \text{ (sistema)} = \frac{101281 - 42148}{995.7 * 9.81}$$

NPSH (sistema)=9.93 m.

Como se observa el NPSH (sistema)= 9,93 m > NPSH (bomba)= 3m, por tanto se comprueba que la bomba seleccionada es la correcta.

**3.5.1** Se sustituyen en la ecuación (2.27) los valores de:

$$\rho = 995,7 \text{ kg/m}^3$$

$$q = 16.7 \text{ m}^3/h$$

$$H_b = 9,7 \text{ m}$$

$$g = 9.81m/s^2$$

Y se obtiene como resultado la potencia de la bomba:

$$P = 26529 \text{ W. } = 26,5 \text{ Kw}$$

Para un costo de adquisición de la bomba de = 12220 CUC.

### **Conclusiones parciales derivadas del capítulo 3.**

Como se pudo comprobar durante el desarrollo de este capítulo al estudiar la calidad de las posibles fuentes de abasto de agua y reutilización de los residuales de la industria, así como el flujo requerido para el proceso, se logró diseñar el flujo tecnológico para la obtención de agua tratada en dicha entidad.

Se propuso, para la obtención de agua tratada en la empresa Cuba Ron ronera Cárdenas S.A., un esquema tecnológico, a partir de las disponibilidades internas de la industria.

Al caracterizar mediante análisis realizados a la fuente de abasto de agua cruda, agua residual de la columna rectificadora de la destilería y agua tratada suministrada a la empresa, se pudo arribar que es necesario realizarle un tratamiento a dichas aguas para obtener una calidad requerida.

Mediante un balance de masa realizado, a la salida de la columna rectificadora, se obtuvo el flujo de agua residual necesario para su reutilización. Esta variante implica un ahorro económico para la empresa, así como un beneficio ambiental.

Se demostró mediante el cálculo de los parámetros del diseño del equipo que la unidad intercambiadora iónica seleccionada cumple con las recomendaciones del fabricante.

Como propuesta, se calculó la carga de la bomba a utilizar para el suministro de agua cruda mediante la ecuación de Bernoulli y el costo de la misma demostrando ser adecuada su selección.

## Conclusiones.

Se concluye que el esquema tecnológico a partir de la disponibilidad de la industria integrado por la unidad intercambiadora iónica y la bomba ITUR seleccionada posibilitan garantizar el uso de agua tratada para la entidad por lo que queda validada la hipótesis.

Las características de las posibles fuentes de abasto corroboran que es imprescindible hacer un tratamiento para su posterior uso.

La unidad intercambiadora conformada por una altura de la columna de 2,5 m , altura del lecho de 0,82 m , un volumen de resina de 1,65 m<sup>3</sup> , y una velocidad de flujo de 8,26 m.h<sup>-1</sup>, es factible técnicamente.

La bomba ITUR seleccionada con una carga de 9,7 m y un diámetro de impelente de 190 mm, permite impulsar un flujo de 16.7 m<sup>3</sup>/h , el resultado del NPSH (sistema)= 9,93 m > NPSH (bomba)= 3m comprueba que dicha bomba no cavita, por tanto es adecuada su selección

La unidad de intercambio iónico propuesta tiene un costo de adquisición de 12220 CUC

## **Recomendaciones.**

1 -Se analice los resultados obtenidos de la investigación en la Corporación Cuba Ron Ronera SA de Cárdenas y se dé continuidad para lograr su implantación.

2-Determinar el beneficio ambiental que brinda la propuesta analizada.

## Bibliografía

1. Análisis Químicos, filtros, suavizadores y sistemas de enfriamientos. ALASTOR. Unidad de Tratamiento de Aguas. Mayo, 2005.
2. Ángel, M. (2005). Conceptos Básicos en Agua de Aporte a Calderas.
3. [on line]. [Mayo 2009]. Disponible en: [http://www ffabiano@inea.com.ar](http://www.ffabiano@inea.com.ar).
4. Babor, J. (1978). Química general moderna. El Agua. Habana. Cuba. Ed Pueblo y educación. 322p.
5. Bombas ITUR. Curvas características.
6. Calidad del agua para generadores de vapor[citado el 22 de mayo del 2009]Visitado en <http://www.econext.com.mx/pdf>
7. Equipos de ultrafiltración[citado el 22 de mayo del 2009]Visitado en <http://www.acsmedioambiente.com>
8. Filtración por osmosis inversa. [on line][citado el 25 de febrero del 2005].Visitado en <<http://www.bogota-dc.com/agua/osmosis -inversa.h1>.
9. Herrera y Laria. *Monografía de Intercambio iónico*, 2001
10. Immelblau, D. M. (1997). Basic Principles and calculations Chemical Engineering. Sixth Edition. University of Texas. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
11. Méndez, J. (2006).Calidad sanitaria del agua en principales fuentes de abasto de la ciudad de Matanzas.
12. NC ISO/IEC 17025:2006.Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayos y calibración.
13. Perry, R. (1999) Perry's Chemical Engineers' Handbook.Tabla28.2.general corrosión properties of some metals and alloys. Tomo I.
14. Rosabal, J. (2006).Hidrodinámica y separaciones mecánicas. La Habana. Cuba. Ed Félix Varela. Tomo I. 71p.

15. Santana, D. (2008). Uso de plantas acuáticas en el tratamiento de agua y aguas residuales en la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Tesis en opción al título académico de master en contaminación ambiental. Matanzas. 6p.
16. Software de cálculo económico de equipos disponible en:  
(<http://quimec/apps/engineer/capcos>.)
17. Thomet, A. und Gallmann, P. (2003). Neue Milchprodukte dank Membrantrenntechnik (Hrsg): FAM in: FAM – Info, April 2003, Nr. 453
18. Urbieto, J. Contaminación y purificación del agua. [en línea]. 12 de Febrero de 2005[consulta noviembre 15,2006]. Disponible en:.
19. Usos de los aceros inoxidables[consulta junio,2009]visitado en [http://www.utp.edu.co/~publio17/ac\\_inox.htm#clasificacion](http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_inox.htm#clasificacion)
20. USP-24, *Water for Pharmaceutical Purposes*, 2000.
21. Wes McGowan, *Tratamiento de Agua para el hogar, la agricultura y la industria*, noviembre de 1987. (Manual de Referencia).



**Anexos.**

Figura No 1. Diagrama de flujo de la unidad intercambiadora.

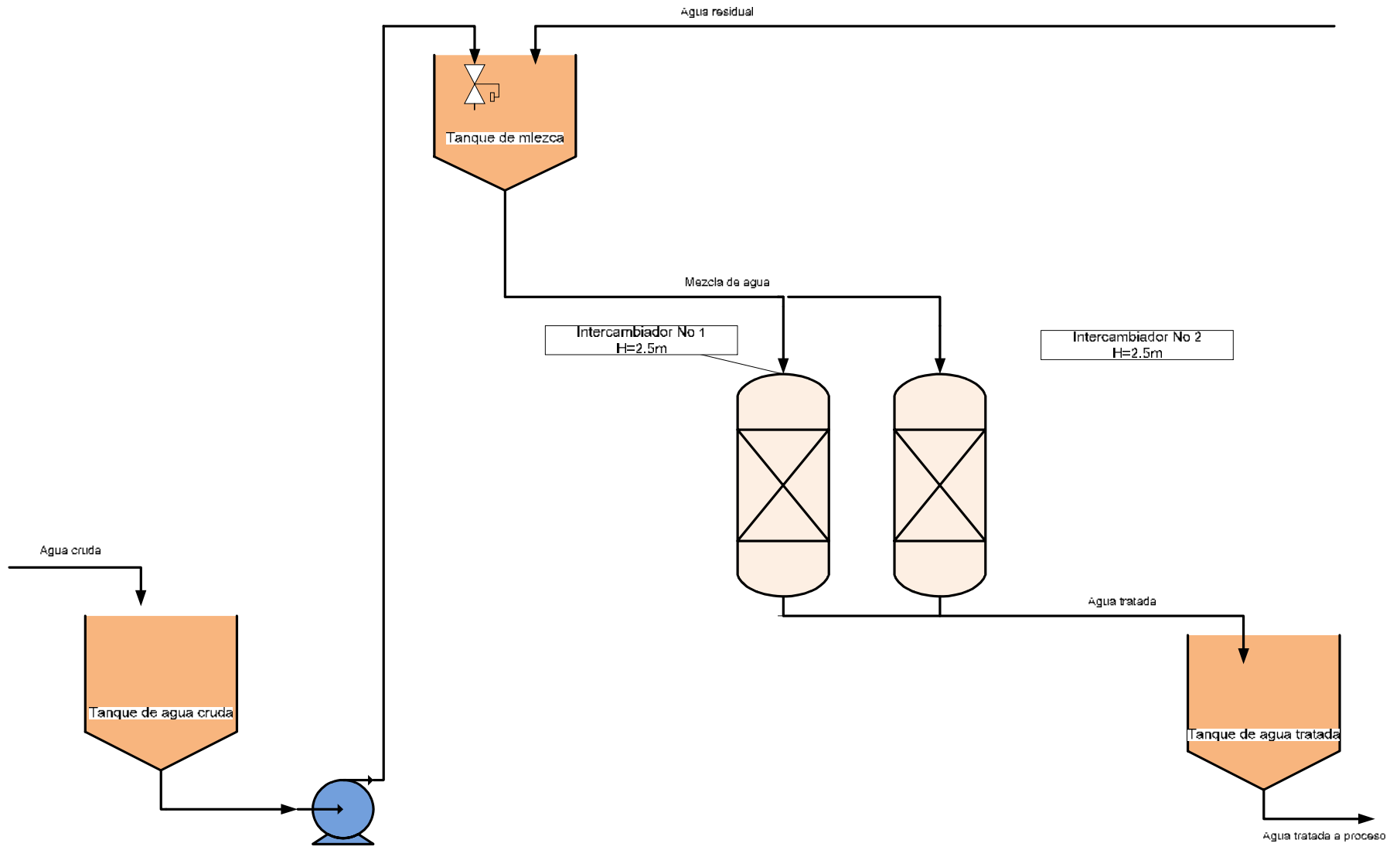


Figura No 2 Diagrama del sistema de bombeo.

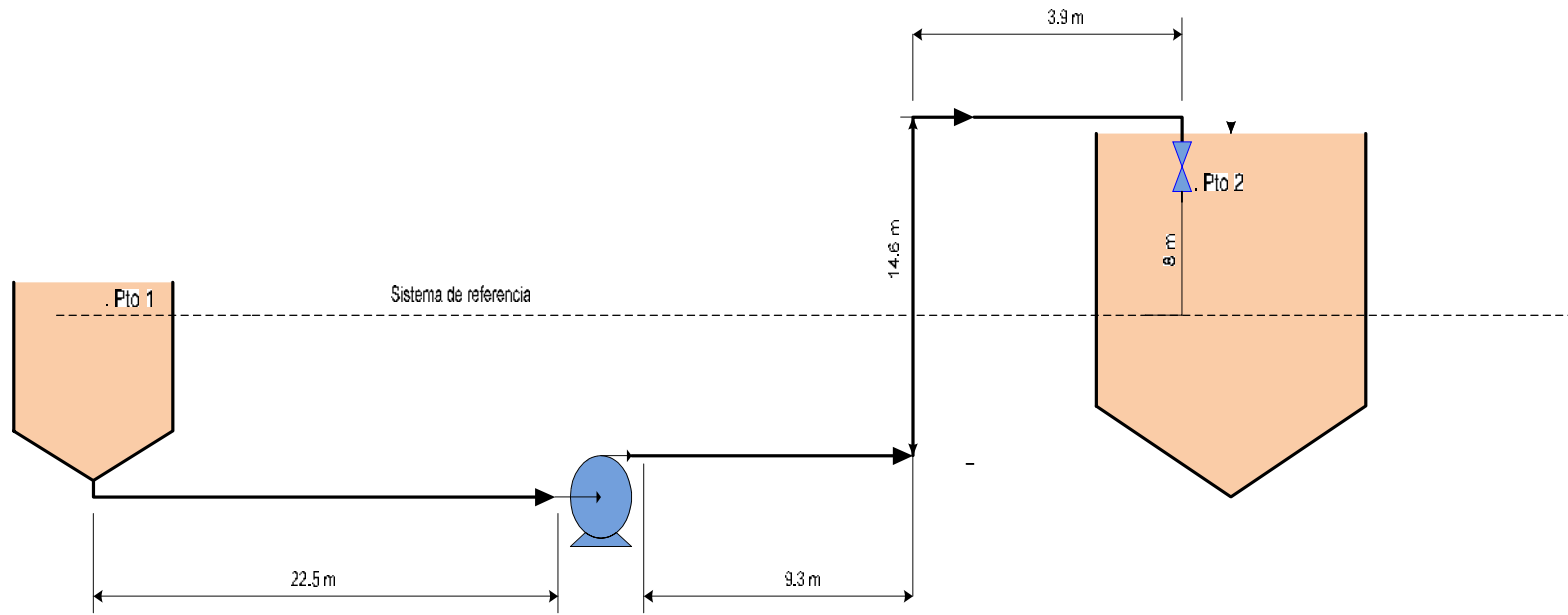
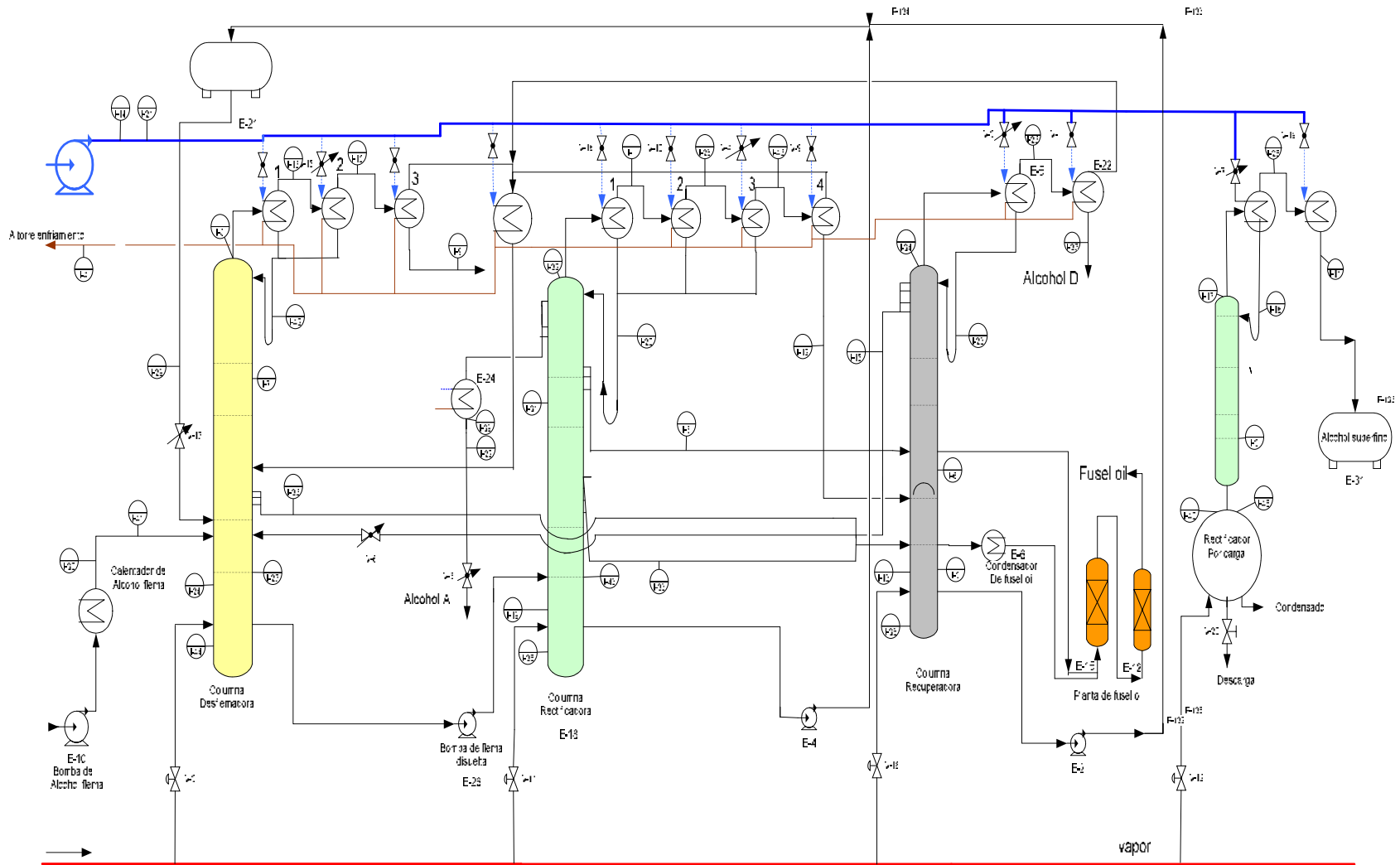


Figura No 3. Diagrama de Flujo general de la destilería.

Esquema tecnologico Destilería ( 23/abril/2008)



Anexos Tabla No 1. Resultados del Costo de adquisición de la columna de intercambio iónico.

The screenshot displays two windows from a software application. The left window, titled "Equipment Options", contains a list of equipment types with radio buttons. "Vessels (Horizontal and Vertical)" is selected. Below the list are buttons for "Add Equipment", "Save", "Print", "Restart", and "Exit w/o Saving". The right window, titled "CAPCOST RESULTS", shows a summary of costs for "Unit 100 - The Columna de intercambio iónico". It lists the Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI) as 444 and provides a breakdown of costs: Total Purchased Equipment Cost (\$18,000), Total Bare Module Cost (CS and 0 barg) of Plant (\$7), Total Bare Module Cost of Plant (\$173,000), Total Module Cost of Plant (\$204,000), and Total Grass Roots Cost of Plant (\$231,000). A section titled "VESSELS" in red text lists details for "Process Vessel, V-101", including material (SS), orientation (Vertical), diameter (1.6 m), height/length (2.5 m), pressure (0.0375 barg), equipment cost (\$18,416), and bare module cost (\$172,738). Navigation buttons "Edit" and "Del" are visible next to the vessel details.

**Equipment Options**

**Equipment**

- Heat Exchangers
- Towers (with Sieve Trays and Packing)
- Vessels (Horizontal and Vertical)
- Pumps (with Electric Drives)
- Compressors, Blowers and Fans
- Compressor and Blower Drives
- Turbines
- Fired Heaters (Reactive and Non-Reactive)
- Evaporators and Vaporizers
- User Added Equipment

Add Equipment

Save Print

Restart Exit w/o Saving

**CAPCOST RESULTS**

Results for Unit 100 - The Columna de intercambio iónico

Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI) = 444

Total Purchased Equipment Cost = \$18.000

Total Bare Module Cost (CS and 0 barg) of Plant = \$7

Total Bare Module Cost of Plant = \$173.000

Total Module Cost of Plant = \$204.000

Total Grass Roots Cost of Plant = \$231.000

**VESSELS**

Edit Process Vessel, V-101

Del Material of Construction = SS

Vessel Orientation = Vertical

Diameter (m) = 1.6

Height/Length (m) = 2.5

Pressure (barg) = 0.0375

Equipment Cost = \$ 18416

Bare Module Cost = \$ 172738

## Anexo Tabla No 2.

Tabla de datos que ofrece la firma Wofatita para dos de las resinas de mayor uso: la Wofatita KPS (catiónica fuerte) y la Wofatita SBW (aniónica fuerte)

Especificaciones	Wofatita KPS (catión fuerte)	Wofatita SBK(anión fuerte)
Densidad aparente(g/l)	800-900	700-800
Velocidad de flujo de agua para expansión de un 100% a T=15 °C(m de agua)	15	6
Perdida de carga referida a una altura de capa de 1m a 25 m/n y 15 °C (m de agua).	Máxima 4	Máxima 4
Hinchamiento (%)	Máximo 10	Máximo 10
Capacidad total de intercambio por unidad de peso (mmol carga /g) por unidad de volumen (mmol de cargas/ml).	2 Mínimo 4,7 Mínimo 1,8	Mínimo 3,5 Mínimo 0,8
Capacidad de intercambio efectiva:		

Intercambio Na/Ca(mol de cargas/L)	Mínima 1,4	
Intercambio H/Ca (mol de cargas/L).	Mínima 1,2	
Intercambio OH/Cl (mol de cargas/L).		Mínima 0,4
Intercambio OH/SO <sub>4</sub> (mol de cargas/L).		Mínima 0,5
Consumo de agua para lavado (volúmenes)	Máxima 4	Máxima 4
Altura de capa(mm)	600-800	600-1500
Espacio libre para la expansión de la capa (%)	65-100	100
Velocidad de flujo de lavado en contracorriente a 5-15 °C con una expansión de capa de 50%(m/h)	7-10	4-5
Consumo de agua para lavado a contracorriente (volúmenes).	Mínimo 2	Mínimo 2
Nivel de regeneración (g NaCl/L)	100-400	-
(g HCl/L)	75-150	-
(g H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /L)	100-250	-
(g NaOH/L)	-	50-120

### Anexos Tabla No 3 Resultado del cálculo del costo de la bomba.

**CAPCOST RESULTS**

Results for Unit 100 - The Bomba Process

Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI) = 444,2

Total Purchased Equipment Cost = \$15.000

Total Bare Module Cost (CS and 0 barg) of Plant = \$51.000

Total Bare Module Cost of Plant = \$83.000

Total Module Cost of Plant = \$98.000

Total Grass Roots Cost of Plant = \$115.000

**PUMPS**

Pump, P-101  
Centrifugal Pump  
Material of Construction = SS  
Power (kW) = 5  
Suction Pressure (barg) = 10  
Number of Spares = 1  
Equipment Cost = \$ 15275  
Bare Module Cost = \$ 82850

**Equipment Options**

**Equipment**

- Heat Exchangers
- Towers (with Sieve Trays and Packing)
- Vessels (Horizontal and Vertical)
- Pumps (with Electric Drives)
- Compressors, Blowers and Fans
- Compressor and Blower Drives
- Turbines
- Fired Heaters (Reactive and Non-Reactive)
- Evaporators and Vaporizers
- User Added Equipment

Add Equipment

Save      Print

Restart      Exit w/o Saving



