



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES**

**"CUAUTITLAN"**

**ANALISIS TECNICO Y ECONOMICO DEL SISTEMA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA DILUCION  
DE CERVEZA EN FRIO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A N**

**JUAN MANUEL MERCHANT PEÑA**

**FRANCISCO HUMBERTO TIRADO RIOS**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	PAG.
Objetivo .....	1
Introducción .....	2
1.0 BREVE DESCRIPCION DEL PROCESO DE LA CERVEZA .....	4
1.1 Materias Primas .....	4
1.1.1 Agua .....	4
1.1.2 Malta .....	5
1.1.3 Adjuntos .....	5
1.1.4 Lúpulo .....	5
1.1.5 Levadura .....	6
1.2 Elaboración .....	6
1.2.1 Sala de cocimientos .....	6
1.2.2 Fermentación .....	13
1.2.3 Reposo .....	15
1.2.4 Gobierno .....	17
1.3 Embotellado .....	17
2.0 DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA EN CERVECERIA .....	22
2.1 Generalidades .....	22
2.2 Fuente de Origen .....	23
2.3 Agua para Elaboración .....	44
2.4 Agua para Servicios .....	58
2.4.1 Agua para Calderas .....	58
2.4.2 Agua para Embotellado .....	88
2.4.3 Agua para Enfriamiento .....	113
2.5 Agua para Proceso de Dilución .....	120
3.0 SELECCION DEL EQUIPO MAS ADECUADO .....	131
3.1 Descripción del Equipo .....	131
4.0 ESTUDIO TECNICO Y ECONOMICO .....	153
4.1 Cálculo de Equipo .....	153
4.2 Inversión .....	185
4.3 Operación y Mantenimiento de Equipo .....	194
Conclusiones .....	222
Apéndice .....	224
Bibliografía .....	229

"ANALISIS TECNICO Y ECONOMICO DEL SISTEMA

DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA

DILUCION DE CERVEZA EN FRIO"

## O B J E T I V O

Análisis Técnico y Económico del Sistema de Tratamiento de Agua para Dilución de Cerveza en Frío, con la finalidad de aumentar la capacidad de elaboración de cerveza y determinar las características de los Tratamientos y Tipos de - - Agua para el proceso cervacero.

## I N T R O D U C C I O N

En un país como el nuestro, que se encuentra en un constante proceso de desarrollo industrial y debido al crecimiento demográfico del mismo, día con día sus industrias tienden a -- aumentar la capacidad de producción para satisfacer las necesidades del mercado y lograr una mejor distribución y aprovechamiento de sus materias primas.

La industria cervecera para la cual se desarrolla este trabajo, no es la excepción y hoy en día tiene la necesidad de -- disminuir su consumo de agua con respecto a la cerveza producida. El objeto de esto es evitar el desperdicio de tan valioso líquido, disminuyendo de esta forma los costos de operación de tan importante materia prima.

Para lograr lo anterior, se deberá recuperar el agua empleada durante el proceso, seleccionando solo aquella que no se encuentre muy contaminada para someterla a tratamientos ligeros y darle un segundo uso.

La planta cervecera tiene además, la necesidad de incrementar su capacidad de producción para satisfacer la demanda de su producto, pero se encuentra con el problema de que ya no cuenta con el espacio requerido en el departamento de elaboración para hacer posible esta ampliación; sin embargo, existe un proceso llamado de Dilución, por medio del cual se puede lograr ese incremento en la producción sin la necesidad -

de grandes espacios y que consista en lo siguiente:

Al contenido normalmente de materias primas que se emplean para elaborar la cerveza se le incrementa un porcentaje de materias primas proporcional a las necesidades de ampliación con lo cual se obtiene un producto primario concentrado, el que a su vez puede ser diluido posteriormente para así lograr el incremento deseado en la producción.

## 1.0 BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA CERVEZA

En este capítulo se dará una descripción del proceso de elaboración de la cerveza con el fin de conocer el equipo -- que se usa en la industria cervecera.

La elaboración de la cerveza es una de los procesos más antiguos creados por el hombre, cuyo uso se generalizó en -- Babilonia y en Egipto, aproximadamente en el año 6000 A.C. - esta bebida está definida de la siguiente manera: "La Cerveza es una bebida fermentada, espumosa y efervescente, elaborada principalmente con agua, malta de cebada, un adjunto, lúpulo y levadura". De estas materias primas se dará una descrip-- ción somera.

### 1.1 MATERIAS PRIMAS

#### 1.1.1 AGUA

El agua para la elaboración de la cerveza debe ser rela<sup>u</sup>tivamente pura, incolora y exenta de materias en suspensión.

Siendo todos los procesos de elaboración de cerveza ex<sup>u</sup>tractivos para separación o solución, la composición química del agua es fundamentalmente importante, ya que de ella depen<sup>u</sup>de el rendimiento, coloración, sabor y por consiguiente el - costo de la futura cerveza.

### 1.1.2 MALTA

Es el principal ingrediente crudo que se usa en el proceso de obtención de la cerveza, que posee los componentes enzimáticos necesarios para la preparación del mosto; varios granos son susceptibles a ser malteados y son los siguientes: El trigo, la avena, el centeno y la cebada, pero la malta de cebada tiene las características necesarias y da un rendimiento más alto en el proceso; estas características son: El contenido de humedad es el apropiado para molerla, tiene un sabor y aroma distinto y lo más importante, el almidón y la diastasa son de fácil extracción en la casa de cocimientos.

### 1.1.3 ADJUNTOS

Los adjuntos se emplean para obtener cervezas claras y para darles sabor más agradable, así como para aumentar la estabilidad especialmente de las cervezas embotelladas; aunque no contienen componentes enzimáticos contribuyen considerablemente en la composición del extracto.

Entre los adjuntos más comunes se pueden mencionar el maíz y el arroz, que pueden prepararse en diferentes formas, siguiendo distintos sistemas, para hacerlos adecuados en la preparación de la cerveza.

### 1.1.4 LUPULO

Es la flor de una planta trepadora de la familia de las urticáceas que imparte a las cervezas un sabor amargo, caracte

terístico en ella y también un aroma fragante, pero además, facilita la clarificación del mosto actuando como coagulante y precipitador de algunas proteínas en suspensión, debido a que contiene taninos y sirve por último como medio filtrante en los filtros o separadores de lúpulo.

#### 1.1.5 LEVADURA

La levadura es una sustancia que es agregada en la fermentación, fenómeno químico fisiológico que tiene por objeto modificar la condición química de las materias susceptibles de transformación por acción de la levadura convirtiéndolas en alcohol etílico y gas carbónico.

Una vez descrita las materias primas que se utilizan en la fabricación de la cerveza se tratará de describir el proceso para lo cual se adjunta el diagrama de flujo representado en el Figura No. 1.

### 1.2 ELABORACION

#### 1.2.1 SALA DE COCIMIENTOS

La función de la sala de cocimientos es preparar y extraer las sustancias que toman parte en la elaboración de la cerveza. El producto final que sale de esta sala es el mosto caliente.

El edificio donde se encuentra el Departamento de Cocimientos es de varios pisos, en los cuales se encuentra distribuido el equipo necesario, con el fin de aprovechar que el

flujo de materiales sea por gravedad, las fases principales - de la sala de cocimientos son las siguientes:

La malta llega procedente de los silos, a las tolvas de recibo, las cuales están instaladas sobre unas básculas automáticas - que tienen un control de corte de alimentación que opera cuando se completa la cantidad necesaria para un cocimiento. De las tolvas de recibo de grano entero, esta pasa a las limpiadoras donde es retirada la cascarilla, materias extrañas y -- polvo que son indeseables y que pueden influir en el producto u ocasionar daños en el equipo. A la salida de las limpiadoras se encuentran instaladas unas barras magnetizadas, que tienen como función retener piezas metálicas que pudieran ser -- arrestradas por el grano y llegar a los rodillos de los molinos, ocasionando graves daños, la limpiadora de cereales tiene un juego de cribas oscilantes que están dispuestas una sobre - otra. La criba sirve para separar los materiales mas grandes que la malta, ya que las perforaciones, tienen un tamaño que permite pasar malta unicamente, la criba inferior separa las cribaduras finas, tiene perforaciones mas pequeñas que el tamaño de la malta, además está equipada con un sistema de limpie za.

En el extremo de esta criba el cereal cae en un canal de aire que es atravesado con una corriente de aire que separa - las impurezas ligeras como son cascarilla y polvo. De la lim piadora el grano es alimentado por gravedad a los molinos, -- donde es triturado para facilitar la extracción del almidón y

diastasa en el macerador. Los molinos generalmente están - - constituidos por un armazón de hierro fundido que soporta las chumaceras de los rodillos que están dispuestos en tres pares, con el objeto de moler en tres etapas, bajo cada juego de rodillos se encuentra una criba oscilante que separa del grano triturado las partes que no requieren mayor reducción. En la parte inferior se localiza la boca, por donde sale tanto el - grano triturado como la cascarilla, la cual ya no es separada pues será utilizada como medio filtrante del mosto en los filtros, antes de entrar a la olla de cocimientos; de los molinos de grano es descargado en tolvas montadas en básculas para su pesado final.

#### MOLIDO Y PESADOS DE ADJUNTOS

Los adjuntos usados son arroz y harina de maíz. El - - arroz recorre un camino paralelo al de la malta ya que es limpiado y molido respectivamente en cribas oscilantes y en molinos similares, pero sin las cribas intermedias.

El arroz molido se descarga en tolvas montadas sobre básculas donde es alimentada la malta.

La harina de maíz es preparada en lechada y bombeada directamente al cocedor.

Las tolvas tanto de arroz como de malta son recipientes cilíndricos con entradas y salidas cónicas a más de 45° con - el fin de facilitar la descarga. Sirven para almacenar el material necesario para un cocimiento y alimentan respectiva-

mente al macerador y al cocedor de arroz.

Los adjuntos, arroz molido y harina de maíz son sometidos a un proceso térmico que tiene como finalidad obtener el estado gelatinoso óptimo del contenido de almidón y esto se efectúa en los cocedores de arroz, que son recipientes verticales de sección circular fabricados con placa de fierro dulce y cerrados hermeticamente para trabajar bajo presión; tienen una camisa de vapor lateral y otra en el fondo que -- dan el calor necesario a la mezcla de agua, arroz molido, -- harina de maíz y malta.

La malta molido es descargada en el macerador junto con la descarga elaborada de los adjuntos que provienen del cocedor en presencia del agua.

Los maceradores son recipientes verticales de sección circular, con fondo plano y cubiertos con un casquete cónico que tienen instalado una camisa de vapor lateral y otra en el -- fondo.

Están provistos de un agitador energético y de marcha -- regulable, que posee la doble misión de homogenizar la mezcla e impedir la caramelización, además de mantener uniforme la temperatura.

En el macerador se realiza la perfecta solubilización -- del almidón y de las materias proteicas por acción termomecánica; por lo tanto en esta etapa comienza la saccharificación, o sea la conversión del azúcar de malta a maltosa.

Después de efectuarse la conversión de almidones a la --

maltosa, el mosto es trasladado al filtro donde se efectúa la separación del mosto de bagazo. Los filtros están constituidos de manera similar al macerador, ya que son recipientes verticales de sección cilíndrica que tienen un agitador central, pero este tiene dos fuertes brazos radiales de fierro fundido diametralmente opuestos que contienen cuchillas, llamadas aspas revolvedoras, la flecha es accionada por un motor reductor que transmite una marcha regulable.

Tiene además el recipiente un falso fondo ranurado dividido en sectores, cada uno con un tubo y llave de trasiego que llevan al mosto a una pequeña artesa usada para observar la eficiencia de filtración llamada Grant.

Durante la operación de sólidos agotados; estos se asientan en un falso fondo formando una cama filtrante que constantemente es reagada por la acción de las cuchillas. Las aspas no permiten que se formen conjuntos gomosos que dificulten la filtración.

Después de pasar el mosto por el registro Grant, se recibe en las ollas de cocimientos, las cuales son recipientes semi esféricos de cobre que en su interior presentan un serpentín y una caldereta de vapor, a esta última se le asigna el nombre de percolador; la olla queda fija en el piso inferior mediante columnas de sustentación, y en el casquete superior lleva una chimenea central, el objeto del recipiente es permitir la ebullición del mosto.

La ebullición del mosto tiene por objeto: Primero; termi

nar la sacarificación y Segundo; coagular ciertas sustancias albuminoides, pero además la ebullición provoca una evaporación que sirve para concentrar el mosto y aumentar su densidad al punto requerido, la cual se verifica con unos sacarámetros calibrados en grados Belling; con su resultado se conoce la cantidad de materias disueltas en el mosto, las que reciben el nombre de extracto.

Durante la filtración del mosto se introduce el lúpulo a fin de disolver las sustancias que contiene y repartirlos en el licor, los taninos y resinas contribuyen a la conservación de la cerveza y otros como la lupulina y el aceite esencial le dan el amargor y sabor particular característico en la cerveza. El mosto caliente cae al fondo del recipiente en donde es bombeado hacia el tanque de mosto caliente, permaneciendo el tiempo necesario para sedimentar los sólidos arrastrados.

La primera fase del proceso de elaboración se completa cuando el mosto entra en el enfriador. El enfriador actual es el tipo de placas ya que presenta las siguientes ventajas:

- a) El empleo más razonable de la energía, dado que el agua utilizada como medio de enfriamiento en su primera sección, se emplea para el proceso de cocimientos, con lo cual se ahorra refrigerante y vapor.
- b) Se tienen mayores coeficientes de transmisión de calor, para una pérdida de presión similar, debido a la mayor área de contacto por sección de flujo. Por lo tanto, el

espacio ocupado para una misma capacidad de enfriamiento es menor.

- c) Se pueden variar las capacidades simplemente añadiendo o quitando placas.
- d) Al aumentar la turbulencia debido a las secciones corrugadas, se reduce la tendencia incrustante, y en cualquier forma, son más simples de desincrustar.

Básicamente el enfriador de placas es un marco que sostiene varias placas o platos unidos entre sí. Estas placas tienen puertas de acceso y están selladas por empaques a lo largo de los ejes. El sello formado entre placa y placa es doble y tiene bolsas abiertas a la atmósfera para evitar mezclas del producto y del líquido enfriador. Los platos están agrupados en pasos en los que cada fluido se mueve a contracorriente en forma uniforme. La estructura de cada placa está modulada de tal forma que se induzca turbulencia al líquido, para así incrementar la transmisión de calor.

Generalmente las placas se fabrican con acero inoxidable tipo 316, tienen un espesor de 0.036" y al unirse forman una unidad empaçada sólidamente y capaz de resistir altas presiones de operación.

Este tipo de acero inoxidable es susceptible de corroerse en medios que contengan cloro, sobre todo cuando el pH es ácido. No existe sin embargo un contenido crítico de cloro, pero se tiene la afectación de otros factores como temperatura, oxígeno, sales presentes, etc.

Como se mencionó anteriormente, la turbulencia generada en las placas reduce la tendencia incrustante y origina una baja diferencia de temperatura entre los líquidos caliente y frío.

Generalmente se tienen dos secciones, una con agua a temperatura ambiente y otra con agua helada a circuito cerrado. En la primera sección se reduce la temperatura del mosto de ebullición hasta 30°C aproximadamente, y en la segunda sección se termina de enfriar hasta la temperatura ambiente y sale a 55°C aproximadamente. En la segunda sección va de 3°C a 10°C.

El espacio libre entre plato y plato es de 0.15". Se puede considerar que la velocidad promedio en cada plato es de 1 a 3 ft/seg., aunque en las regiones de turbulencia es cuatro veces mayor debido al efecto de las corrugaciones. Debido a estas corrugaciones se tiene flujo turbulento aún cuando el número de Reynolds sea de 400 (en tubería es de 2000), esta turbulencia origina fricciones 10 a 400 veces mayores que las que se tendrían en un tubo con el mismo Reynolds.

Una vez efectuado el enfriamiento del mosto este pasa a los tanques de fermentación abierta en donde se efectúan la inoculación de levadura y aereación correspondiente para iniciar la fermentación.

### 1.2.2 SALA DE FERMENTACION

La sala de fermentación esta formada por un conjunto de

recipientes rectangulares, la mayoría cerrados totalmente y unos cuantos abiertos, para fermentación cerrada y abierta respectivamente.

Esta sala se conserva a una temperatura entre  $6^{\circ}\text{C}$  y  $9^{\circ}\text{C}$  mediante circulación de aire enfriado por medio de serpentines (difusores) y es distribuido por ductos a toda la sala.

Los recipientes están formados en paralelo separados por pasillos estrechos montados al aire con galerías de circulación en la parte inferior por lo cual puede recogerse la levadura por abajo. Los recipientes están contruídos de acero al carbón y están cubiertos interiormente con un barniz protector epóxico.

Si guiendo el proceso de elaboración de cerveza en el trayecto del enfriador de mosto al tanque de fermentación abierta, es colocada la levadura, llegando juntos la levadura y el mosto frío al recipiente donde se lleva a cabo la fermentación, fenómeno químico fisiológico que tiene por objeto modificar la condición química de las materias susceptibles de transformación por acción de la levadura convirtiéndolas en alcohol etílico y gas carbónico; después de 12 a 18 hrs. se efectúa el trasiego desde el tanque de fermentación abierta al tanque de fermentación cerrada en donde se completa la fermentación.

La fermentación es una reacción exotérmica, ya que la transformación de maltosa en alcohol etílico y gas carbónico genera calor, por lo cual los recipientes de fermentación cerra-

da están acondicionados con unos atemperadores que sirven -- para controlar el desarrollo de la fermentación, suministrando la refrigeración necesaria para frenar la reproducción de la levadura.

Los atemperadores consisten generalmente de uno o dos - anillos de tubo de cobre concentricos a las paredes del recipiente, colocados a una altura cercana a las dos terceras partes del nivel más alto del líquido.

De los recipientes de fermentación cerrada se logra recolectar el gas carbónico, el cual esta impuro y debe ser sometido a un tratamiento que permita utilizarlo en las operaciones de saturación, carbonatación y trasiego en substitución del - aire comprimido estéril.

### 1.2.3 SALA DE REPOSO

Estas salas son unos cuartos refrigerados que tienen en su interior recipientes cilíndricos horizontales formados en - - batería, a donde es transferida la cerveza desde los tanques de fermentación, con el objeto de dejarla reposar y de que - las partículas en suspensión se asienten. En general se - - usan también estos recipientes de reposo para efectuar una fermentación secundaria con la finalidad de dar una carbonatación a la cerveza, previa a la final que se efectúa en los fil- - - tros abrillantadores, para lo cual se utiliza el método - - - Krausen que consiste en mezclar la cerveza fermentada, con un porcentaje de cerveza acabada de hervir que esta entrando en

la etapa Krausen de fermentación. Esta fermentación secundaria se efectúa bajo una presión de 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>, por las mismas razones que la fermentación, se genera calor el cual tiene que ser desalojado, por lo cual estas salas deben mantenerse a una temperatura de 0°C a 1°C. Finalmente después de haber reposado en las salas el tiempo indicado por el maestro cervecero y con el objeto de eliminar la turbidez residual, la cerveza es sometida a un proceso de clarificación que es la filtración. Pero antes de efectuar la filtración de la cerveza se deberá diluir, ya que hasta este punto del proceso se tiene aún concentrada. La dilución consiste en mezclar un volumen de agua previamente tratada (desinfectada, carbonatada y enfriada), con la cerveza concentrada proveniente de reposo. Una vez efectuado lo anterior se procederá a carbonatar la mezcla y enfriarla por medio de un intercambiador de calor de tubos y coraza hasta 0°C, hecho esto se procederá a clarificar la cerveza por medio de filtración.

La filtración se realiza en dos tipos de filtros; uno de tierra diatomea y el otro un filtro prensa con placas de asbesto celulosa. Los primeros son unos recipientes cilíndricos verticales u horizontales, que en su interior tienen un juego de hojas de malla en los cuales es retenida la tierra diatomea que forma la cama filtrante encima de las mallas. Durante la operación se dosifica una mezcla de tierra filtrante. Los filtros prensa por lo regular están formados por dos cabezales, uno fijo y el otro móvil, entre los

que se intercalan unas placas de fierro ranurado provistos - de canales laterales para entrada y salida de cerveza.

Los cartones de asbesto celulosa quedan colocados entre las placas anteriores cubriéndolas totalmente y formando la capa filtrante.

La cerveza antes de entrar a los filtros, por lo regular es enviada a un enfriador del tipo de tubos y coraza que le dan una temperatura de  $-1$  a  $2^{\circ}\text{C}$  y después pasa a los filtros por donde sale clarificada y brillante, en este estado es trasegado a los tanques de Gobierno.

#### 1.2.4 SALAS DE GOBIERNO

Estas salas al igual que las de reposo son unos cuartos refrigeradores, con recipientes cilíndricos horizontales formados en batería en los cuales es almacenada la cerveza por 1, 2 o 3 días, la cerveza en esta sala ya esta totalmente preparada para su consumo y ya no se efectúa en ella ningún proceso o cambio en su constitución, faltandole únicamente ser envasada.

#### 1.3 EMBOTELLADO

La cerveza proveniente de la Sala de Gobierno es dividida en dos ramas, a embotellado y embarrilado.

En embarrilado la cerveza es mandada por tuberías de cobre, que llega hasta la máquina llenadora de barriles, que consiste en un recipiente cilíndrico horizontal, sometido a presión, y en el cual están conectadas mangueras que se unen al

dispositivo de llenado con válvulas especiales y un pistón - neumático. Los barriles llenos se pasan a un almacén refrigerado donde la temperatura debe ser de 4°C con el propósito de conservar la cerveza en condiciones favorables.

La cerveza embotellada tiene una aceptación mas amplia - que la embarrilada por su facilidad de manejo y su mayor capacidad de tiempo de almacenaje, la cerveza también es llevada utilizando tuberías de cobre desde las Salas de Gobierno - - hasta el Departamento de embotellado.

La operación del embotellado se lleva a cabo como sigue: La botella llega al Departamento, sucia o nueva en cajas en - donde son sacadas por unas máquinas desempacadoras, esta las descarga en un transportador que las lleva a la lavadora, -- donde se remojan en recipientes con una solución de sosa, se cepilla interiormente y exteriormente y finalmente se enjuaga - con agua limpia, al salir la botella es revisada minuciosamente y en un transportador es llevada a la llenadora , la cual tiene una cantidad de válvulas para este fin, estas válvulas están colocadas circularmente y en la parte superior tiene - un depósito de cerveza sometido a presión.

La cerveza es introducida a la botella e inmediatamente después de salir de la llenadora entra a la máquina coronadora que la tapa utilizando la plastitapa. La botella llena - y tapada pasa a través de transportadores hasta llegar a la máquina pasteurizadora, donde la cerveza por medio de aumento de temperatura se pasteuriza, o sea se debilitan o destruyen.

los microorganismos, como esporas, bacilos, etc. Después del proceso de pasteurización dentro de la máquina se enfría la cerveza hasta una temperatura un poco mayor que la ambiente. Usando el mismo tipo de transporte la botella llega a la máquina etiquetadora donde le es aplicada la etiqueta distintiva, en la máquina empaquetadora la botella que viene de la etiquetadora es colocada dentro de la caja, la cual llega a la máquina encintadora, que la cierra y sella con papel engomado.

Así en esta forma la cerveza sale al mercado, quedando con lo anterior descrito el proceso completo de la elaboración de la cerveza.

#### NOMENCLATURA DEL CUADRO NO. 1

- 1a. Silos de almacenamiento
- 2a. Sistema neumático para alimentar silos
- 3a. Sistema neumático para alimentar cocimientos
- 4a. Separadores ciclónicos
- 5a. Distribuidor de grano a los silos
- 6a. Tolvas de malta (grano entero)
- 7a. Tolvas de arroz (grano entero)
- 8a. Cribador de malta
- 9a. Molino de malta
- 10a. Molino de arroz
- 11a. Tolva de malta molida
- 12a. Tolva de arroz molida
- 13a. Cacedor de cereales

- 14a. Tanques de dilución de grits
- 15a. Macerador
- 16a. Filtro de mosto
- 17a. Tolva de bagazo húmedo
- 18a. Registro Grant
- 19a. Olla de cocción
- 20a. Tanque de mosto caliente
- 21a. Enfriador de mosto
- 22a. Tanque de verificación abierta
- 23a. Marmita de levadura
- 24a. Tanque de fermentación
- 25a. Tanque de reposo
- 26a. Tanque de mezcla
- 27a. Recuperación y purificación de gas ( $C O_2$ )
- 28a. Enfriador de cerveza
- 29a. Filtro de cerveza
- 30a. Carbonatador
- 31a. Tanque de gobierno
- 32a. Llenadora de barril
- 33a. Descorchadora
- 34a. Lavadora de botella
- 35a. Llenadora y coronadora de botella
- 36a. Pasteurizadora
- 37a. Agua de dilución
- 38a. Secadora de levadura

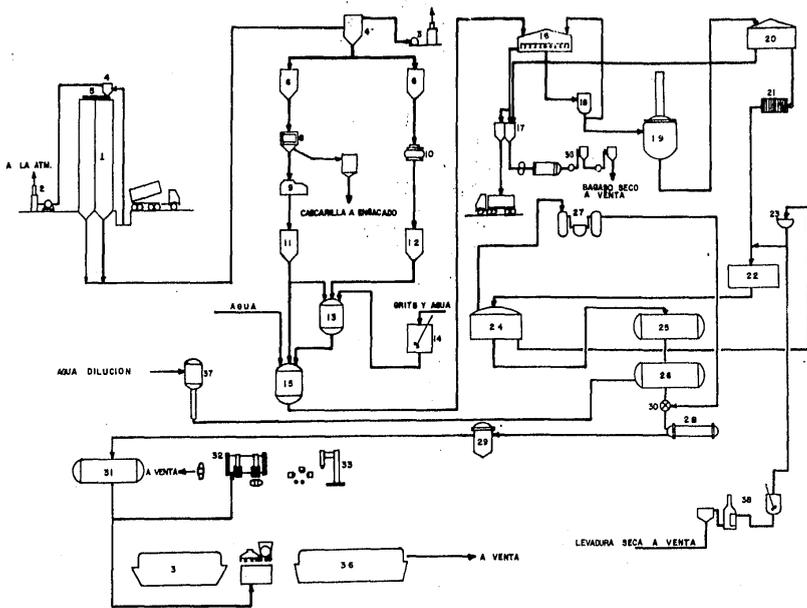


FIG. Nº 1 DIAGRAMA DE FLUJO PARA ELABORACION DE CERVEZA

## 2.0 DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA EN CERVECERIAS.

### 2.1 Generalidades

El agua (su calidad y disponibilidad) es un factor muy importante para la Cervecería ya que es una materia prima determinante en la calidad de la cerveza y un elemento vital -- para los sistemas de generación de energía, enfriamiento, lavado, etc.

Se pueden establecer dos categorías muy generales del agua en la cervecería, y dependiendo del uso que dentro de ésta se le dé, variarán las características deseables en la misma:

Agua para Elaboración.- Es aquella que es incorporada al producto, ya sea de manera directa durante su elaboración, o que esté en contacto con él a lo largo de su procesamiento.

Tenemos dentro de esta categoría, el agua de casa de cocimientos, agua de dilución, agua de lavado, de tanques y líneas, etc.

Agua para Servicios.- Es aquella que es empleada en los diversos sistemas de la fábrica y que no está en contacto con el producto. Caen dentro de esta categoría el agua para calderas, enfriamiento, pasteurización, etc.

## 2.2 Fuentes de origen del agua.

Las fuentes de origen del agua pueden clasificarse de la siguiente forma:

Agua Meteórica (Lluvia, nieve, escarcha y granizo)

Agua Superficial (Ríos, Lagos)

Agua Subterránea (Manantial, pozos)

En base a la importancia que tiene el agua como materia prima fundamental en la elaboración de la cerveza se hará una breve descripción de las fuentes de origen y el motivo de selección de una de ellas.

Agua Meteórica.- El término de agua meteórica es aplicado a la fuente básica de todos nuestros suministros de agua - y que se precipita desde la atmósfera. Dependiendo de las condiciones climáticas, esta agua puede descender ya sea como -- lluvia, nieve, escarcha o granizo. Durante su trayecto se -- pone en contacto no únicamente con los gases de que la atmósfera se compone, sino que también con sólidos suspendidos, -- tales como polvo, basura, hollín, y otras impureza. Por lo -- tanto, el agua no contiene solamente gases disueltos, sino -- que también contiene sustancias minerales que disolvió de las impurezas atmosféricas suspendidas en el aire.

Obviamente, la primera porción precipitada contendrá más sustancia mineral que aquella que caiga a través de la atmósfera después de cierto tiempo. De hecho, la primera porción puede contener más de 150 ppm de sustancia mineral disuelta,

pero es sorprendente que aún después de muchas horas de lluvia continua, todavía el agua tenga materia mineral disuelta.

La nieve y el granizo, o más bien el agua que se obtiene de fundirlos, también contienen sustancias minerales en disolución.

La nieve que cae en la cima de las montañas, debido a -- que la atmósfera a esas altitudes casi no contiene polvo, contiene menos materia mineral que la nieve que cae en las partes bajas. Muchas corrientes que derivan de las montañas, que -- contienen nieve pura, acusan un contenido de minerales disueltos muy bajo.

Por lo que se refiere a los gases disueltos, el agua de lluvia está saturada con aire disuelto (aproximadamente de - 20 a 29 ml/lit de 15.5 a 0°C), pero la proporción de oxígeno disuelto es mucho más alta en este aire disuelto que lo que es en el aire atmosférico. La solubilidad del aire en agua a varias temperaturas y su composición están dadas en la Tabla 1. En cuanto a la cantidad de contenido de bióxido de carbono libre, un limitado número de análisis mostró una concentración de 2 a 6 ppm. Cualquier cantidad de 1 a 2 ppm de bióxido de carbono libre no es debido al bióxido de carbono derivado de la atmósfera, sino que proviene del contenido de -- materia orgánica.

La lluvia que cae en las ciudades, puede algunas veces - tener carácter ácido, debido al ácido sulfúrico que se origina al quemar carbón. Este es el caso especialmente en regio-

nes frías y en aquellas donde el aire contiene polvos de caliza.

El agua de lluvia ácida es muy corrosiva para la mayoría de los metales.

La solubilidad de oxígeno y nitrógeno puros en el agua a 0°C (32°F) y presión atmosférica, son de 48.89 ml/l para el oxígeno, y 23.45 ml/l para el nitrógeno, por lo tanto la solubilidad del oxígeno es poco más de dos veces la del nitrógeno. Consecuentemente, cuando el aire se disuelve en el agua, los dos principales componentes existen en proporciones diferentes en la solución que como se encuentran en la atmósfera.

El oxígeno contiene el 21% por volumen de la atmósfera, base seca, mientras que como se muestra en la Tabla 1, el porcentaje de oxígeno en aire disuelto varía de 33 a 35%.

TABLA 1. SOLUBILIDADES DEL AIRE Y CONTENIDO DE OXIGENO Y -  
 NITROGENO EN AIRE DISUELTO A PRESION ATMOSFERICA,  
 Y DE 0 A 100°C

TEMPERATURA		MILILITROS POR LITRO (ml/l)		
(°C)	(°F)	AIRE	= OXIGENO	+ NITROGENO
0	32	28.64	= 10.19	+ 18.45
5	41	25.21	= 8.91	+ 16.30
10	50	22.37	= 7.87	+ 14.50
15	59	20.11	= 7.04	+ 13.07
20	68	18.26	= 6.35	+ 11.91
25	77	16.71	= 5.75	+ 10.96
30	86	15.39	= 5.24	+ 10.15
40	104	13.15	= 4.48	+ 8.67
50	122	11.40	= 3.85	+ 7.55
60	140	9.78	= 3.28	+ 6.50
80	176	6.00	= 1.97	+ 4.03
100	212	0.00	= 0.00	+ 0.00

Nótese también que el volúmen del aire disuelto disminuye rápidamente con el aumento en la temperatura, de manera - que la solubilidad del aire a 60°C es únicamente un tercio - de su solubilidad a 0°C; a 80°C es únicamente cerca de un -- quinto; mientras que a 100°C la solubilidad es 0. Esto, por lo tanto, sugiere uno de los métodos más comunes para desae- rear el agua, esto es, hervirla y dejar escapar los gases di- sueltos.

De acuerdo con la ley de Henry, la solubilidad de un gas es proporcional a la presión absoluta. Esto es, si la presión aumenta, la cantidad de aire que puede ser mantenido en so- lución a una temperatura dada aumenta proporcionalmente. Por lo tanto, el agua de un tanque neumático o un aereador a pre- sión puede contener mucho más aire disuelto que el agua satu- rada con aire a la presión atmosférica.

Nitrógeno.- Al analizar aguas, el nitrógeno prácticamen- te nunca se determina, puesto que es inerte, relativamente - no tiene ninguna importancia por lo que se refiere al trata- miento del agua, también es laborioso determinarlo. Ciertas bacterias tales como las que se encuentran en las raíces del trébol, chícharo y frijol, tienen la habilidad de tomar aire de la atmósfera y formar compuestos con él. También las des- cargas eléctricas atmosféricas provocan la unión del nitró- geno con el oxígeno, de manera que el agua de lluvia pueda - contener nitratos que son de valor como alimento para las - plantas. Por otra parte, el nitrógeno es casi inerte y no -

tiene efecto corrosivo sobre los metales y por lo tanto, -- excepto en unión con el aire, es de poca importancia el que esté o no presente en los suministros de agua. Obviamente, -- está presente en aguas superficiales y en aguas aeradas. -- También se ha encontrado en aguas de manantiales y aguas de pozo profundo y posiblemente se encuentre en las aguas subte<sub>rr</sub>ráneas, pero no hay datos analíticos suficientes que lo corroboren.

TABLA 2. AIRE, OXIGENO Y NITROGENO. SUS PESOS A 0°C Y 760 mm Hg

AIRE		
1 litro	=	1.2929 gm
1 mililitro	=	0.001293 gm
OXIGENO		
1 litro	=	1.4290 gm
1 mililitro	=	1.001429 gm
NITROGENO		
1 litro	=	1.2506 gm
1 mililitro	=	0.001251 gm

Oxígeno.-- Por otra parte, el oxígeno es un elemento extramadamente activo que se combina con un sinfín de otros materiales. Una solución de oxígeno en agua es muy corrosiva -- hacia aquellos metales -fierro, acero, fierro galvanizado y

latón- que son ampliamente usados para hacer recipientes que conduzcan o almacenen el agua. Los valores bajos del pH aceleran la velocidad de esta corrosión por oxígeno disuelto, - mientras que los valores altos de pH tienden a retardarla. - Con las aguas que contienen suficiente calcio, elevando el - pH al valor de saturación del carbonato de calcio, es medida usualmente eficiente para reducir la corrosión.

La elevación de temperatura acelera grandemente la corrosión. Si se supone que todo el oxígeno permanece en solución, que no se forman películas protectoras, y que la reacción sigue la regla general de doblar su velocidad por cada  $-7.7^{\circ}\text{C}$  de aumento en la temperatura, la corrosión debería ser 500 veces más rápida a  $90^{\circ}\text{C}$  que a  $0^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, uno de los factores que obran en contra es el hecho de que la solubilidad del oxígeno disminuye con aumento en la temperatura, como se mostró en la Tabla 1. En la práctica, la mayor velocidad de corrosión en calentadores de agua parece ser entre los  $71.1^{\circ}\text{C}$  a  $82^{\circ}\text{C}$ .

Para que sobrevenga la corrosión es necesario que esté presente agua líquida. El vapor seco que contiene oxígeno no es corrosivo, pero los condensados formados de un sistema de esta naturaleza son muy corrosivos. En las líneas de condensado, se encuentra también que el mayor ataque se localiza donde hay agua líquida estancada.

La corrosión debida al oxígeno disuelto, es a menudo muy severa debido a las entradas de aire al sistema cuando el --

vapor no circula. El valor del pH del condensado puede también ser muy bajo, debido a la ausencia o contenido extremadamente bajo de alcalinidad en él cantidades aún más pequeñas de bióxido de carbono bajarán gradualmente los valores de pH. Puesto que a bajo pH el bióxido de carbono ataca por sí mismo los metales y acelera grandemente la velocidad de la corrosión del oxígeno disuelto cuando se encuentra presente el oxígeno, es importante mantener el contenido de bióxido de carbono en el vapor en cantidades muy bajas.

Ya que la solubilidad del aire aumenta directamente con la presión absoluta, el contenido de oxígeno disuelto en el agua de los sistemas neumáticos puede ser mucho mayor que en el agua saturada con aire a presión atmosférica. Consecuentemente, la velocidad de la corrosión por oxígeno disuelto, en recipientes en contacto con agua de aquella naturaleza, puede ser muy rápida.

El oxígeno disuelto ataca las tuberías de fierro y acero con formación de tubérculos bajo cada uno de los cuales se encuentra una cavidad. Si un tubérculo se talla rápidamente en un tubo recién removido, puedan verse desprendimientos de color varda de hidróxido ferroso. El cuerpo principal del tubérculo consiste de un material negro, que representa ya sea un óxido ferroso-férrico hidratado o una mezcla muy íntima de hidróxidos ferrosos y férricos. La parte externa del tubérculo muestra color típico amarillento o café-rojizo, propio del óxido férrico hidratado.

Si un tubo tuberculado por el cual haya pasado agua que contenga oxígeno disuelto, se usa posteriormente para conducir agua libre de oxígeno pero que contenga bióxido de carbono libre, frecuentemente ocurre una disolución de hierro - "iron pick up" con la formación de bicarbonato ferroso. Esto se debe a la reducción por el tubo de fierro de los compuestos férricos y otros intermedios hacia la forma ferrosa, los que entran en solución debido al contenido de bióxido de carbono del agua. Tales disoluciones de hierro se encuentran frecuentemente cuando un suministro de agua de pozo profundo se sustituye por uno de agua superficial. Puede ser disminuido o eliminado aereando el agua.

Contrariamente a ciertas creencias benévolas, las tuberías de fierro galvanizado y de latón, son atacadas por el oxígeno disuelto tan rápidamente como las tuberías de fierro negro. En la atmósfera, el fierro galvanizado resiste a la acción del tiempo bastante bien, debido a la formación de una película adherente de carbonato de zinc básico. Cuando se pasa agua que contiene oxígeno disuelto a través de un tubo galvanizado, esta película de carbonato de zinc no se forma. En lugar de esto, el zinc rápidamente se oxida y es arrastrado por el agua. Las tuberías de latón amarillo también se corren rápidamente, debido al ataque del oxígeno disuelto hacia el zinc del latón. El resultado es que el zinc se acaba, dejando un esqueleto esponjoso de cobre que, por supuesto, es muy débil. Debido a que la acción usualmente

es altamente localizada, ocurren perforaciones y fugas mucho antes de que todo el latón haya perdido el zinc. El latón -- rojo es menos sujeto a este ataque que el amarillo, pero aún aquí y el cobre pueden ser atacados por las aguas agresivas.

Agua superficial.- Cuando la lluvia, o el agua formada por la fusión de la nieve o el hielo se pone en contacto con el suelo, una parte de ella se evapora, parte se colecta y fluye por la superficie, y por otra se sumerge en el suelo. Las aguas que se colectan o fluyen por la superficie para -- formar lagos, lagunas, ríos, arroyos o canales, se llaman -- aguas superficiales. Las aguas que se sumergen en la tierra y que emergen en forma de manantiales o que se sacan mediante pozos, tiros o galerías filtrantes, se llamas aguas subte -- rráneas.

Ríos.- Los ríos grandes usualmente constituyen un abasta -- cedor confiable de agua. Este es el caso general, pero no -- deberá tomarse como garantizado. Hay publicados registros del escurrimiento para muchos ríos y esos deberán ser cuidadosa -- mente estudiados, no solamente para asegurarse de que haya -- siempre disponible un amplio flujo de agua sino también de -- qué manera deben arreglarse las bocatomas de las bombas para que funcionen en cualquier condición de flujo del río.

Con ríos pequeños o arroyos, usualmente no se cuenta con información publicada que indique las variaciones del flujo. En tales casos, debe hacerse un estudio del escurrimiento en el área afectada, las cantidades y variaciones de la lluvia -

en diversas ocasiones, y la cantidad de escurrimiento que -- pueda espararse en tales áreas. De estos datos se puede obtener una buena figura relacionada con el flujo del río, de manera que se puedan sacar conclusiones respecto a si es necesario o no un embalse.

CANTIDADES MAXIMAS Y MINIMAS DE VARIOS CONSTITUYENTES MINERALES DISUELTOS, EN UN GRUPO DE 98 RIOS

TABLA Nº 3

	MAXIMO	MINIMO
Dureza (Ca y Mg) como CaCO <sub>3</sub> , ppm	589	15
Calcio (Ca) como CaCO <sub>3</sub> , ppm	408	11
Magnesio (Mg) como CaCO <sub>3</sub> , ppm	181	3
Sodio más potasio (Na + K) como CaCO <sub>3</sub> , ppm	774	3
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> ) como CaCO <sub>3</sub> , ppm	256	14
Cloruro (Cl) como CaCO <sub>3</sub> , ppm	702	1
Sulfato (SO <sub>4</sub> ) como CaCO <sub>3</sub> , ppm	473	4
Nitrato (NO <sub>3</sub> ) como CaCO <sub>3</sub> , ppm	10	0.1
Hierro como ppm de Fe	3	0.02
Silica como ppm de SiO <sub>2</sub>	48	8

Lagos, estanques y depósitos.- En base a los análisis de 50 aguas provenientes de lagos, muchos de los cuales son la-

gos mayores. Se notó que esos análisis cubren un amplio rango de composición. Muchas de estas aguas tienen un contenido de minerales extremadamente bajo, mientras que otras muestras alto contenido de dureza y otros constituyentes minerales.

De una manera general, el agua de un lago está menos sujeta a variaciones rápidas en la composición que las aguas - provenientes de ríos, y muchos grandes lagos tienen una composición de agua notablemente constante aun por períodos de tiempo muy largos. Esto es particularmente verdadero en los grandes lagos, de los cuales muchas grandes industrias obtienen su agua de proceso. En el caso de lagos pequeños, estanques y depósitos, algunos tienen agua de composición casi -- constante, mientras que otros muestran considerable variación entre las estaciones. Debido a su quietud, los lagos sirven eficientemente como depósitos de asentamiento y sus turbidencias son usualmente bajas la mayoría del tiempo. Sin embargo, puesto que el agua alcanza su mayor densidad a  $4^{\circ}\text{C}$ , se generan movimientos verticales de agua debido a la diferencia de temperatura entre el agua de la superficie y la del fondo. - Estos movimientos se conocen con el nombre de cambios de otoño y primavera, de manera que en ese tiempo el agua del lago puede tener alguna turbidez. Las tormentas pueden también -- agitar las aguas de un lago y aumentar la turbidez.

Los grandes lagos constituyen muy a menudo un abasto de agua confiable, y usualmente tienen muy poca variación de -- nivel durante cualquier estación del año. No es este el caso

tratándose de lagos pequeños, estanques o depósitos, y se -- aconseja hacer un estudio cuidadoso del escurrimiento del -- área afectada, la cantidad de lluvia y las variaciones entre las diversas estaciones del año; debe tomarse especial cuidedo al promediar el escurrimiento del área y las pérdidas por evaporación. En el caso de nuevos proyectos, un estudio de -- esta naturaleza revelará si la fuente de suministro es suficiente o no para satisfacer todas las demandas presentes y -- futuras. Las muestras que se tomen a intervalos periódicos indicarán qué cambios de composición se pueden esperar.

Agua subterránea.- El agua, por sí sola, tiene propiedades solventes y tiende a disolver y desintegrar los materiales con los que esté en contacto. Estas propiedades disolventes y desintegrantes para ciertos minerales, se aumentan considerablemente por el contenido de bióxido de carbono del -- agua. La piedra caliza, el yeso, dolomita y magnesita, por -- ejemplo, dependiendo de la cantidad de bióxido de carbono libre presente, pueden ser hasta 100 veces más solubles en -- agua que contenga bióxido de carbono que en agua pura. El -- agua que contiene bióxido de carbono también tiene un gran -- efecto desintegrante sobre muchas rocas silíceas y es mucho mayor este efecto que el del agua pura. Por otra parte, el -- bióxido de carbono es innecesario para que el agua disuelva los sulfatos, cloruros o nitratos de calcio, magnesio o sodio.

Únicamente una pequeña cantidad de este bióxido de carbono se deriva de la atmósfera, ya que solamente contiene de -- .035 a .04%. A temperaturas ordinarias, la lluvia o el agua

en pequeñas capas, puede disolver menos de 2 ppm de bióxido de carbono de la atmósfera, y esto sería suficiente para formar menos de 5 ppm de bicarbonatos.

Es evidente que el bióxido de carbono derivado del aire es casi despreciable en la formación de tal cantidad de bicarbonatos. En lugar de esto, mucho de este CO<sub>2</sub> se deriva de procesos de descomposición de la materia orgánica, principalmente en las capas superiores del suelo. Además, las aguas subterráneas pueden tomar bióxido de carbono de algunos estratos o figuras de la costra terrestre. Además de la cantidad referida para formar bicarbonatos, muchas aguas naturales contienen cantidades variables de bióxido de carbono libre.

De una manera general, las aguas subterráneas, debido a su contacto más íntimo y prolongado con estratos rocosos en un área dada, tienen un contenido más alto de minerales, que el agua superficial en esa misma zona. Por supuesto que hay excepciones, ya que un agua superficial se puede originar en una región de rocas relativamente solubles y después escurrir a áreas de rocas relativamente insolubles. En tales casos, las aguas subterráneas en esa área pueden tener un contenido de minerales menor que las aguas superficiales.

A medida que el agua se percola suavemente a través de la tierra, los estratos por los que pasa, ejercen sobre ella una acción filtrante, absorbente y purificante. Así, mientras que su contenido de minerales solubles aumenta, la materia suspendida, color y su contenido de bacterias pueden ser removidos

o reducidos apreciablemente. Por lo tanto, un agua de un pozo profundo usualmente es incolora, clara y baja en cuenta de bacterias. Hay muchas excepciones a lo antes dicho, especialmente en regiones calizas, de manera que el agua no debe usarse en estas localidades sin tratamiento para usos domésticos, a menos de que periódicamente se revise su contenido bacteriano. Deben tomarse las precauciones adecuadas para eliminar el peligro de contaminación del pozo por medio de las aguas de superficie que se pueden filtrar hacia él.

La temperatura del agua del pozo profundo es notablemente constante. De una manera general, la temperatura de agua de pozo profundo que tiene de 10 a 20 metros de profundidad, es de 3 a 4°C sobre la temperatura media anual del aire en esa localidad, y aumenta cerca de 1.8°C por cada 21 metros de profundidad. Por otra parte, la temperatura de las aguas superficiales está sujeta a amplias fluctuaciones, variando desde la máxima del verano de 2.5°C hasta 15°C sobre la temperatura mínima de invierno. Esto especialmente es importante con aguas de enfriamiento.

El crecimiento de organismos es común en las aguas superficiales, y frecuentemente le imparten sabores y olores objetables. Por otra parte, las aguas subterráneas están libres usualmente de estos defectos. Las excepciones por lo que se refiere a los desarrollos orgánicos, son aquellas de los pozos que no son muy profundos y que desarrollan bacterias del hierro y manganeso. Las excepciones para olor y sabor son --

las aguas sulfurosas y las que contengan hierro, las primeras tienen tanto sabor como olor desagradable, y las segundas tienen un sabor astringente.

Manantiales.- Los manantiales han ejercido siempre una peculiar fascinación hacia el hombre, y esto ha conducido a creencias erróneas respecto a que todas las aguas de manantial son brillantes, claras, inodoras y absolutamente puras, y que no son únicamente apropiadas para tomar sino que también poseen propiedades curativas. El agua de un pozo de la misma calidad, puede despertar desconfianza hasta que se pruebe palmariamente que es segura para tomarse, sin embargo, los hechos indican que muchas aguas de manantial pueden ser claras y brillantes, y otras pueden tener turbidez de tiempo en tiempo, especialmente después de períodos de lluvias abundantes, y aunque muchas aguas de manantiales como de pozos son incoloras, hay también sus excepciones. Por lo que se refiere a pureza, ninguna agua de tipo natural se encuentra libre de impurezas minerales. Más bien, muchas aguas de manantial son duras y contienen gran cantidad de sustancia mineral disuelta. Por lo que se refiere a potabilidad, ninguna agua de manantial debe considerarse segura para tomar hasta que se pruebe.

Un buen número de industrias toman toda o una parte sustancial de su agua de proceso de un manantial. En muchos casos, el agua de manantial es suficientemente clara de manera que se hace innecesaria la filtración, pero en otros casos la turbidez que resulta después de lluvias prolongadas ha aconseja

jado el uso de filtros. Muchas de estas aguas son duras, de manera que un proceso de ablandamiento es indicado para muchos usos. Un manantial puede mostrar considerables variaciones en el flujo, de aquí que no se debe depender completamente de -- una medición simple hecha al flujo del manantial. Más bien -- debe hacerse un estudio cuidadoso para determinar el flujo -- mínimo, y si éste es insuficiente, determinar qué se puede hacer para incrementar el rendimiento del manantial.

Pozos.- Los abastos de agua por medio de pozos profundos, son un recurso muy usado en la industria. Estos tienen algunas ventajas sobre las aguas superficiales, entre las que se pueden citar claridad, estar libres de colores orgánicos, sabores y olores, una composición constante; están libres de -- contaminaciones de drenajes y desperdicios industriales, y -- tienen una temperatura constante. Los pozos profundos usualmente se dividen en dos clases principales, pozos profundos y pozos poco profundos. De una manera general, un pozo profundo es aquel que pasa a través de un estrato impermeable hasta localizar el agua que pasa debajo de él, mientras que un poco profundo es el que meramente se extiende hasta una capa permeable para extraer el agua que pasa debajo de ella. La línea divisoria por lo que se refiere a profundidad, no es completamente clara, pero es práctica común de que pozos mayores de -- 30 m son considerados como pozos profundos, y los de menor -- profundidad como pozos no profundos.

Los pozos poco profundos usualmente son de material no --

consolidado, y a menudo se cavan de manera que se les conoce como norias. El diámetro de estos pozos puede variar de 1 a 15 m. Los pozos de poca profundidad, en vez de ser excavados se hacen aplicando al terreno una punta perforadora, conocida como "punta coladora" o punta de perforación. Para hacer un pozo profundo generalmente se hace uso de barrenas, las que son obviamente necesarias para taladrar estratos de roca dura. La perforación puede practicarse con una perforadora a cable sacando los desperdicios, o por medio de la barrena rotatoria, con la cual los desperdicios son bombeados al exterior junto con la corriente de lodo, de la cual éstos quedan sedimentados en unos recipientes, recirculándose el lodo. En formaciones arena, grava y arcilla, se pueden usar otros métodos de perforación: el "California Stovepipe" y el "Jetting-in". Un método relativamente nuevo para perforar pozos de poca profundidad, es el método Ranney, en el cual se sumerge una flecha central por la que se fuerzan lateralmente piezas horizontales, por las que posteriormente fluye el agua y se colecta en la porción baja de la flecha.

Los pozos profundos, en varias localidades, pueden variar de 30 a más de 1,000 m, la mayoría de ellos está entre los 30 y poco más de 300 m, muy pocos se perforan a más de 600 m. Usualmente, los pozos profundos se ademan para evitar derrumbes y aislar al agua de estratos indeseables. El ensanchamiento, empackado y desarrollo de los pozos, ya sea por retrolavado o por purga, son métodos que se usan para aumentar el --

flujo de agua y prevenir el taponamiento de los veneros por arena fina.

Los pozos artesianos son aquellos que liberan agua que está bajo presión. Esta presión puede ser insuficiente para elevar el agua del pozo a la superficie, o puede ser suficiente para causar un flujo constante de agua, en este caso el pozo se clasifica como pozo fluente. Muchos de estos -- pozos tienen una presión de 15 lb/plg<sup>2</sup> (1.05 atmósferas) o menos en su superficie, pero hay grandes variaciones dependiendo de las localidades y se han encontrado pozos con más de 100 lb/plg<sup>2</sup> (7 atmósferas). Cuando la presión de la superficie es pequeña, se recurre al bombeo para aumentar el rendimiento.

En localidades en donde el manto acuífero intervenido -- por un pozo es grande, puede suceder que toda el agua proveniente de pozos profundos en esa área tenga prácticamente -- la misma composición.

El agua de pozo profundo tiene muy poca variación en la composición, aun considerando largos periodos de tiempo.

Usualmente la composición del agua de un pozo dado variará dentro de estrechos límites por periodos de tiempo razonablemente largos, pero hay excepción. Una de éstas, es -- la contaminación por agua de mar, fenómeno que a menudo ocurre en aquellos campos de bombeo muy trabajados y que están cerca de la costa. Otra, es la contaminación por aguas -- brancas.

Mientras que los pozos profundos contienen agua invariablemente clara y casi libre de turbidez y color, algunos -- pueden contener fierro, sulfuro de hidrógeno y un pequeño -- número puede contener manganeso.

De acuerdo a lo anterior se puede observar que las únicas fuentes de suministro que puede tener la industria es -- la superficial y subterránea, ya que de la meteórica no se podría obtener los flujos necesarios de tan importante materia prima.

En el caso de las cervecerías los abastos de agua por -- medio de pozos profundos son un recurso muy usado en la industria. Estas aguas tienen algunas ventajas muy importantes sobre las aguas superficiales, entre las que se pueden citar claridad, ausencia de sabores y olores, composición y temperatura constantes y ausencia de contaminantes por drenajes y desperdicios industriales; aunque con relación a -- esto último es necesario estudiar de manera periódica la -- evaluación del monto para detectar una posible contaminación.

En la Tabla No. 4 tenemos resumidas las principales diferencias entre aguas superficiales y aguas profundas.

T A B L A # 4  
=====

CARACTERISTICAS EXAMINADAS	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS PROFUNDAS
Temperatura	Variable según las estaciones del año	Constante
Turbiedad, materias en suspensión	Variable, en ocasiones elevadas	Bajas o nulas
Mineralización	Variable en función de los terrenos, - precipitaciones, -- vertidos, etc.	Constante, generalmente mayor que en las aguas de superficie de la misma región
Gas carbónico agresivo	Generalmente ausente	Normalmente presente
Oxígeno disuelto	Normalmente próximo a la saturación	Ausencia total en la mayoría - de los casos
Amoniaco	Presente solo en - aguas contaminadas	Normalmente presente
Sulfuro de hidrógeno	Ausente	Normalmente presente
Nitratos	En general poco abundantes	Contenido en - ocasiones elevado
Elementos vivos	Bacterias, virus, plancton	Frecuentes ferrobacterias

### 2.3 Agua para Elaboración

Es aquella que es incorporada al producto, ya sea de -- manera directa durante su elaboración, o que esté en contacto con él a lo largo de su procesamiento.

Tenemos dentro de esta categoría, el agua de casa de co- cimientos, agua de dilución, agua de lavado de tanques y lí- neas, etc.

Deberá estar libre de contaminantes biológicos, sabores y olores, no tener turbidez o materia orgánica, no estar con- taminada con drenajes ni de fierro, debe tener bajo conteni- do de sílice y de alcalinidad. No necesariamente el agua po- table será apta para emplearla en la elaboración de cerveza.

En las Tablas 5 y 6 tenemos los estándares de calidad - para el agua cruda y potable respectivamente, propuestos por la Organización Mundial de la Salud, y en la Tabla 7 tenemos los límites permisibles de contaminantes inorgánicos, en el agua potable de acuerdo a la Agencia Protectora del Ambiente de los Estados Unidos.

El análisis químico nos ofrece alguna información res- pecto a la calidad sanitaria del agua, de manera especial -- con relación a una contaminación anterior del efluente, pero no nos indica si el agua con un nivel satisfactorio de subs- tancias químicas esta libre de una contaminación bacteriana peligrosa.

De ahí la importancia de efectuar análisis químicos y - bacteriológicos de manera regular.

En todas las aguas de superficie existen microorganismos del grupo coliforme (termobacteria o aerobacteria), pero en ningún caso deberán existir coliaerógenos, ya que ésto sería indicativo de contaminación con detritus.

Para checar si existe contaminación con cloacas se debe determinar también el contenido de nitrógeno libre y albuminideo (menos de 0.5 ppm) de nitritos que son tóxicos a la levadura, de nitratos que se reducirán a nitritos, el contenido de cloruros no debe aumentar de lo normal (aguas cloacales son ricas en cloruros), la demanda de oxígeno debe ser baja, ya que en caso contrario indicaría la presencia de materia orgánica. (El ciclo de descomposición de la materia orgánica varía desde  $\text{NH}_3$  libre hasta  $\text{NO}_3^-$ ). Por lo tanto, si sólo existen nitratos, ésto podría indicar un agua contaminada que se autopurificó; sin embargo, es necesario considerar la historia previa de la fuente de abastecimiento, ya que en alto contenido de nitratos podría ser normal, si el agua atraviesa por un lecho de  $\text{NO}_3^-$ ).

Si el agua que se emplea es de pozo y contiene  $\text{H}_2\text{S}$ , éste se eliminará aereando el agua a bajo pH.

Si se usó cloro como germicida, se deben eliminar los residuos de éste, y para ello se puede utilizar  $\text{KMS}$  (de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{HCl}$ ), o bien pasar a través de un filtro de carbón activado. Cuando se emplean hipocloritos, es generalmente preferible utilizar de sodio y no de calcio, a pesar de la menor cantidad de cloro disponible, ya que el de calcio, además de ser

más insoluble, tenderá a incrustar.

Si se emplean cloraminas, se debe considerar que aunque tienen efecto residual, su disociación es dependiente del pH.

En todos los depósitos de agua en donde penetre la luz del sol se encontrarán algas presentes. Estos microorganismos pueden modificar el pH y reducir la alcalinidad, provocar la formación de color y turbidez y producen oxígeno, el cual es empleado por las bacterias para degradar el material orgánico presente en el agua.

El agua contaminada con algas produce olores que se han reportado como a flor, especias, pescado, grasa, moho o podrido, cuando no tienen suficiente oxígeno disuelto. Si estas aguas se tratan con cloro forman clorofenol. Tienen a corroer el concreto y el hierro, debido a la acción despolarizante del oxígeno. Su crecimiento en sistemas cerrados se puede controlar con sulfato de cobre.

Si existe clorofenol presente en el agua, éste no se puede eliminar con carbón activado, y para destruirlo habrá que oxidarlo empleando ozono o dióxido de cloro (seguido de filtración con carbón activado).

El ozono tiene el más alto potencial de oxidación conocido, con excepción del fluor, si se aplica el agua elimina color, olor y sabor. Se emplea en mezclas de 1% y 2% en - - aire, se genera haciendo pasar aire entre el espacio anular formado por anillos de acero inoxidable y un tubo de vidrio con conductor interno; se pasan corrientes de 450 a 15,000 -

Volts., y de acuerdo con el flujo de aire y el voltaje, se genera más o menos ozono.

El ozono se agrega al agua por medio de piedras carbonatadoras y se debe cuidar que el ozono saliente se diluya en 10 volúmenes de aire. El ozono residual es peligroso y para controlarlo se emplea una fotocelda que a su vez regula el voltaje del generador.

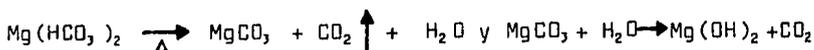
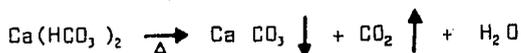
Para que los filtros de carbón sean eficientes deben recibir agua sin turbidez, ya que la capacidad de adsorción se reduce al recubrirse el carbón activado con el material en suspensión. Por lo tanto, siempre se debe emplear un filtro de grava y arena antes del filtro de carbón activado. Los filtros de carbón se deben retroclarar y esterilizar con vapor, en otra forma se convierten en medio de soporte para el crecimiento de algas, las cuales por simbiosis sustentarán el crecimiento de bacterias.

Es importante recordar que debido a la gran dilución -- existente en el agua no existen sales, los bicarbonatos, sulfatos, cloruros, etc., se encuentran presentes como iones, pero para facilitar se reportan generalmente como sales.

Dureza permanente: La constituyen los sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio, estas sales no se eliminan durante la ebullición del agua.

Dureza temporal: Formada por los bicarbonatos de calcio y magnesio. Durante la ebullición del agua generan  $\text{CO}_2$  y precipitan el carbonato o hidróxido correspondiente. Al -

librarse el  $\text{CO}_2$  se pierde acidez, y por esta razón el pH del agua después de hervir es mayor que antes de eliminar la dureza temporal.



En general, los carbonatos forman una incrustación blanda sobre las tuberías o equipo, en tanto que los sulfatos, - la mezcla de sulfatos y carbonatos, así como el sílice, forman una incrustación dura.

La alcalinidad está determinada por la presencia de carbonatos, bicarbonatos y oxhidrilos de calcio, magnesio y - - sodio.

Alcalinidad F, es la determinada empleando como indicador para la titulación fenolftaleína, y comprende a los oxhidrilos más la mitad de los carbonatos.

Alcalinidad M, es la determinada empleando como indicador para la titulación anaranjado de metilo, y comprende a - la alcalinidad F más la otra mitad de los carbonatos, más -- los bicarbonatos.

Los sulfatos, cloruros y nitratos de sodio no contribuyen a la alcalinidad, ni a la dureza.

La alcalinidad eleva el pH, y por lo tanto, afecta adversamente las reacciones enzimáticas durante el macerado, - disminuyendo así la eficiencia de extracción, aumentando la solubilización de material polifenólico y amargores indesea-

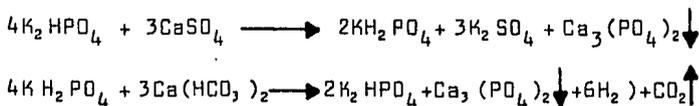
bles, origina pobres coagulaciones de complejos proteicos, - aumentos en la coloración del mosto, problemas con la licuefacción y sacarificación, filtraciones lentas del mosto, con trarresta los efectos del calcio, aumenta la isomerización - de las resinas del lúpulo. En especial es perjudicial la al calinidad en el agua de riego debido a la carencia de buffers.

A continuación se mencionan los efectos que causan algunos iones durante la elaboración de la cerveza y en el producto terminado.

Calcio : El ión calcio disminuye el pH debido a la formación de proteínatos, con la liberación correspondiente de ión hidrógeno, y principalmente debido a la formación de fosfatos primarios ácidos, a partir de los fosfatos secundarios básicos.



Una molécula de bicarbonato de calcio neutraliza el efecto de una molécula de sulfato de calcio.



Debido a esta neutralización de efectos, la relación  $\frac{Ca}{CO_2} = 2$ , debe sostenerse para que el agua utilizada no afecte el pH del macerado, a medida que la relación aumenta, el pH del mosto tenderá a ser menor (el pH de mosto con agua destilada es de aproximadamente 5.8 el pH ideal para las activi-

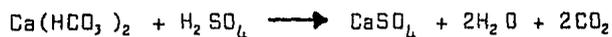
dades enzimáticas en el macerado es de 5.1 - 5.4) y a medida que la relación sea menor, existirá una tendencia a tener valores de pH más altos en el macerado. Por lo tanto, se puede inferir que la presencia de bicarbonatos de sodio o magnesio es más perjudicial que la provocada por el bicarbonato de calcio, al carecer del efecto favorable del ion calcio.

Se debe considerar que el pH es sólo una indicación de la alcalinidad, pero lo que determinará la capacidad buffer del agua, será la alcalinidad; en otras palabras, es preferible alto pH y baja alcalinidad, que la situación inversa.

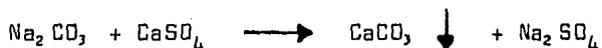
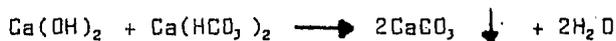
El calcio también favorece la gelatinización del almidón al proteger a la alfa amilasa de las altas temperaturas, al disminuir el pH da mejor estabilidad biológica y coloidal y mejor sabor, elimina los oxalatos (Gushing), es necesario para la floculación de la levadura, estimula la actividad enzimática, y por lo tanto, mejora la filtración y la eficiencia, da mayores coagulaciones. Se recomienda 300 a 400 ppm de  $\text{CaSO}_4$  en mosto y aproximadamente 80 ppm de ion calcio en la cerveza.

La alcalinidad se puede corregir con ácidos, con lo cual se libera  $\text{CO}_2$ . Según el análisis de

agua será el tipo de ácido utilizado. El ácido fosfórico aumenta los buffers en el mosto, y el ácido láctico da una mayor capacidad buffer al formar lactatos de calcio (pH  $\sim$  4.8).



El empleo de cal-carbonato de sodio abate la dureza temporal y permanente, si no se emplea en exceso elimina la alcalinidad.



Si la dureza total es mayor que la alcalinidad total, la diferencia entre la dureza y la alcalinidad será igual a la dureza permanente. Si la dureza total es igual a la alcalinidad total, no existe dureza permanente y sólo habrá dureza temporal.

Si la dureza total es menor que la alcalinidad total, únicamente habrá dureza temporal, y la diferencia entre la alcalinidad y la dureza será el bicarbonato de sodio.

**Manganeso:** Se encuentra en trozos provenientes de la malla, es un importante cofactor en la levadura.

**Nitratos:** Se reducen parcialmente a nitritos los cuales -- son tóxicos a la levadura.

**Cloruros:** Los cloruros dan a la cerveza un sabor más suave,

aparición de mejor cuerpo, se acostumbran de --  
150 a 300 ppm.

**Sulfatos:** Los sulfatos dan a la cerveza un sabor más seco; se tienen generalmente aproximadamente 200-300 ppm en la cerveza.

**Sodio :** El sodio no afecta las características de la cerveza; sin embargo, en cantidades mayores de 300 ppm tiende a impartir un sabor descompuesto.

**Fierro :** El fierro es indeseable en el agua de elaboración porque degenera la levadura y la hace perder su poder fermentativo.

En aguas con alta dureza de sulfato de calcio, - alto  $CO_2$  y bajo pH, tiende a encontrarse la llamada bacteria de hierro o magnesio (crenothix), la cual forma depósitos café-negro al tomar fierro del medio y anexarlo a la superficie de la célula o al protoplasma.

**Magnesio:** El magnesio es necesario pues actúa como coenzima en fermentación, en concentraciones mayores de - 15 ppm, tiende a impartir sabor astringente. Sus sulfatos y cloruros son laxantes.

**Sílice :** El sílice retarda la fermentación y se ha encontrado que forma parte de la turbidez por frío.

**Zinc :** El zinc en concentraciones del 1 ppm ayuda como estimulante de la fermentación y origina mayor producción de células jóvenes de levadura, oca-

siona una mayor eliminación de sulfuro de hidrógeno durante la fermentación y podría así hacer a la cerveza más resistente al azorrillamiento. En concentraciones de 5 ppm aumenta la adherencia de la espuma a las paredes del vaso, pero -- ocasiona un sabor astringente, para eliminar -- este sabor se ha empleado EDTA en cantidades -- equivalentes al 50% del zinc añadido.

T A B L A # 5

Estándares de calidad de agua cruda

<u>Cualidad</u>	<u>Valores límites</u>
Color	300 unidades
<u>Compuestos que afectan la potabilidad del agua</u>	
Sólidos disueltos totales	1500 mg/l
Hierro	50 mg/l
Manganeso	5 mg/l
Cobre	1.5 mg/l
Zinc	1.5 mg/l
Sulfatos de magnesio y sodio	1000 mg/l
Sulfanatos de alquil benzil	0.5 mg/l
<u>Componentes peligrosos para la salud</u>	
Nitratos	45 mg/l
Fluoruros	1.5 mg/l
<u>Substancias tóxicas</u>	
Substancias fenólicas	0.002mg/l
Arsénico	0.05 mg/l
Cadmio	0.01 mg/l
Cromo	0.05 mg/l
Cianuro	0.2 mg/l
Plomo	0.05 mg/l

<u>Substancias tóxicas</u>	<u>Valores límites</u>
Selenio	0.01 mg/l
Radionucleidos	1000 mg/l

Indicadores químicos de polución

Demanda química de oxígeno	10 mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	6 mg/l
Nitrógeno total de nitratos	1 mg/l
Amoníaco	0.5 mg/l
Carbón extractable por cloroformo	0.5 mg/l
Grasa	1.0 mg/l

<u>Estándares bacteriológicos</u>	<u>Máximo permitido #/100ml.</u>
-----------------------------------	----------------------------------

I.- Calidad bacteriológica que requiere desinfección únicamente	0-50
II.- Calidad bacteriológica que requiere de tratamiento -- (coagulación, filtración, desinfección)	50-5000
III.- Agua contaminada que requiere tipos extensivos de tratamiento	5000-50000
IV.- Agua muy contaminada inaceptable a menos de que se use un - tratamiento especialmente diseñado para tal agua; fuente que se usa solo cuando no existe otra	mayor de 50000

T A B L A # 6

Estándares internacionales para el agua potable

	<u>Permisible</u>	<u>Excesivo</u>
Sólidos totales mg/l	500	1500
Color	5	50
Turbidez	5	25
Sabor y olor	Sin objeción	--
Hierro mg/l	0.3	1.0
Manganeso mg/l	0.1	0.5
Cobre mg/l	1.0	1.5
Zinc mg/l	5	15
Calcio mg/l	75	200
Magnesio mg/l	50	150
Sulfato mg/l	200	400
Cloruros mg/l	200	600
pH	7.0 - 8.0	6.5 - 9.2
Sulfato de magnesio + sulfato de sodio mg/l	500	1000
Substancias fenólicas (como fenol) mg/l	0.001	0.002
Emisiones	1	--
Emisiones	10	--

T A B L A # 7

Límites permisibles de contaminantes  
inorgánicos en el agua potable

Arsénico	0.05 mg/l
Bario	1.0
Cadmio	0.01
Cromo	0.05
Plomo	0.05
Mercurio	0.002
Selenio	0.01
Plata	0.05
Fluoruro	Varía de acuerdo a los efluentes y promedio anuales
Nitratos	44 mg/l

## 2.4 Agua para Servicios

Como ya se mencionó al inicio de este capítulo se consi  
dera como agua de servicio, toda aquella agua que no tiene -  
contacto directo con el producto elaborado, como son por - -  
ejemplo:

Agua para Calderas

Agua para Embotellado

Agua para Enfriamiento

a continuación se hará un análisis de la importancia de cada  
una de estas aguas de servicio.

### 2.4.1 Agua para Calderas

En la actualidad las calderas modernas requieren agua -  
de alimentación de alta pureza, debido a que al evaporarse -  
ésta la concentración de las impurezas se incrementa, ocasio  
nando deterioros en los materiales de las calderas e inefi-  
ciencia de las mismas.

En nuestro caso además de causar deterioros en la caldara  
los puede causar también en las turbinas ya que se usa --  
vapor sobrecalentado con el fin de generar energía eléctrica.

De acuerdo a lo anterior es necesario seleccionar un --  
método de tratamiento de aguas sencillo, práctico y económi-  
co para obtener agua de buena calidad a partir de agua de --  
alimentación que en nuestro caso es de pozos profundos y cu-  
yas características ya fueron tratadas con anterioridad.

Dentro de los tratamientos para calderas tenemos los siguientes tipos:

#### Tratamiento Externo.

Es aquel que se efectúa fuera de la caldera. El agua que se trata se conoce con el nombre de "Agua de Repuesto" (Make-up) y es el agua que es necesario alimentar a la caldera para compensar las pérdidas debidas al uso de vapor libre u otras causas.

La cantidad de Make-up, esta en función de la cantidad evaporada, el retorno de condensados y de las purgas de la caldera.

Dentro de este tratamiento se controlará:

Dureza

Alcalinidad

Corrosión

Sílice

Desaereación y, Turbiedad

#### El Tratamiento Interno

Es aquel que se efectúa dentro de la caldera (en el Domo superior generalmente), con el fin de contrarrestar pequeñas cantidades de dureza y  $O_2$  residuales del Tratamiento Externo o introducidos por el retorno de condensados y consiste en:

- a) Adicionar fosfatos solubles que eliminan la dureza, formando coágulos con el calcio y magnesio.
- a) Adicionar sulfitos de sodio o hidracina que al oxidarse consumiendo oxígeno, reducen la tendencia corrosi-

va del agua.

- c) Adicionar sosa para controlar el pH del agua en un rango de 9.5 a 11.6 según la característica de la caldera.

#### Tratamiento Externo.

El tratamiento seleccionado de acuerdo a las necesidades de nuestra caldera cuyas características son:

Aquotubular con horno integrado, provista de sobrecalentadores y ventilador de tiro forzado, con precalentador de aire tipo regenerativo.

Las características del vapor producido que será utilizado en turbinas para generación de energía eléctrica es un vapor de media presión (450 lbs/cm<sup>2</sup>)

De acuerdo a la fuente de alimentación de agua para tratar que como ya se indicó al comienzo de este capítulo es el pozo, el método seleccionado es el que se muestra en la figura No. 2

Este tratamiento de Desmineralización seleccionado se describirá a continuación en forma breve.

Los procesos de desmineralización por intercambio iónico, se usan ampliamente en el tratamiento del agua para calderas de alta presión, para eliminar sílice. Se pueden emplear varios arreglos del equipo necesario, de acuerdo con: (1) composición del agua por tratarse, (2) grado de tratamiento y cantidad de sílice eliminada, (3) costos de inversión y operación. Considerando primero un sistema de desmineralización y elimi-

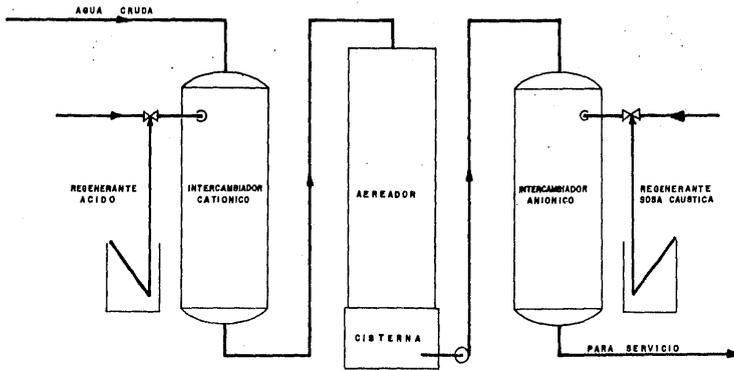


FIG. Nº 2 DESMINERALIZADOR CON AERADOR

nación de sílice en dos etapas, el primer paso sería pasar - el agua a través del intercambiador catiónico en ciclo hidrógeno, y el segundo pasar este efluente a través de un intercambiador aniónico altamente básico. En el primer paso, los cationes de hidrógeno serían intercambiados por los cationes calcio, magnesio, sodio, etc., que serían tomados por el intercambiador catiónico. Esto daría como resultado la formación de ácidos minerales fuertemente ionizados, tales como - sulfúrico, clorhídrico, y/o ácidos nítricos, y ácidos muy -- poco ionizados tales como el carbónico y silícico.

En el segundo paso, tanto los ácidos fuertemente ionizados como los débiles que se formaron en el primer paso, serían tomados por el intercambiador aniónico, el que daría en intercambio una cantidad equivalente de iones de hidroxilo - que se unirán.

Por lo tanto, el equipo que se usa puede ser una unidad (o batería de unidades) de intercambio catiónico en ciclo -- hidrógeno, y una unidad (o batería de unidades) de intercambio aniónico fuertemente básico, con sus respectivos tanques regenerantes. Estos sistemas se usan a menudo con aguas - - bajas en alcalinidad o en aquellos casos en que el volumen - manejado es pequeño. Sin embargo, con aguas que tienen una cantidad apreciable de alcalinidad de bicarbonato es más económico usar un desgasificador o un desaerador al vacío entre las dos etapas, para eliminar el bióxido de carbono (formado al descomponerse el ácido carbónico en bióxido de carbono y

agua), que eliminarlo en el segundo paso. Cualquier pequeño residuo de bióxido de carbono que quede en el efluente, procedente del desgasificador o del desaerador al vacío, obviamente es eliminado en el segundo paso, junto con el ácido silícico y los ácidos minerales ionizados.

#### a) Intercambio Iónico

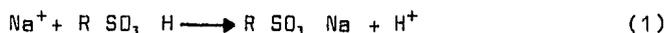
Actualmente la aplicación del intercambio iónico al tratamiento de aguas, es el método más sencillo, práctico y económico para obtener agua de buena calidad a partir de aguas con cierto contenido de sales minerales disueltas. En términos generales el intercambio iónico es un proceso por medio del cual las resinas sintéticas denominadas intercambiadores de iones, cuando se ponen en contacto con un líquido, tienen la capacidad de reaccionar químicamente con los iones de las sales disueltas en el líquido, ocurriendo de este modo la eliminación de los minerales disueltos.

El campo de aplicación de las resinas sintéticas es muy amplio, para los fines que nosotros perseguimos las utilizamos únicamente en los procesos de desmineralización.

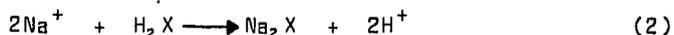
La mayor parte de los intercambiadores iónicos comerciales son de materiales plásticos sintéticos, como copolímeros de estireno y divinil benzeno. Hay un balance fino entre la producción de un polímero poco entrecruzado que permite la entrada libre del agua para que la reacción sea rápida, pero que sólo es ligeramente soluble, y una resina muy entrecruzada, que sería insoluble, pero de uso más difícil a causa de

las velocidades restringidas de intercambio tanto en el agotamiento como en la regeneración. Los intercambiadores iónicos para tratamiento de agua son, en esencia, insolubles, y su vida útil esperada es de 5 a 10 años.

Para producir intercambiadores de cationes se trata el plástico con ácido sulfúrico, y grupos sulfónicos se unen a cada núcleo en el esqueleto para dar un sitio de intercambio. Esto produce un electrólito fuerte, para el que se muestra - abajo una reacción típica con cationes en agua:

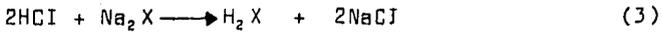


En esta ecuación, la estructura de la resina está representada por R. La convención usual omite la escritura explícita del grupo activo (-SO<sub>3</sub> H) y, simplemente se da la molécula intercambiadora total, que se muestra como Z (Na<sub>2</sub>Z, a causa del uso histórico de la palabra "zeolita") o X, que en este texto se empleará para indicar el intercambiador de cationes. Entonces, la ecuación anterior se describe de ordinario como:

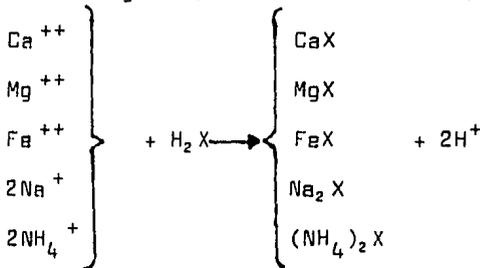


donde la X es considerada como una unidad divalente de intercambio de cationes. En este ejemplo, los iones de sodio en el agua son intercambiados por iones de hidrógeno en el intercambiador, una reacción común de intercambio. Esto es conocido como operación ciclo de hidrógeno. Cuando se termina la dotación de iones de hidrógeno de la resina de intercambio, - circunstancia llamada agotamiento, el intercambiador es rege-

nerado por un lavado ácido:



Un ejemplo más realista que ilustra la propiedad de un intercambiador iónico llamada selectividad, es el procesamiento de una agua típica que contiene diversos iones mediante el ciclo de hidrógeno (intercambio forma-H)



Si este proceso de intercambio iónico continúa hasta el agotamiento, los iones que aparecerán primero en el efluente serán  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{Na}^+$ , y si entonces se analiza el lecho agotado, la distribución de iones será como la mostrada en la figura 3. Esto se debe a la selectividad o preferencia que el intercambiador de cationes tiene por ciertos iones, Una lista de selectividad se muestra en la Tabla 8.

El orden de selectividad mostrado se aplica a iones en una agua típica con menos de 1,000 mg/l STD. La selectividad es diferente a concentraciones elevadas. Por ejemplo, en el ciclo del sodio, a 1,000 mg/l el intercambiador muestra preferencia por el  $\text{Ca}^{+2}$  sobre el  $\text{Na}^+$ , mientras que a 100,000 mg/l lo contrario es cierto (véase figura 4). Esto es afortunado, ya que aumenta la eficiencia de la regeneración con la salmuera.

TABLA 8 ORDEN GENERAL DE LA SELECTIVIDAD DE IONES EN AGUA POR DEBAJO DE 1,000 mg/l STD.

CATIONES	ANIONES
Fe <sup>+3</sup>	CrO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> *
Al <sup>+3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> *
Pb <sup>+2</sup>	SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> *
Ba <sup>+2</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> *
Sr <sup>+2</sup>	CNS <sup>-</sup>
Cd <sup>+2</sup>	CNO <sup>-</sup>
Zn <sup>+2</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Cu <sup>+2</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Fe <sup>+2</sup>	Br <sup>-</sup>
Mn <sup>+2</sup>	Cl <sup>-</sup>
Ca <sup>+2</sup>	CN <sup>-</sup>
Mg <sup>+2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
K <sup>+1</sup>	HSiO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup>
Na <sup>+</sup>	F <sup>-</sup>
H <sup>+</sup>	
Li <sup>+</sup>	

\* Estos pueden ser desplazados cuando son protonados a pH -- bajo, a:

NOTAS: Pueden ocurrir cambios en la posición entre productos de manufactura diferente o que tienen esqueletos o grupos de intercambio ligeramente distintos. En general la selectividad está afectada por:

(a) La valencia iónica: 3 > 2 > 1

(b) El número atómico: Ba > Sr > Ca > Mg en el grupo IIA

(c) Radio iónico hidratado: cuanto mayor sea el radio, tanto menores son la selectividad y la capacidad de intercambio.

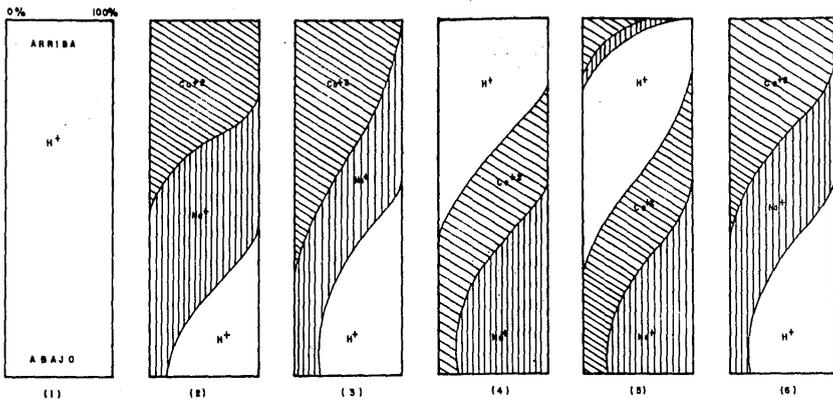


FIG. Nº 3 CAMBIO EN LA DISTRIBUCION DE IONES DURANTE EL INTERCAMBIO DE CATIONES, CICLO H, CON FLUJO DESCENDENTE DE AGUA Y ACIDO (REGENERACION A CORRIENTE PARALELA).

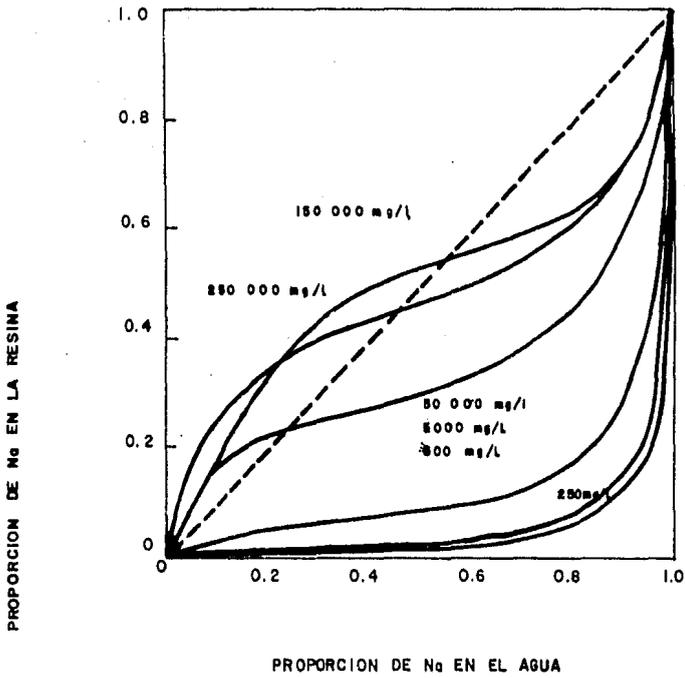


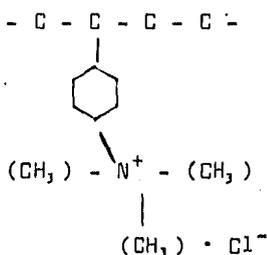
FIG. Nº 4 EQUILIBRIO  $\text{Na}^+/\text{Cd}^{+2}$  PARA UNA RESINA INTERCAMBIADORA DE CATIONES DE ACIDO SULFONICO.

Volviendo al exámen de la naturaleza de los intercambiadores de cationes, existen varios materiales de importancia comercial además del material basado en el estireno. Uno es la arenisca verde procesada -la zeolita original- que aún se emplea con éxito en la remoción del hierro y del manganeso. Sólo puede operar en el ciclo del sodio dentro de un intervalo limitado del pH. Otro, cuya importancia va en aumento, es una resina que tiene al grupo carboxilo ( $-\text{COOH}$ , con el ión --hidrógeno intercambiable) como sitio de intercambio. A este se le llama intercambiador de catión débil, que se analizará al considerar las operaciones de intercambio de hidrógeno. -- Este material es muy selectivo respecto al  $\text{H}^+$  y cationes divalentes, aunque no tiene capacidad apreciable para intercambiar  $\text{Na}^+$ . Un tercer material es una verdadera zeolita sintética (aluminosilicato) que puede hacerse a la medida de las aplicaciones específicas y para la adsorción de moléculas específicas (cedazos moleculares).

#### Intercambiadores de Aniones

Los intercambiadores de aniones pueden producirse a partir de varios esqueletos resinosos o plásticos, incluyendo -- el mismo copolímero estireno-divinil benzeno usado para intercambiadores de cationes. Como en el caso de los intercambiadores de cationes comercialmente se emplean dos variedades generales : intercambiadores de base débil e intercambiadores de base fuerte. El grupo funcional de un intercambia-

dor de aniones es una amina, el equivalente orgánico del am-  
 niaco. Los intercambiadores de base débil contienen un gru-  
 po de aminas secundarias o terciarias,  $RR' - NH$  o  $RR' - N - R$ ,  
 que puede adsorber ácidos fuertes. Los intercambiadores de  
 base fuerte contienen una amina cuaternaria  $R R' R'' R''' N^+$   
 $Cl^-$ , que puede intercambiar aniones. La resina cuaternaria  
 más común tiene la fórmula  $-R \cdot N (CH_3)_3 \cdot Cl^-$ , o en forma es-  
 tructural.



RESINA CUATERNARIA

Los intercambiadores de aniones de base débil son capaces  
 de eliminar ácidos minerales fuertes  $-HCl$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ , sin  
 tener prácticamente capacidad de intercambio para ácidos débi-  
 les-  $CO_2$ ,  $SiO_2$  y ácidos orgánicos. La reacción típica aparen-  
 ta ser un proceso de adsorción más que un proceso de intercam-  
 bio.

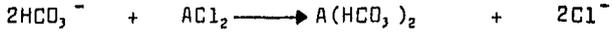


(En este texto, la letra A representa un intercambiador de -  
 aniones). La resina agotada se regenera de modo muy eficien-  
 te con cualquier álcali, que simplemente neutraliza al ácido  
 adsorbido y lo descarga en forma de sal neutra.

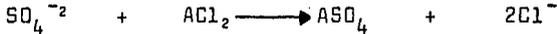
Los intercambiadores de base fuerte son verdaderos mate-  
 riales para intercambio iónico. Algunas reacciones típicas -

son:

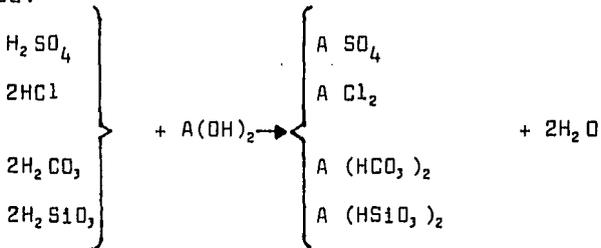
Desalcalinización, con intercambiador forma -Cl,  $ACl_2$  :



Remoción de sulfato, con intercambiador forma -Cl:



El uso más común de los intercambiadores de base fuerte lo tienen en la remoción completa de los aniones del efluente del intercambiador de hidrógeno, para producir agua desmineralizada:



Esta resina de intercambio es generada con NaOH. En esta forma, el intercambiador puede también convertir sales neutras en cáusticos, lo cual se conoce como separación de sal:



La selectividad del intercambiador de aniones, mostrada también en la tabla No.1, indica que primero saldrá la sílice a través del lecho, y la composición del lecho agotado será la mostrada en la figura 5.

#### b) Intercambiador Catiónico Ciclo Hidrógeno

El proceso básico.- El ablandamiento de agua por intercambio catiónico en el ciclo de sodio, no reduce los sólidos totales disueltos, sino que los aumenta ligeramente, ya que 46

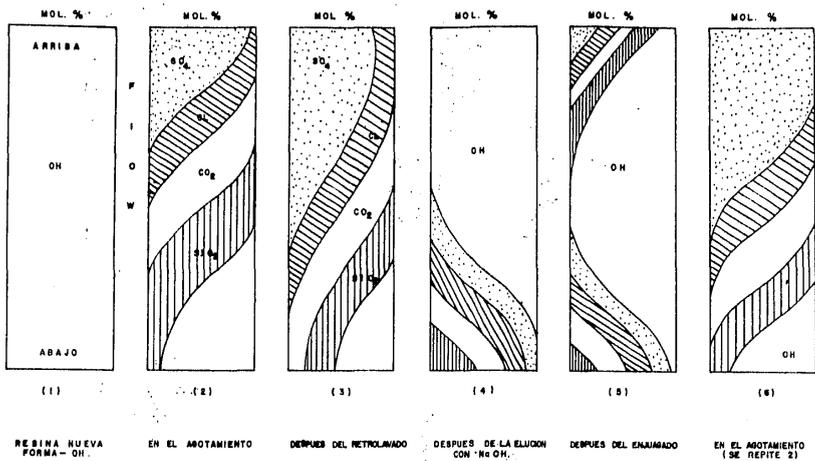
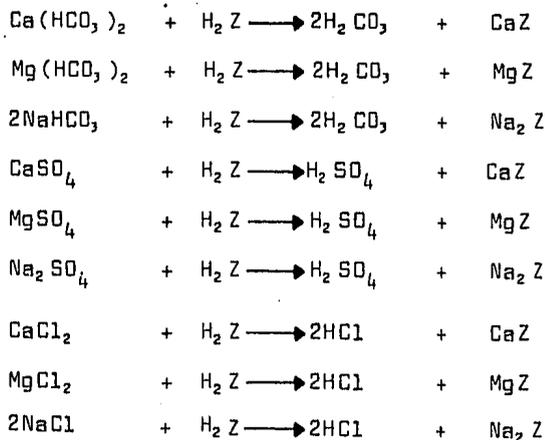


FIG. Nº 5 DISTRIBUCION DE IONES DURANTE LA DESMINERALIZACION POR INTERCAMBIO DE ANIONES CON REGENERACION A CORRIENTE PARALELA.

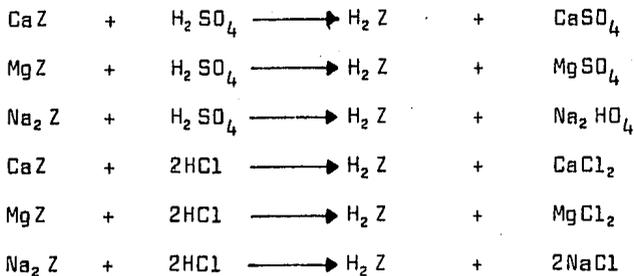
partes de sodio reemplazan a 40 partes de calcio o a 24 de magnesio. Los aniones, o sea, los sulfatos, cloruros, nitratos y bicarbonatos, pasan a través de la unidad sin alterarse y permanecen en el agua tratada combinados con sodio. Con el desarrollo de los materiales cambiadores de cationes orgánicos del tipo de carbón sulfonado, la remoción de sodio -- fué posible mediante la operación de los lechos de zeolita -- en un ciclo de hidrógeno, en lugar de en un ciclo de sodio. Para llevar a cabo esto, el material se regenera con un ácido mineral, usualmente sulfúrico o clorhídrico, en lugar de cloruro de sodio. Subsecuentemente, los cambiadores de iones resinosos han sido adaptados a la operación del ciclo -- de hidrógeno.

Las reacciones químicas que ocurren durante la operación y regeneración de los cambiadores catiónicos de hidrógeno, -- son las siguientes, estando expresada la zeolita de hidrógeno como  $H_2 Z$ :

#### Ablandamiento



### Regeneración



De las reacciones anteriores, podrá verse que los iones de bicarbonatos, cloruros, y sulfatos en el agua sin tratar, se combinan con iones de hidrógeno, mientras que el calcio, magnesio y sodio permanecen en el lecho combinados con el material de intercambio iónico. El agua tratada contiene los ácidos correspondientes, que son, ácido carbónico,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , ácido clorhídrico,  $\text{HCl}$ , o ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

#### c) Aereador de Tiro Forzado

Debido a que la formación de ácido carbónico es grande - al igual que el flujo de agua tratada, se emplea un aereador de tiro forzado para economizar el proceso y dar mayor eficiencia a las unidades aniónicas.

Se puede remover prácticamente todo el ácido carbónico - como bióxido de carbono aereando el efluente.

Los tipos de aereadoras dependen de cierto número de factores, entre los que citaremos (1) contenido de bióxido de carbono del agua, (2) grado de remoción requerido, (3) si se requiere o no la eliminación de hierro y/o manganeso, y (4) volumen de agua involucrado. Si el contenido de bióxido

de carbono es pequeño, un aereador de charolas con coque o de tirillas de madera puede ser suficiente, si no se necesita eliminar hierro y/o manganeso se debe usar un aereador -- con boquillas aspersoras o de cono invertido. Por otra parte, si se requiere una eliminación casi total del bióxido de carbono, es necesario un desgasificador de tipo cerrado y -- tiro forzado para obtener los mejores resultados. Si bajo estas condiciones los volúmenes de agua manejados son relativamente pequeños, puede usarse un tanque descarbonatador en sustitución del aereador o desgasificador de tiro forzado. Si también se requiere la eliminación de hierro y manganeso, comúnmente da buenos resultados un aereador con bandejas -- llenas de coque o construido con tirillas de madera.

El problema de remover bióxido de carbono del agua, es similar al de remover oxígeno, pero es considerablemente más complejo y difícil. El bióxido de carbono puede existir en tres formas en el agua, o sea, como ácido carbónico,  $H_2CO_3$ , y como carbonatos normales,  $CO_3$ . El ácido carbónico es descompuesto rápidamente a bióxido de carbono y agua ( $H_2CO_3 \rightleftharpoons H_2O + CO_2$ ). En esta forma, puede ser fácilmente expulsado al aumentar la temperatura del agua. Los carbonatos y bicarbonatos, cuando se encuentran combinados químicamente para formar bases, sin embargo, no son rápidamente removidos por el calor y son expulsados como bióxido de carbono libre solamente hasta el grado en que se encuentran disociados. El grado de disociación, a su vez, depende del valor de pH del agua, la pre

sión de vapor sobre la superficie del líquido y una serie de otros factores. Por estas razones y a causa de su mayor solubilidad, el bióxido de carbono gaseoso no puede ser reducido a nivel tan bajo como el oxígeno, cuando el agua pasa a través de algún aparato desaerador.

#### Aeradores de tiro forzado o desgasificadores.

Este tipo de aeradores mostrado en la figura 6, es una estructura cerrada que contiene un número dado de charolas -- cercanamente espaciadas, construidas generalmente de madera. El agua entra por la parte superior en la que, por medio de un distribuidor, se reparte sobre toda la superficie del aerador, fluyendo hacia abajo a través de las charolas del aparato, las que están construidas de tal manera que el agua de la gradilla superior cae en el centro de la inferior. En la parte inferior el agua pasa al depósito a través de un sello hidráulico. El aire se proporciona al aerador mediante un soplador cuya entrada se coloca en la parte inferior del aparato, la salida del aire y las sustancias eliminadas se hace por la parte superior descargando directamente a la atmósfera.

La alta eficiencia de estos aparatos se debe a la gran superficie de contacto entre el agua y el aire, además de que se puede tener un control más preciso del aire que se inyecta. Como se notará de la tabla de capacidades de la figura No. 6 la razón de flujo empleada en la práctica americana -- es de 22 gpm/pla<sup>2</sup>. También deberá notarse que el flujo per-

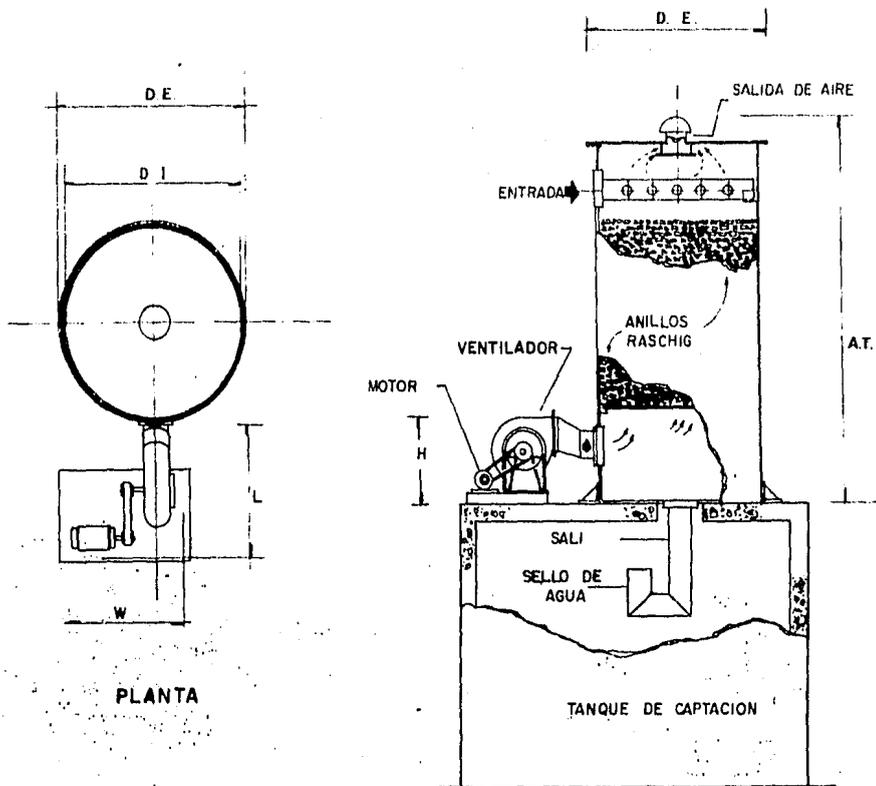


FIG. N° 6 AERADOR DE TIRO FORZADO

CAPACIDAD EN G P M APROX.	DIAMETRO INTERIOR D. I.	AREA EN PIES CUADRADOS	DIAMETRO TUBOS		ALTURA TOTAL (A.T.) DESGASIFICADORES						DIMENSIONES DE MOTOR Y ABANICO APROXIMADAMENTE			
			ENT.	SAL	DIAMETRO EXTERIOR D. E.	CONTENIDO DE CO <sub>2</sub> DEL AGUA CRUDA						H	W	L
						35 R	100RPM	400RPM	35RPM	100 RPM	400RPM			
70	2'-0"	3.1	2"	2"	2'-6"	11-8	15-8	17-8	15-8	19-8	21-8	7'-8"	1'-3"	4'-8"
105	2'-6"	4.9	2 1/2"	2 1/2"	3'-0"	11-8	15-8	17-10	15-8	19-8	21-10	2'-0"	1'-8"	5'-0"
155	3'-0"	7.0	2 1/2"	3"	3'-6"	11-8	15-10	17-10	15-8	19-10	21-10	2'-0"	1'-8"	5'-0"
210	3'-6"	9.6	3"	4"	4'-0"	11-8	15-10	18-0	15-8	19-10	22-0	2'-2"	2'-0"	5'-4"
275	4'-0"	12.5	4"	5"	4'-6"	11-10	16-0	18-2	15-11	20-0	22-2	2'-4"	2'-2"	6'-0"
350	4'-6"	15.9	4"	5"	5'-0"	12-0	16-2	18-8	16-0	20-2	22-8	2'-6"	2'-8	7'-0"
430	5'-0"	19.6	5"	6"	5'-6"	12-2	16-8	18-8	16-2	20-8	22-8	2'-6"	2'-8"	7'-0"
620	6'-0"	28.3	5"	6"	6'-0"	12-8	16-8	18-8	16-8	20-8	22-8	2'-6"	2'-8"	7'-0"
850	7'-0"	38.5	6"	8"	7'-6"	12-8	16-8	18-8	16-8	20-8	22-8	2'-6"	2'-8"	7'-2"
1 100	8'-0"	50.3	8"	8"	8'-6"	12-8	16-8	19-0	16-8	20-8	23-0	3'-0"	3'-0"	7'-6"
1 400	9'-0"	63	8"	10"	9'-6"	12-8	16-8	19-0	16-8	20-8	23-0	3'-0"	3'-0"	7'-8"
1 720	10'-0"	78	10"	10"	10'-7"	12-8	17-0	19-0	16-8	21-0	23-2	3'-0"	3'-2"	7'-9"
2 090	11'-0"	95	10"	12"	11'-7"	12-8	17-0	19-2	16-8	21-0	23-2	3'-0"	3'-2"	8'-0"
2 480	12'-0"	112	12"	14"	12'-7"	13-0	17-2	19-11	17-0	21-2	23-11	4'-3"	4'-0"	8'-6"
2 900	13'-0"	135	12"	16"	13'-7"	13-0	17-8	19-11	17-0	21-8	23-11	4'-3"	4'-0"	8'-6"
3 380	14'-0"	158	14"	16"	14'-7"	13-2	17-11	20-5	17-2	21-11	24-5	5'-4"	4'-5"	9'-4"
3 880	15'-0"	180	14"	18"	15'-8"	13-2	17-11	20-5	17-2	21-11	24-5	5'-4"	4'-5"	9'-4"
4 420	16'-0"	200	14"	18"	16'-8"	13-8	17-11	20-8	17-8	21-11	24-8	5'-10"	5'-2"	10'-0"
5 600	18'-0"	280	16"	20"	18'-8"	13-11	18-5	21-0	17-11	22-5	25-0	6'-2"	5'-8"	10'-8"
6 900	20'-0"		16"	20"	20'-8"	14-5	18-8	21-4	18-5	22-8	25-4	6'-2"	5'-8"	10'-8"

manece constante mientras que la altura aumenta de acuerdo con la concentración de bióxido de carbono en el agua cruda y de la cantidad que se requiera eliminar.

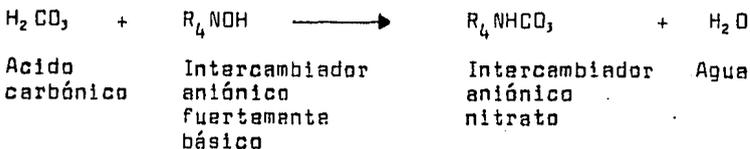
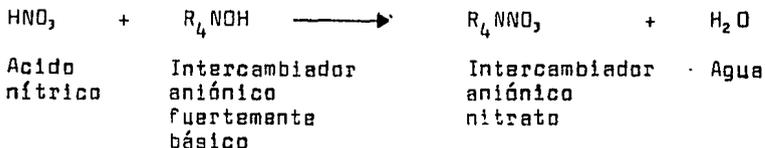
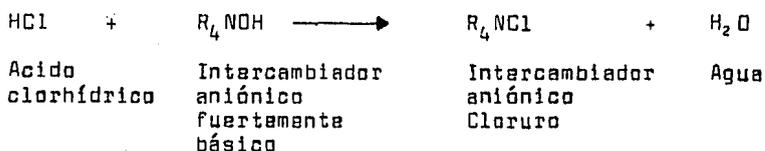
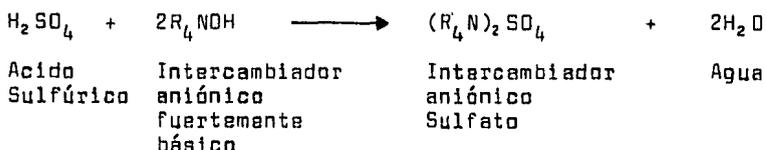
La eliminación del bióxido de carbono es la aplicación más importante de este aereador y sus resultados en la práctica son consistentes ya sea con aguas alcalinas, neutras o ácidas. Es también muy usado en la eliminación de sulfuro de hidrógeno. Como ya se dijo, esta operación se ha efectuado en aereadores de dos cámaras, cuyas cámaras superiores son del tipo de tiro forzado y se usan como lavadores de gases. Los gases eliminan el sulfuro de hidrógeno del agua -- por disolución del bióxido de carbono y reducción del pH -- Las cámaras inferiores son aereadores de tipo abierto de rejillas de madera, que sirven para eliminar el bióxido de carbono libre que antes se había introducido al agua. En otros casos se recurre a burbujear aire, dependiendo de la acción bacteriana en el aereador y el depósito para la eliminación de sulfuro no removido por aereación.

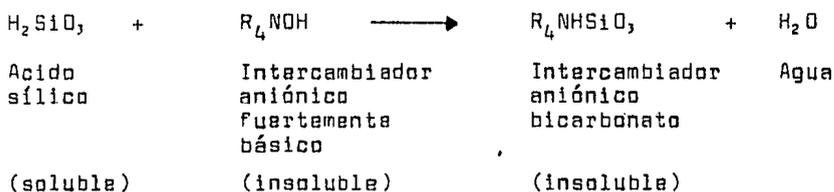
Este tipo de aereador casi siempre se construye de madera y es capaz de manejar todo tipo de aguas, Debido a su habilidad de manejar aguas ácidas, se usan estos equipos en los sistemas de ionización para eliminar el  $\text{CO}_2$  de las celdas catiónicas que contienen apreciables cantidades de ácidos minerales. En algunos casos en lugar de las charolas de madera se pueden empacar con anillos Rasching o similares.

d) Intercambiadores Aniónicos fuertemente básicos.

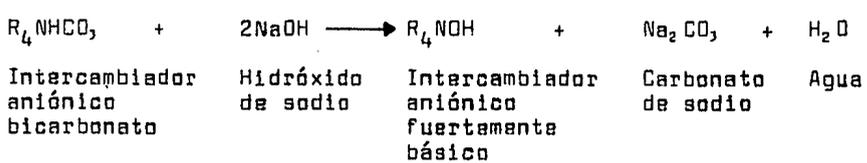
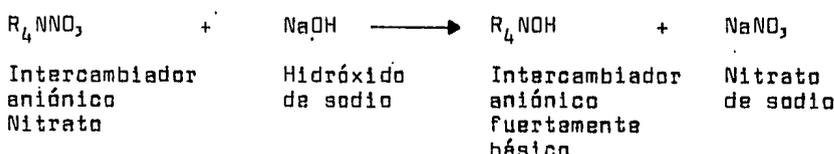
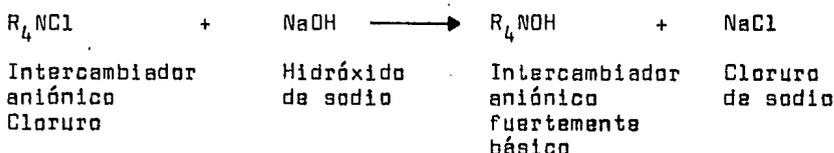
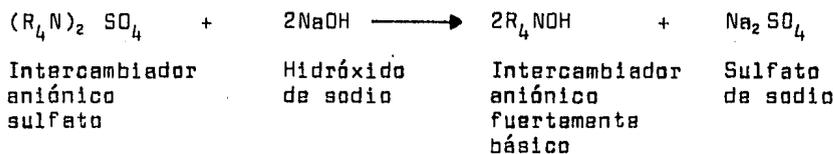
Es obvio que no se puede tolerar ácido mineral libre en el agua para alimentar calderas o para la mayoría de los procesos, es por ello que el agua debe ser neutralizada y por ello se usa este tipo de intercambiador.

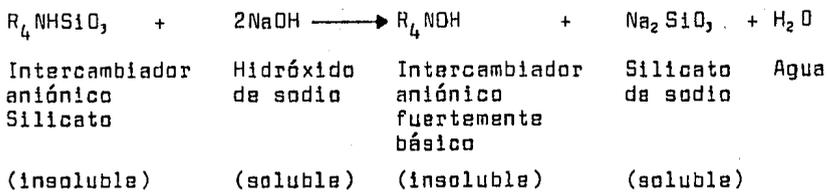
Estos difieren de los débilmente básicos en que remueven tanto los ácidos ionizados como lo que no lo están. Empleando el símbolo  $R_4N$  como el radical del intercambiador aniónico básico fuerte, las reacciones de estas resinas aniónicas con las dos clases de ácidos se muestran como sigue:





Al final de la operación, el intercambiador fuertemente básico se retrolava, regenera con solución de sosa cáustica - (NaOH); se enjuaga y se vuelve al servicio. Las reacciones de regeneración se pueden escribir como sigue:





Aunque las resinas aniónicas fuertemente básicas pueden eliminar el bióxido de carbono, es mucho más fácil y barato eliminarlo ( $H_2CO_3 \rightleftharpoons CO_2 + H_2O$ ) por medios mecánicos. Por esto, en muchas de las plantas de desmineralización, la mayoría del bióxido de carbono se elimina en un desgasificador antes de que el agua pase a la unidad aniónica. Las excepciones a este arreglo son las aguas que tienen un contenido bajo de bicarbonatos o de alcalinidad de carbonato y al mismo tiempo cuando se trata de desmineralizar volúmenes relativamente pequeños de agua.

e) Desaerador.

El tipo más común de agua corrosiva es la que tiene disuelto aire. Ya que es el contenido de oxígeno disuelto la causa de la corrosión, ésta se conoce como "corrosión por oxígeno disuelto". En atmósfera seca, el hierro no se oxida. Si un espécimen de hierro se coloca dentro de agua perfectamente desaerada con un pH no demasiado bajo, no se aprecia una corrosión notable. Pero si la muestra se sumerge en -- agua que contenga oxígeno disuelto, la corrosión se hace -- rápidamente evidente.

La velocidad de la corrosión por el oxígeno disuelto se

aumenta bajando el pH del agua y se disminuye elevándolo. Consecuentemente, cuando están presentes aire y gran cantidad de bióxido de carbono libre en aguas de baja alcalinidad, la corrosión toma lugar más rápidamente que en aguas de la misma alcalinidad pero de menor contenido de bióxido de carbono. Si hay suficiente  $\text{CO}_2$  libre para bajar el pH, el agua puede ser corrosiva aún cuando esté libre de oxígeno disuelto. De una manera general, se puede decir que el oxígeno es 10 veces más corrosivo que el  $\text{CO}_2$ .

La velocidad de la corrosión por oxígeno disuelto en los calentadores de agua aumenta rápidamente con los aumentos en la temperatura, la velocidad de corrosión baja prontamente. En general, podemos suponer que esta reacción, de acuerdo con la regla química, se dobla en velocidad por cada  $10^\circ\text{C}$  de aumento en la temperatura. Generalmente se puede esperar que a altas temperaturas la corrosión por el oxígeno sea 200 veces mayor que a  $0^\circ\text{C}$ . Hay, sin embargo, otros factores que trabajan en la dirección opuesta, uno de los cuales es, que la solubilidad de aire en el agua disminuye con la temperatura.

Sin embargo, es conocido en la práctica, que las líneas de agua caliente de baja dureza se corroen más rápidamente -- que las que transportan agua fría, y la peor "agua roja" se obtiene de las purgas de líneas de agua caliente (con aguas de alta dureza de bicarbonato, la película de carbonato de calcio que se forma da una protección definitiva al metal que recubre). Obviamente, deben evitarse depósitos muy fuertes -

de carbonato de calcio; sin embargo, en muchos sistemas municipales de distribución de agua, sistemas de enfriamiento, -- donde el agua se recircula a través de torres de enfriamiento abiertas, etc., muy a menudo se emplean estas delgadas capas de carbonato de calcio para reducir la corrosión. También, - en las calderas antiguas de baja presión, los operadores frecuentemente confiaban en estos depósitos para reducir la corrosión de la caldera, naturalmente esto no evita la corrosión en las líneas de retorno de condensado.

En las calderas de alta presión no se puede tolerar ninguna formación de depósitos, y en capítulos anteriores se dijo que es necesario la casi completa eliminación del oxígeno efectuada por desgasificadores. Para las calderas de baja presión donde no se requiere una eliminación completa, a menudo se emplean calentadores abiertos para reducir el contenido de oxígeno del agua. Los desaeradores al vacío se pueden emplear - para remover gases disueltos de las aguas frías y proteger las líneas contra la corrosión y para descarbonatar los efluentes en los procesos de desmineralización por intercambio iónico.

#### ELIMINACION DE OXIGENO, NITROGENO Y BIOXIDO DE CARBONO POR EBULLICION

Ya que las solubilidades del oxígeno, nitrógeno y  $CO_2$  son cero en el punto de ebullición, el agua puede liberarse de -- ellos hirviéndola y desfogando los gases que escapan. Esto -- puede ser efectuado hirviendo el agua a cualquier presión.

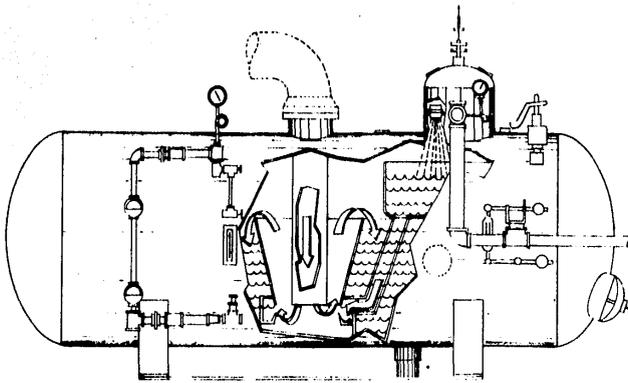
## DESAÉREADORES: CALENTADORES TIPO ROCIO PARA DESAEREAR

En el calentador desaerador, el vapor se usa dos veces, - primero para lavar el agua caliente pero no completamente desaerada del primer calentador y segundo, para calentar y eliminar la mayor parte de los gases disueltos en el calentador primario. Este sistema elimina el oxígeno a prácticamente -- cero, o sea a menos de 0.005 ml/lt que es la garantía del fabricante.

Como se muestra en la figura 7, el agua entra a través de una válvula controlada por un flotador que se opera externamente. Al aumentar la demanda, o disminuir, la válvula se -- abre o se cierra. Inmediatamente después de esta válvula hay una conexión para los condensados fríos. Estos dos flujos -- pasan al condensador de purga y al cabezal de válvula de rocío.

Después el agua del cabezal pasa al espacio vapor, aquí -- se calienta y desaera hasta menos de 0.3 ml/lt de oxígeno. -- Este agua caliente pasa al lavador de vapor donde es lavada -- por todo el vapor que se requiere en el cabezal de válvula.

Como el agua caliente que entra al lavador de vapor está a sólo pocos grados bajo la temperatura del vapor, se condensa poco vapor con ella. El volumen de vapor que pasa a través del lavador, comparado con el volumen de agua caliente que se desaera, es muy grande, de manera que la presión parcial -- del oxígeno es despreciable. Más aún, puesto que hay alguna presión hidrostática sobre el vapor -el lavador tiene una -- pérdida de media libra- el agua lavada se calienta un poco --



**FIG. Nº 7 DESAERADOR A PRESION**

arriba de su punto de ebullición a la baja presión que prevalece en el nivel donde se descarga el lavador. El flash consecuente que tiene lugar a este nivel, también ayuda a la desaireación.

Todo el vapor entra al calentador a través de la pechera de vapor. Pasa después a través del lavador y sube al compartimiento de válvulas, donde calienta el agua que se rocía a través de él. Los condensados usualmente se alimentan en el mismo punto. El vapor que se usa es invariablemente vapor de escape, pero a veces se necesita agregar vapor vivo para compensar deficiencias.

Estos desaireadores tienen un derrame para evitar inundaciones. Para evitar pérdidas de condensados se provee de un espacio de almacenamiento suficiente ajustando la válvula de control de nivel, de manera que opere a bajo nivel para admitir los condensados. La salida de estos desaireadores usualmente está en la parte inferior del tanque de almacenamiento, las bombas de la caldera deben montarse de tal manera que tengan una carga positiva y evitar flashing.

Los retornos de agua caliente tales como los condensados de sistemas de calentamiento, como ya se dijo, se añaden en el compartimiento primario, como se ilustra. Los condensadores que vienen de líneas de vapor a alta presión, se flashan cuando entran a espacios de menos presión dando así algo de vapor. Para usar este vapor, estos condensados se alimentan a la pechera de vapor de los desaireadores.

El grado de desaeración efectuado en estos aparatos, es prácticamente perfecto. La garantía de los fabricantes es de 0.005 ml/lit de oxígeno disuelto. Es decir, la cantidad remanente nunca es mayor de 0.005 ml/lit. El nitrógeno también se elimina prácticamente en su totalidad, lo mismo se puede - - decir del bióxido de carbono y si el agua contiene alguna alcalinidad de bicarbonato, una considerable parte del bióxido de carbono de los bicarbonatos también se elimina, aumentando el pH usualmente sobre 8.8.

#### 2.4.2 Agua para Embotellado

La demanda de agua por las Cervecerías es muy alta siendo común que sean del orden de 15 litros de agua por litro de cerveza producido. Las Cervecerías que cuentan con sistemas de recirculación de agua han logrado disminuir esta relación hasta valores de 5.1. de agua/Lt de cerveza. Dentro de estos sistemas de recirculación tenemos los siguientes:

Sistema de recirculación de las últimas agua de riego.- Consiste en aprovechar el agua que queda en el bagazo en el filtro Lauter, después de la operación de filtración del mosto. Esta agua se envía a unos tanques de donde se bombea nuevamente al proceso de elaboración, ya sea al macerador o al filtro Lauter nuevamente. Este sistema además de permitir un ahorro de agua, logra recuperar extracto que se iría con el bagazo y reduce la carga orgánica a los drenajes; no se requiere ningún tratamiento.

Sistemas automáticos de limpieza.- Estos sistemas denominados CIP permiten que se efectúan las limpiezas de líneas, tanques y equipos en general de manera automática, por lo que el gasto de agua es mínimo y programado, además de que el agua de enjuague final se emplea posteriormente como agua de lavado inicial, este representa un ahorro considerable.

Sistemas de recirculación del excedente de agua caliente.- El agua que se emplea para el enfriamiento de mosto y que se calienta en el intercambiador de calor, se utiliza como agua para elaboración. Existe un excedente de agua ca-

liente que se regresa a la cisterna de almacenamiento de --  
agua. Esta agua puede enfriarse previamente si afecta la -  
temperatura del agua de aprovisionamiento.

Otro medio de ahorro de agua es la creación de plantas  
de agua de recuperación, para emplearla como agua de segun-  
do uso en ciertas partes del proceso sin afectar la calidad  
del producto, es por ello que a continuación se describe la  
importancia de este departamento de servicio.

Planta de agua de recuperación.- Es una central donde -  
llegan los efluentes de la Cervecería que son factibles de  
recuperarse y tratarse para su uso posterior. Dentro de - -  
estos podemos citar:

Agua de condensados. Aquella que por posible contamina-  
ción con otros productos, no se envía de regreso a la calde-  
ra.

Agua de enfriamiento. Comprende las purgas continuas de  
la torre de enfriamiento, la utilizada para enfriamiento de  
compresora, bombas, etc. que no están integrados a un siste-  
ma de recirculación.

Agua de circuitos de limpieza. Es el agua de enjuague -  
de los diversos circuitos de limpieza efectuados a las lí-  
neas y a ciertos equipos de elaboración, fermentación y - -  
salas frías.

Agua pluvial. Es el agua recolectada de las azoteas pro-  
veniente de las precipitaciones pluviales.

Agua de las unidades de zeolitas. Es el agua de retrola

vado y enjuague de las unidades de intercambio.

Agua de lavadoras. Es un volumen de agua considerable - que se obtiene del último tanque y de los enjuagues finales de la lavadora.

Agua de pasteurizadoras. Es también un volumen de consideración y proviene del tanque de agua fresca al pasteuri-zador.

Agua de descarche. Es el agua proveniente de los enfriadores del ambiente en las salas frías y que resulta de la - condensación del aire de enfriamiento y/o del descongelamiento de las unidades.

El agua dependiendo de su calidad se incorporará al sistema en diferentes etapas del tratamiento. El tratamiento que se dará al agua dependerá del uso al que se destina, en base a lo anterior dependiendo de su origen se da el siguiente destino a los efluentes de recuperación de agua:

Fosa 1C: Derrame de el último tanque de Lavadora 17, el en-juague exterior de botella, condensados y agua pluvial, la cual se considera como fosa de agua sucia caliente.

Fosa 18: Derrame de el último tanque de Lavadora 16, el en-juague exterior de botella, derrame del pasteurizador 16, condensados y agua pluvial, la cual se clasifica como agua sucia caliente.

Fosa 1A: Derrame de los últimos tanques de las Lavadoras, - el enjuague exterior de botella, derrame de los --

pasteurizadores, agua pluvial, condensados, purgas  
continuas de las torres de enfriamiento de turbinas,  
purgas continuas de las torres de enfriamiento de -  
los condensadores de sala de máquinas, derrame de -  
el agua de la charola de las torres de enfriamiento  
de los condensadores de sala de máquinas, enjuagues  
de los circuitos cáusticos de APV's, enjuague del -  
circuito cáustico de verificación-fermentación-repo-  
so-lavadura, regeneraciones y enjuagues de las uni-  
dades de intercambio iónico, purgas periódicas y --  
continuas de las calderas, agua de enfriamiento de  
chumaceras de las bombas de calderas, enjuague del  
circuito cáustico de la línea del Grits, derrame de  
los tanques de agua helada de los APV's y derrame -  
de los tanques de agua caliente del cuarto y tercer  
piso de casa de cocimientos, y al igual que las fo-  
sas anteriores es de recepción de agua sucia calien-  
te.

Fasa 2A: Deshielo de los atemperadores de las salas frías, -  
enjuague del circuito cáustico de las líneas de - -  
Kräussen, agua de enfriamiento de las máquinas de -  
la planta # 4 de gas carbónico, agua para lubrica-  
ción, sello y enfriamiento de las bombas de planta  
de dilución, condensados, enjuague del circuito - -  
cáustico de las líneas del salón Toluca y cuartos -  
fríos, enjuague del circuito cáustico de las líneas

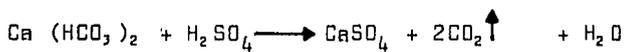
y tanques de embotellado "A", agua pluvial y la última etapa del retrolavado de los filtros de grava y arena (FGA) y filtros de carbón activado (FCA), - que es una fosa agua sucia fría a diferencia de las anteriores.

Fosa 3A: Agua de enfriamiento de los compresores de sala de máquinas, siendo esta fosa de agua tratado o recepción de agua limpia.

Fosa 3B: Almacenamiento de agua filtrada.

La finalidad de cada uno de los equipos y sustancias químicas empleadas en planta de agua es el siguiente:

Tratamiento con ácido.- Tiene como objetivo lograr el -- ajuste de pH establecido por normas para el agua de servicio a embotellado de 7.0 a 8.0 para evitar así la corrosión en - los equipos y líneas, además de reducir la tendencia a la in - crustación, al reducir la alcalinidad y formar una sal de -- calcio más estable y soluble que el bicarbonato de calcio.



El ácido que más se usa es el ácido sulfúrico, básicamen - te por su bajo costo.

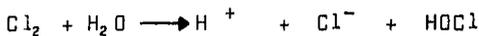
Tratamiento con fosfatos.- El control con fosfatos con-- siste en la formación de precipitados de calcio y magnesio - cuya finalidad es evitar la incrustación en equipos y líneas.

Los fosfatos más empleados son los fosfatos trisódico, - disódico y monosódico, el hexametáfosfato y tetrafosfato de sodio. Se recomienda tener un exceso en el agua de 15 a 30 -

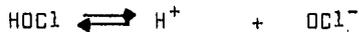
ppm de fosfato soluble.

Clorinación.- Es el método más común para esterilizar el agua, se emplea generalmente para ello debido a su menor costo que los biocidas oxidantes.

El gas cloro disuelto en agua se hidroliza rápidamente con forma a la siguiente ecuación:



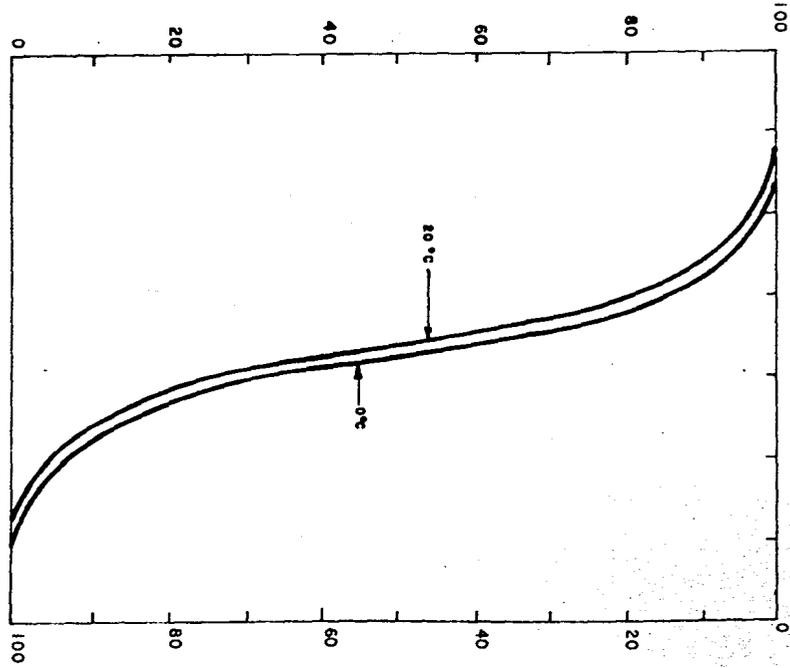
La hidrólisis ocurre en menos de un segundo a 65°F (18°C). El ácido hipocloroso (HOCl) es el ingrediente activo formado en esta reacción. Este ácido débil tiende a experimentar una disociación parcial como sigue:



Esto produce un ión hipoclorito y un ión hidrógeno. Dependiendo del pH y de la concentración, el cloro en agua existe como gas cloro libre, ácido hipocloroso o ión hipoclorito. La figura 9 ilustra la distribución de estos componentes en función de los valores del pH. Por arriba de un pH igual a 7.5, predominan los iones hipoclorito, y se encuentran en forma exclusiva cuando el pH excede 9. La suma del ácido hipocloroso y de los iones hipoclorito se define como cloro libre disponible. Las sales de hipoclorito, como el hipoclorito de calcio, se ionizan en agua para dar estas dos especies dependiendo del pH.



PORCENTAJE NO IONIZADO (HOCl)



PORCENTAJE IONIZADO (OCl<sup>-</sup>)

FIG. Nº 9 DISTRIBUCION DEL HIPOCLORITO EN AGUA COMO FUNCION DEL PH

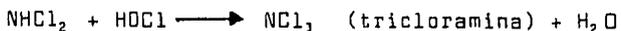
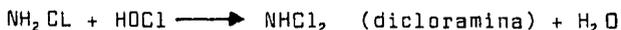
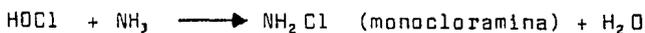
Así, se establece el mismo equilibrio cuando para la cloración se emplea cloro elemental o hipoclorito.

Se puede disponer de cloro licuado a grenel y en tanques. En la figura 10 se muestra una curva de cloración hasta el punto de equilibrio mostrando la reacción del cloro con compuestos en N.

Productos químicos, distintos al gas cloro, que liberan iones hipocloritos se comparan entre sí por el poder oxidante sobre la base de "cloro disponible". Los valores de cloro disponible de algunos desinfectantes se muestran en la Tabla 9.

El cloro es un agente oxidante fuerte capaz de reaccionar con muchas impurezas en el agua incluyendo amoníaco, aminoácidos, proteínas, material carbonáceo,  $Fe^{+2}$ ,  $S^{-2}$  y  $CN^{-}$ .

La cantidad de cloro necesaria para reaccionar con estas sustancias se denomina demanda de cloro. El cloro reacciona con el amoníaco para formar tres cloraminas diferentes:



Estos compuestos de cloramina tienen también propiedades biocidas; se les conoce como cloro residual combinado. En general, las cloraminas actúan más lentamente que el cloro residual libre, pero tienen la ventaja de ser más efectivas a valores del pH mayores de 10. Las cloraminas pueden también ser más persistentes en un sistema de agua.

La cloración hasta el punto de equilibrio es la adición de suficiente cloro para satisfacer la demanda de cloro y -- producir cloro residual libre. Cuando se usa esta cloración el contenido de nitrógeno amoniacal se destruye y el cloro residual remanente será casi por entero cloro libre disponible.

T A B L A No. 9

COLORO DISPONIBLE O PRODUCTOS QUIMICOS DE CLORACION

M A T E R I A L	PORCENTAJE DISPONIBLE DE Cl <sub>2</sub>
Gas cloro (Cl <sub>2</sub> )	100
Dióxido de cloro (ClO <sub>2</sub> )	263
Hipocloritos (OCl)	
Calcio, HTC, Ca(OCl) <sub>2</sub>	70
Sodio	
Grado industrial	12-15
Grado doméstico	3-5
Litio, LiOCl, grado de lavandería	35
Acido isocianúrico clorado (CONCl) <sub>2</sub>	85

El cloro también reacciona con el nitrógeno orgánico en el agua. Este se encuentra en las componentes de las células

CLORO RESIDUAL, mg/l

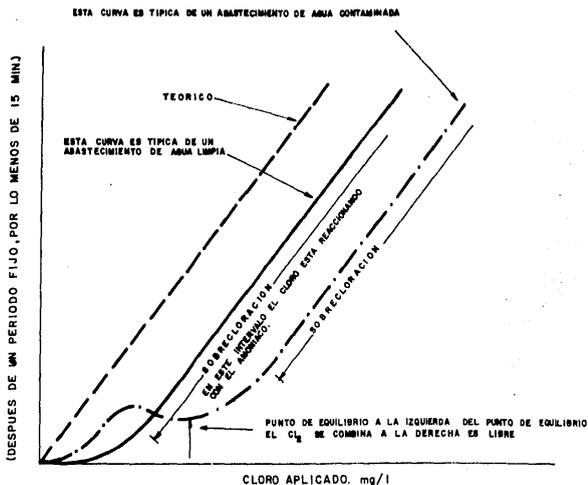


FIG. Nº10 CURVAS DE CLORACION HASTA EL PUNTO DE EQUILIBRIO MOSTRANDO LA REACCION DEL  $Cl_2$  CON COMPUESTOS EN N.

vivas, las proteínas, los polisacáridos y los aminoácidos. - Se cree que la toxicidad del cloro no se deriva del cloro -- mismo o de la liberación del oxígeno nascente sino más bien de la reacción de HOCl con el sistema enzimático de la célula. La superioridad del HOCl sobre el OCl<sup>-</sup> puede deberse al tamaño molecular pequeño y a la neutralidad eléctrica del -- HOCl, que le permite pasar a través de la membrana celular.

Fosas: Tienen como finalidad actuar como sedimentadoras, el término sedimentación se refiere a la remoción sin ayuda de coagulantes, de materia suspendida, reduciendo la velocidad del agua hasta que sea prácticamente nula.

Usualmente, la eliminación que se logra es sólo parcial, dependiendo de la materia que se trate, temperatura del agua y la amplitud de los tiempos de retención.

#### Filtración.

Filtros de arena.- Los tipos de filtros usados para la - filtración de agua, casi todos son del tipo de diseño que -- emplea material granular como medio filtrante, tales como -- arena fina o "antrafilt", a través de los cuales el agua se filtra en flujo descendente.

El tipo de filtro empleado en nuestro caso es el de presión de tipo vertical, los cuales están formados por una co-raza metálica cilíndrica con tapas abombadas que contienen - una capa de medio filtrante (arena o antrafilt) soportado -- por capas de grava o antrafilt con los accesorios necesarios para llevar a efecto las operaciones de filtración y retrola vado.

Disposición de los diferentes tipos de grava y arena.- -  
El fondo semiesférico del filtro normalmente va relleno con concreto. Sobre este material va el múltiple de recollación de agua y después las siguientes camas en orden ascendente.

4 pulgadas de grava gruesa de 1 1/2 a 3/4 pulgadas

4 pulgadas de grava mediana de 3/4 a 1/2 pulgadas

4 pulgadas de grava fina de 1/2 a 1/4 pulgadas

4 pulgadas de hormigón

2 pulgadas de arena sílica

Debe dejarse un espacio libre de 24 a 26 pulgadas aproximadamente, para permitir la expansión de la arena durante -- los retrolavados.

La entrada de agua de la parte superior deberá tener un deflector para evitar que ésta se proyecte hacia el lecho de arena en forma directa, obligándola así a que se reparta uniformemente evitando la formación de cavidades que disminuyan el espesor del lecho.

Función del filtro de arena.- La función del filtro de arena es la de retener las partículas grandes en suspensión, como flóculos y basuras provenientes del tanque de coagulación y/o del suministro, cisternas, tuberías, etc. No elimina partículas muy finas ni coloidales.

Para lograr buena eficiencia de filtración, están diseñados para un gasto de 2 GPM/ft<sup>2</sup> de superficie, por lo que su capacidad variará en función de su diámetro.

El gasto de filtración debe ser constante. Las variacio-

nes de presión y de flujo, especialmente los golpes de agua, pueden hacer que el sedimento o partículas penetren más profundamente en el lecho filtrante y originen formación de -- núcleos de lodos y canales.

Retrolavado correcto.- El filtro de arena debe retrolavarse diariamente al terminar la producción. Sin embargo, - cuando se detecte una caída de presión muy superior a 5 psi, debe retrolavarse inmediatamente, ya que indica que el lecho está bloqueado y que al forzarlo se introducirán más las partículas o flóculos retenidos al seno de la arena.

Normalmente el retrolavado debe hacerse con un gasto de 5 a 6 veces el gasto normal, es decir, de 10 a 12 GPM/ft<sup>2</sup> de superficie filtrante. Esto podrá hacerse donde se tenga un - medidor de gasto. Si no se tiene, debe irse aumentando el -- gasto en el retrolavado hasta que aparezcan los primeros granos de arena en la mirilla; después debe disminuirse poco a poco, hasta que ya no haya arrastres.

Es importantísimo que el retrolavado sea el adecuado, a fin de mantener el filtro limpio y exento de contaminación. Un retrolavado de 5 a 8 minutos dará normalmente resultados satisfactorios.

La norma que debe seguirse es que el agua que entra para retrolavado y la que salga del mismo, tengan la misma claridad.

El retrolavado que debe hacerse con agua tratada con el objeto de que no tenga partículas grandes en suspensión y --

esta clorada para evitar la contaminación en el filtro.

Principales problemas en el filtro de arena.

1.- Caída muy grande de presión.- Es debida a retrolavados ineficientes que permiten la acumulación excesiva de lodos en el lecho de arena, obstruyendo el flujo y haciendo la filtración ineficiente, ya que el diferencial de presión tan grande fuerza a las partículas a través del lecho, pasando al agua tratada.

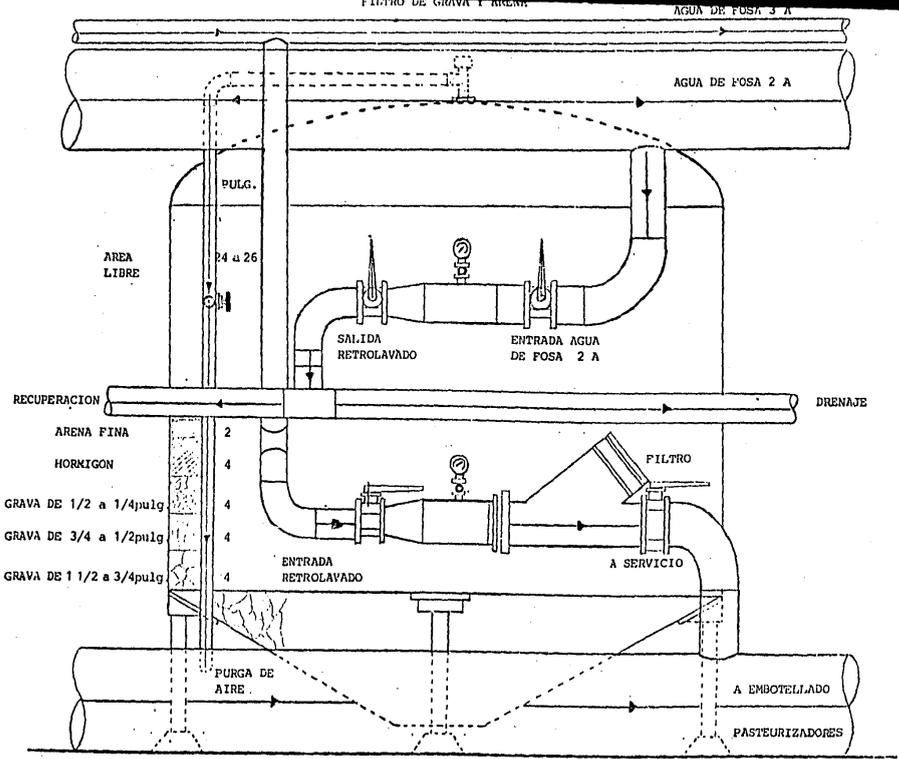
2.- Caída de presión muy baja.- Esta es ocasionada por canalización del lecho de arena; tiene su origen también en retrolavados ineficientes que permiten la acumulación de lodos, haciéndose con el tiempo verdaderos bloques de arena - incrustada entre las cuales se van formando canales, que van inutilizando el resto de la arena y al mismo tiempo se van haciendo más grandes. Esta invalida totalmente la función del filtro de arena, pasando el agua sin filtrar.

3.- Arrastre de arena.- Si las camas de gravas se han colocado adecuadamente al instalar el equipo, puede ser que al retrolavar el filtro con la tapa quitada, removiendo la arena para ayudar a la eliminación de lodos acumulados, se hayan movido las gravas y se haya hecho un canal por el que se pasa la arena. Puede corregirse vaciando el filtro, seleccionando las gravas y volviendo a acomodar las camas correctamente.

#### Purificador de Carbón

Disposición de gravas, arena y carbón.- La construcción

FILTRO DE GRAVA Y ARENA



inferior y la disposición, número y espesor de las camas de gravas es igual a la del filtro de arena, teniendo además -- una cama de 3" de arena sílica y 24 pulgadas de carbón.

Debe dejarse un espacio libre de 16 a 20 pulgadas para - expansión de la cama de carbón durante los retrolavados.

Tipos de carbón activado.- Hay diferentes tipos de car-- bón activado. Para este uso requerimos de un carbón compac- to y de gran porosidad. Puede ser de origen mineral, semi- mineral, vegetal o animal, activado con ácido fosfórico o -- sulfúrico a altas temperaturas, en atmósfera de vapor de agua y/o dióxido de carbono.

Es conveniente el uso de un carbón activado con las si-- guientes características.

Granulometría 12 x 40

Densidad 13 lb/ft<sup>3</sup>

Buena resistencia a la desintegración  
por presión.

El purificador de carbón está calculado para un gasto de 2 GPM/ft<sup>2</sup>, de superficie para un espesor de cama de 20". Se puede aumentar el gasto de agua si se aumenta proporcional- mente el espesor de la cama, sin embargo, este aumento no - puede ser muy grande, ya que tiene limitación la velocidad - en el lecho.

Función del Purificador de Carbón.- El purificador de -- carbón activado debe eliminar gustos, olores y colores extra ños que lleve el agua, además de eliminar el cloro.

La capacidad y eficiencia de un purificador de carbón -- está dada principalmente por la acción de la superficie de las partículas de carbón; es por esto que debe evitarse que dicha superficie sea cubierta con sedimentos o materias extrañas. A esto se debe la disposición del purificador de carbón, inmediatamente después del filtro de arena o filtros de tierras diatomeas.

Debe tenerse muy en cuenta que éste no es un filtro y que las capas de grava y arena sirven únicamente de soporte al carbón activado.

La acción que realiza el carbón activado en la eliminación de cloro, se llama adsorción y consiste en lo siguiente:

Es una atracción electrostática de ciertos iones hacia la superficie del medio adsorbente de acuerdo a su polaridad. Es por esto que la capacidad del carbón activado depende de su superficie y ésta depende a su vez del tipo de carbón y de su tratamiento durante su activación.

Esta superficie de adsorción es mucho mayor que la que podemos imaginar a primera vista, ya que el carbón tiene miles de cavernas cuya superficie envolvente es también superficie de adsorción. Para tener una idea clara, podemos mencionar un tipo especial de carbón activado que puede llegar a tener un millón de metros cuadrados de superficie por kilo gramo.

Este efecto de adsorción actúa sobre iones de cloro, -- pero también sobre la materia orgánica en suspensión que im-

parte color y sabor al agua, quedando un agua sin color ni -  
sabor después de su paso por el carbón. Esta adsorción de -  
la materia orgánica no tiene efecto sensible sobre la vida -  
del carbón, ya que el tamaño de partícula no alcanza a obstru-  
ir las cavernas.

Retrolavado correcto.- El retrolavado de un purificador -  
de carbón es variable, ya que depende principalmente de su -  
densidad, del carbón utilizado y de la eficiencia del filtro  
de arena. Es necesario hacer una determinación práctica a un  
flujo tal que se elimine la materia orgánica retenida, se --  
permita la expansión de la cama de carbón sin arrastrar par-  
tículas del mismo al exterior.

El retrolavado del purificador de carbón no produce cam-  
bio significativo en su capacidad.

Dado que el carbón activado elimina el cloro, durante su  
trabajo normal la ausencia de éste en las camas de grava y -  
arena permite crear lugares propicios para el desarrollo mi-  
crobiológico. Es por esto que es necesario retrolavar con -  
agua tratada con 6 a 8 ppm de cloro y dejarle esa agua hasta  
el día siguiente. Antes de empezar la operación de embote-  
llado, debe verificarse que no haya cloro a la salida del pu-  
rificador.

Su retrolavado con agua cruda y sin cloro lo contamina -  
fácilmente.

Además es conveniente esterilizarlo y reactivarlo con --  
vapor una vez por semana.

Problemas.- Los principales problemas que puedan presentarse en un purificador de carbón son:

1.- Contaminación microbiológica. Por las causas anotadas anteriormente, es decir, que se retrolave con agua cruda sin cloro y no se esterilice.

2.- Cloro a la salida. Esto puede tener su origen en:

a) Válvulas defectuosas en el manifold, habiendo pasado de agua del filtro de arena a la salida del purificador, sin pasar por el carbón.

b) Toma muy grande de agua tratada para la preparación de jarabe simple, la cual nos puede duplicar, en un momento dado, el gasto para el cual fue calculado el purificador.

c) Baja adsorción del cloro por el carbón, debido a --incrustación del mismo, con lodos del tratamiento.

d) Baja adsorción del cloro por el carbón, debido a --haber pasado grandes concentraciones de cloro por el mismo.

e) Pérdida de carbón en retrolavados, debido a pulverización del mismo durante la operación, con la consiguiente disminución de espesor de la cama de carbón.

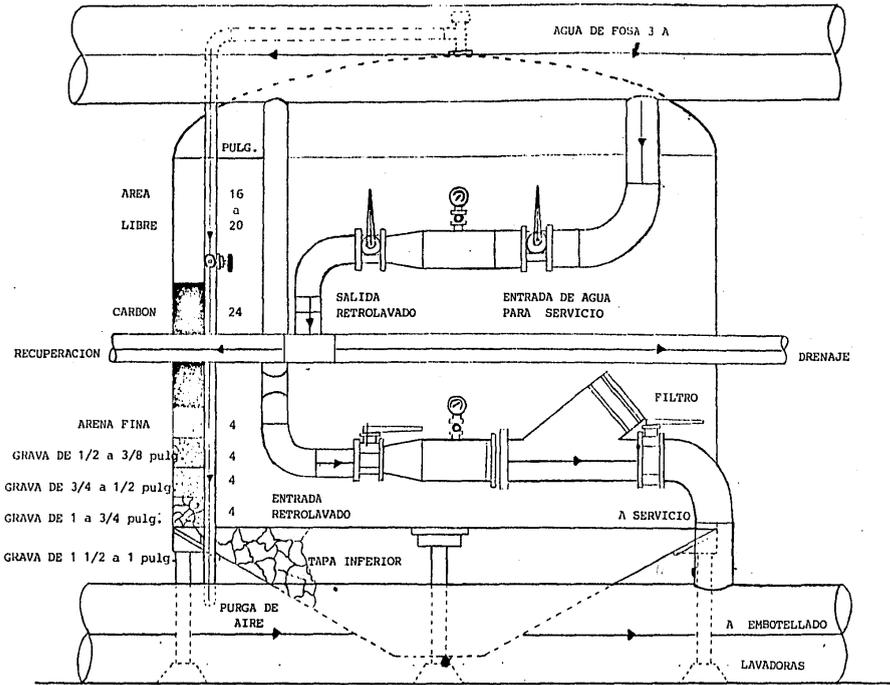
Filtros de septo. (Tierra de Diatomeas).- Cuando es muy --baja la concentración de los sólidos suspendidos puede emplearse el filtro de septo. Con frecuencia, a estos filtros se les designa como filtros TD (tierra de diatomeas), ya que es común emplear este material como un revestimiento previo, aunque --puede usarse otros auxiliares para filtro. El filtro de septo cuenta con una capa delgada de recubrimiento previo aplicada --

como lodo a un septo poroso para producir una superficie filtrante y colar los sólidos suspendidos. En la mayor parte de los casos el agua que se va a filtrar es bombeada bajo presión a través del filtro; en algunos diseños especiales, cuando es posible una pérdida pequeña de presión, puede succiionarse el agua empleando vacío. Cuando el filtro se atasca, aumenta la pérdida de presión y deben removerse los sólidos, y también el recubrimiento previo, invirtiendo el flujo a través del aparato. Se aplica entonces otro recubrimiento previo y se reanuda la filtración. Por lo común, además del recubrimiento previo se emplea un auxiliar del filtro alimentado en el cuerpo. Se trata simplemente de un filtro auxiliar adicional añadido al influente para extender las jornadas del filtro al proporcionar de continuo una superficie de filtro fresco. Ya que el filtro auxiliar tiene una forma diferente (morfología) a los sólidos en el agua, la mezcla heterogénea es más permeable que los sólidos aislados.

Se requiere una relación relativamente grande de auxiliar del filtro a sólidos suspendidos para operar los filtros de septo, lo que eleva los costos de operación (Fig. Nº 11).

Los filtros de septo pueden limpiarse de los sólidos acumulados mediante choques de aire, un procedimiento que emplea poca o ninguna agua y que produce un lodo grueso o torta de sólidos acumulados. Esto simplifica la disposición de los sólidos y reduce las exigencias de agua para el enjuague. También pueden colocarse en un espacio relativamente reducido en

FILTRO DE CARBON ACTIVADO



comparación con el necesario para ubicar un filtro de medio granular.

La tierra de diatomeas -los restos fósiles de diatomeas, un tipo de alga con esqueleto de sílice- se emplea con frecuencia como auxiliar de filtración, a menudo mezclada con asbesto.

Su función.- Sirve para dar el filtrado final o pulido - al agua tratada. Siendo su grado de filtración mucho más -- fino que el filtro de arena, retiene partículas que pasaron por éste y que llegarían hasta el producto si no existiera - este filtro pulidor.

Existen diferentes tipos de filtros pulidores de acuerdo con:

- 1.- Su diseño
- 2.- No. de elementos filtrantes y tipo
- 3.- Material de construcción

Existen también diferentes tipos de elementos filtrantes de acuerdo con:

1.- Material

- a) Lana aglutinada con resina fenólica
- b) Celulosa aglutinada con resina melaminica
- c) Papel filtro
- d) Tejido de celulosa
- e) Encordado de celulosa con fibra de algodón
- f) Acero inoxidable poroso

2.- Grado de filtración

Para cada uno de los tipos mencionados hay elementos con grados de filtración desde 5 hasta 75 micras y mayores.

Lo más usual en las plantas es el filtro pulidor de acero inoxidable, con bujías de tejido de celulosa y centro de acero inoxidable con grado de filtración de 20 micras; sin embargo puede usarse cualquier otro tipo de los ya mencionados siempre y cuando sea sanitario.

Se recomienda su cambio cuando haya una caída de presión tal, que disminuya el gasto al grado que afecte la producción. Además su cambio se puede deber al mal estado en que se encuentre cuando se le hagan las inspecciones periódicas rutinarias pues quizá los tejidos estén abiertos y/o deteriorados.

La duración aproximada de los elementos de tejido de celulosa con grado de filtración de 20 micras es de aproximadamente 30 turnos. Claro que ésto depende en gran parte de las impurezas del suministro de agua, el buen funcionamiento del tanque de sedimentación y de la eficiencia del filtro de arena.

Es conveniente lavar los elementos filtrantes nuevos antes de instalarlos, ya que sueltan pequeñas fibras que pueden pasar al producto.

Inspección de filtros.- Es de vital importancia establecer un programa de inspección de filtros de arena, carbón y pulidores.

Dicho programa podrá establecer inspecciones muy frecuen

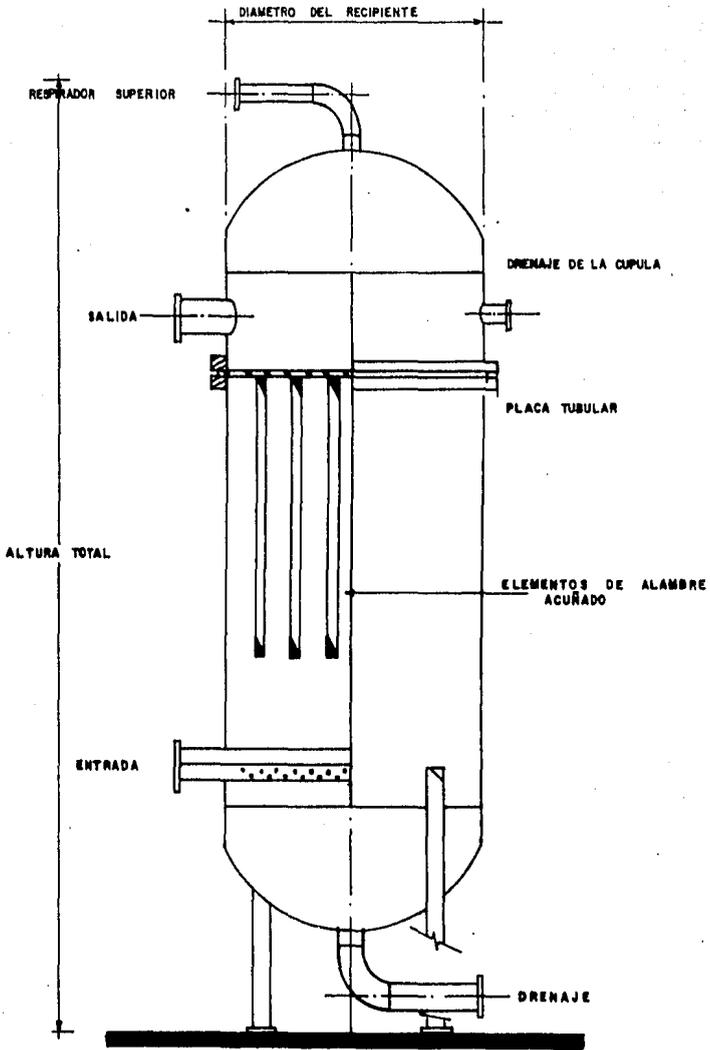


FIG. 11 SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN FILTRO COMUN DEL TIPO SEPTO, DISEÑADO PARA USAR DIATOMITA O UN AUXILIAR SEMEJANTE EN EL FILTRADO DE AGUA.

tes al principio, pero a través de ellas se irá haciendo -- historia de cada una, de manera que después se pueda disminu ir la frecuencia de revisiones pero ya con bases muy firmes.

En los records deberán quedar claramente especificados, la fecha de inspección, su estado al destaparlos, medidas correctivas adoptadas, estado final y funcionamiento poste- rior.

#### PROBLEMAS DE PRODUCTO TERMINADO OCASIONADOS POR ANO- MALIAS EN EL AGUA.

Alcalinidad alta.- Neutraliza la acidez del producto, -- debilitando su sabor característico y haciéndolo medio pro- picio para el desarrollo microbiológico.

Contenido alto de cloruros.- Ocasionan el cambio de sa- bor en el producto.

Contenido alto de sulfatos.- Dan un sabor anormal a nues- tro producto.

Total de sólidos disueltos alto.- Producen cambios de -- sabor además de sedimentos de origen inorgánico que causen -- mal aspecto.

Cloro.- Pequeñas cantidades de cloro en el agua tratada se manifestarán inmediatamente en el sabor anormal del pro- ducto, característico de este problema.

Materia orgánica.- Producirá descomposición del producto, generando olores y sabores indeseables, flóculos y sedimen- tos, quienes entre otras consecuencias negativas, puedan cau- sar infecciones intestinales en personas que lo consumen.

En el Grupo CEMOSA el agua se destina básicamente al departamento de Embotellado y se puede agrupar en agua calidad "A" que se emplea para el enjuague de botella y para enjuague y enfriamiento de los tazones de llenadora, y calidad "B" que se emplea en agua para tanques de sosa en lavadoras, pasteurizadores, y el resto de los servicios. Los posibles arreglos los podemos apreciar en los diagramas anexos Figs. Nos. 12 y 13.

FIG. 12 FLUJO DEL TRATAMIENTO DE AGUA PARA EMBOTELLADO

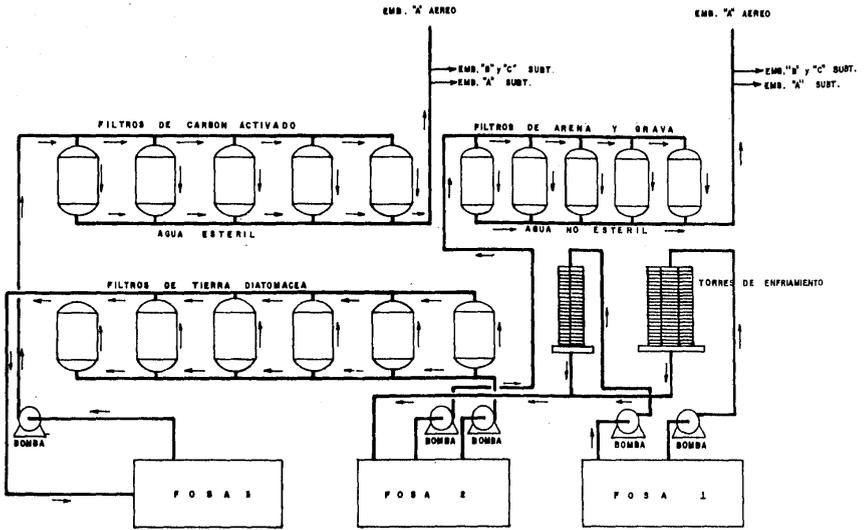
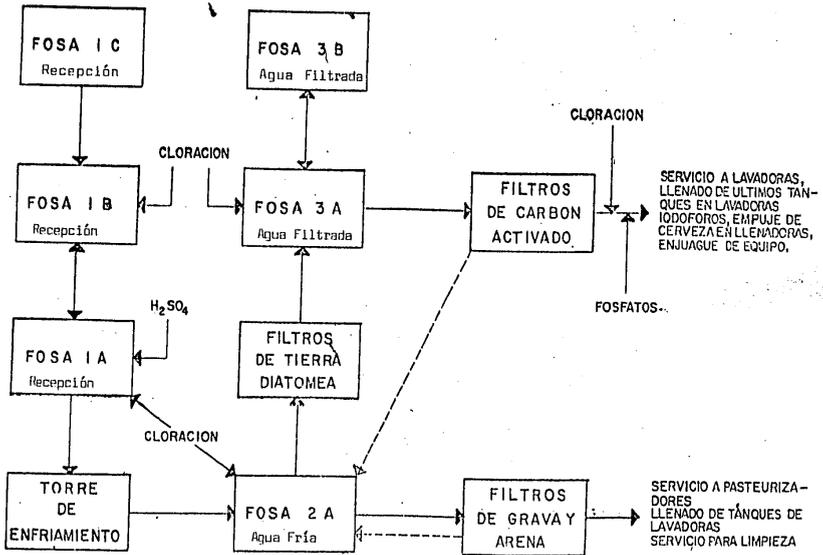


FIG. 13

**DIAGRAMA DE BLOQUES**  
PLANTA DE AGUA



### 2.4.3 Agua para Enfriamiento

El término agua de enfriamiento se aplica a cualquier agua que es circulada a través de los equipos para retirar calor de algún sistema. Estos sistemas incluyen equipos como condensadores, compresores, turbinas, intercambiadores de calor, etc.

Las especificaciones del agua de enfriamiento varían tan ampliamente, que la única especificación general es que el agua no debe formar depósitos aislantes al calor, ya sean de origen orgánico o inorgánico y que no debe ser extremadamente corrosivo bajo las condiciones de trabajo.

Podemos clasificar los sistemas de enfriamiento en:

Sistemas abiertos de un solo paso.- En los que el agua se usa una sola vez y se descarga a un desagüe. En este caso el tratamiento debe ser lo mas barato posible.

Sistemas abiertos de un solo paso reutilizando el agua.- En los que el agua pasa una sola vez por el equipo, pero se emplea posteriormente en otro servicio. El tratamiento no deberá tomar solo en cuenta la operación de enfriamiento, sino el uso posterior que se le dé a esa agua.

Sistemas abiertos con recirculación.- El sistema mas común es en el que el agua se circula por el sistema de enfriamiento, se enfría en una torre de enfriamiento y recircula al sistema. Hay pérdidas de agua por la evaporación

efectuado en la torre, así como por arrastres y purgas que se efectúan para mantener los sólidos dentro de límites.

Sistemas cerrados con recirculación.- El sistema consiste en circular aguas por el sistema de enfriamiento, y ésta es enfriada por un intercambiador de calor de aire o amoníaco. Teóricamente no hay agua de compensación, aunque en la práctica es necesaria una pequeña cantidad.

Índice de Langelier.- Los factores que afectan la formación de la incrustación son la temperatura, el pH, los sólidos disueltos, la dureza, la alcalinidad, el sílice y los sulfatos. En los sistemas que tratamos las concentraciones de magnesio, sílice y sulfato son normalmente bajas, por lo que no son considerados. Existen un gran número de diagramas que interrelacionan las variables antes mencionadas.

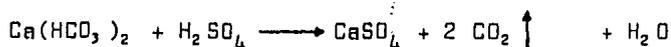
La ecuación desarrollada por el Profesor Langelier hace posible predecir la tendencia del agua para precipitar el carbonato de calcio de la solución o para disolver el carbonato de calcio que está en contacto con ella. Langelier calculó el pH de equilibrio o de saturación  $pH_s$  de un agua partiendo de cuatro parámetros, contenido de calcio, concentración total de alcalinidad, sólidos totales y temperatura. Estableció un índice de saturación o índice Langelier que se define como la diferencia algebraica del pH del agua medido electrométicamente y el  $pH_s$  calculado con la fórmula de Langelier.

$$\text{Índice de Saturación} = \text{pH} - \text{pH}_s$$

Un índice positivo indica la tendencia del agua a depositar carbonato de calcio. Un índice negativo indica una no saturación, por lo que hay una tendencia a disolver el carbonato de sodio existente en las superficies de los equipos. - Un índice cero indica que el agua está en equilibrio con respecto al carbonato de calcio.

Debido a los volúmenes tan grandes que se manejan en los sistemas de enfriamiento, es prohibitivo el tratamiento externo del agua de abastecimiento.

Tratamiento con ácido.- El objetivo del tratamiento con ácido es el reducir la tendencia a la incrustación, al reducir la alcalinidad y formar una sal de calcio más estable y soluble que el bicarbonato de calcio.



El ácido que más se usa es el ácido sulfúrico, básicamente por su bajo costo.

Control de ciclos de concentración.- En un sistema abierto de recirculación es posible llegar a un grado de sobresaturación del carbonato de calcio en el que no sea ya posible controlar el problema de la incrustación ni siquiera incrementando los tratamientos. Es por lo tanto necesario limitar los ciclos de concentración por medio de purgas de agua, reemplazándola con agua fresca del abastecimiento.

Un ciclo de concentración expresa el incremento de la salinidad del agua del circuito.

$$\text{Ciclo de concentración} = \frac{\text{Cloruro en el agua circuito}}{\text{Cloruro en el agua reposición}}$$

Empleo de agentes dispersantes.- Estos materiales - - inhiben la formación de incrustación a un costo relativamente bajo. Entre estos tenemos a los polifosfatos, taninos, - lignina, almidones, etc.

Empleo de agentes quelantes.- Estas sustancias secuestran al calcio y magnesio, reaccionan estequiométricamente y sus productos de reacción son muy estables. Entre estos podemos citar al EDTA, NTA, ácido glucónico y ácido cítrico. - Son secuestrantes poderosos pero muy caros.

Corrosión.- El agua en su transporte o durante sus utilizaciones, puede causar a los diferentes materiales con los que se pone en contacto, alteraciones de diversa naturaleza, entre las cuales la más frecuente es la corrosión de los metales, especialmente del fierro. La corrosión puede definirse como la destrucción del metal por reacciones químicas o electroquímicas con el medio ambiente.

Las variables que controlan las características corrosivas del agua son:

pH, oxígeno disuelto, gas carbónico y sólidos disueltos. Existen otros factores menores que tienen participación en este fenómeno, tales como la presencia de acidez mineral libre, sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre, etc.

Empleo de cromatos.- El empleo de 300 a 500 ppm de cromatos en el agua circulante evita la incrustación en los sistemas; es uno de los inhibidores mas efectivos. La desventaja que presenta es su toxicidad, lo que originaría daños - -

irreparables por contaminación del producto, además de inutilizar los sistemas biológicos para tratamiento del agua de drenaje.

Empleo de polifosfatos.- Es un método de controlar la corrosión muy usado en el tratamiento de agua de enfriamiento; previene la pérdida de metal, la acción dispersante y limpiadora elimina las tuberculaciones, manteniendo las superficies en condiciones relativamente limpias, reduciendo las pérdidas por fricción.

Un factor limitante del empleo de polifosfatos es su transformación a ortofosfatos, los que tienen una menor inhibición a la corrosión y pueden precipitarse como fosfato tricálcico en el sistema.

Torres de enfriamiento.- El retiro de calor en una torre de enfriamiento se realiza en dos formas; se transmite calor sensible del agua caliente al aire más frío y calor latente al evaporarse parte del agua de la torre. El calor latente cedido por el sistema es mucho mayor que el sensible, ya que por cada 1. de agua evaporada se requieren 1000 BTU.

Las torres se construyen comúnmente con cedro rojo, el cual se ha seleccionado debido a su resistencia, ligereza, fácil fabricación y disponibilidad. La madera está compuesta de tres componentes esenciales: celulosa, lignina y sustancias extractables.

La celulosa existe como fibras largas e imparte la fuerza a la madera, la lignina actúa como un agente compactante

y los extractables le imparten la resistencia para pudrirse.

La deterioración de la torres puede deberse a agentes químicos, biológicos y físicos. El ataque químico se manifiesta en forma de una deslignificación; al perderse la lignina la zona afectada se presenta blancuzca y es posible desprender fácilmente las fibras de celulosa; los productos químicos que son agresivos para la lignina son el cloro, carbonato y bicarbonato de sodio.

El ataque biológico puede ser superficial o interno y se debe a que ciertos organismos utilizan a la celulosa como fuente de carbón. El ataque superficial se lleva a cabo por los hongos en zonas lavadas constantemente. El ataque profundo se lleva a cabo por los basidiomicetos, se encuentran en zonas húmedas pero no lavadas constantemente; este ataque es peligroso porque no es fácil de detectar y alguna parte que aparentemente es madera sin atacar, interiormente está podrida.

Las condiciones de temperatura, humedad y oxígeno que prevalecan en las torres son ideales para el desarrollo microbiológico de algas, hongos y bacterias, por lo que para controlar el crecimiento microbiano normalmente se emplea cloro o dióxido de cloro; estos son oxidantes que tienden a deslignificar la madera, por lo que es necesario un adecuado control en la dosificación. Para hacer mas resistente la madera a los hongos, se emplean preservativos tales como la creosota, arsenito, cobre amoniacal, pentaclorofenol, etc. Además

del empleo del cloro y sus derivados existen otros biocidas - tales como los cuaternarios de amonio y los derivados organo-sulfurados. Hay que hacer mención de la facultad que tienen ciertas especies de microorganismos de sobrevivir en presencia de un biocida y de desarrollarse engendrando capas resis- tentes, por lo que se recomienda no usar siempre el mismo -- biocida o que se proceda a dar tratamientos de choque periódicamente. Se debe tener en cuenta el efecto que tienen los biocidas sobre el medio ambiente, ya que son muy estables y se encuentran poco difundidos los procesos para su elimina-- ción, razón por la que comunmente se emplean tratamientos -- sistemáticos a base de cloro y sus derivados.

El control químico del agua de los sistemas de enfria-- miento debe ser diario y abarcar los siguientes parámetros: pH, dureza, alcalinidades, sólidos solubles, índice de - - - Langalier.

En el caso del empleo de productos inhibidores de incrus- tación y corrosión, y biocidas, se determinarán substancias - específicas: fosfatos, aminas, taninos, secuestrantes, cloro y sus derivados, cuaternario de amonio, etc.

## 2.5 AGUA PARA EL PROCESO DE DILUCION

La dilución de la cerveza consiste en agregarle al mosto concentrado un porcentaje de agua sometida a un tratamiento previo que la deje en condiciones óptimas para su utilización. El hecho de agregar agua a la cerveza no quiere decir que se alteren las características normales de la misma pues como ya se mencionó anteriormente, para aplicar al proceso de dilución se necesita un requisito previo que consiste en elaborar un producto primario concentrado o sea un contenido mayor de materias primas (a igualdad de volúmen) que el utilizado normalmente para elaborar la cerveza sin aplicar el proceso de dilución.

Una vez que se ha obtenido dicho producto concentrado se puede proceder a la dilución del mismo en cualquiera de las siguientes etapas del proceso de elaboración de la cerveza: tanques de mosto caliente, primera etapa de la fermentación (abierta), segunda etapa de fermentación (cerrada), en el departamento de filtrado de la cerveza; ahora bien, no obstante que en todas las etapas antes mencionadas se puede efectuar la dilución, existen las siguientes razones para elegir el departamento de reposo.

Tanques de mosto caliente, fermentación abierta y fermentación cerrada no pueden ser ampliados para poder captar el incremento de producción debido a la dilución, lo cual si es posible en el departamento de reposo.

Filtrado, este departamento se descarta ya que es el último antes de proceder al embotellado y embarrilado de la -- cerveza y por consiguiente cualquier discrepancia en el porcentaje de dilución sería en detrimento de la homogeneidad - del producto terminado; cosa que no sucede en el departamen- to de reposo en donde es posible hacer ajustes en caso de -- que se presentaran discrepancias en el porcentaje de dilución.

De acuerdo al uso que se le piensa dar al agua, ésta debe cumplir las siguientes características: estar totalmente es- téril, fría y libre de oxígeno. Para cumplir con estas carac terísticas se debe seleccionar un tratamiento que cumpla con los siguientes requisitos:

- a) Ser un desinfectante efectivo
- b) No proporcionar color, sabor o arona desagradables al agua
- c) Poder tratar volúmenes de agua elevados
- d) No dejar residuos en el agua

Para lograr lo anterior se seleccionó el método de ozoni- zación el cual permite obtener concretamente los siguientes - resultados:

Esterilización completa del agua

Eliminación completa de los fenoles

Descoloración completa del agua

Eliminación de los sabores y olores del hierro complejo - y del manganeso.

## Inactivación de los Virus

No obstante, la segura obtención de estos resultados en condiciones económicamente aceptables, requiera, en primer lugar, una técnica elaborada de la aplicación del ozono al agua que se trata de rectificar y en segundo lugar, una tecnología de producción del ozono correcta.

### Propiedades físicas

El ozono resulta de la combinación de tres átomos de oxígeno, su fórmula por lo tanto es  $O_3$ .

Bajo condiciones normales de utilización, se presenta bajo la forma de un gas que se vuelve a encontrar diluido en una mezcla gaseosa que sirvió para su síntesis (aire, aire enriquecido con oxígeno, mezclas gaseosas, oxígeno). Su olor es fuerte y penetrante, su color es azulado cuando se ve en gran espesor. Cuando se reproduce su espectro, se observa una fuerte absorción en el ultravioleta, con un mínimo de 2537 Å, dicha particularidad se aprovecha para la medición automática, mediante fotometría, del ozono en las mezclas gaseosas.

El ozono es soluble en el agua, a título de comparación, se disuelve de 8 a 9 veces más ozono que oxígeno a 20°C. Dicha solubilidad aumenta, sin embargo, con el pH, pero varía en sentido inverso con la temperatura.

La molécula de ozono es inestable en las mezclas gaseosas y especialmente en los líquidos, numerosos son los factores -

que aceleran su disociación en oxígeno, en los gases, su descomposición, la que aumenta con la temperatura y la humedad, se cataliza mediante elementos metálicos (platino, plata, etc) y mediante los halógenos (cloro, bromo, etc). En el agua, el ozono se descompone mucho más rápidamente, así, un aumento de las materias oxidables y de la temperatura y una elevación de pH son factores que favorecen su desaparición.

Si bien es difícil definir un tiempo de media vida sin -- precisar las condiciones del medio ambiente, por otra parte -- se puede afirmar que la descomposición del ozono, en agua -- pura, es casi inmediata por arriba de 70°C.

#### Propiedades Químicas

El ozono que tiene el potencial de óxido-reducción el más elevado después del fluor ( $E_o = 2.07$  voltios), es un agente de oxidación muy potente, el cual actúa según cuatro vías -- principales:

- El ozonólisis: se fija sobre una doble o triple unión -- orgánica, creando así un ozónido. Este último es un -- compuesto inestable en un medio acuoso, y se descompone rápidamente por escisión.
- Oxidación: uno de los átomos de oxígeno es utilizado.
- La creación de radicales: en función de las condiciones del medio el ozono provoca la formación de radicales -- (hidroxilos, hidroperoxilos, etc) que a su vez va a -- reaccionar con los compuestos presentes.

- Catálisis: el ozono ayuda a la cinética de reacción del oxígeno.

Es prácticamente imposible generalizar la acción del ozono tomando en cuenta el grado de complejidad de las reacciones, sin embargo se pueden realizar las observaciones siguientes en medio acuoso:

- En los cuerpos minerales: ciertos elementos metálicos (el hierro es el ejemplo típico,) son oxidados y están precipitados bajo forma de hidratos insolubles.
- En las materias orgánicas: el ozono ataca los dobles o triples enlaces carbono-carbono, para llegar a la formación de cetona, de aldehidos y de ácidos carboxílicos (mecanismo de CRIEGEE), los demás grupos orgánicos susceptibles de ser oxidados pueden clasificarse de la manera siguiente:
  - Los compuestos que tengan enlaces que no estén saturados de carbono-nitrógeno o similares.
  - Las moléculas nucleófilas tales como aminas, sulfuros, sulfóxidos, fosfitos, etc.
  - Los cuerpos a base de arsenico, de selenio.
  - Los compuestos que contengan enlaces sílice-carbono, sílice-hidrógeno y sílice-sílice.
  - Los alcoholes, hidrocarburos, aldehidos, aminas y éteres, a nivel de los enlaces carbono-hidrógeno.
  - Los cuerpos químicos que posean enlaces carbono-metal.

El conjunto de esas reacciones condiciona las aplicaciones

del ozono en el campo de las aguas. Sin embargo, hay que --  
citar la acción de la ozonización de elementos vivos como los  
microorganismos, el ozono es un excelente agente bactericida y  
sobre todo, virulicida, que posee una amplia gama de acción --  
sobre muchísimos gérmenes (amibas, levaduras, hongos, etc).

Respecto a los demás desinfectantes usuales, su acción --  
es muy rápida, en dosis relativamente bajas.

#### Síntesis del ozono.

Varios métodos conducen a la producción del ozono: Reac--  
ciones de química orgánica, rayos ultravioletas y descargas --  
eléctricas. Únicamente este último método tiene su aplicación  
a la escala industrial para obtener grandes cantidades de --  
ozono con fuerte concentración.

En su estado elemental, un generador de ozono tiene dos --  
superficies conductoras, los electrodos, puestos frente a --  
frente a poca distancia, contra la parte interna de una de --  
dichas superficies, se pone una materia dieléctrica constitui  
da, en general, por vidrio borosilicato. Al reunir los elec-  
trodos con una fuente de corriente alterna de alta tensión, --  
hace un flujo eléctrico, lo cual se traduce por la aparición  
de una luz morada, cuando se hace pasar una mezcla oxigenada  
en el intervalo que queda entre los electrodos, tiene lugar --  
la síntesis del ozono.

El ozonador industrial se compone de un grupo en batería  
de varios generadores elementales; estos pueden clasificarse

en dos categorías según la forma de los electrodos: se habla, pues, de ozonadores de placas y ozonadores tubulares. Estos últimos son los más utilizados, y cuando son alimentados con aire, es necesario proceder con un tratamiento previo de dicho gas, a fin de sacar las impurezas y la humedad, como muestra la figura 14. La humedad, pues, contribuye a la formación de ácido nítrico en el ozonador, lo cual provoca fenómenos de corrosión, así como una distribución del rendimiento del ozonador. Mediante un enfriamiento con agua, a veces reforzado con una refrigeración con freón, luego mediante una filtración sobre gel de sílice o alúmina, el aire se reseca hasta un punto de rocío de (-)50 a (-) 60°C.

Desde la primera generación de ozonadores, se realizaron importantes progresos a fin de mejorar sus características:

- aumento de la potencia absorbida mediante el incremento de la frecuencia de la corriente de alimentación, mediante un mejoramiento de la capacidad dieléctrica y mediante el aumento del valor de la tensión para cebar el afluvo.
- Mejor enfriamiento del ozonador y tratamiento previo del aire más caliente.
- Aumento del número de tubos por ozonador así los más grandes generadores de ozono pueden producir 15 Kg O<sub>3</sub> /h con una superficie de efluvios de 180m<sup>2</sup>.

El empleo de frecuencias eléctricas más elevadas, así como el empleo de mezclas gaseosas ricas en oxígeno, mejora dichas

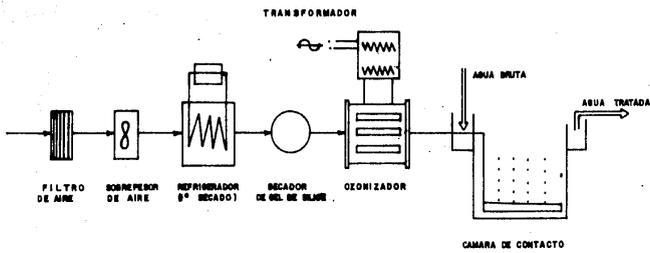


FIG. Nº 14 ESQUEMA DE UNA INSTALACION DE PRODUCCION Y APLICACION DE OZONO.

características, de ese modo, cuando se utiliza una frecuencia de 600 hz, la producción unitaria puede alcanzar 45Kg O<sub>2</sub>/h; -- cuando entonces se alimenta el ozonador con oxígeno, se producen 90Kg O<sub>2</sub>/h, lo cual constituye en la actualidad un record mundial.

Sin embargo, para cada proyecto, se precisó hacer un balance económico antes de tomar en consideración el empleo de oxígeno o frecuencias medianas.

#### La destrucción de elementos vivos

El ozono es un poderoso agente desinfectante muchas veces superior a los demás desinfectantes usuales. Si bien su campo de acción es amplio (hongos, levaduras, microbacterias, amibas, etc), sus propiedades se han orientado esencialmente hacia la destrucción de las algas, las bacterias y los virus.

Así, la preozonización de las aguas potables contribuye a destruir las algas, que luego pueden retenerse por microtamizado; esta filiera es tanto más interesante cuanto que se tratan de aguas superficiales muy ricas en algas.

En cuanto a la postozonización su objeto esencial es la desinfección del agua es decir la destrucción de los gérmenes patógenos para el hombre.

Por supuesto, el ozono también actúa en los gérmenes comunes al disminuir muy fuertemente su número y en muchos casos éstos no son detectables después de ozonización. Para lograr esta desinfección es preciso aplicar las condiciones de la --

ozonización verdadera sea el mantenimiento de un residuo de - ozono disuelto de 0.4 mg/l durante por lo menos 4 minutos; así se explica la concepción de las columnas de contacto de dos - compartimientos principales: en el primero, el agua se permanece en promedio 2 minutos circula a contracorriente del aire ozonizado; la demanda en ozono a corto plazo queda satisfecha y el residuo de ozono disuelto alcanza 0.4 mg/l a la salida.- El segundo compartimiento sirve para el mantenimiento de ese residuo durante un tiempo mínimo de 4 minutos, y esto gracias a una difusión escalonada del ozono.

Las numerosísimas estaciones de tratamiento de agua que - utilizan esas condiciones bactericidas y virulicidas en el -- mundo entero, constituyen igual número de pruebas concretas - de la eficacia real de la desinfección por el ozono.

De acuerdo a lo anterior ya que el ozono tiene propiedades para esterilizar el agua, primeramente se procede a ozonizar esta en un tanque de mezcla agua-ozono debiendose disponer para ello de un generador de ozono. Una vez efectuada la mezcla, la secuela a seguir es efectuar un precalentamiento - en el cual se debe alcanzar una temperatura predeterminada -- por medio de un intercambiador de placas para posteriormente entrar a un equipo de deaeración en donde mediante vacío se - elimina el ozono y el oxígeno (ya que el primero es tóxico y el segundo oxidante) que contiene el agua para después pasar a preenfriamiento en el intercambiador de placas y ser enfriada finalmente en un intercambiador de tubos y coraza por medio

de amoniaco hasta obtener la temperatura óptima de trabajo, ya que el agua esta fría se hace pasar a través de un equipo carbonatador para garantizar plenamente que el agua permanezca esteril y finalmente se envía a tanques de almacenamiento, en donde queda disponible para su uso en la dilución de la -- cerveza.

El gasto de agua tratada para las condiciones de la cervecería es de 573.32 lts/min, el cálculo de este gasto va en -- función de la cantidad de cocimientos que se elaboran diariamente y el porcentaje de agua que se le agrega a cada uno de los diferentes tipos de cerveza que se procesan. Conociendo -- el gasto requerido de agua tratada para el proceso de dilución se optó por utilizar un equipo que constará de dos sistemas -- idénticos de tratamiento de agua cada uno de los cuales tendrá una capacidad equivalente a la mitad del gasto total de agua -- tratada, esto se decidió como medida de seguridad a falla de -- cualquiera de los dos sistemas.

### 3.0 SELECCION DEL EQUIPO MAS ADECUADO

De las compañías que se dedican a fabricar este tipo de equipo existen dos que están en condiciones de suministrarlo con una garantía total en su funcionamiento, básicamente las diferencias entre uno y otro equipo son de diseño y costo, - así pues se han elaborado dos opciones para el equipo de tratamiento de agua las cuales denominaremos como equipo número uno y equipo número dos y cuyo funcionamiento a continuación es descrito:

#### 3.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO

##### DESCRIPCION DEL EQUIPO NO. 1

##### SISTEMA PARA GENERACION DE OZONO

Primeramente es obtenido el ozono por una unidad generadora que tiene una capacidad de producción de 37.8 grm/hr. - ( $1.05 \times 10^{-5}$  kg/s.), con una concentración de ozono del 1% - en un paso de flujo de aire máximo de 0.056 m<sup>3</sup>/min. (0.93dm<sup>3</sup>/s).

Esta unidad generadora está diseñada para operarse a -- 110-120 volts. y 60 ciclos. Un transformador dentro del gabinete aumenta el voltaje primario, hasta el alto voltaje necesario para la generación de ozono. Para compensar por diferencias en el voltaje de la línea y para variar la cantidad de ozono generado, se ha incorporado un transformador de voltaje variable. El voltaje de entrada al transformador de --

alto voltaje se puede leer en el voltímetro instalado en el tablero. Aumentando este voltaje primario, se aumentará la cantidad de ozono generada. (No se produce ningún ozono cuando el voltaje disminuye de 40 volts).

No deben existir válvulas en la tubería de salida del agua de enfriamiento y el flujo de agua de enfriamiento será de 1.26 lts./min. Para ajustar éste flujo se utilizará la pequeña válvula localizada dentro del gabinete, en la tubería de entrada del agua. El interruptor para alimentación de aire a la unidad, debe de estar encendido para abrir la válvula solenoide localizada en la tubería de agua de enfriamiento.

El agua empleada para enfriamiento debe de ser de buena calidad, dado que la turbidez tiende a incrustar las superficies de enfriamiento. Debiéndose evitar las altas concentraciones de cloruros para evitar corrosiones en el acero inoxidable.

Toda la tubería que maneje el ozono, debe de ser de acero inoxidable o de PVC. Los empaques deberán de ser de hypalon, teflón o kiroseal.

La tubería del ozono debe tener una trampa vertical, elevándose por lo menos 0.9 mts. sobre del máximo nivel del líquido en el sistema, para prevenir la inundación del ozonador.

La corriente de operación es de 25 amperes.

Una vez producido el ozono es enviado a un tanque de mezcla; este tanque, que tiene una capacidad de 286.66 lts/min. (4.77 lts/s), estará provisto de aparatos de nivel para que -

siempre se mantenga una columna de agua en su interior.

El ozono se inyecta en el agua a través de un difusor -- poroso que se encuentra instalado en la tubería de alimentación al tanque de mezcla.

El agua por tratarse entra al tanque de mezcla a través de una válvula motorizada, la cual es controlada por el switch de nivel montado en el tanque. Un manómetro indica la altura en pulgadas, del agua en la sección central del tanque de mezcla.

Conforme se extrae agua del tanque, se llega a un nivel bajo, al cual se tiene ajustado el switch de nivel para cerrar. Al cerrar este switch se acciona la válvula motorizada, y se cambia el ozono para ser alimentado por la válvula solenoide de admisión al difusor poroso.

El agua entrando a través de la válvula motorizada que está abierta, se mezcla con el ozono producido por los generadores e inyectado a través del difusor. El agua ozonada en la sección externa del tanque de mezcla, va subiendo de nivel hasta que se derrama hacia la sección central. Cuando el nivel del agua en la sección central llegue al punto alto, al cual se ha ajustado el switch del nivel, éste se abre. Esto cierra la válvula motorizada, y cambia el ozono a la válvula solenoide del By-pass, hasta que el nivel de agua en la sección central vuelve a descender hasta el nivel bajo a que se ajustó el switch de nivel.

La línea que alimenta el ozono a los solenoides de admi-

sión al tanque de mezcla o al By-pass, debe tener una trampa que la eleve por lo menos 3 pies por encima del nivel del agua en el tanque. Esto es muy importante, pues una falla en la instalación de esta trampa causará una inundación del generador de ozono.

La "U" para rebose del tanque de mezcla, se debe llenar con agua limpia para prevenir el escape del ozono cuando éste se descarge por el solenoide del By-pass.

El agua ozonada es succionada del tanque de mezcla por unas bombas que la mandarán a un calentador de placas donde será calentada (de su temperatura ambiente  $26^{\circ}\text{C}$  hasta  $38.9^{\circ}\text{C}$  a la salida del calentador de placas) por medio de agua desaerada que llega a una temperatura de  $43.3^{\circ}\text{C}$  y sale a  $26.7^{\circ}\text{C}$ . Al salir el agua ozonada del calentador de placas, pasa a un calentador de vapor donde es elevada la temperatura hasta  $43.3^{\circ}\text{C}$  por medio de vapor de  $9.58 \text{ kg/cm}^2$  presión absoluta a una temperatura de  $177.16^{\circ}\text{C}$ .

Posteriormente pasa al desaerador que se encuentra a un vacío de  $685.8 \text{ mm Hg}$ . el agua ozonada entra al desaerador por medio de unas válvulas aspersoras que provocan que el agua se rocíe en el interior del desaerador ayudando a un escape del aire disuelto en el agua; éste es succionado por unas bombas de vacío que son las que inician y mantienen el vacío dentro del desaerador.

El aire es mandado a un condensador y recuperado posteriormente este condensado.

El agua pasa por unas silletas de cerámica que sirven de empaque para que haya una mayor superficie de agua expuesta al vacío; cuando el agua desaireada haya pasado por los empaques, será recibida en una pierna del desaireador que sirve como recipiente; éste cuenta con un transmisor neumático de nivel operado por flotador para mantener un mismo nivel de agua en la pierna; en el caso de que el nivel baje, el flotador manda cerrar la válvula solenoide de descarga de la pierna para evitar que se vacíe y se pierda el vacío obtenido por las bombas. En el caso contrario, de que suba el nivel de agua desaireada en la pierna, el flotador mandará una señal a la válvula solenoide de cerrar la entrada de agua ozonada al desaireador hasta que se estabilice el nivel de agua desaireada en la pierna de éste.

El agua desaireada es succionada por unas bombas que la mandarán al calentador de placas donde se enfriará de  $43.3^{\circ}\text{C}$  a  $26.7^{\circ}\text{C}$  por medio de agua ozonada. Posteriormente será pasada por un enfriador de amoníaco donde se le bajará la temperatura hasta  $6^{\circ}\text{C}$ . A la salida de este enfriador se carbonatará el agua en una proporción de 2.75 volúmenes de gas carbónico por cada 378.54 lts/min. (6.309 lts/s) después de esta carbonatación, el agua es enviada a los tanques de almacenamiento donde se tiene que mantener a los  $6^{\circ}\text{C}$  obtenidos a la salida del enfriador de amoníaco.

En los tanques de almacenamiento se encuentran instaladas en la parte inferior del tanque unas piedras carbonatadoras -

que trabajen por medio de una diferencial de presión entre el líquido que este en el tanque y la salida del gas carbónico - de dichas piedras, con una presión de  $1.054 \text{ Kg/cm}^2$  y en un volumen de  $0.0283 \text{ m}^3$ .

## DESCRIPCION DEL EQUIPO NO. 2

### SISTEMA PARA GENERACION DE OZONO

Primeramente es obtenido el ozono por medio de un generador que tendrá una capacidad de producción de  $37.8 \text{ grm/hr}$  - - ( $1.05 \times 10^{-5} \text{ Kg/s}$ ) con una concentración de ozono del 1% en un paso de flujo de aire de  $0.0428 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Una vez producido el ozono es enviado a un tanque de mezcla que tiene una capacidad de  $287.66 \text{ lts/min}$ . ( $4.79 \text{ lts/s}$ ) - el tanque estará provisto de aparatos de nivel para que siempre se mantenga una columna de agua en su interior.

El ozono se inyecta en el agua a través de un difusor poroso que se encuentra instalado en la tubería de alimentación al tanque de mezcla.

El agua por tratarse entra al tanque de mezcla a través de una válvula motorizada, la cual es controlada por el switch de nivel montado en el tanque. Un manómetro indica la altura en pulgadas, del agua en la sección central del tanque de mezcla.

Conforme se extrae agua del tanque, se llega a un nivel bajo, al cual se tiene ajustado el switch de nivel para cerrar. Al cerrar este switch se acciona la válvula motorizada, y se -

cambia el ozono para ser alimentado por la válvula solenoide de admisión al difusor poroso.

El agua entrando a través de la válvula motorizada que está abierta, se mezcla con el ozono producido por los generadores e inyectado a través del difusor. El agua ozonada en la sección externa del tanque de mezcla, va subiendo de nivel hasta que se derrama hacia la sección central. Cuando el nivel del agua en la sección central llegue al punto alto, al cual se ha ajustado el switch del nivel, éste se abre. Esto cierra la válvula motorizada, y cambia el ozono a la válvula solenoide del By-pass, hasta que el nivel de agua en la sección central vuelve a descender hasta el nivel bajo a que se ajustó el switch de nivel.

La línea que alimenta el ozono a los solenoides de admisión al tanque de mezcla o al By-pass, debe tener una trampa que la eleve por lo menos 3 pies por encima del nivel del agua en el tanque. Esto es muy importante, pues una falla en la instalación de esta trampa causará una inundación del generador de ozono.

La "U" para rebose del tanque de mezcla, se debe llenar con agua limpia para prevenir el escape del ozono cuando éste se descarga por el solenoide del By-pass.

El agua y el ozono suministrados por medio de una tea colocada en la parte inferior del tanque, son controlados por medio de un interruptor de presión a fin de mantener la columna de agua y controlar una sobre ozonización del agua. La

razón por la cual es alimentado el tanque por la parte inferior es para que al entrar el agua y el ozono se produzca un burbujeo en el interior del tanque y haya una mejor mezcla de agua y ozono.

El agua ozonada es succionada del tanque de mezcla por unas bombas que la mandarán a un calentador de placas dividido en dos secciones, la primera sección es una transmisión de calor del agua desaeurada al agua ozonada y la segunda sección es una transmisión de calor de agua desaeurada a agua enfriada por amoniaco.

En la primera sección es calentada (de su temperatura ambiente  $26^{\circ}\text{C}$  hasta  $66^{\circ}\text{C}$  a la salida de la primera sección) por medio de agua desaeurada que tiene una temperatura de  $74^{\circ}\text{C}$  al llegar y sale a  $29.8^{\circ}\text{C}$ . Al salir el agua ozonada de este calentador de placas es pasada por un calentador de vapor - donde es elevada su temperatura hasta  $75^{\circ}\text{C}$  por medio de vapor de  $9.58 \text{ Kg/cm}^2$  (Presión absoluta) a una temperatura de  $177.16^{\circ}\text{C}$ .

Posteriormente pasa al desaeurador que se encuentra en vacío.

El agua ozonada entra al desaeurador por medio de unas válvulas aspersoras que provocan que el agua se rocíe en el interior del desaeurador ayudando a un escape de aire disuelto en el agua.

El aire disuelto en el agua es succionado por unas bombas de vacío que son las que inician y mantienen el vacío dentro del desaeurador; el aire es mandado a un condensador y recuperado posteriormente este condensado.

El agua pasa por unos empaques de acero inoxidable que -  
sirven para que haya una mayor superficie de agua expuesta al  
vacío; cuando el agua desaerada haya pasado los empaques es --  
recibida en la pierna del desareador que sirve como recipiente;  
esta cuenta con un transmisor neumático de nivel operado por  
flotador para mantener un mismo nivel de agua en la pierna.

En el caso de que el nivel baje, el flotador manda la --  
señal de cerrar la válvula solenoide de descarga de la pierna  
para evitar que se vacíe y se pierda el vacío obtenido por --  
las bombas. En el caso contrario, de que suba el nivel de --  
agua desaerada en la pierna, el flotador manda la señal de ce-  
rrar la válvula solenoide de entrada de agua ozonada al desae-  
rador hasta que se estabilice el nivel de agua en la pierna  
de éste. El agua desaerada es succionada por unas bombas que  
la mandan a la primera sección del calentador de placas, don-  
de es enfriada de  $74^{\circ}\text{C}$  a  $29.8^{\circ}\text{C}$  por medio de agua ozonada; in-  
mediatamente pasa a la segunda sección del enfriador de placas  
donde será enfriada de los  $29.8^{\circ}\text{C}$  a  $6^{\circ}\text{C}$  por medio de agua he-  
lada de  $2^{\circ}\text{C}$  enfriada por amoniaco.

El enfriador de amoniaco no está incluido en el equipo -  
de agua tratada.

El agua desaerada al salir de este enfriador de placas --  
será carbonatada por un carbonatador en una proporción de --  
2.75 volúmenes de gas carbónico por cada 378.54 lts/min - - -  
(6.309 lts/s); después de esta carbonatación es mandada a los  
tanques de almacenamiento donde se tendrá que mantener a los

6°C obtenidos a la salida del enfriador de placas.

En los tanques de almacenamiento se encuentran instaladas en la parte inferior del tanque unas piedras carbonatadoras -- que trabajan por medio de una diferencial de presión entre el líquido que está en el tanque y la salida del gas carbónico de dichas piedras, con una presión de 1.054 kg/cm<sup>2</sup> y en un volumen de 0.0283 m<sup>3</sup>.

EQUIPO NO. 1

Capacidad Total 573.32 lts/min(9.5553 lts/s)

Se utilizarán dos sistemas  
cada uno de la siguiente  
capacidad

286.66 lts/min(4.77 lts/s)

SISTEMA PARA ESTERILIZACION  
DE AGUA

Capacidad de producción

37.8 gr/hr ( $1.05 \times 10^{-5}$  kg/s)

Concentración de ozono de  
un paso de

Flujo máximo de aire  
flujo máximo de aire

1%  
0.056 m<sup>3</sup>/min

Gasto de agua para enfriamiento

75.7 lts/hr (1.26 lts/s)

Temperatura de entrada del  
agua de enfriamiento

26°C

Presión de trabajo

5.272 kg/cm<sup>2</sup>

Caída de presión dentro  
del aparato

0.4 kg/cm<sup>2</sup>

Contenido de ozono en  
286.66 lts/min

0.1 ppm

Tanque de mezcla de agua  
y ozono con capacidad de

286.66 lts/min(4.77 lts/s)

CALENTADOR REGENERATIVO - -  
DE PLACAS DE UNA SOLA ETAPA

Calentara agua a desaeerear

26°C a 38.8°C

Por medio de agua desaeereada

43.3°C a 26.7°C

Presión máxima de trabajo

5 kg/cm<sup>2</sup>

Gasto de agua a desaeerear y  
desaeereada

286.66 lts/min(4.77 lts/s)

SISTEMA DE BOMBED DEL TANQUE  
DE MEZCLA AL DESAEREADOR

Dos bombas de acero inoxi-  
dable con un gasto de

286.66 lts/min(4.77 lts/s)

#### CALENTADOR DE VAPOR

Calentador de un solo paso con gasto de	286.66 lts/min(4.77 lts/s)
Presión de vapor a la entrada del calentador	9.58 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura del vapor	177.16 <sup>o</sup> C
Gasto de vapor	230.11 kg/hr (0.0639 kg/s)

#### DESAERREADOR

Capacidad del desaerreador	286.66 lts/min(4.77 lts/s)
Producción de agua desaerreada en un rango de oxígeno disuelto en el agua de	0.06 a 0.1 ppm
Vacío máximo de trabajo	685.8 mm hg
Temperatura del agua a la entrada del desaerreador	43.3 <sup>o</sup> C
Caída de presión de las - válvulas aspersoras a la entrada del desaerreador	2.10 kg/cm <sup>2</sup>
Gasto de agua helada para condensar el vapor de agua y ozono	9.45 lts/min(0.1575 lts/s)
Temperatura de entrada del agua helada	2 <sup>o</sup> C

#### ENFRIADOR DE AGUA

Flujo máximo	286.66 lts/min(4.77 lts/s)
El agua desaerreada se enfriará en un rango de	26.7 a 6 <sup>o</sup> C
Refrigerante utilizado	Amoniaco

#### CARBONATADOR

Flujo máximo	378.5 lts/min(6.30 lts/s)
--------------	---------------------------

Rango de volúmenes de carbonatación por minuto 0.0 a 3.00 volúmenes

Precio total del Equipo No. 1 \$8'915,807.20

El precio de este equipo está considerado en el año 1984

EQUIPO NO. 2

Capacidad total	573.32 lts/min(9.55 lts/s)
Se utilizarán dos sistemas cada uno de la siguientes capacidad	286.66 lts/min (4.77 lts/s)
SISTEMA PARA ESTERILIZACION DE AGUA	
Capacidad de producción de ozono	37.8 gr/hr ( $1.05 \times 10^{-5}$ kg/s)
Concentración de ozono en un paso de.	
Flujo máximo de aire	1%
Flujo máximo de aire	0.056 m <sup>3</sup> /min
Gasto de agua para enfriamiento	75.7 lts/hr(0.021 lts/s)
Temperatura de entrada del agua de enfriamiento	26°C
Presión de trabajo	5.272 kg/cm <sup>2</sup>
Caída de presión dentro del aparato	0.4 kg/cm <sup>2</sup>
Contenido de ozono en 286.66 lts/min	0.1 ppm
Tanque de mezcla de agua y ozono con capacidad de	286.66 lts/min(4.77 lts/s)
CALENTADOR REGENERATIVO DE PLACAS DE DOS ETAPAS	
Calentará agua a desaerear en la primera sección de	26°C a 66°C
Por medio de agua desaerada que saldrá a	29.8°C
Esta agua desaerada entrará a	74°C
En la segunda sección se enfriará de	29.8°C a 6°C
Por medio de agua helada de	2°C
Gasto de agua a desaerear y desaerada	286.66 lts/min(4.77 lts/s)

Presión máxima de trabajo	11.35 kg/cm <sup>2</sup>
SISTEMA DE BOMBEO DEL TANQUE DE MEZCLA AL DESAERADOR	
Das bombas de acero inoxidable con un gasto de	286.66 lts/min (4.77 lts/s)
CALENTADOR DE VAPOR	
Calentador de un solo paso con un gasto de	286.66 lts/min (4.77 lts/s).
Presión de vapor a la entrada del calentador	9.58 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura de vapor	177.16 <sup>o</sup> C
Gasto de vapor	270 kg/hr (0.075 kg/s)
DEAERADOR	
Capacidad del desaerador	286.66 lts/min (4.77 lts/s)
Vacío máximo de trabajo	660.4 mm hg
Temperatura del agua a la entrada del desaerador	75 <sup>o</sup> C
Válvulas aspersoras con una caída de presión de	2.5 kg/cm <sup>2</sup>
Gasto de agua helada para condensar el vapor de agua y ozono	11 lts/min (0.183 lts/s)
Temperatura de entrada del agua helada	2 <sup>o</sup> C
ENFRIADOR DE AGUA	
Capacidad de enfriamiento	286.66 lts/min (4.77 lts/s)
El agua desaerada se enfriará en un rango de	29.8 <sup>o</sup> C a 6 <sup>o</sup> C
Refrigerante utilizado	Amoniaco
CARBONATADOR	
Flujo máximo	378.5 lts/min

Rango de volúmenes de carbonatación por minuto

0.0 a 3.00 volúmenes

Precio total del Equipo No. 2

\$10'129,454.40

El precio de este equipo está considerado en el año 1984.

CUADRO EQUIPO NO. 1	CAPACIDAD	CAPACIDAD
DESCRIPCION		
SISTEMA PARA ESTERILIZACION DE AGUA		
capacidad de producción de ozono	37.8 gr/hr	$1.05 \times 10^{-5}$ kg/s
concentración de ozono en un paso de flujo		
máximo de aire	1%	
flujo máximo de aire	0.056 M <sup>3</sup> /min	0.93 dm <sup>3</sup> /s
gasto de agua para enfriamiento	75.7 L/hr	1.26 L/s
temperatura de entrada del agua de enfriamiento	25°C	
presión de trabajo	52 K/cm <sup>2</sup>	
temperatura de descarga	79.897 °C	
caída de presión dentro del aparato	0.4 K/cm <sup>2</sup>	
contenido de ozono en 4.7 L/s	0.1 ppm	
tanque de mezcla agua y ozono con capacidad de	286.6 L/min	
CALENTADOR REGENERATIVO DE PLACAS DE UNA SOLA ETAPA		
calentará agua a desaeerar	26-38 °C	
por medio de agua desaeerada de	43.3-26.7°C	
presión máxima de trabajo	5 K/cm <sup>2</sup>	
gasto de agua a desaeerar y desaeerada	286.6 L/min	4.7 L/s
SISTEMA DE BOMBEO DEL TANQUE DE MEZCLA AL DEAREADOR		
dos bombas de acero inoxidable con gasto de	286.6 L/min	4.7 L/s
CALENTADOR DE VAPOR		
calentador de un solo paso con un gasto de	286.6 L/min	4.7 L/s
presión de vapor a la entrada del calentador	9.58 K/cm <sup>2</sup>	
temperatura del vapor	117.1°C	
gasto de vapor	230.1 K/hr	00.639 K/s
DESAEREADOR		
capacidad del desaeerador	286.6 L/min	4.7 L/s
producción de agua desaeerada en un rango de		
oxígeno disuelto en el agua de	0.06-0.1 nppm	
vacío máximo de trabajo	685 mm Hg	
temperatura del agua a la entrada del desaeerador	43.3 °C	
caída de presión de las válvulas aspersoras	2.10 K/cm <sup>2</sup>	
a la entrada del desaeerador		
gasto de agua fría para condensar el		
vapor de agua y ozono	9.45 L/min	0.157 L/s
temperatura de entrada del agua fría	2°C	
ENFRIADOR DE AGUA		
flujo máximo	286.6 L/min	4.7 L/s
al agua desaeerada se enfriara en un rango de	26.7 - 6°C	
refrigerante utilizado	AMONIACO	
CARBONATADOR		
flujo máximo	3.78 L/min	6.3 L/s
rango de volúmenes de carbonatación por minuto	2.75 Vols	
PRECIO TOTAL DEL EQUIPO NO. 1	\$8'915,807.20	

CUADRO EQUIPO NO. 2	CAPACIDAD	CAPACIDAD
DESCRIPCION		
SISTEMA PARA ESTERILIZACION DE AGUA igual al del equipo No. 1		
CALENTADOR REGENERATIVO DE PLACAS DE DOS ETAPAS calentará agua a desear en la primera sección de por medio de agua desaerada que saldrá a esta agua desaerada entrará a en la segunda sección se enfriará de por medio de agua fría de gasto de agua a desear y desaerada presión máxima de trabajo	26 a 66°C 29.8°C 74°C 29.8 a 6°C 2°C 286.6L/min 113 K/cm²	4.7 L/s
SISTEMA DE BOMBEO DEL TANQUE DE MEZCLA AL DESAERADOR dos bombas de acero inoxidable con un gasto de	286.6L/min	4.7 L/s
CALENTADOR DE VAPOR calentador de un solo paso con un gasto de presión de vapor a la entrada del calentador temperatura del vapor gasto de vapor	286.6L/min 9.58 K/cm² 177 °C 270 K/hr	4.7 L/s 0.075K/s
DESAERADOR capacidad del desaerador vacío máximo de trabajo temperatura del agua a la entrada del desaerador válvulas aspersoras con una caída de presión de gasto de agua fría para condensar el vapor de agua y ozono temperatura de entrada del agua fría	286.6L/min 660.4mm Hg 75°C 2.5 K/cm² 11 L/min 2°C	4.7 L/s 0.183 L/s
ENFRIADOR DE AGUA capacidad de enfriamiento el agua desaerada se enfriará en un rango de refrigerante utilizado	286.6L/min 29.8 a 6°C AMONIACO	4.7 L/s
CARBONATADOR igual al del equipo No. 1		
PRECIO TOTAL DEL EQUIPO NO. 2	\$10'129,454.40	

En el cuadro anterior se describen las condiciones de trabajo y se indica el precio tanto del Equipo No. 1 como del Equipo No. 2, en base a lo anterior vamos a proceder a seleccionar el equipo que presente las características más favorables tanto desde el punto de vista técnico como el económico.

Antes de proseguir, cabe hacer mencionar que ciertos elementos del Equipo No. 1 y del Equipo No. 2 son exactamente iguales y por consiguiente no intervienen en lo absoluto para normar nuestra selección del equipo; tales equipos son: El sistema para esterilización de agua, el sistema para bombeo del tanque de mezcla al desareador y el carbonatador.

Ahora bien; los calentadores regenerativos de placas, los calentadores de vapor, los desareadores y los enfriadores de agua de uno y otro equipo que sí intervienen de una manera definitiva en la selección del equipo, normarán en la misma.

Del cuadro anterior se observa que la temperatura del agua en el desareador del Equipo No. 1 es de  $43.3^{\circ}\text{C}$  mientras que la del Equipo No. 2 es de  $75^{\circ}\text{C}$ ; ambos equipos inician con  $26^{\circ}\text{C}$  y al terminar el proceso debe tener una temperatura final de  $6^{\circ}\text{C}$ . El calentador regenerativo del Equipo No. 1 aumenta la temperatura del agua sin desarear de  $26^{\circ}\text{C}$  a  $38.8^{\circ}\text{C}$ , al intercambiar calor con el agua ya desareada que baja a su vez de  $43.3^{\circ}\text{C}$  a  $26.7^{\circ}\text{C}$ , mientras que el del equipo No. 2 efectúa los incrementos de temperatura de  $26^{\circ}\text{C}$  a  $66^{\circ}\text{C}$  y hacia abajo de  $75^{\circ}\text{C}$  a  $29.8^{\circ}\text{C}$ .

Aquí se ven dos notorias desventajas en el Equipo No. 2 con respecto al equipo No. 1; primero vemos que en el Equipo No. 1 solo se requiere incrementar en el calentador de vapor  $4.5^{\circ}\text{C}$  la temperatura del agua para llegar de  $38.8^{\circ}\text{C}$  a  $43.3^{\circ}\text{C}$  mientras que en el Equipo No. 2 son  $9^{\circ}\text{C}$  los necesarios para llegar de  $66^{\circ}\text{C}$  a  $75^{\circ}\text{C}$  lo cual se traduce a un consumo mayor de vapor; por otro lado también se observa el mismo problema pero en sentido inverso, esto es: El equipo No. 1 requiere  $-20.7^{\circ}\text{C}$  para llegar a  $6^{\circ}\text{C}$  mientras que en el Equipo No. 2 se requieren bajar  $23.8^{\circ}\text{C}$  la temperatura del agua una vez que ha salido de la primera etapa del calentador regenerativo de placas para llegar de  $29.8^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ , lo cual ocasiona que el Equipo No. 2 emplee más medio refrigerante que el Equipo No. 1, un inconveniente adicional que presenta el Equipo No. 2 - consiste en que requiere un tanque adicional para enfriar -- agua por medio de un refrigerante y con esta agua fría a su vez, producir en la segunda etapa del calentador regenerativo de placas el enfriamiento antes mencionado de  $29.8^{\circ}\text{C}$  a  $-6^{\circ}\text{C}$  lo cual es más costoso además de que ocasiona problemas de espacio en comparación con el Equipo No. 1.

En lo que respecta al deaerador de los dos equipos las variantes que existen son mínimas y no determinantes para -- poder decir que un equipo es más eficiente que el otro. Ya anteriormente se ha mencionado que la temperatura del agua a deaerar es mayor en el Equipo No. 2 con respecto a la temperatura del agua del Equipo No. 1. Otra de las variantes que

va en conjunto con la temperatura del agua, es el vacío a la que se debe de encontrar el deaerador. Por cuestiones económicas conviene que la temperatura del agua a deaerarse sea de una menor temperatura y en este caso no sucede así para el Equipo No. 2 con respecto a la temperatura de entrada del Equipo No. 1.

Anteriormente se ha explicado que el enfriamiento del agua deaerada en el Equipo No. 1 se realiza en dos etapas; la primera etapa se hace en un calentador regenerativo de placas por medio de agua a deaerarse y la segunda etapa de enfriamiento se realiza en un enfriador de casco y tubo directamente con el medio refrigerante. En el caso del Equipo No. 2 el enfriamiento se realiza en un calentador regenerativo de placas de dos etapas, la primera etapa se realiza por medio de agua fría, para poder obtener este medio refrigerante es necesario instalar un tanque adicional para el enfriamiento de esta agua. Por razones de espacio y costo esto no es favorable para las condiciones de trabajo. De acuerdo con las tablas anteriores y lo explicado anteriormente; las condiciones de operación del Equipo No. 2 no son favorables por las características y condiciones de operación de la empresa para la cual se realiza este trabajo.

En lo que respecta a la diferencia de precios entre el Equipo No. 1 con respecto al Equipo No. 2 mostrados en las tablas anteriores podemos decir que el equipo que más conviene en precio es el Equipo No. 1.

Por razones anteriormente explicadas se selecciona el -  
Equipo No. 1.

#### 4.0 ESTUDIO TECNICO Y ECONOMICO

##### 4.1 Cálculo del Equipo

### O Z O N A D O R

El ozono exhibe el fenómeno de la alotropía, esto es, se presenta en varias formas elementales. Cuando se suministra energía al oxígeno biatómico se forma la molécula triatómica del ozono,  $O_3$ , mediante la reacción.



Sin embargo por simple edición de calor no es posible convertir gran cantidad de  $O_2$  en  $O_3$ . Ahora bien, cuando se suministra energía en otras formas (Eléctrica o radiante de alto poder energético) se logra obtener importantes cantidades de ozono. Una vez formado este con gran lentitud revierte a oxígeno. Se podrá fácilmente haciendo pasar oxígeno o aire, a través de dieléctricos conectados a los polos de un carrete de inducción.

Bajo el influjo de la descarga silenciosa producida se convierte en ozono alrededor de un 1% del oxígeno; así pues se tendrá:

$$\text{Ozono requerido} = 37.8 \text{ grs/hr} = 0.63 \text{ grs/min} (1.05 \times 10^{-5} \text{ kg/s})$$

$$\text{Peso molecular del ozono} = 48 \text{ grs/grs mol}$$

$$\text{Mol de } O_3 = \frac{\text{grs de ozono}}{\text{min}} = \frac{0.63}{48} = 1.312 \times 10^{-2}$$

De la Ecuación No. 1

$$3 \text{ mol de } O_2 \text{ ————— } 2 \text{ mol de } O_3$$

$$X \text{ ————— } 1.312 \times 10^{-2} \text{ mol de } O_3$$

$$X = \frac{1.312 \times 10^{-2} \times 3}{2} = 1.968 \times 10^{-2} \frac{\text{mol de } O_2}{\text{min}}$$

Esta cantidad representa el 1% del oxígeno convertido a ozono, por consecuencia el 99% será oxígeno que no se convirtió, teniéndose por consiguiente.

$$\% \text{ de oxígeno que no reaccionó} = \frac{\text{Mol de } O_2 \text{ que no reaccionó}}{\text{Mol de } O_2 \text{ que no reaccionó} + \text{Mol de } O_2 \text{ que reaccionó}} \times 100$$

$$99 = \frac{X}{X + 1.968 \times 10^{-2}} \times 100 \quad X \times 100 = 99(X + 1.968 \times 10^{-2}) = 100 X$$

$$99 X + 1.948 = 100 X \quad X = 1.948 \text{ mol}$$

$$\text{Masa total de } O_2 = 1.948 + 1.968 \times 10^{-2} = 1.968 \text{ mol/min}$$

$$\text{Masa total de } O_2 = 1.968 \text{ mol/min } (3.279 \times 10^{-2} \text{ mol/s})$$

#### CÁLCULO DEL AIRE REQUERIDO

Cálculo del peso molecular del aire.- Para fines prácticos - el aire tiene la siguiente reacción en volúmen

$$O_2 = 21\% \quad N_2 = 79\%$$

Componente	% Volúmen	Peso Molecular	Peso en Grs.
$O_2$	0.21	32	$0.21 \times 32 = 6.72$
$N_2$	0.79	28	$0.79 \times 28 = 22.12$
			<u>PM = 28.84</u> $\frac{\text{grs}}{\text{gr mol}}$

$$1 \text{ gr mol de aire ————— } 0.21 \text{ mol de } O_2$$

$$X \text{ ————— } 1.968 \text{ mol de } O_2$$

$$\text{Masa de aire suministrada al ozonador} = \frac{1.9689}{0.21} \times 28.84 =$$

$$270.272 \frac{\text{grs}}{\text{min}}$$

$$\text{Masa de aire suministrada al ozonador} = 4.50 + 10\% = 4.95 \text{ grs/s}$$

Cálculo del peso específico del aire

Se tomará como base 1 gr de aire

$$\text{mol de aire} = \frac{1}{28.84} = 3.467 \times 10^{-2}$$

Por definición 1 mol de cualquier gas ocupa en C.N. = 22.4 lts

$$\text{VCN} = 3.467 \times 10^{-2} \times 22.4 = 7.766 \times 10^{-1}$$

$$\frac{PV}{T} = \frac{P'V'}{T'} \quad V = \frac{P'V'T}{P T'} \text{ ----- 2}$$

$$P' = \text{Presión al nivel del mar} = 1.0330 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

$$V' = \text{Volumen a CN} = 7.766 \times 10^{-1} \text{ lts}$$

$$T' = \text{Temperatura a CN} = 273^{\circ}\text{K}$$

$$P = \text{Presión de trabajo del ozonador} = 5.272 + 7.946 \times 10^{-1} = 6.067 \text{ kgs/cm}^2 \text{ abs}$$

$$V = \text{Volumen requerido}$$

①

$$T = \text{Temperatura de descarga del ozonador. Se obtiene de las condiciones de operación, para ambos equipos es de } 79.897^{\circ}\text{C}$$

#### CALCULO DE LA TEMPERATURA DE DESCARGA DEL COMPRESOR

La temperatura es alcanzada por la compresión del aire a una presión de 5.272 kg/cm<sup>2</sup>; siendo esta:

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}}$$

En donde:

$T_2$  = Temperatura de descarga

$T_1$  = Temperatura de admisión

$P_2$  = Presión de descarga

$P_1$  = Presión de succión

$$T_2 = (20+273)^{\circ}\text{K} \frac{\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} (6.0671 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})}{7.946 \times 10^{-1} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \frac{1.41-1}{1.41}$$

$$T_2 = 528.31^{\circ}\text{K} - 273$$

$$T_2 = 255.31^{\circ}\text{C}$$

Temperatura real en el ozonador =  $255.31^{\circ}\text{C} - 79.89^{\circ}\text{C}$

Temperatura real en el ozonador =  $175.42^{\circ}\text{C}$

Substituyendo en la Ecuación No. 2

$$V = \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1}$$

$$V = \frac{1.033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 7.766 \times 10^{-1} \text{ lts} \times (175.42+273)^{\circ}\text{K}}{6.067 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 273^{\circ}\text{K}}$$

$$V = 2.172 \times 10^{-1} \text{ lts}$$

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{1}{2.172 \times 10^{-2} \text{ lts}} = 4.604 \frac{\text{gr}}{\text{lts}}$$

$$\text{Volúmen de aire en el ozonador} = \frac{270.272 \frac{\text{grs}}{\text{min}}}{4.604 \frac{\text{grs}}{\text{lts}}}$$

$$\text{Volúmen de aire en el ozonador} = 58.704 \frac{\text{lts}}{\text{min}}$$

$$\text{Volúmen de aire en el ozonador} = 5.870 \times 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 9.784 \times 10^{-1} \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

Cálculo del sistema de bombeo del tanque de mezcla al desareador

$$h_1 + P_1 V_1 + \frac{V^2}{2g} + H = h_2 + P_2 V_2 + \frac{V^2}{2g} + Z h \text{ ----- } 1.$$

Datos:

$$h_1 = 1.75 \text{ mts}$$

$$h_2 = 1.30 \text{ mts}$$

$$P_1 V_1 = 0$$

$$P_2 V_2 = 3.46 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{V^2}{2g} = 0$$

$$\frac{V^2}{2g} \neq 0$$

$$H \neq 0$$

$$h \neq 0$$

Gasto a manejar:  $286.66 \frac{\text{lbs}}{\text{min}}$

$$Q = 0.286 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 17.199 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Temperatura del agua a manejar =  $24^\circ\text{C} = 75.2^\circ\text{F}$  en un inicio

Temperatura del agua a manejar =  $6^\circ\text{C} = 42.8^\circ\text{F}$  al final

Volumen específico promedio:

Volumen específico para  $24^\circ\text{C} = 75.2^\circ\text{F}$

$$21.1^\circ\text{C} = 70^\circ\text{F} \quad \frac{1.606 \times 10^{-2} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}}}{1} = 10.028 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$24^\circ\text{C} = 75.2^\circ\text{F} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad \times$$

$$26.6^\circ\text{C} = 80^\circ\text{F} \quad \frac{1.608 \times 10^{-3} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}}}{2 \times 10^{-5} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}}} = 10.040 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$$
$$\frac{\hspace{2cm}}{2 \times 10^{-5} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}}} = 1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$$

Donde:

$$2 \times 10^{-5} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}} \div 10 = 2 \times 10^{-6} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}} \times 5.2^\circ\text{F} = 1.04 \times 10^{-5} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}}$$

$$V_e \text{ de } 70^\circ\text{F} + V_e \text{ de } 5.2^\circ\text{F} = 1.606 \times 10^{-2} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}} = 1.04 \times 10^{-5} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}}$$

$$V_e = 16.070 \times 10^{-3} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}} \text{ de } 24^\circ\text{C} = 75.2^\circ\text{F}$$

$$V_e = 10.034 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de } 24^\circ\text{C} = 75.2^\circ\text{F}$$

Volumen específico para  $6^\circ\text{C} = 42.8^\circ\text{F}$

$$40^{\circ}\text{F} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 1.602 \times 10^{-2} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}} = 10.003 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$50^{\circ}\text{F} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 1.602 \times 10^{-2} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}} = 10.003 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$V_e = 1.602 \times 10^{-2} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}} \text{ de } 6^{\circ}\text{C} = 42.8^{\circ}\text{F}$$

$$V_e = 10.003 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{kg} \text{ de } 6^{\circ}\text{C} = 42.8^{\circ}\text{F}$$

$$V_e \text{ promedio} = \frac{16.070 \times 10^{-3} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}} + 1.602 \times 10^{-2} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}}}{2}$$

$$V_e \text{ promedio} = 1.605 \times 10^{-2} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}}$$

$$V_e \text{ promedio} = 1.001 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$V_e = 1.605 \times 10^{-2} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}} \times 0.028 \frac{\text{m}^3}{\text{pie}^3} \times 2.204 \frac{\text{lbs}}{\text{kg}}$$

$$V_e = 1.001 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$f = \frac{1}{v_e} = \frac{1}{1.001 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}$$

$$f = 999.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q_m = Q \text{ agua} \times f$$

$$Q_m = 17.199 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \times 999.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q_m = 17181.801 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

De la tabla No. 1 entrando con la densidad y el gasto en masa del líquido a manejar el diámetro requerido es de -- 7.62 cms.

7.62 cms = 0.0762 m. diámetro exterior de la tubería

7.198 cms = 0.07198 m. diámetro interior de la tubería.

$$Q = VA \quad V = \frac{Q}{A} \quad A = \frac{II}{4} (D^2)$$

$$V = \frac{0.286 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{4.069 \times 10^{-3} \text{ m}^2} \quad A = \frac{II}{4} (7.198 \times 10^{-2})^2$$

$$V = 70.288 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad A = 4.069 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = 1.171 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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

De la tabla No. 2 y 3 entrando con la temperatura del -  
flujo manejado.

$$\mu = 0.95 \text{ Centipoises} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \times \frac{1}{1000} = 9.5 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Re = \frac{0.07198 \text{ m} \times 1.171 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 999.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{9.5 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

Re = 88636.09 > 2100 Flujo manejado turbulento

$$f = 0.0035 + \frac{0.264}{Re^{0.42}}$$

$$f = 0.0035 + \frac{0.264}{(88636.09)^{0.42}}$$

$$f = 0.0035 + 2.20 \times 10^{-3}$$

$$f = 5.70 \times 10^{-3}$$

$$h_f = \frac{2 f l v^2}{g D}$$

$$h_f = \frac{2 \times 5.70 \times 10^{-3} \times 100 \times (1.171 \text{ m/s})^2}{9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.07198 \text{ m}}$$

$$h_f = \frac{1.5649}{0.7061}$$

$h_f = 2.216 \text{ m/100m de longitud}$

Longitud de tubería = 6.10 m

Longitud equivalente por accesorios:

3 codos de 7.62 cm x 90° = 1.58 m x 3 = 4.74 m

2 tees de 7.62 cm. = 5.18 m. x 2 = 10.36 m

4 válvulas keystone de 7.62 cm = 0.019 m. x 10x4 = 0.076 m

2 válvulas check de 7.62 cm. = 0.5 m. x 2 = 1 m

Longitud total equivalente = 16.176 m

Longitud total = 22.276 m

$$X = \frac{2.216 \text{ m} \times 22.276 \text{ m}}{100 \text{ m de longitud}}$$

$$X = 0.494 \text{ m}$$

$$\Sigma H = 0.494 \text{ m}$$

$$P_2 V_2 = 3.46 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times \frac{1}{999 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \times \frac{10000 \text{ cm}^2}{\text{m}^2}$$

$$P_2 V_2 = 34.635 \text{ m}$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{(1.171 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{1.371 \text{ m}^2/\text{s}^2}{19.62 \text{ m}/\text{s}^2}$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = 0.070 \text{ m}$$

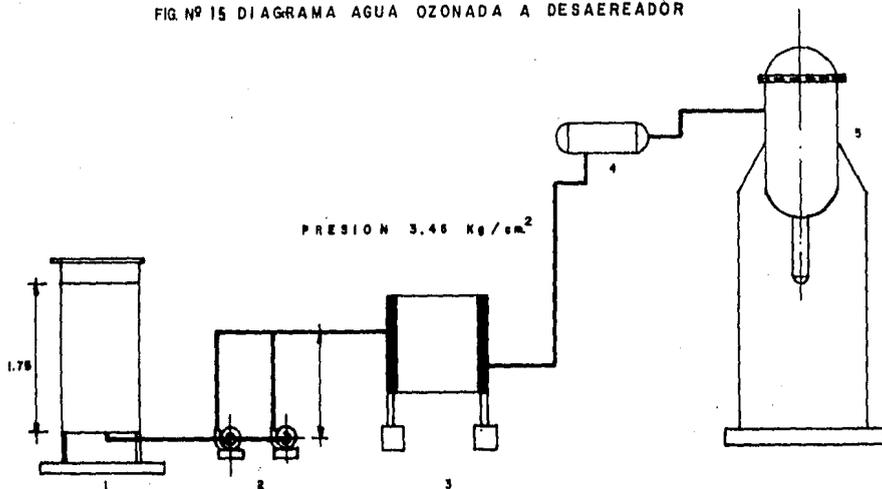
De la Ecuación No. 1

$$h_1 + P_1 V_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H = h_2 + P_2 V_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h \text{ ----- (1)}$$

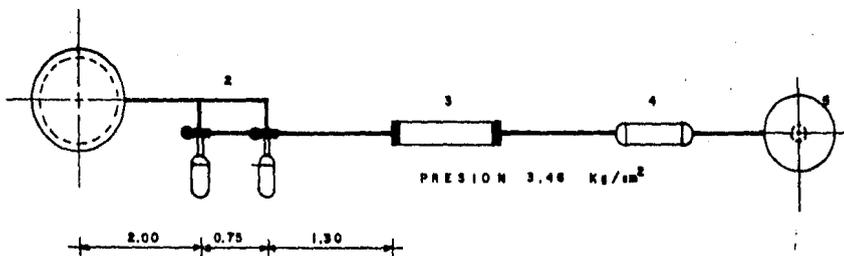
$$H = h_2 + P_2 V_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h - h_1$$

$$H = 1.30 \text{ m} + 34.635 \text{ m} + 0.070 \text{ m} + 0.494 \text{ m} - 1.75 \text{ m}$$

FIG. Nº 15 DIAGRAMA AGUA OZONADA A DESAERADOR



ELEVACION



PLANTA

- 1.- TANQUE DE MEZCLA
- 2.- BOMBA
- 3.- CALENTADOR REGENERATIVO
- 4.- CALENTADOR DE VAPOR
- 5.- DESAERADOR

$$H = 34.749 \text{ m}$$

Se requiere una bomba de 34.749 m contra  $286.6 \frac{\text{0lts}}{\text{min}} = 4.78 \text{ lts/s}$

### BALANCE DE MATERIALES PARA EL DESAEREADOR

Nomenclatura:

F = Producto a desaerear

V = Volumen (evaporación por cambio de presión)

P = Producto desaereado.

$$\text{Temperatura del agua a desaerear} = 26^{\circ}\text{C} = 78.8^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Temperatura del agua desaereada} = 6^{\circ}\text{C} = 42.8^{\circ}\text{F}$$

Volúmen específico del agua a proceso de  $6^{\circ}\text{C}$  a  $26^{\circ}\text{C}$

$$21.1^{\circ}\text{C} = 70^{\circ}\text{F} \quad \frac{1.606 \times 10^{-2} \text{ Pie}^3/\text{lb}}{10} = 10.02 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$26^{\circ}\text{C} = 78.8^{\circ}\text{F} \quad \times$$

$$26.6^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{F} \quad \frac{0.01608 \text{ Pie}^3/\text{lb}}{(-) 2 \times 10^{-5} \text{ pie}^3/\text{lb}} = \frac{10.04 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-6}} \text{ /kg}$$

$$8.8^{\circ}\text{F} \times 2 \times 10^{-6} = 1.76 \times 10^{-5} + 1.606 \times 10^{-2} \text{ Pie}^3/\text{lb}$$

$$26^{\circ}\text{C} = 78.8^{\circ}\text{F} = 1.608 \times 10^{-2} \text{ pie}^3/\text{lb}$$

$$6^{\circ}\text{C} = 42.8^{\circ}\text{F} = 1.602 \times 10^{-2} \text{ Pie}^3/\text{lb}$$

$$\text{Volúmen específico promedio} = 1.604 \times 10^{-2} \text{ Pie}^3/\text{lb} = 10.02 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$1.604 \times 10^{-2} \text{ Pie}^3/\text{lb} \times 2.832 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{Pie}^3 \times 2.202 \text{ lb /kg}$$

$$\text{Volumen específico promedio: } 10.02 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$F (\text{Producto a desaerear}) = 286.6 \text{ 0lts/min}$$

$$F = 17,181.801 \text{ kg/hr} \times 10.02 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$F = 17.2162 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$F = 17216.20 \text{ kg/hr}$$

Se sabe que el consumo de vapor es de 230.116 kg/hr - -

(507.32 lbs/hr) por cada 286.60 lts/min.

$$P \text{ vapor} = 125 \text{ lbs/plg}^2 + 11.3 \text{ lbs/plg}^2 = 136.3 \text{ lbs/plg}^2 \text{ abs}$$

$$\text{Vapor} = \frac{Q}{\text{evaporación}} \text{ ----- (A)}$$

evaporación A 136.3 lbs/plg<sup>2</sup> abs

$$130 \text{ lbs/plg}^2 \text{ ----- } 879.9 \text{ btu/lb}$$

$$136.3 \text{ lbs/plg}^2 \text{ ----- } X$$

$$140 \text{ lbs/plg}^2 \text{ ----- } 868.2 \text{ btu/lb}$$

$$X = 887.271 = \text{evaporación btu/lb}$$

De la Ecuación A

$$507.32 \text{ lbs/hr} = \frac{Qt}{887.271 \text{ btu/lb}}$$

$$Qt = 507.32 \text{ lbs/hr} \times 887.271 \text{ btu/lb}$$

$$Qt = 450130.323 \text{ btu/hr}$$

#### CALCULO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA A LA SALIDA DEL CALENTADOR DE VAPOR Y ENTRADA DEL DESAERADOR

$$\text{Se sabe que: } Q = W C_p \Delta T$$

Datos:

$$Q = 113432.8416 \text{ K Cal/hr}$$

$$W = 17216.20 \text{ kg/hr}$$

$$C_p = \frac{1 \text{ K cal}}{1 \text{ Kg}^\circ\text{C}}$$

$$T_1 = 38.8^\circ\text{C}$$

$$Q = W C_p (T_2 - T_1)$$

$$\frac{Q}{W C_p} = T_2 - T_1$$

$$T_2 = \frac{Q}{W C_p} + T_1$$

$$T_2 = \frac{113432.8416 \text{ K Cal/hr}}{17216.20 \text{ kg/hr} \times 1 \frac{\text{K Cal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} + 38.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 6.58 \text{ } ^\circ\text{C} + 38.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$T_2 = 45.38 \text{ } ^\circ\text{C}$  de temperatura a la entrada del desareador.

Por Balance de materiales

$$F = V + P \text{ ----- (1)}$$

Por Balance de energía

$$Fh_f = Vh_v + Ph_p \text{ ----- (2)}$$

$$V = F - P \text{ ----- (3)}$$

Sustituyendo la Ecuación 3 en la Ecuación 2

$$Fh_f = (F - P) h_v + Ph_p$$

$$Fh_f = Fh_v - Ph_v + Ph_p$$

$$Fh_f - Fh_v = Ph_p - Ph_v$$

$$F (h_f - h_v) = P (h_p - h_v)$$

$$P = \frac{F (h_f - h_v)}{h_p - h_v} \text{ ----- (4)}$$

Sustituyendo la Ecuación 4 en la Ecuación 3

$$V = F - \frac{F (h_f - h_v)}{(h_p - h_v)} \text{ ----- (5)}$$

$h_f$  = cálculo de la entalpia a  $45.38 \text{ } ^\circ\text{C} = 113.63 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$43.3 \text{ } ^\circ\text{C} = 110 \text{ } ^\circ\text{F} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 77.94 \text{ btu/lb}$$

$$45.3 \text{ } ^\circ\text{C} = 113.63 \text{ } ^\circ\text{F} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad X$$

$$48.8 \text{ } ^\circ\text{C} = 120 \text{ } ^\circ\text{F} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 87.92 \text{ btu/lb}$$

$$X = 81.562 \text{ btu/lb}$$

$$h_f = 81.562 \text{ btu/lb a } 45.385^\circ\text{C} = 113.63^\circ\text{F}$$

$$h_f = 81.562 \text{ btu/lb} \times 0.252 \frac{\text{K cal}}{\text{btu}} \times 2.205 \text{ lbs/kg}$$

$$h_f = 45.349 \text{ K cal/kg a } 45.385^\circ\text{C} = 113.63^\circ\text{F}$$

$$h_v = \text{cálculo de la entalpia a } 13.26 \text{ lbs/plg}^2 = 27 \text{ plg Hg}$$

$$206.25^\circ\text{F} = 96.805^\circ\text{C}$$

$$10 \text{ lbs/plg}^2 \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 11.43.3 \text{ btu/lb}$$

$$13.26 \text{ lbs/plg}^2 \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad X$$

$$14.696 \text{ lbs/plg}^2 \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 1150.4 \text{ btu/lb}$$

$$X = 1148.228 \text{ btu/lb}$$

$$h_v = 1148.228 \text{ btu/lb a } 13.26 \text{ lbs/plg}^2 = 0.932 \text{ kg/cm}^2 =$$

$$h_p = \text{Cálculo de la entalpia a } 43.3^\circ\text{C} = 109.94^\circ\text{F}$$

$$37.7^\circ\text{C} \quad 100^\circ\text{F} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 67.97 \text{ btu/lb}$$

$$43.23^\circ\text{C} \quad 109.94^\circ\text{F} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad X$$

$$43.3^\circ\text{C} \quad 110^\circ\text{F} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 77.94 \text{ btu/lb}$$

$$X = 77.88 \text{ btu/lb}$$

$$h_p = 77.88 \text{ btu/lb a } 43.3^\circ\text{C} = 109.94^\circ\text{F}$$

$$h_v = 1148.228 \text{ btu/lb} \times 0.556 \text{ K cal/kg} =$$

$$638.415 \text{ K cal/kg}$$

$$h_f = 81.56274 \text{ btu/lb} \times 0.556 \text{ K cal/kg} =$$

$$45.349 \text{ K cal/kg}$$

$$h_p = 77.88 \text{ btu/lb} \times 0.556 \text{ K cal/kg} =$$

$$43.301 \text{ K cal/kg}$$

Sustituyendo valores en la Ecuación No. 4



$$Q_t = 32542.680 \text{ K Cal/hr}$$

Sabemos que  $Q = W C_p \Delta T$

Datos:

$$Q = 32542.680 \text{ K Cal/hr}$$

$$T_1 = 2^\circ\text{C}$$

$$C_p = 1 \frac{\text{K Cal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

$$W = 9.45 \text{ lts/min} = 567 \text{ kg/hr}$$

$$Q = W C_p (T_2 - T_1)$$

$$\frac{Q}{W C_p} = T_2 - T_1$$

$$T_2 = \frac{Q}{W C_p} + T_1$$

$$T_2 = \frac{32542.680 \text{ K Cal/hr}}{567 \text{ kg/hr} \times 1 \frac{\text{K Cal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}} + 2^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 57.394 + 2^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 59.39^\circ\text{C}$$

CALCULO DE LA BOMBA DE AGUA DESAERADA A TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Primeramente se calcularán las  $Z_h$  hasta donde se unen las dos descargas de las bombas.

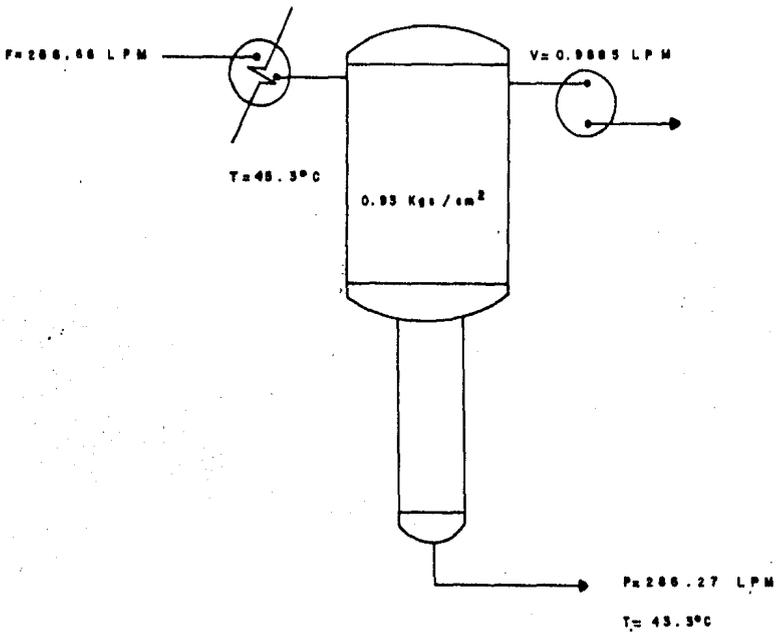
$$h_1 + P_1 V_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H = h_2 + P_2 V_2 + \frac{V_2^2}{2g} = Z_h \text{ ----- } 1$$

Datos:

$$h_1 = 1.50 \text{ m}$$

$$h_2 = 25.15 \text{ m}$$

FIG. Nº 16 BALANCE DE MATERIALES PARA EL DESAEREADOR



F = PRODUCTO  
V = EVAPORACION  
P = PRODUCTO DEAREADO

$$P_1 V_1 = 13.26 \frac{\text{lbs}}{\text{pi}g^2}$$

$$P_2 V_2 = 20 \frac{\text{lbs}}{\text{pi}g^2}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = 0$$

$$\frac{V_2^2}{2g} \neq 0$$

$$H \neq 0$$

$$Z_h \neq 0$$

Gasto a manejar:

$$Q = 286.6 \frac{\text{lbs}}{\text{min}} = 0.2866 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$Q = 17.156 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$V_e \text{ promedio} = 1.604 \times 10^{-2} \frac{\text{pie}^3}{\text{lb}}$$

$$V_e = 10.017 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$f = 999.00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q_m = Q \text{ agua} \times f$$

$$Q_m = 17.156 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \times 999.00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q_m = 17\,138.84 \text{ kg/hr}$$

De la Tabla No. 1 entrando con la densidad y el gasto - en masa del líquido a manejar el diámetro requerido es de -- 6.985 cms., por razones comerciales el diámetro será de 7.62 cms.

7.62 cms = 0.0762 m, diámetro exterior de la tubería

7.198 cms = 0.07198 m, diámetro interior de la tubería

$$Q = VA$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{Q}{V} \quad (D^2)$$

$$V = \frac{0.2866 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{0.0041 \text{ m}^2}$$

$$A = \frac{Q}{V} \quad (0.07198 \text{ m})^2$$

$$V = 70.332 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$A = 0.0041 \text{ m}^2$$

$$V = 1.173 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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

$$Re = \frac{0.07198 \text{ m} \times 1.173 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 999.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.0095 \frac{\text{kg}}{\text{m-s}}}$$

$$Re = 8878.748 > 2100 \text{ Flujo turbulento}$$

$$f = 0.0035 + \frac{0.264}{Re^{0.42}}$$

$$f = 0.0035 + \frac{0.264}{8878.748^{0.42}}$$

$$f = 0.0035 + 5.798 \times 10^{-3}$$

$$f = 9.298 \times 10^{-3}$$

$$h_f = \frac{2f l v^2}{g D}$$

$$h_f = \frac{2 \times 9.298 \times 10^{-3} \times 100 \text{ m} \times (1.173 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.07198 \text{ m}}$$

$$h_f = \frac{2.5587}{7.061 \times 10^{-1}}$$

$$h_f = 3.6236 \text{ m/100 m de longitud}$$

Longitud de tubería = 11.95 m

Longitud equivalente por accesorios;

$$11 \text{ codos de } 7.62 \text{ cm} \times 90^\circ = 1.58 \text{ m} \times 11 = 17.38 \text{ m}$$

$$3 \text{ válvulas keystone de } 7.62 \text{ cms} = 0.019 \text{ m} \times 3 = 0.057 \text{ m}$$

$$1 \text{ válvula check de } 7.62 \text{ cms} = 0.5 \text{ m} = 0.5 \text{ m}$$

Longitud total equivalente = 17.937 m

Longitud de tubería total = 29.887 m

$$X = \frac{3.6236 \text{ m} \times 29.887 \text{ m}}{100 \text{ m de longitud}}$$

$$Z_h = 1.083 \text{ m}$$

CALCULO DE LA h DEL PUNTO DONDE SE UNEN LOS DOS FLUJOS - -  
HASTA EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

$$Q = 286.6 \frac{\text{lbs}}{\text{min}} \times 2 = 572.546 \frac{\text{lbs}}{\text{min}}$$

$$Q = 0.5725 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$Q = 34.3528 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$\rho = 999.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q_m = Q \text{ agua} \times \rho$$

$$Q_m = 34.3528 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \times 999.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q_m = 34318.4072 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

De la Tabla No. 1 entrando con la densidad y el gasto en masa del líquido a manejar el diámetro requerido es de 10.16 cms.

10.16 cms = 0.1016 m, diámetro exterior de la tubería

9.738 cms = 0.09738 m, diámetro interior de la tubería

$$Q = V A$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{II}{4} (D^2)$$

$$V = \frac{0.5725 \frac{m^3}{min}}{7.447 \times 10^{-3} m^2}$$

$$A = \frac{II}{4} (0.09738 m)^2$$

$$A = 7.447 \times 10^{-3} m^2$$

$$V = 76.868 \frac{m}{min}$$

$$V = 1.281 \frac{m}{s}$$

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

$$Re = \frac{0.09738 m \times 1.281 \frac{m}{s} \times 999.0 \frac{kg}{m^3}}{9.5 \times 10^{-4} \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$Re = 120843.5 > 2100 \text{ Flujo turbulento}$$

$$f = 0.0035 + \frac{0.264}{Re^{0.42}}$$

$$f = 0.0035 + \frac{0.264}{120843.5 (0.42)}$$

$$f = 0.0035 + 0.0050941319$$

$$f = 8.594 \times 10^{-3}$$

$$hf = \frac{2 L V^2 \cdot f}{g D}$$

$$hf = \frac{2 \times 8.594 \times 10^{-3} \times 100 \text{ mts} \times (1.281 \frac{mts}{s})^2}{9.81 m/s^2 \times 2 \times 0.09738 \text{ mts}}$$

$$hf = \frac{2.8205}{0.9552}$$

$$hf = 2.9525 \text{ mts/100 mts. de longitud}$$

Longitud de tubería = 45 mts

Longitud equivalente por accesorios:

5 codos de 10.16 cms x 90° = 2.13 mts. x 5 = 10.65 mts

2 tees de 10.16 cms = 6.70 mts. x 2 = 13.40 mts.

2 válvulas Keystone de 10.16 cms = 0.021 mts. x 2 = 0.042 mts

Longitud total equivalente = 24.092 mts

Longitud total = 69.092 mts.

2.9525 mts                      100 mts. de longitud

X                      69.092 mts.

$$X = \frac{2.9525 \text{ mts} \times 69.092 \text{ mts}}{100 \text{ mts de longitud}}$$

$\Sigma h = x = 2.0399 \text{ mts.}$

$\Sigma h_t = 2.0399 \text{ mts.} + 1.0832 \text{ mts.}$

$\Sigma h_t = 3.1231 \text{ mts.}$

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{(1.1281 \frac{\text{mts}}{\text{s}})^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{mts}}{\text{s}^2}} = \frac{1.6409 \frac{\text{mts}^2}{\text{s}^2}}{19.62 \frac{\text{mts}}{\text{s}^2}}$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = 8.3637 \times 10^{-2} \text{ mts.}$$

$$P_2 V_2 = 20 \frac{\text{lbs}}{\text{plg}^2} + 11.3 \frac{\text{lbs}}{\text{plg}^2} = 3.31 \frac{\text{lbs}}{\text{plg}^2} \times 0.0703 = 2.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_2 V_2 = 2.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 10000 \frac{\text{cm}^2}{\text{mts}^2} \times \frac{1}{999.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$P_2 V_2 = 22.022 \text{ mts.}$$

$$P_I V_I = 13.26 \frac{\text{lbs}}{\text{plg}^2} \times 0.0703 = 0.932 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_I V_I = 9.338 \text{ mts.}$$

1 Carbonatador antes del enfriador de placas

$$5 \frac{\text{lbs}}{\text{plg}^2} \times 2 \text{ pasos} = 10 \frac{\text{lbs}}{\text{plg}^2} = 7.03 \text{ mts}$$

1 Carbonatador después del enfriador de casco y tubo

$$1 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} = 0.703 \text{ mts}$$

Caída de presión de los enfriadores de placas de casco y tubo

$$26.3 \frac{\text{lbs}}{\text{plg}^2} = 18.488 \text{ mts}$$

Caída de presión por válvula neumática

$$5 \frac{\text{lbs}}{\text{plg}^2} = 3.515 \text{ mts}$$

$$h \text{ por accesorios} = 29.736 \text{ mts}$$

$$h_t = h_t \text{ por tubería} + h \text{ por accesorios}$$

$$h_t = 3.1231 \text{ mts} + 29.7369 \text{ mts}$$

$$h_t = 32.859 \text{ mts}$$

De la Ecuación No. 1

$$h_I + P_I V_I + \frac{V_I^2}{2g} + H = h_2 + P_2 V_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h \text{ -----(1)}$$

$$H = h_2 + P_2 V_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h - (h_I + P_I V_I)$$

$$H = 25.15 \text{ mts} + 22.022 \text{ mts} + 8.3637 \times 10^{-2} \text{ mts} +$$

$$32.859 \text{ mts} - (1.50 \text{ mts} + 9.338 \text{ mts})$$

$$H = 80.11 \text{ mts} - 10.838 \text{ mts}$$

$$H = 69.298 \text{ mts}$$

Se requiere una bomba de 69.298 mts contra 286.6  $\frac{\text{lbs}}{\text{min}}$

CANTIDAD DE GAS CARBONICO AGREGADO AL AGUA DESAERADA

Presión proporcionada por la bomba a la entrada del primer carbonatador.

$$\text{Carga Total} = H = 69.298 \text{ mts} = 6.929 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

H a la entrada del primer carbonatador = CARGA TOTAL -  $\Sigma$  h -  
tubería y accesorios

$$H = 69.298 \text{ mts} - 3.515 \text{ mts}$$

$$H = 65.783 \text{ mts} = 6.5783 \text{ kg/cm}^2$$

De la Tabla del Estudio Técnico y Económico:

Carbonatador: 2.75 lts  $\text{CO}_2$ /min

Gasto de agua manejada = 286.6 lts/min

$$2.75 \text{ lts } \text{CO}_2 / \text{min} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 1 \text{ lt de agua/min}$$

$$\times \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 286.6 \text{ lts/min}$$

$$X = \frac{286.6 \text{ lts/min} \times 2.75 \text{ lts } \text{CO}_2 \text{ min}}{1 \text{ lt de agua/min} \times 2}$$

$$X = 393.625 \text{ lts } \text{CO}_2 / \text{min} = 6.56 \text{ lts } \text{CO}_2 / \text{s}$$

Se suministrará 393.625 lts  $\text{CO}_2$ /min con una presión  
de 6.578  $\text{kg/cm}^2$ .

Peso atómico del gas carbónico ( $\text{CO}_2$ )

$$\text{CO}_2 = 44$$

$$\text{C} = 12$$

$$\text{O} = 16 \times 2 = 32$$

$$\text{CO}_2 = 12 + 32 = 44$$

Se tomará como base 1 kg de  $\text{CO}_2$

$$1 \text{ Kg Mol. de } \text{CO}_2 = \frac{1}{\text{PA } \text{CO}_2} = \frac{1}{44}$$

$$K \text{ Mol de } \text{CO}_2 = 2.272 \times 10^{-1}$$

$$\text{Volúmen a condiciones normales } 1/2.272 \times 10^{-1} \text{ kg Mol} \times 22.412 \frac{\text{m}^3}{\text{K Mol} \times 1 \text{ kg } \text{CO}_2}$$

Volúmen a condiciones normales = 5.0936 m<sup>3</sup>/kg

De la Ecuación de los gases ideales:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P' V'}{T'} \quad V = \frac{P' V' T}{T' P'}$$

Datos:

$$P' = 1.033 \text{ kg/cm}^2$$

$$V' = 5.093 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T = (6+273)^{\circ} \text{K} = 279^{\circ} \text{K}$$

$$T' = 273^{\circ} \text{K}$$

$$P = (6.578 \text{ kg/cm}^2 + 0.7943 \text{ kg/cm}^2) \text{ abs}$$

Substituyendo en la Ecuación anterior

$$V = \frac{1.033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 5.093 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times 279^{\circ} \text{K}}{273^{\circ} \text{K} \times (6.5783 + 0.7943) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$V = \frac{1468.021}{2012.74} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho = \frac{1}{V} = \frac{1}{0.7993}$$

$$\rho = 1.250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Volúmen manejado para el primer carbonatador

$$V = 393.625 \frac{\text{lbs CO}_2}{\text{min}} = 0.3936 \frac{\text{m}^3 \text{ CO}_2}{\text{min}}$$

$$\text{Masa manejada de CO}_2 = V \times \rho$$

$$\text{Masa manejada de CO}_2 = 3.936 \times 10^{-1} \frac{\text{m}^3 \text{ CO}_2}{\text{min}} \times 1.250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Masa manejada de CO}_2 = 4.924 \times 10^{-1} \frac{\text{kg}}{\text{min}} = 29.545 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$\text{Masa manejada de CO}_2 = 29.545 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Presión proporcionada por la bomba a la entrada del segundo carbonatador.

H a la entrada del segundo carbonatador =  $H_{total} - \sum h_{tubería}$   
y accesorios.

$$H = 69.298 \text{ mts} - 39.455$$

$$H = 29.842 \text{ mts} = 2.9842 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

De la Tabla del Estudio Técnico y Económico

Carbonatador : 2.75 lts  $\text{CO}_2$ /min

Gasto de agua manejada = 286.6 lts/min

$$2.75 \text{ lts } \text{CO}_2/\text{min} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 1 \text{ lt de agua/min}$$

$$X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 286.6 \text{ lts/min}$$

$$X = \frac{286.6 \text{ lts/min} \times 2.75 \text{ lts } \text{CO}_2/\text{min}}{1 \text{ lt de agua/min}}$$

$$X = 787.250 \text{ lts } \text{CO}_2/\text{min}$$

Se suministrará 787.250 lts  $\text{CO}_2$ /min con una presión de 2.9  $\text{kg/cm}^2$ .

De la Ecuación de los gases ideales:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P' V'}{T'}$$

$$V = \frac{P' V' T}{P T'}$$

Datos:

$$P' = 1.033 \text{ kg/cm}^2$$

$$V = ?$$

$$T = 6 + 273 = 279^\circ\text{K}$$

$$T' = 273^\circ\text{K}$$

$$P = (2.98 + 7.943 \times 10^{-1}) \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

$$V' = 5.093 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V = \frac{1.033 \text{ kg/cm}^2 \times 5.093 \text{ m}^3/\text{kg} \times 279^{\circ}\text{K}}{(2.98 + 0.7943) \text{ Kg/cm}^2 \times 273^{\circ}\text{K}}$$

$$V = \frac{1468.021}{1030.408} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \text{ CO}_2$$

$$V = 1.424 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \text{ CO}_2$$

$$f = \frac{1}{V} = \frac{1}{1.424}$$

$$f = 0.7019 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Volúmen manejado por el segundo carbonatador.

$$V = 787.250 \frac{\text{lbs}}{\text{min}} \text{ CO}_2 = 0.7872 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \text{ CO}_2$$

$$\text{Masa manejada de CO}_2 = V \times f$$

$$\text{Masa manejada de CO}_2 = 7.872 \times 10^{-1} \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \times 7.019 \times 10^{-1} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Masa manejada de CO}_2 = 5.525 \times 10^{-1} \frac{\text{kg}}{\text{min}} = 33.1544 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$\text{Masa manejada de CO}_2 = 33.1544 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Presión a la entrada de las piedras carbonatadoras 2.109 --- kg/cm<sup>2</sup> con la diferencia de presión entre la presión del tanque y la presión de entrada del gas carbónico es de 1.054 - kg/cm<sup>2</sup>; de acuerdo con la tabla siguiente entrando con la -- presión de 1.054 kg/cm<sup>2</sup>; el gas carbónico suministrado es - de 102 Pie<sup>3</sup>/hr.

$$102 \text{ Pie}^3/\text{hr} \times 6 \text{ piedras carbonatadoras} = 612 \text{ pie}^3/\text{hr}$$

$$612 \text{ Pie}^3/\text{hr} \times 28.32 \text{ lbs/Pie}^3 = 17331.84 \text{ lbs/hr} =$$

$$17.331 \text{ m}^3/\text{hr} = 4.814 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

De la Ecuación de los gases ideales:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P' V'}{T'}$$

$$V = \frac{P' V' T}{P T'}$$

Datos:

$$P' = 1.033 \text{ kgs/cm}^2$$

$$V' = 5.093 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T = (6+273) \text{ }^\circ\text{K} = 279 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T' = 273 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$P = (1.054 + 0.794) \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

$$V = ?$$

Substituyendo en la ecuación anterior;

$$V = \frac{1.033 \text{ kg/cm}^2 \times 5.093 \text{ m}^3/\text{kg} \times 279 \text{ }^\circ\text{K}}{(1.0545 + 0.794) \text{ kg/cm}^2 \times 273 \text{ }^\circ\text{K}}$$

$$V = \frac{1460.0216}{504.746} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V = 2.892 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho = \frac{1}{V} = \frac{1}{2.892} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho = 3.457 \times 10^{-1} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Volúmen manejado por piedras carbonatadoras

$$V = 17.331 \text{ m}^3/\text{hr CO}_2$$

$$\text{Masa manejada de CO}_2 = V \times \rho$$

$$\text{Masa manejada de CO}_2 = 17.331 \text{ m}^3/\text{hr} \times 0.3457 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa manejada de CO}_2 = 5.991 \text{ kg/hr}$$

CANTIDAD DE GAS CARBÓNICO REQUERIDO PARA EL AGUA DESAERADA

Cantidad total de gas carbónico = kg/hr de CO<sub>2</sub> del primer --  
carbonatador. + kg/hr de CO<sub>2</sub> por piedras carbonatadoras.

$$\text{Cantidad de gas carbónico} = 29.545 + 33.154 + 5.99 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$\text{Cantidad de gas carbónico} = 68.692 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

ENFRIADOR DE CASCO Y TUBO DE LA TABLA DEL ESTUDIO TECNICO Y  
ECONOMICO

Capacidad de enfriamiento = 286.6 lts/min

T del agua desaerada = 29.8°C a 6°C

Refrigerante utilizado = Amoniaco

Datos:

$$Q = ?$$

$$W = 286.6 \text{ lts/min}$$

$$T_2 = 29.8^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 6^\circ\text{C}$$

$$C_p = 1 \text{ K Cal/kg} - ^\circ\text{C}$$

$$Q = W C_p \Delta T$$

$$Q = 286.6 \text{ lts/min} \times 1 \text{ kg/lts} \times 60 \text{ min/hr} \times 1 \text{ K Cal/kg} \\ \times (29.8 - 6) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 408797.844 \text{ K Cal/hr}$$

$$Q = m \times \lambda \text{ calor latente de vaporización} \text{ ----- } 1$$

Presión a la que se maneja el refrigerante = 3.7259 kg/cm<sup>2</sup> man

Presión absoluta = P man + Patm

Presión absoluta = (3.725 + 0.7943 ) kg/cm<sup>2</sup>

Presión absoluta = 4.520 kg/cm<sup>2</sup>

Temperatura a la que se maneja el refrigerante:

4.471 kg/cm<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 0.6°C

4.520 kg/cm<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ X

4.564 kg/cm<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 1.1°C

$$\frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} = \frac{P_n - P_1}{T_n - T_1}$$

$$\frac{4.564 - 4.471}{1.1 - 0.6} = \frac{4.520 - 4.471}{X - 0.6}$$

$$\frac{9.3 \times 10^{-2}}{.5} = \frac{4.929 \times 10^{-2}}{X - 0.6}$$

$$(X - 0.6) 0.186 = 4.292 \times 10^{-2}$$

$$X - 0.6 = \frac{4.929 \times 10^{-2}}{0.186}$$

$$X = 0.265 + 0.6$$

$$X = 0.865^\circ\text{C}$$

Temperatura del medio refrigerante = 0.865°C

λ calor latente de vaporización = Vapor (hg) - Líquido (hf) -- 2

LÍQUIDO (hf)

0.6°C \_\_\_\_\_ 43.89 K Cal/kg

0.865 °C \_\_\_\_\_ X

1.1 °C \_\_\_\_\_ 44.50 K Cal/kg

$$\frac{44.50 - 43.89}{1.1 - 0.6} = \frac{X - 43.89}{0.865 - 0.6}$$

$$\frac{0.61}{0.5} = \frac{X - 43.89}{0.265}$$

$$1.22 \times 0.265 = X - 43.89$$

$$X = 1.22 \times 0.265 + 43.89$$

$$X = 44.2133$$

$$\text{Líquido (hf)} = 44.2133 \text{ K Cal/kg}$$

VAPOR (hg)

$$0.6^{\circ}\text{C} \quad \text{-----} \quad 345.11 \text{ K Cal/kg}$$

$$0.865^{\circ}\text{C} \quad \text{-----} \quad X$$

$$1.1^{\circ}\text{C} \quad \text{-----} \quad 345.28 \text{ K Cal/kg}$$

$$\frac{345.28 - 345.11}{1.1 - 0.6} = \frac{X - 345.11}{0.865 - 0.6}$$

$$\frac{0.17}{0.5} = \frac{X - 345.11}{0.265}$$

$$0.34 \times 0.265 = X - 345.11$$

$$0.0901 + 345.11 = X$$

$$X = 345.2001$$

$$\text{Vapor (hg)} = 345.2001 \text{ K Cal/kg}$$

De la Ecuación No. 2

$$\lambda \text{ calor latente de vaporización} = \text{Vapor (hg)} - \text{Líquido --}$$

$$\text{(hf)} \text{ -----(2)}$$

$$\lambda \text{ calor latente de vaporización} = (345.2001 - 44.2133) \text{ --}$$

$$\text{K Cal/kg}$$

$\lambda$  calor latente de vaporización = 300.9868 K Cal/kg

De la Ecuación No. 1

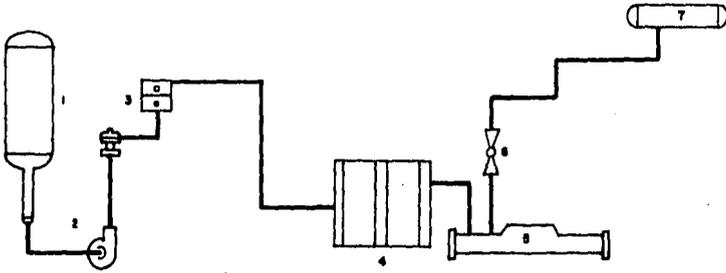
$$m = \frac{Q}{\lambda} \text{ ----- } 2$$

$$m = \frac{408797.844 \text{ K Cal/hr}}{300.9868 \text{ K Cal/kg}}$$

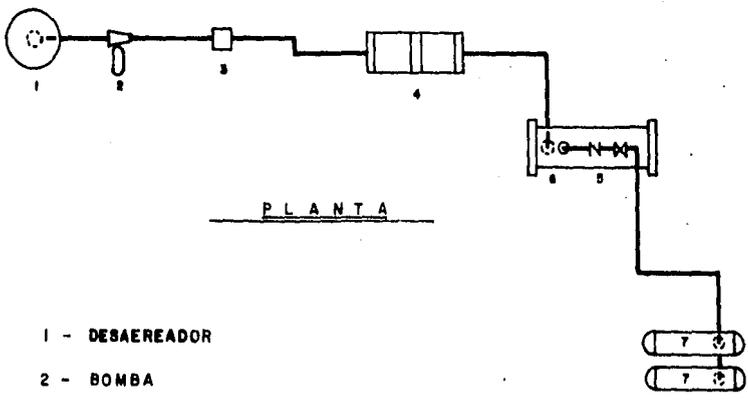
$$m = 1358.191 \text{ kg/hr del refrigerante x 2 equipos}$$

$$m = 2716.383 \text{ kg/hr de refrigerante}$$

FIG. Nº 17 DIAGRAMA AGUA DESAERADA A TANQUES DE ALMACENAMIENTO



E L E V A C I O N



P L A N T A

- 1 - DESAERADOR
- 2 - BOMBA
- 3 - CARBONATADOR
- 4 - CALENTADOR REGENERATIVO
- 5 - ENFRIADOR DE CASCO Y TUBO
- 6 - CARBONATADOR
- 7 - TANQUE DE ALMACENAMIENTO

## 4.2 Inversión

Hasta ahora, solo se ha considerado el planteo técnico y el funcionamiento del equipo empleado en el tratamiento de agua para diluir cerveza, por lo que en esta sección hablaremos de la parte económica del equipo seleccionado para tratar agua en la Cervecaría.

1.- Costos fijos que son función de la inversión e incluye los siguientes cargos:

- a) Amortización del equipo
- b) Seguros

2.- Costo de Funcionamiento, que incluye los siguientes cargos:

- a) Mano de obra y supervisión
- b) Materiales varios
- c) Cargos de revisiones y mantenimiento

### DETERMINACION DE COSTOS FIJOS

a) Amortización del equipo.- Abarca la recuperación de capital, por el método de la línea recta, método que es aplicable, si se considera que la depreciación del equipo, es en forma gradual o uniforme, es decir, que la depreciación física es por uso normal.

Para el cálculo de amortización utilizamos la siguiente ecuación:

$$C = (C - D) a = I a \text{ ----- } 1$$

En donde:

$a$  = Amortización anual

C = Capital depreciable

D = Valor de salvamento

I = Inversión por recuperar o amortizar

a = Porcentaje de recuperación anual

Para la aplicación de la Ecuación No. 1, se determina a continuación los parámetros de la misma.

#### DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE RECUPERACION ANUAL

Se incluye edificios y equipo mecánico, siendo la vida útil de 10 años, por consiguiente el porcentaje de recuperación anual será:

$$a = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} \times 100 = 10\%$$

#### DETERMINACION DE LA INVERSION POR RECUPERAR

Prácticamente en este punto, se determina la inversión de instalación y comprende gastos primarios y secundarios, - los cuales consideran los siguientes aspectos:

Gastos Primarios.- Estos son:

- 1o. Maquinaria y equipo principal, equipo de servicio e instalación.
- 2o. Red de tubería y drenajes.
- 3o. Instalaciones eléctricas.

- 4a. Sistemas aislantes.
- 5a. Aparatos de control
- 6a. Gastos especiales.
- 7a. Terrenos.
- 8a. Edificios.

Gastos Secundarios.- Estos son:

- 1a. Costos de Supervisión e Ingeniería.
- 2a. Comisiones a Contratistas.
- 3a. Margen de seguridad y riesgos.

Una vez establecidos los gastos se describirá brevemente en que consiste y el costo de cada uno.

- 1a. Maquinaria y Equipo principal, equipo de servicio e instalación.- Se consideran dentro de estos gastos los originados por la compra del equipo de ozonación, acondicionamiento de tanques de almacenamiento y -- bombas de producto, etc.

Costo maquinaria y equipo principal, equipo de servicio e instalación = \$10'770,535.00

- 2a. Red de tubería y drenajes.- Son aquellos gastos ocasionados por las tuberías para transporte de agua, vapor, ozono, aire, etc. para alimentación del equipo de ozonización así como para el agua esterilizada.

Costo de tuberías y drenajes = \$3'702,476.50

3o. Instalaciones Eléctricas.- Son aquellos gastos ocasionados por la conexión eléctrica de bombas, instrumentos y tablero de control.

Costo de instalación eléctrica = \$1'033,923.11

4o. Sistemas Aislantes.- Estos gastos involucran el material e instalación para conservación del calor o frío en las líneas para transporte de vapor, agua fría, amoniaco, etc.

Costo total de aislante = \$1'350,000.00

5o. Aparatos de Control.- Son ocasionados por la compra de sistemas de control no contemplados en la compra del equipo principal como son: medidores de nivel, alarmas, termómetros, etc.

Costo de Instrumentos de Control = \$53,270.50

6o. Gastos Especiales.- Se consideran gastos especiales, aquellos gastos originados por equipo necesario para ejecutar maniobras, obtener terminados de calidad, pago por concepto de elaboración de planos para dependencias oficiales, etc. Se considera el 3% sobre el costo total de adquisición.

Costo gastos especiales = \$10'770,535.00 x 0.03% =  
\$323,116.05

7o. Terrenos.- En este caso, no serán considerados estos costos, puesto que el equipo para tratar agua será montado en terreno propio.

8a. Edificios.- En este caso, todo el equipo está bajo cubierta de un edificio ya existente, así que únicamente se hicieron pequeñas modificaciones para poder acondicionarlo para el equipo.

Costo total por equipo bajo cubierta = \$172,486.70

Los costos primarios serán:

1a. Maquinaria y equipo principal, equipo de servicio e instalación.	\$10'770,535.00
2a. Red de tubería y drenajes.	\$ 3'702,476.50
3a. Instalaciones eléctricas.	\$ 1'033,923.11
4a. Sistemas aislantes.	\$ 1'350,000.00
5a. Aparatos de Control.	\$ 53,270.50
6a. Gastos especiales.	\$ 323,116.72
7a. Terrenos.	
8a. Edificio.	\$ 172,486.70
Gastos primarios totales	\$17'405,808.53

#### CALCULO DE GASTOS SECUNDARIOS

1a. Costos de Supervisión e Ingeniería.- Comprende los gastos ocasionados por pagos a firmas de Ingeniería que proporcionan supervisión e ingeniería. En nuestro caso como no se requiere de este servicio, no será considerado.

2a. Comisiones a Contratistas.- Son los gastos aproximados para las Compañías contratistas para que lleven

trabajos de estructuración de la plante, tales como:  
Construcción de edificios, cimentación e instalación  
de maquinaria, tubería, valvulería, etc.

Gastos por comisión a Contratistas = \$840,000.00

- 3a. Margen de seguridad y riesgos.- Es una cierta cantidad de capital adicional con la finalidad de absorber los posibles errores de la estimación de la inversión, se considera el 10% sobre costos primarios.  
Margen de seguridad y riesgos = \$17'405,808.53 x 0.1

\$ 1'740,580.85

Los gastos secundarios, serán por consiguiente:

1a. Costos de supervisión e ingeniería	-	-	-
2a. Comisiones a Contratistas	\$	840,000.00	
3a. Margen de seguridad y riesgos	\$1'740,480.85		
Gastos secundarios totales	\$2'580,480.85		

Inversión total de instalación = Gastos primarios +

Gastos secundarios = \$17'405,808.53 + \$2'580,480.85 =

\$19'986,289.38

Substituyendo valores en la ecuación No. 1 se tendrá:

$$n = 19'986,289.38 \times 0.1 = \$1'998,628.93$$

$$\text{Cargo por amortización mensual} = \frac{1'998,628.93}{12} = \$166,552.41$$

- b) Seguros.- Abarca gastos como la protección contra incendios las explosiones de algún equipo y los daños y servicios en bienes ajenos, comprenden aproximadamente el 3% de la inversión total.

Gastos por seguros = \$19'986,289.38 x 0.03 = \$599,588.68

Gasto mensual por seguros =  $\frac{599,588.68}{12}$  = \$49,965.72

RESUMEN DE COSTOS FIJOS MENSUALES

a) Amortización del equipo	\$166,552.41
b) Seguros	\$ 49,965.72
T O T A L	\$216,518.13

DETERMINACION DE LOS COSTOS DE  
FUNCIONAMIENTO

- a) Mano de obra y supervisión.- Estos gastos, representan prácticamente los gastos por salarios y se incluyen las prestaciones como seguro social, aguinaldo, vacaciones, etc.

Personal por turno	Sueldo Diario	Prestaciones	Total Diario
Un operador de la Planta	\$1,050.00	\$273.95	\$1,323.95

Sueldo total diario \$1,323.95

Cargo diario por 3 turnos =  $\$1,323.95 \times 3 =$  \$3,971.85

Cargo mensual por salario =  $\$3,971.85 \times 30 =$  \$119,155.50

- b) Materiales varios.- Abarcan diversas partidas como son: lubricantes, estopas, etc.

Costo por estopa de primera.- \$300.00 por kilogramo, se consume un kilogramo diario.

Costo por estipa.- 1 kg. x 300.00 = \$ 300.00

Escobillas, interruptores, lámparas, aceite, grasa, se consideran aproximadamente \$2,500.00 diarios.

Resumiendo se tiene:

Costo estopa, escobillas, etc.	\$2,800.00
--------------------------------	------------

Costo materiales varios	\$2,800.00
-------------------------	------------

- c) Cargo por revisiones y mantenimiento.- Constituye un elemento difícil de calcular. Por lo general, se considera adecuada una asignación anual por concepto de \$115,000.00.

RESUMEN DE COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

a) Mano de obra y supervisión	\$119,155.50
b) Materiales varios	\$ 2,800.00
c) Cargo por revisiones y mantenimiento	\$115,000.00
T O T A L	\$236,955.50

4.3 OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO  
SISTEMA PARA GENERACION DE OZONO

OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL GENERADOR DE OZONO.

Esta unidad generadora esta diseñada para operar a 110-120 volts y 60 ciclos, cuenta con un transformador dentro -- del gabinete para aumentar el voltaje primario, hasta el alto voltaje necesario para la generación de ozono. Cuenta con un transformador de voltaje variable para compensar por diferencias en el voltaje de la línea y para variar la cantidad de -- ozono generado. El voltaje de entrada al transformador de -- alto voltaje se puede leer en el voltímetro instalado en el -- tablero. Aumentando este voltaje primario, se aumentará la -- cantidad de ozono generado. (No se produce ningún ozono cuando el voltaje disminuye de 40 volts.)

No deben colocarse válvulas en la línea de salida del -- agua de enfriamiento. Para regular el flujo de agua de en -- friamiento se hará por medio de la válvula que está localiza -- da dentro del gabinete, en la tubería de entrada del agua. El interruptor para alimentación de aire a la unidad, debe de -- estar encendido para abrir la válvula solenoide localizada en la tubería de agua de enfriamiento.

El agua empleada para enfriamiento debe ser de buena ca -- lidad, dado que la turbidez tiende a incrustar las superficies de enfriamiento. Se deben de evitar las altas concentraciones de cloruros para evitar corrosiones en el acero inoxidable.

La tubería que maneja el ozono tiene que ser de acero - inoxidable o de PVC, los empaques empleados serán de teflón.

En la tubería de ozono se colocará una trampa vertical - elevándose por lo menos 10 cms., sobre el máximo nivel de - - agua del tanque de mezcla, para evitar una inundación de ozo- no.

#### OPERACION: ARRANQUE

Todos los controles deben de estar en apagado, se abre - la válvula que esté en la línea de alimentación de agua de en - friamiento, en caso de no abrir la válvula se puede tener un calentamiento y el rompimiento del dieléctrico.

La válvula solenoide permitirá la entrada del agua de - enfriamiento cuando el interruptor de admisión de aire se -- encuentre en la posición de prendido, o cortará la admisión - de ésta agua cuando el interruptor de alimentación de aire -- esté en la posición de apagado.

Se abre la válvula del ozono.

Se conecta el interruptor de alimentación de aire en la posición de prendido.

Se regula la válvula del ozono para obtener el flujo de - seado en el rotámetro del tablero.

La presión normal indicada en el tablero deberá ser de - 0.2709 kg/cm<sup>2</sup> a 0.3515 kg/cm<sup>2</sup> . Se gira el control de volta - je totalmente en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj.

Se ponen los interruptores del circuito en el ozonador en prendido. Se gira el control de voltaje totalmente en el sentido del giro de las manecillas del reloj. En este momento la unidad está trabajando.

Se puede disminuir la producción de ozono, girando lentamente el control de voltaje en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj.

La primera vez que se pone a trabajar el ozonador, o -- después de haberlo parado por espacio de 24 hrs. o más, se -- debe purgar la unidad por lo menos 30 minutos, para eliminar cualquier humedad. Este se hace dejando en la posición de -- apagado los interruptores del circuito del ozonador, después de haber iniciado la alimentación del aire y dejando trabajar así la unidad por el espacio del tiempo deseado.

Es necesario purgar la unidad de cualquier ozono residual cuando se esté preparando el paro de la misma.

#### PROCEDIMIENTO DE PARO:

Se reduce el voltaje a cero con el control de voltaje.

Se colocan en la posición de apagado los interruptores del circuito del ozonador.

Se deja el interruptor de alimentación de aire en la posición de prendido por un término de 5 minutos, con lo cual se purgará la unidad de ozono.

Después de que se ha terminado de purgar la unidad, se coloca el interruptor de alimentación de aire en la posición

de apagado.

Se cierra la válvula de ozono para prevenir la contaminación con aire atmosférico de cualquier otra fuente.

El agua de enfriamiento se interrumpe automáticamente - cuando se abre el interruptor de alimentación de aire, por - lo tanto, no se cerrará ninguna válvula en la línea de alimentación de agua de enfriamiento.

#### MANTENIMIENTO:

##### DIARIO:

Se abre la válvula de purga en el drenaje del condensado mientras el compresor esté operando.

En el manómetro que se encuentra localizado en la parte interna del gabinete corroborar que la presión deberá de ser de 2.8 kg/cm<sup>2</sup> a 5.27 kg/cm<sup>2</sup>. Se observa por lo menos 30 segundos, hasta que se cambien las celdas del secador. La pre sión debe ser idéntica con cualquier celda trabajando.

##### SEMANAL:

Se desarmen y limpian los generadores de ozono, se revi san las válvulas check en los secadores, se cambian los am paques en caso de que estén deformados.

##### ANUAL:

Se cambiarán los empaques de la válvula check en el - -

secador. Checar el asiento de hule localizado en la parte superior de la solenoide del secador.

#### LIMPIEZA DEL GENERADOR DE OZONO:

Primeramente se desconecta la energía eléctrica a la unidad. Se quitan los paneles del gabinete con el objeto de tener más espacio para el desarme de la unidad. Se quitará el conector de alto voltaje, localizado en la parte extrema de la cúpula de vidrio en el ozonador.

Se quitan los carrojos que sostienen el anillo de soporte de la cúpula contra la brida en la estructura del ozonador. Se extrae la cúpula y el anillo de soporte, juntos. Esto se tiene que hacer con mucho cuidado y jalar derecho para evitar daños en el dieléctrico, la varilla de contacto debe jalarsse fuera del juego de cepillos dentro del dieléctrico de vidrio. En el caso de que el dieléctrico salga con todo y la cúpula, se jalará esta hasta que se puede detener el dieléctrico con la mano y con la otra se jala cuidadosamente para separar el dieléctrico de la estructura.

Se quitan los escobillones de contacto del interior del dieléctrico y se instalan sobre la varilla de contacto en la cúpula de vidrio. Se limpia el dieléctrico y la estructura de acero inoxidable. No se debe de limpiar dentro del dieléctrico más allá de donde termine el vidrio transparente.

Se termine de limpiar por dentro y fuera la cúpula de vidrio, el empaque de la cúpula y la brida terminal de la es-

estructura.

Cuando se tiene afuera el dieléctrico de la estructura, se revisan las conexiones de salida del ozono, en el supuesto caso de que esté sucia la línea de salida del ozono, será necesario y recomendado desarmar estas líneas y lavarlas con agua caliente. Deben estar totalmente secas antes de ser -- instaladas.

#### ARMADO DE LA UNIDAD:

Se coloca la mampara de protección con la parte cóncava hacia arriba en el extremo terminal de la estructura con el dieléctrico de vidrio se empuja cuidadosamente hasta llegar al fondo de la estructura, se posiciona el empaque de la - - cúpula en la brida de la estructura. Se coloca nuevamente - la cúpula de tal forma que los escobillones de contacto quedan acomodados dentro del dieléctrico. Se asegura la cúpula con los tornillos correspondientes y se reconecta con el con ductor de alto voltaje.

Cuando esté todo instalado se prende el compresor para probar si no existen fugas en la cúpula de vidrio.

#### NOTA:

Se tiene que asegurar que el control de voltaje esté en la posición contraria al giro de las manecillas del reloj y que los interruptores del circuito del ozonador estén en la posición de apagado.

## MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR

El único mantenimiento que requiere el compresor es la limpieza de los filtros para admisión de aire.

Los filtros se deben de cambiar después de 4 a 5 veces que se han lavado. Para la limpieza de los filtros se deben lavar con thinar y dejarlos secar perfectamente antes de ser instalados.

## MANTENIMIENTO DEL SECADOR

Se checará semanalmente el indicador de humedad, localizado en la conexión de salida del secador. El color del indicador debe de ser azul. Si el color es rosa, esto es una indicación de operación de secado inadecuada.

## PROBLEMAS DE OPERACION POR CAUSAS ELECTRICAS

### Corto Circuito.

Como señal de alarma se tiene que cuando ocurra un corto circuito en cualquier parte del ozonador, esto origina que los interruptores del circuito del ozonador se abran y las luces piloto se apaguen.

### VARIACIONES DE VOLTAJE

En ocasiones el interruptor del circuito se dispara aún cuando no exista corto circuito. Para la solución de esto; se asegura de poner el control de voltaje en posición contraria al giro de las manecillas del reloj antes de arrancar el

ozonador, se ajusta al voltaje deseado después de que el interruptor del circuito ha cerrado. En el caso de que se dispare el interruptor del circuito durante la operación normal, o si se dispara repetidamente al arrancar, posiblemente exista un corto circuito.

Si éste es el caso, se chequea el circuito primario para ver si se encuentra algún corto o alguna tierra, en el caso de que no se encuentre nada, probablemente la dificultad se encuentre en el circuito de alto voltaje. Se chequea si se encuentra alguna tierra en el conductor de alto voltaje del transformador al ozonador.

En el caso de que se tengan que quitar los paneles laterales, se debe tener especial cuidado de que la unidad esté apagada y desconectada ya que el conductor de alto voltaje tiene 15,000 volts.

Para detectar un problema en el circuito del ozonador, se desconecta primeramente todos los generadores de ozono de los transformadores. Esto se logra quitando el conductor de alto voltaje que los une. Si el interruptor del circuito se dispara sin tener ninguna unidad conectada al transformador, entonces el transformador está defectuoso. Si el interruptor del circuito no se dispara el problema se encuentra en uno de los generadores de ozono. Para saber si uno de los generadores está defectuoso se conecta uno al transformador, si el interruptor del circuito se dispara, éste generador es el del problema, si no se dispara el problema está en otro -

generador.

Para checar si existe una rotura en el dieléctrico de vidrio, se colocan todos los interruptores en la posición de apagado, se gira el control de voltaje aproximadamente 1/4 de vuelta en sentido contrario al de las manecillas del reloj, empezando totalmente en la posición de arranque.

Se quita el panel del lado derecho, se coloca una persona a varios metros de distancia de la unidad y mira a través de la cúpula de vidrio directamente en el dieléctrico, en tanto que otra persona opera los controles del circuito del ozonador. En el caso de que exista una rotura, ocurrirá una luz brillante en algún punto a lo largo del dieléctrico. En el caso de que exista alguna rotura, se debe desarmar la estructura del ozonador, siguiendo las instrucciones dadas anteriormente.

Los problemas más usuales dentro del ozonador generalmente estan confinados a un dieléctrico roto o a una acumulación excesiva de productos de corrosión.

#### DISMINUCION DE FLUJO

Si el flujo a través de la unidad, disminuye rápidamente o no se puede controlar con las válvulas de ozono, esto se puede deber a varias razones: En el caso de que las válvulas check en el secador o el asiento en las válvulas solenoide, estan defectuosas, una cantidad de aire será expulsado por el fondo de las válvulas solenoide en el secador. Esto -

se puede checar sintiendo la puerta de escape en el fondo del vástago de cada válvula solenoide. Para esto, es necesario - que los interruptores del circuito del ozonador y el control de voltaje esten en la posición de apagado.

Otra de las razones que pueden existir en la disminución del flujo es que existan fugas en las tuberías, juntas y empaques, en la instalación del generador.

Checar las tuberías de salida de los generadores de ozono. Si los depósitos acumulados en los generadores de ozono, son excesivos, pueden ser acarreados en las líneas de conducción de ozono y bloquearlas. Si esto es el caso, se desarmen las líneas y se limpian con agua caliente a presión. En el caso de que se tapen totalmente las líneas operará la válvula de alivio.

#### TANQUE DE MEZCLA

El ozono se inyecta en el agua a través de un difusor - poroso que se encuentra instalado en la tubería de alimentación al tanque de mezcla.

El agua por tratarse entra al tanque de mezcla a través de una válvula motorizada, la cual es controlada por el interruptor de nivel montado en el tanque. Un manómetro, indica la altura en centímetros, del agua en la sección central del tanque de mezcla.

Conforme se extree agua del tanque, se llega a un nivel bajo, al cual se tiene ajustado el interrptor de nivel para

cerrar. Al cerrar este interruptor se acciona la válvula motorizada y se cambia el ozono para ser alimentado por la válvula solenoide de admisión al difusor poroso.

El agua entra a través de la válvula motorizada que - - está abierta, se mezcla con el ozono producido por los generadores e inyectado a través del difusor. El agua ozonada - en la sección externa del tanque de mezcla, va subiendo de nivel hasta que se derrama hacia la sección central. Cuando el nivel del agua en la sección central llegue al punto alto, al cual se ha ajustado el interruptor del nivel, éste se - - abra. Este cierra la válvula motorizada y cambia el ozono a la válvula solenoide por otro lado, hasta que el nivel del agua en la sección central vuelva a descender hasta el nivel bajo a que se ajusto el interruptor de nivel.

La línea que alimenta el ozono a las solenoides de admisión al tanque de mezcla o por otro lado, debe tener una - - trampa que eleve por lo menos 90 cms. por encima del nivel del agua en el tanque. Esto es importante, pues una falla - en la instalación de esta trampa causara una inundación del - generador de ozono.

La "U" para rebose del tanque de mezcla, se debe llenar con agua limpia para prevenir el escape del ozono cuando - - esté se descarga por la solenoide por otro lado.

#### AJUSTE DEL INTERRUPTOR DE NIVEL

Se quita la tapa del tanque de mezcla, se quita la tapa

del interruptor del nivel, con un desarmador se ajusta la escala en la carátula a 50.

Con el dedo se ajusta la escala diferencial a 12. Se conecta la alimentación de corriente eléctrica al tanque de mezcla. Se le mete agua a la tubería de entrada del tanque de mezcla. Cuando el nivel de agua en la sección interna se encuentre a 7 ó 10 cms. de la parte superior, la válvula motorizada deberá empezar a cerrar. El nivel del agua no deberá acercarse a la orilla superior del tanque más de 5 o 7 cms. después de que la válvula ha cerrado totalmente.

En el caso de que se quiera cambiar el punto de cerrado se ajusta el control en la carátula.

Se saca el agua del tanque de mezcla y empieza a disminuir el nivel de agua del tanque interno, la válvula motorizada debe abrir cuando el nivel inferior del agua esté a menos de 30 cms. ó 45 cms. si se quiere cambiar el nivel inferior se ajusta en la carátula posterior a la del alto nivel.

Es recomendable hacer estos ajustes de arranque y paro mientras el tanque de mezcla está trabajando.

Se coloca nuevamente la cubierta en el control de nivel, se reinstala la tapa del tanque de mezcla.

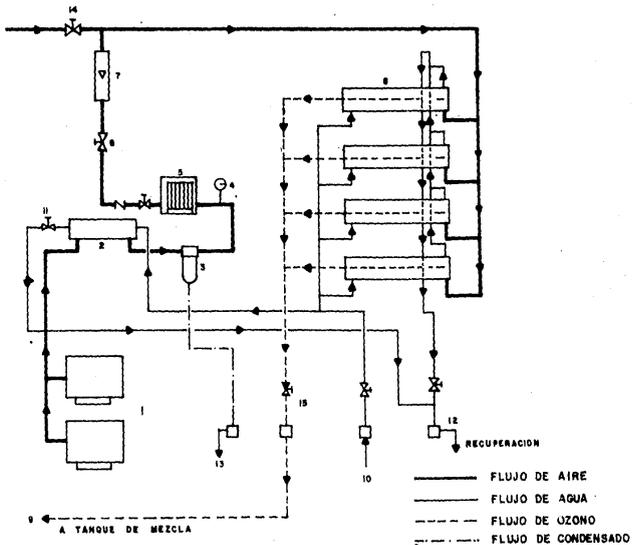
Es recomendable poner una válvula en la línea principal del agua con el objeto de ajustar el flujo lo más posible a que el agua que está saliendo sea la que este entrando, esto aumenta la longitud del ciclo de la válvula motorizada y de la admisión de ozono y ayuda a mantener un contenido de ozono residual más constante.

NOMENCLATURA DEL FIGURA NO. 18

D E S C R I P C I O N

- 1o. Compresor de aire
- 2o. Cambiador de calor
- 3o. Trampa para condensado de aire
- 4o. Manómetro
- 5o. Secador de aire
- 6o. Regulador de presión
- 7o. Rotámetro
- 8o. Generadores de ozono
- 9o. Salida de ozono
- 10o. Entrada de agua
- 11o. Válvula de control del flujo del agua
- 12o. Agua de recuperación
- 13o. Agua drenaje
- 14o. Válvula de alivio
- 15o. Válvula de retención

FIG. Nº 18 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE FLUJO  
 OZONADOR WELSBACH W-20



## CAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS

### OPERACION Y MANTENIMIENTO

Este aparato emplea seis tornillos con sus correspondientes tuercas para efectuar el ensamble de las placas, antes de iniciar el uso de este cambiador de calor es necesario -- checar la alineación de las placas, aprovechando para comparar con el diagrama y para cerciorarse de la posición de las puertas para paso del líquido en cada placa.

Además se checará que no exista ninguna partícula sólida en ninguna placa o empaque, ya que esto puede originar -- una fuga o algún otro tipo de problema.

La presión de trabajo de esta unidad es de 5 kg/cm<sup>2</sup>.

### PROCEDIMIENTO PARA ABRIR LA UNIDAD

Primeramente se tienen que dejar enfriar las placas y -- posteriormente desconectar las conexiones móviles. Se aflojan las tuercas de los tornillos en el lado de la cabeza -- móvil y se deslizan lateralmente los tornillos con las tuercas en posición, a través de las hendiduras en las cabezas -- fijas y móviles. Se corre la cabeza móvil al extremo opuesto y posteriormente se corren las placas en la dirección de la cabeza móvil.

### PROCEDIMIENTO DE CIERRE

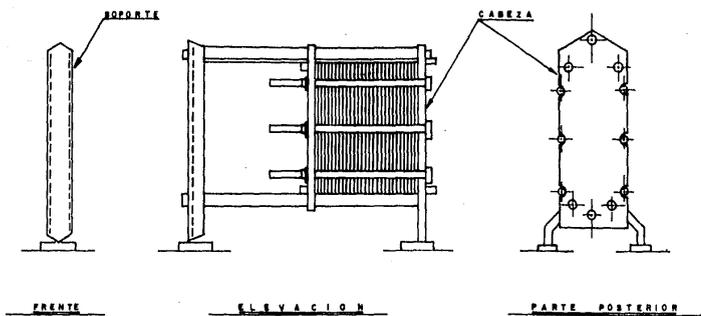
Se mueven las placas hacia la cabeza fija y se examina

cada una de ellas para cerciorarse de que los empaques se --  
encuentren en su lugar, se mueve la cabeza móvil hasta que -  
asiente contra las placas, se debe de checar que todas las -  
placas estén en posición vertical y alineadas. Se colocan -  
los tornillos de cierre, deslizandolos en las hendiduras de  
las cabezas fija y movable, cuidando de que las tuercas móvi  
les estén en el lado de la cabeza móvil. Se empiezan apretar  
las tuercas de las esquinas en forma diagonal y finalmente se  
aprietan las tuercas centrales. Para asegurar una vida larga  
de los empaques, las tuercas deben de apretar en forma unifor  
me y solamente lo suficiente para sostener la presión de ope  
ración.

#### CUIDADO DE LOS EMPAQUES

Para la máxima duración de los empaques es recomendable  
no usar líquidos muy calientes durante un período muy largo  
al limpiar la unidad. Evitar el apriete innecesario de las  
placas, esperar el enfriamiento de las placas antes de desar  
mar la unidad para evitar que los empaques se salgan de posi  
ción. Se recomienda cambiar empaques una vez por año para -  
evitar que se deterioren considerablemente y evitar el apria  
te excesivo de la unidad y puedan dañarse las placas.

FIG. Nº 19 ENFRIADOR DE PLACAS



DESAREADOR  
OPERACION Y MANTENIMIENTO

La válvula para control de admisión de agua de proceso y la válvula de drenaje de la unidad tienen conexiones para soldar. Cuando se haya terminado de instalar la tubería del desareador se deben de cambiar los empaques de las válvulas y por lo tanto se deben de cambiar siempre que se abran - éstas.

Se requiere una presión mínima de  $4.2 \text{ kg/cm}^2$  en el filtro para admisión de aire. La unidad tiene instalada la tubería para llevar aire de alta presión al cilindro de las -- válvulas neumáticas, instalada en la línea de admisión de -- agua a las espesas internas. También se tiene instalada la tubería para llevar aire a presión reducida al controlador - del nivel de agua y al posicionador de la válvula de control en la descarga de la bomba de producto.

El cambiador de calor instalado en la unidad, requiere vapor de  $9.5 \text{ kg/cm}^2$  y se utilizan  $230.116 \text{ kg/hr}$  de vapor. El agua de proceso debe de tener una presión de  $3.46 \text{ kg/cm}^2$  debiendo ser constante la alimentación. La descarga de la bomba de vacío se enviará a recuperación, esta línea descargará el aire separado del agua y algo de la humedad condensada del mismo.

MANERA PARA CARGAR LA CAMARA DE VACIO CON EL  
MATERIAL DE EMPAQUE

Se cierran las válvulas manuales para aislar la cámara

de vacío y la pierna de agua, se cierra el sistema de aire, se desenergiza la unidad por medio del panel eléctrico, se desconectan las conexiones bridadas en la parte superior del cilindro actuador de la válvula de proceso en el domo del -- desareador, se desconecta la conexión bridada en la parte superior del enfriador del aire, se quitan los tornillos del domo, se separa el domo de la válvula y la conexión al enfriador. Se llena la pierna y la cámara de vacío con agua hasta que se llegue aproximadamente a 30 cms. abajo del borde superior. Se vacía dentro de la cámara de vacío el material de relleno lavado y seleccionado dejando que se sedimente a través del agua, hasta llegar a la malla del fondo, conforme al nivel del agua aumente debido a la adición del material de relleno se deberá ir drenando por la válvula localizada en el fondo de la pierna de agua, se llena la cámara hasta el tope superior asegurándose de que el material de relleno esté esparcido en forma uniforme en toda la cámara de vacío. Posteriormente se drene el agua hasta el fondo del nivel de vidrio colocado en la pierna de agua y posteriormente se coloca el domo. El agua de proceso entra al sistema a través de una válvula de bola la cual puede ser utilizada para controlar el flujo, pasa después a través de un indicador de flujo en donde se pueda checar el gasto y posteriormente entrar al calentador de agua. El agua debe calentarse a la temperatura de  $45.38^{\circ}\text{C}$  y  $0.93\text{ kg/cm}^2$  absolutas.

El agua pasa por unas espreas dentro de la cámara de --

vacío; al hacer el cambio de presión el agua hierve y el --  
aire contenido en ella se desprende. En adición a la espesa,  
el agua al ir condensando pasa a través del material de re--  
lleno, con lo cual se aumenta la extracción del aire.

La bomba de vacío extrae el aire liberado y lo pasa a --  
través de un enfriador de aire-condensador, hasta llegar a --  
la succión de la bomba, indica la temperatura de aire saturado  
conforme entra a la bomba. La bomba, de tipo anillo lí-  
quido requiere una temperatura de 15.5°C y el volúmen adecuado  
de agua para funcionar a eficiencia máxima. El vapor de  
agua en el aire se condensa por el agua fría que circula en  
el condensador. Esta agua de condensado forma parte del --  
agua-utilizada por la bomba de vacío.

Un control instalado en el tablero indica el volúmen --  
correcto del líquido. Si existe un exceso de líquido, el --  
control indicará sobre cero, con poca agua el control indicará  
debajo de cero. •

La bomba para agua de proceso se arranca automáticamente  
por medio de un interruptor de vacío, cuando el vacío adecuado  
se alcanza en la cámara de desaereación. El interruptor de  
vacío también activará las válvulas solenoides en la línea --  
de agua de proceso, para permitir que el agua entre a la cá-  
mara de vacío por medio de las espesas.

El control de nivel de agua en la pierna de líquido, se  
realiza por medio de un controlador de nivel de tipo despla-  
zamiento, el cual envía una señal de aire a la válvula neumádo

tica localizada en la descarga de la bomba para agua de proceso. Conforme el nivel del agua disminuya, esta válvula empezará a cerrar, y conforme el nivel aumente, empezará abrir.

En el caso de que el nivel del agua se elevara más allá del nivel permitido, la válvula de admisión se cerrará por medio de una señal enviada por el interruptor de presión, la bomba de producto se parará y se encenderá una luz de alarma en el panel de control, al mismo tiempo la bomba de producto parará y la válvula para admisión de agua cerrará, la bomba de vacío continuará trabajando.

#### ARRANQUE DE LA UNIDAD

Primariamente se energiza el tablero eléctrico, se chequeará que la bomba de producto esté inundada antes de arrancar, se ajusta el controlador de temperatura en la línea de descarga de agua en el cambiador de calor. Se abre la válvula de bola en la admisión de agua, se abre la alimentación de aire a  $1.26 \text{ kg/cm}^2$ , se cierra la válvula rompedora de vacío, localizada a un lado del enfriador de aire. Se arranca la bomba de vacío, el manómetro de vacío indica el vacío en pulgadas de mercurio. El interruptor de vacío dentro del panel eléctrico se ajusta de tal forma que la bomba de producto arranque cuando se alcanza la presión máxima de vacío.

Se observa la temperatura del agua en el termómetro de carátula del panel, se ajusta el controlador de temperatura de acuerdo a lo que se necesite. La bomba de producto arran-

cará con el ajuste adecuado del interruptor de vacío y el --  
agua desaerada pasará a la primera etapa del enfriador, la --  
segunda etapa de enfriamiento se realiza en un cambiador de  
tubo y envolvente, empleando amoniaco.

Para preparar el sistema se para la bomba de vacío, esta  
acción interrumpe todos los circuitos y deja al desaerador --  
sosteniendo el vacío y listo para arrancar nuevamente.

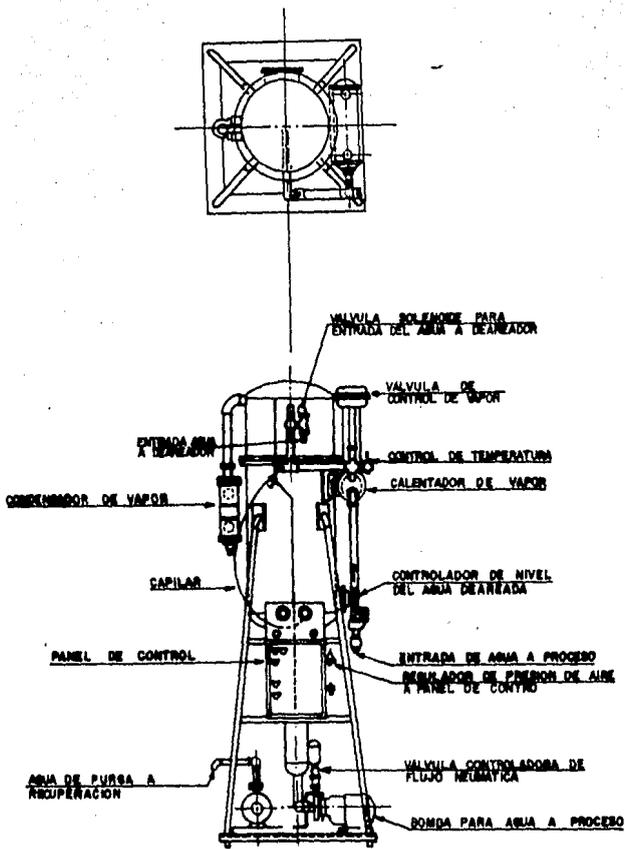


FIG. N° 20 DIAGRAMA DEL DESAERADOR

## C A R B O N A T A D O R

### OPERACION:

La carbonatación del líquido en esta unidad se realiza debido a dos características principales.

- 1o. La existencia de dos difusores porosos que permitirán dosificar el  $\text{CO}_2$  en forma de burbujas.
- 2o. La disminución del área perpendicular al flujo en el punto de inyección del gas, coincidiendo esto con el aumento en el área de contacto agua fría/gas carbónico.

### OPERACION DE LA UNIDAD

Para que fluya el gas, se debe tener una presión en la línea de alimentación que sea lo suficientemente alta para vencer la caída de presión provocada por el disco poroso y la resistencia debida a la presión del agua fría fluyendo. Por lo tanto, cualquier variación de presión en la línea del agua fría, se deberá compensar en la línea de  $\text{CO}_2$ .

Siempre se ajustará la presión del  $\text{CO}_2$  de tal manera -- que se tengan  $.2115 \text{ kg/cm}^2$  de más en el manómetro de la línea del gas, si se le compara con la presión indicada en el manómetro localizado en la línea de agua fría, a la entrada del carbonatador. Siempre se regulará la presión en la línea del gas carbónico, utilizando para ello la válvula reguladora de presión y no se usará para este propósito alguna de --

las dos válvulas de aguja existentes.

Las dos válvulas de aguja se emplearán para controlar la cantidad de gas carbónico que se este inyectando a una presión, de acuerdo con el siguiente criterio:

La válvula de mayor tamaño se empleará cuando se desee aumentar el nivel de carbonatación en más de 0.5 volúmenes.

La válvula de menor tamaño se usará cuando el nivel de carbonatación se desee incrementar en menos de 0.5 volúmenes.

Unicamente se deberá abrir una de las dos válvulas de aguja y por lo tanto, siempre habrá una totalmente cerrada y una en operación de control.

Es necesario que se eviten golpes de ariete durante la operación de la unidad, porque estos pueden fracturar los discos porosos. Por lo tanto se deben evitar la formación de bolsas de aire o de gas en el líquido que pasa por la unida, evitando así mismo abrir o cerrar de golpe las válvulas localizadas en las líneas de líquido con gas.

Siempre se deberá permitir el paso de gas después de que este fluyendo el líquido. Antes de que éste deje de circular, se deberá cortar la alimentación del gas. Para estos movimientos se utilizará el regulador de presión, ubicado en la línea de alimentación de gas carbónico.

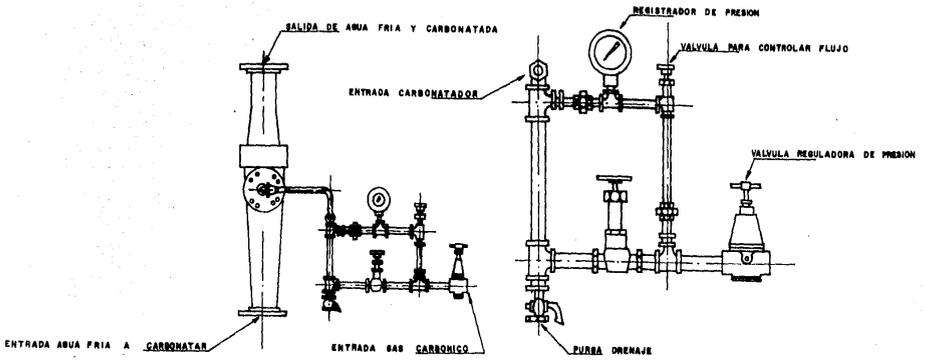
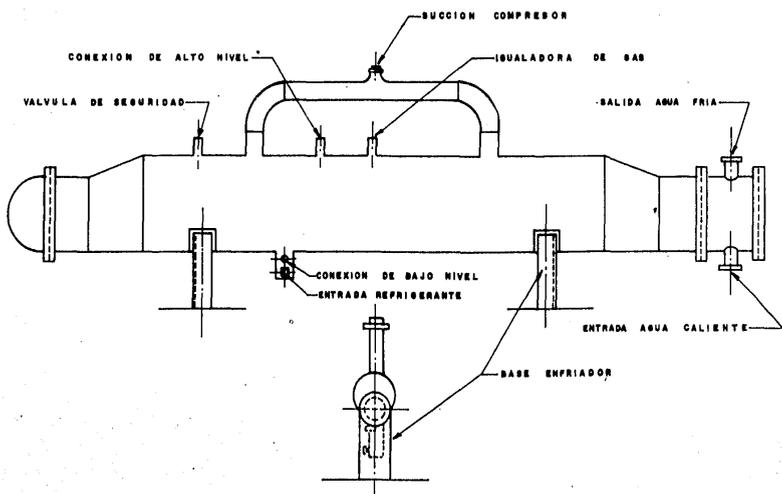


FIG. NR 21 CABEZAL DE GAS CARBONICO

FIG. Nº 22 ENFRIADOR DE AGUA DESAERADA





## C O N C L U S I O N E S

La viabilidad de este trabajo se puede ver en el ahorro que se tiene, ya que como se explicó en capítulos anteriores se incrementará en un veintitres por ciento la producción, -- utilizando el mismo equipo existente.

O sea que además de que se podrá producir más con lo -- que se cuenta actualmente, se tiene un ahorro en:

Áreas, en corriente eléctrica, en mano de obra, en vapor, en refrigerante y esto ocasiona que el costo de producción - sea mas barato.

En la tabla comparativa de los dos equipos para diluir cerveza se puede observar que cualquiera de los dos equipos que se hubiera seleccionado, el consumo de refrigerante, - - vapor, corriente eléctrica, no se puede comparar con lo que se necesitaría en el caso de que se hubiera optado por agran- dar la planta, además del sin número de inconvenientes (ex- plicados en capítulos anteriores) que se tendrían para hacer posible esta ampliación.

Y no obstante que cualquiera de los dos equipos para di- luir cerveza en frío podría servir, se tomó en cuenta que -- las empresas deben de trabajar a su máxima capacidad de pro- ducción y con un costo mínimo, se seleccionó el equipo que - más se adapta a la empresa para la cual se realiza este tra- bajo, en cuanto a gastos de vapor, refrigerante, energía - - eléctrica y mano de obra.

Se habla de un veintitres por ciento de incremento de producción y no de un cuarenta o cincuenta por ciento, es por la razón de que desde las tolvas de recibo de grano entero hasta el departamento de fermentación, se cuenta con la capacidad para este aumento de producción sin modificación de -- equipo ni tiempos de cocción del mosto.

En el supuesto caso de hablar de un porcentaje más alto se tendrían que modificar desde tolvas de recibo de grano -- entero hasta el departamento de fermentación, sin tomar en -- cuenta que se tendrían que modificar los tiempos de cocción del mosto, número de motores, agitadores y tiempo de filtrado, esto ocasionaría la reducción en el número de cocimientos procesados en un día, lo que equivaldría a la producción actual sin ninguna ampliación.

A P P E N D I C E

NOMOGRAMA PARA DETERMINAR DIAMETROS  
OPTIMOS EN TUBERIA

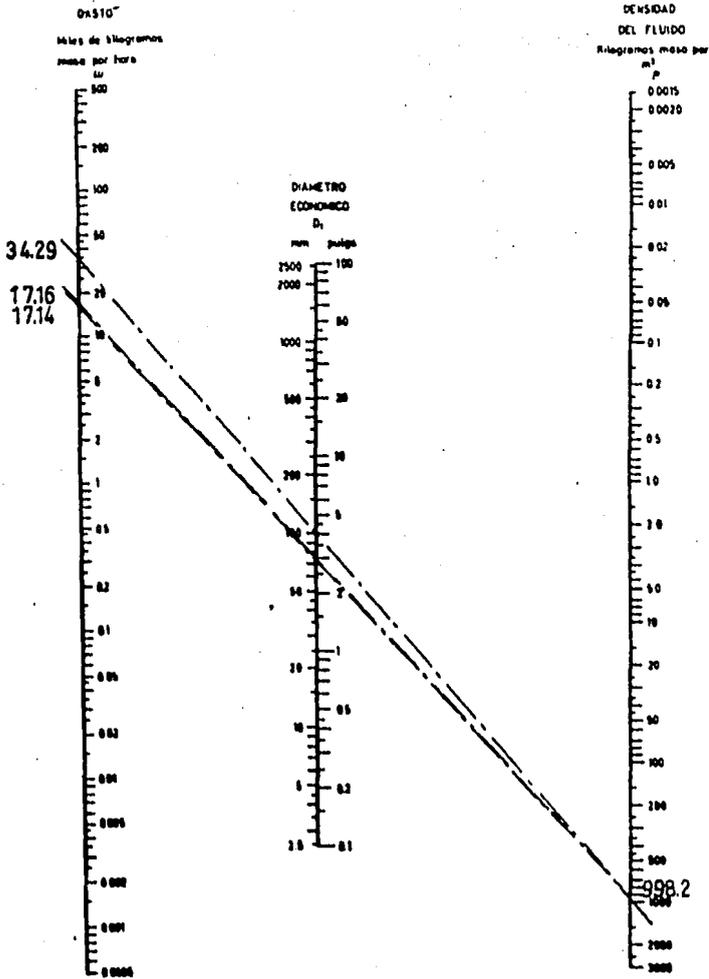
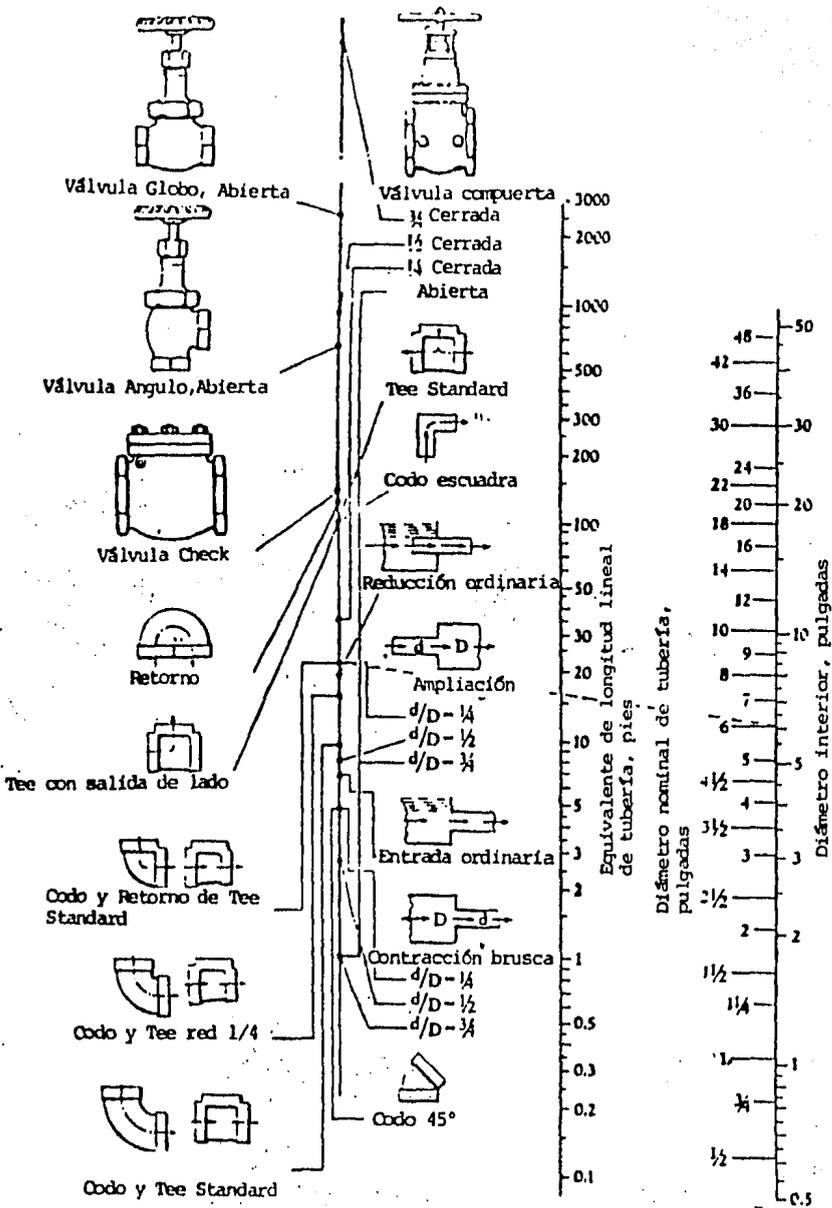


TABLA N°1



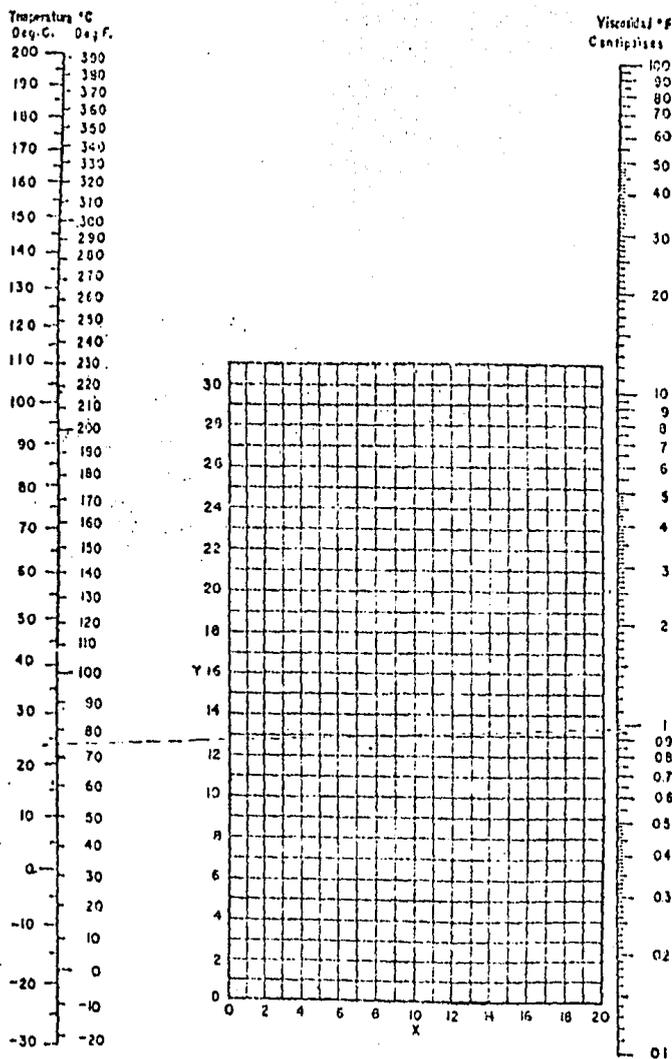
Resistencia de válvulas y tuerca a flujo de fluidos

VISCOSIDADES DE LIQUIDOS\*

Líquido	X	Y	Líquido	X	Y
Aceraldchido	15.2	4.8	Cloruro Estánico	13.5	12.8
Acetato de Anilo	11.8	12.5	Cresol, meta	2.5	20.8
Acetato de Butilo	12.3	11.0	Dibrometano	12.7	15.8
Acetato de Etilo	13.7	9.1	Dicloroetano	13.2	12.2
Acetato de Metilo	14.2	8.2	Diclorometano	14.6	8.9
Acetato de Vinilo	14.0	8.8	Difenilo	12.0	18.3
Acetona 100%	14.5	7.2	Eter Etilico	14.5	5.3
Acetona 35%	7.9	15.0	Etilbenceno	13.2	11.5
Agua	10.2	13.0	Etilenglicol	6.0	23.6
Acido Acético 100%	12.1	14.2	Fenol	6.2	20.8
Acido Acético 70%	9.5	17.0	Formiato de Etilo	14.2	8.4
Acido Butírico	12.1	15.3	Freon 11	14.4	9.0
Acido Clorosulfónico	11.2	18.1	Freon 12	16.8	5.6
Acido Fórmico	10.7	15.8	Freon 21	13.7	7.5
Acido Isobutírico	12.2	14.4	Freon 22	17.2	4.7
Acido Nítrico 95%	12.8	13.8	Freon 113	12.5	11.4
Acido Nítrico 60%	10.8	17.0	Freon 114	14.6	8.3
Acido Propiónico	12.8	13.8	Glicerina 100%	2.0	30.0
Acido Sulfúrico 110%	7.2	27.4	Glicerina 50%	6.9	13.6
Acido Sulfúrico 98%	7.0	24.8	Heptano	14.1	8.4
Acido Sulfúrico 60%	10.2	21.3	Hexano	14.7	7.0
Alcohol Alílico	10.2	14.3	Hidróxido de Sodio 50%	3.2	25.8
Alcohol Amílico	7.5	18.4	Yoduro de Etilo	14.7	10.3
Alcohol Butílico	8.6	17.2	Yoduro de Propilo	14.1	11.6
Alcohol Etilico 100%	10.5	13.8	Isobutano	14.5	3.7
Alcohol Etilico 95%	9.8	14.3	Mercurio	18.4	16.4
Alcohol Etilico 40%	6.5	16.6	Metanol 100%	12.4	10.5
Acido Clorhídrico 31.5%	13.0	16.6	Metanol 90%	12.3	11.8
Alcohol Isobutilico	7.1	18.0	Metanol 40%	7.8	15.5
Alcohol Isopropilico	8.2	16.0	Metilacetona	13.9	8.6
Alcohol Octílico	8.2	21.1	Naftaleno	7.9	18.1
Alcohol Propilico	9.1	16.5	Nitrobenceno	10.6	15.2
Amoniaco 100%	12.6	2.0	Nitrotolueno	11.0	17.0
Amoniaco 26%	10.1	13.9	Octano	13.7	10.0
Anhidrido Acético	12.7	12.8	Oxalato de Dietilo	11.0	16.4
Anilina	8.1	18.7	Oxalato de Dimetilo	12.3	15.8
Anisol	12.3	13.5	Oxalato de Dipropilo	10.3	17.7
Benceno	12.5	10.9	Pentacloroetano	10.9	17.3
Dióxido de Azufre	15.2	7.1	Pentano	14.9	5.2
Dióxido de Carbono	11.6	0.3	Propano	15.3	1.6
Bisulfuro de Carbono	16.1	7.5	Salmuera CaCl <sub>2</sub> 25%	6.6	15.9
Bromo	14.2	13.2	Salmuera NaCl 25%	10.2	18.6
Bromotolueno	20.0	15.9	Sodio	16.4	13.9
Bromuro de Etilo	14.5	8.1	Tetracloroetano	11.9	15.7
Bromuro de Propilo	14.5	9.6	Tetracloroetileno	14.2	12.7
n-Butano	15.3	3.3	Tetracloruro de Carbono	12.7	13.1
Ciclohexanol	2.9	24.3	Tetracloruro de Titanio	14.4	12.3
Clorobenceno	12.3	12.4	Tribromuro de Fósforo	13.8	16.7
Cloroformo	14.4	10.2	Tricloruro de Arsénico	13.9	14.5
Clorotolueno, orto	13.0	13.3	Tricloruro de Fósforo	16.2	10.9
Clorotolueno, meta	13.3	12.5	Tricloroetileno	14.8	10.5
Clorotolueno, para	13.3	12.5	Tolueno	13.7	10.4
Cloruro de Etilo	14.8	6.0	Turpentina	11.5	14.9
Cloruro de Metilo	15.0	3.8	Xileno, orto	13.5	12.1
Cloruro de Propilo	14.4	7.5	Xileno, meta	13.9	12.1
Cloruro de Sulfurilo	15.2	12.4	Xileno, para	13.9	10.9

T A B L A N o . 2

# VISCOSIDADES DE LIQUIDOS



T A B L A N o. 3

## B I B L I O G R A F I A

- Adolfo Peña Díaz  
Concepto y Métodos de Cloración  
Tercera Edición 1979  
Wallace & Tiernan de México, S. A. de C. V.
- American Society for Testing and Materials  
Manual de Agua para Usos Industriales  
Tercera Edición 1967  
LIMUSA
- Cyril Gomella  
El Tratamiento del Agua mediante el Ozono  
Cuarta Edición 1980  
Societe D' Etudes pour le Traitement et L'utilisation  
des Eaux
- Dible Corporativo  
Seminario sobre Teoría y Práctica de Maltería y  
Cervecería  
Primera Edición 1980
- Donald Q. Kern  
Transferencia de Calor  
Tercera Edición 1978
- Eskel Nordel  
Tratamiento de Agua para la Industria y otros usos  
Séptima Edición 1978  
C.E.C.S.A.
- Fairbank Morse  
Hydraulic Handbook  
Quinta Edición 1973  
Puma A. Electric Division
- George A. Taylor  
Ingeniería Económica  
Séptima Edición 1980  
LIMUSA
- John H. Perry  
Manual de Ingenieros Químicos  
Tercera Edición 1976  
Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana
- N A L C O  
Manual de Agua  
Segunda Edición 1979  
Mc. Graw Hill

## B I B L I O G R A F I A

- J. P. Ligeron  
El papel del Ozono en el Tratamiento del Agua  
Tercera Edición 1970  
Sociedad Tralligoz
- Ron J. Dossat  
Principios de Refrigeración  
Décima Edición 1980  
Universidad de Houston
- Sheppard T. Powell  
Primera Edición 1980  
LIMUSA