

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



“ Diseño de una Planta de Desalcalinización de Agua “

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

ROGER CARLOS RAMOS ESCALANTE

PROMOCION: 1979 - I

LIMA . PERU . 1991

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
Prólogo	7
1.0 INTRODUCCION	8
2.0 GENERALIDADES SOBRE LOS PROCESOS DE DESALCALINIZACION	10
2.1 Significado del intercambio <u>ión</u> nico	10
2.2 Proceso de desalcalinización - mediante absorción de sales	13
2.3 Dimensionamiento del equipo de <u>de</u> salcalinizador	14
2.4 Sustancias químicas utilizadas en desalcalinización	15
2.5 Ventajas generales del proceso señalado	15
2.6 Precauciones con la resina	16
2.7 Descripción técnica de la resi na seleccionada "DOWEX SAR"	16
2.7.1 Usos principales	16
2.7.2 Descripción general	16
2.7.3 Regeneración	17
2.7.4 Tasa de flujo operacional	17
2.7.5 Rango de capacidad	17

	<u>Pág.</u>	
2.8	Discusión de alternativas	17
2.9	Equipos que constituyen la planta	19
2.10	Especificación de los parámetros iniciales de diseño	19
3.0	DISEÑO Y SELECCION DE COMPONENTES	21
3.1	Diseño de las torres de intercambio iónico	21
3.2	Diseño para la poza de salmuera	41
3.3	Diseño del tanque de almacenamiento	44
3.4	Selección de la bomba, tuberías y válvulas	65
3.5	Elaboración del esquema de conexiones y explicación del sistema operativo	70
3.6	Diseño de las pailas de cocimiento	84
3.7	Diseño eléctrico	87
4.0	EVALUACION ECONOMICA	94
4.1	Listado y costo de materiales	94
4.2	Costo de servicios	101
4.3	Costo de mano de obra	101
4.4	Costo total	102
4.5	Beneficio esperado	103

	<u>Pág.</u>
5.0 CONCLUSIONES	105
BIBLIOGRAFIA	110
APENDICE	114
PLANOS	200

P R O L O G O

La tesis aquí presentada corresponde a un diseño que realicé para la empresa Zúñiga Cortijo Maquinaria-Industrial en el mes de Marzo de 1,990, la cual ejecutó la construcción y montaje de esta planta desarrollada para la cervecería San Juan S.A. de Pucallpa.

El objetivo de construir esta planta consistió en disminuir el contenido de CaCO_3 del agua de proceso para mejorar el sabor de la cerveza al variar la composición química en las pailas de cocimiento de la cebada.

Los resultados obtenidos luego de la construcción e implementación de la planta desalcalinizadora fueron excelentes, razón por la cual pienso que en el futuro, será posible estandarizar con precisión el sabor y características de la cerveza utilizando métodos similares al aquí empleado por medio de una uniformización de la composición química del agua de cocimiento.

Por las razones expuestas, espero que esta tesis pueda constituir un aporte positivo en el proceso de investigación de la calidad y sabor de la cerveza.

I

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

El diseño mecánico es de vital importancia en los procesos de tratamiento de aguas como son el ablandamiento, la deaeración, la desalcalinización, la desmineralización y el intercambio iónico en general, constituyendo en nuestro país verdaderos trabajos de investigación.

La presente tesis, trata del diseño mecánico de una pequeña planta de desalcalinización de agua, en la cual se calculan todas las características técnicas de cada uno de los equipos que la constituyen: Dos torres de intercambio iónico, una poza de regeneración, un tanque de almacenamiento de agua tratada y un sistema de tuberías y válvulas, así como una reseña de las plantas de cocimiento.

El trabajo, que fue ejecutado en el mes de Marzo de 1990, ha sido esquematizado de la siguiente forma: En el segundo capítulo se presentan aspectos teóricos relativos a los procesos de desalcalinización en general, así como a los parámetros iniciales de diseño. En el tercer capítulo se realiza el diseño de todos los elementos que constituyen la planta: torres de intercambio iónico, poza de regeneración, tanque de almacenamiento y paila de cocimiento, así como una selección del sistema de tuberías y de la bomba de agua, elaborando los esquemas eléctricos respectivos. En el cuarto capítulo se realiza una evaluación económica cuyo alcance es conocer la estructura de costos de materiales, mano de obra y servicios, así como una estimación del beneficio que se obtendrá. Finalmente se realiza una síntesis de las conclusiones obtenidas y una relación de la bibliografía empleada, adjuntando planos, esquemas y tablas utilizadas.

Como uno de los objetivos principales de esta planta se tiene la uniformización y control de carbonatos y demás sales presentes en el agua de proceso; para este efecto tenemos que cumplir con las siguientes características químicas para el agua que entra y sale de la planta desalcalinizadora a diseñar con el fin de aproximarnos a los rangos manejados en una planta similar ubicada en Alemania.

Componente	PPM Expresados como:	Entrada	Salida
Calcio	CaCO_3	0	0
Magnesio	CaCO_3	0	0
Sodio	CaCO_3	200	200
Bicarbonato	CaCO_3	150	30
Sulfatos	CaCO_3	25	0
Cloratos	CaCO_3	25	170

II

GENERALIDADES SOBRE LOS PROCESOS DE DESALCALINIZACION

2.1 SIGNIFICADO DEL INTERCAMBIO IONICO

El intercambio iónico es ampliamente utilizado para ablandar agua. En este proceso el Calcio y Magnesio presentes en el agua son intercambiados por iones de Sodio.

Hierro Ferroso y otros metales tales como Magnesio y Aluminio están algunas veces presentes en pequeñas cantidades. Estos metales son también intercambiados pero resultan sin importancia en el proceso de ablandamiento mismo, excepto cuando ellos precipitan mientras son oxidados y contamina la cámara del intercam

biador.

La remoción de la dureza o incrustaciones formadas - por calcio y magnesio produce lo que se llama agua blanda.

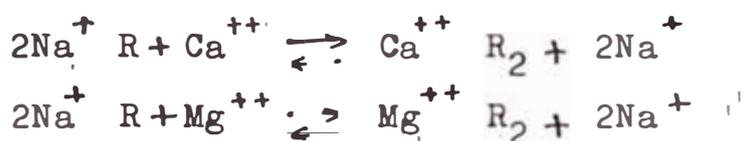
Alternativa mente otras condiciones pueden ser usadas en donde todos los cationes del agua pueden ser intercambiados por iones hidrógeno.

Los intercambiadores de cationes del tipo de "Ciclo - Sódico" (término utilizado cuando la regeneración es realizada con sal común) utilizan el método de ablandamiento de agua en su forma mas simple.

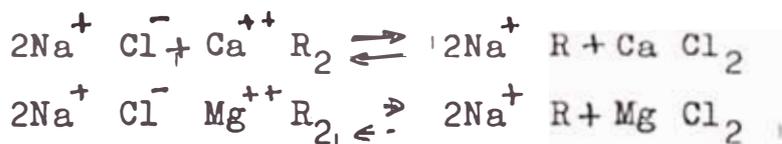
La reacción química es mostrada como sigue:

donde R = Resina altamente ácida "DOWEX"

Ciclo de Operación:



Ciclo de Regeneración:



Los intercambiadores catiónicos del tipo de "Ciclo -- de HIDROGENO" es el término usado cuando la regeneración se realiza con ácido diluido - generalmente sulfúrico (H_2SO_4), o clorhídrico (HCl). Todas las sales son convertidas a ácidos.

La reacción química es mostrada como sigue:

donde R = DOWEX HCR-S (resina)

Ciclo de Operación:



Ciclo de Regeneración:



ó



"Intercambio Aniónico" es el intercambio de aniones presentes en el agua (SO_4 , HCO_3 , Cl, etc.) por iones de hidróxido (OH). Este intercambio, subsiguiente al intercambio catiónico, desmineraliza completamente el agua cuando es acarreada a la siguiente etapa del proceso.

Reacciones típicas de intercambio aniónico:

donde R = resina de intercambio aniónico DOWEX

Ciclo de Operación:



Ciclo de Regeneración:



En la práctica una completa desmineralización requiere de un control riguroso de la operación así como de un equipo relativamente complejo. Conseguir el grado de desmineralización de acuerdo a la necesidad del usuario es presentado a continuación.

2.2. PROCESO DE DESALCALINIZACION MEDIANTE ABSORCION DE SALES

Intercambio Especificado:

La resina DOWEX SAR está disponible en equipos ofrecidos por líderes Manufactureros. Para obtener mejores resultados, el desalcalinizador debiera de ser precedido por un ablandador de agua utilizando resinas como las siguientes:

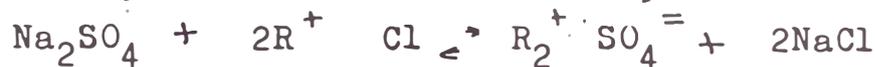
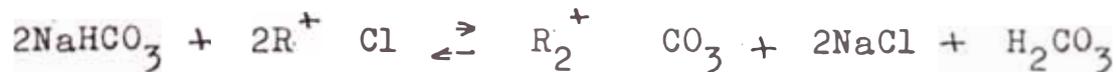
DOWEX HCR-S, HCR-W2, HGR, HGR-W2 ó TG 650C

Lo que la resina hace es reducir la alcalinidad de bicarbonato del suministro de agua sin necesidad de utilizar ácido.

Esto es llevado a cabo mediante el intercambio de todos los aniones bicarbonato, sulfato y nitrato por aniones clorados.

Reacciones Típicas:

Donde R = Resina DOWEX SAR



Equipo Requerido:

Un recipiente para acomodar la resina DOWEX SAR con tubería, válvulas, tanques para químicos y demás accesorios adecuadamente diseñados para una operación óptima.

Si un suministro de agua blanda no está disponible -

entonces se deberá colocar un ablandador de agua utilizando la resina HCR-S adelante del desalcalinizador. El sistema de regeneración deberá de ser construido para almacenar tanto el ablandador como al desalcalinizador.

2.3 DT MENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DESALCALINIZADOR

El procedimiento es el siguiente:

- a) Determinar el contenido total de aniones en el agua de alimentación como ppm CaCO_3 . Sustraer de esta cantidad el contenido de cloruros de la alimentación como ppm de CaCO_3 . El resultado es la cantidad total de aniones intercambiables - (TEA) expresados como ppm de CaCO_3 o dividir por el factor 17.1 para obtener Granos de Resina galón U.S. (Gr.P.G.)
- b) Determinación mediante el uso de la "Figura 1" de la capacidad de resina para un "TEA" expresado como Kgr/pie^3 para el nivel de cloruros del agua de alimentación.
- c) Calcular la capacidad requerida para manejar el contenido de "TEA" del agua de alimentación para un determinado gasto de alimentación y duración del ciclo.
- d) Se dimensiona la cámara para este volumen, manteniendo el nivel de la resina como mínimo de 36" de profundidad o mayor.

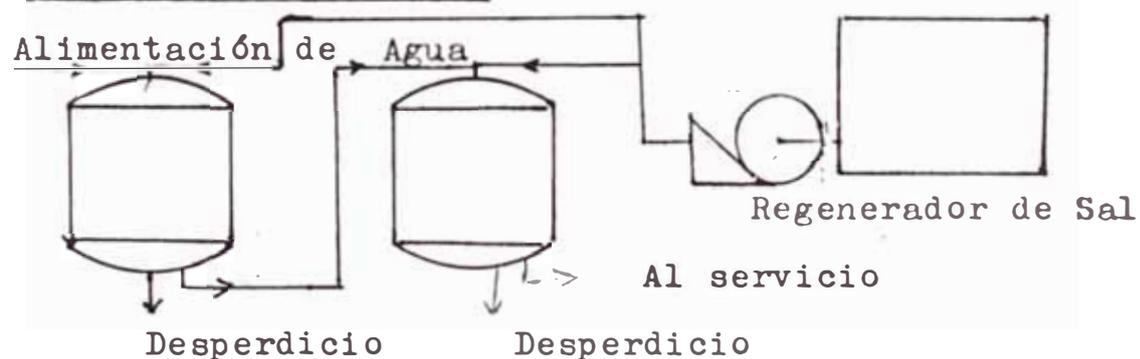
e) Calcular la tasa de flujo por pie cúbico; si este número esta fuera del rango de 0.5 - 3.0 gpm/pie³ modifique la longitud de la cámara y el volumen de la resina para llevarlo dentro del rango.

2.4 SUSTANCIAS QUIMICAS UTILIZADAS EN DESALCALINIZACION:

Cloruro de Sodio (Sal) es utilizado para regenerar - la resina DOWEX SAR.

Algo de Soda cáustica puede ser añadido (usualmente una parte a 9 partes de Sal) para mejorar la capacidad y reducir las pérdidas de alcalinidad y dióxido de carbono. Precipitados de Calcio y Magnesio de la Sal debido a la Soda cáustica puede causar pérdida de dureza del desalcalinizador. Se deberá filtrar este regenerado para mejores resultados.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE DESALCALINIZADOR - POR ABSORCION DE SALES



2.5 VENTAJAS GENERALES DEL PROCESO SEÑALADO

Este es el más sencillo de los procesos de desalcalini

zación y es especialmente apropiado para instalaciones pequeñas y otros lugares donde es deseable evitar el manejo de ácido. Este método es inicialmente de mayor inversión comparado con el intercambiador catiónico de ciclo de hidrógeno pero es de más fácil manejo por personal inexperto. Este procedimiento permite una operación automática con el uso de controles muy sencillos.

2.6 PRECAUCIONES CON LA RESINA

El agua deberá estar limpia y libre de hierro para evitar el deterioro de la resina y del equipo.

La operación del sistema utilizando aguas duras puede dar sólo resultados marginales, y debiera ser evitado cuando Soda cáustica es usada en conjunto con la Sal para la regeneración.

2.7 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA RESINA SELECCIONADA -- "DOWEX SAR"

2.7.1 Usos Principales: Utilizada como un intercambiador aniónico en todo tipo de ionizadores comportándose mejor en aguas que tienen un alto porcentaje de ácidos fuertes para una cantidad total de Iones. También es utilizado como intercambiador iónico en procesos de tratamiento de desperdicios, y en procesos de intercambio aniónicos de cloruros de aguas desalcalinizadas operando a temperaturas por debajo de 100F (38°C)

2.7.2 Descripción General: Es un tipo de ESTIRENO, re

sultando en un fuerte intercambiador aniónico BASICO producido del Estireno y del divinilbenzeno y conteniendo grupos de Amonio, cuaternario de forma esférica.

Densidad a granel (aproximadamente).....44Lb/pie³
 Gravedad Especifica(Densidad verdadera).....1.11
 Contenido de Mezcla.....38-45%
 Volúmen del Espacio poral(apróx.).....2.5Gal/pie³
 Tamaño de Malla.....20-40

2.7.3 Regeneración: Con hidróxido de Sodio (Na OH) - en Solución, con dosificaciones de 3.0 a 5.0 Lb/pie³ en operaciones de desionización.

Con soluciones de Cloruro de Sodio (NaCl) con dosificaciones de 3.0 a 4.0 Lb/pie³ en operaciones de desalcalinización.

2.7.4 Tasa de Flujo Operacional: 6 GPM/pie³ para depósitos de 36 pulgadas de profundidad; 2GPM/pie³ para depósitos menos profundos; siendo 30 pulgadas el mínimo recomendado de profundidad de resina.

2.7.5 Rango de Capacidad

Lb de Na OH por Pie ³	Kgr por Pie ³ como CaCO ₃ (HCl: H ₂ SO ₄)
4	19
6	20

2.8 DISCUSION DE ALTERNATIVAS

a) Uso de Equipo Deaerador: Extrae el CO₂ presente -

en el agua. Tiene una aplicación limitada por cuanto trabaja a la presión atmosférica y no es tan efectivo en el proceso de desalcalinización. Utiliza agitación mecánica y calentamiento.

b) Uso de Equipo Degasificador: Extrae el CO_2 mediante agitación y calentamiento; para la agitación utiliza un serpentín y para su operación emplea una bomba de vacío (debajo de la presión atmosférica); requiere de una fuente de vapor (calentador) para el proceso de calentamiento; requiere de mayor inversión y entrenamiento del personal.

c) Uso de resina de regeneración ácida: En vez de usar una resina de regeneración alcalina utiliza una resina de regeneración ácida tipo DOWEX - MWCL. Este proceso resulta ser más costoso, pues para su aplicación se requiere revestir interiormente a los equipos con caucho ebonizado para que puedan ser resistentes a los ácidos empleados en la regeneración de resina.

d) Uso de la resina alcalina: Es el método seleccionado ya que el costo de los equipos utilizar mediante este método mucho menor que en los otros casos, siendo el proceso operativo también mucho más simple, ya que no se requiere manipular ácidos.

El costo operativo es también menor que en los casos anteriores, debido al bajo costo de la salmuera utilizada en la regeneración.

Por lo general, cuando se construyen torres de Intercambio Iónico con resinas de regeneración ácida se las reviste interiormente con caucho ebonizado de por lo menos 6.35 mm de espesor.

La única empresa en Lima que realiza revestimientos con Ebonita es Yale Ausaco S.A., que quedan en la Av. Argentina cuadra 54 - Callao.

Realizada la consulta a Yale, determinamos que el revestimiento interior de Ebonita nos costaría 1,540-Dólares Americanos adicionales por cada torre.

En cambio, al utilizar una resina de regeneración alcalina el costo del revestimiento interior por torre era de 83 Dólares Americanos, considerando el realizar un arenado a gris-plata y la aplicación de 3 manos de la pintura, Epóxica Poxilac-Gar de Fast.

Por otro lado, el empleo de la resina de regeneración ácida también demandaba la utilización de recipientes de PVC resistentes a los ácidos, así como el empleo de dispositivos y vestimenta de seguridad como son guantes y botas de jebe, ropa antiácida, mascarillas filtros, etc., lo que demandaba una inversión inicial adicional de 8,800 US\$, la cual es nula en el caso de la regeneración con salmuera.

2.9 EQUIPOS QUE CONSTITUYEN LA PLANTA

Una planta de desalcalinización de agua está compuesta por Torres de Intercambio Iónico, Poza de Regeneración, Bomba de Salmuera y Tanque de Almacenamiento. Se ha incluido el desarrollo de las pailas de cocimiento de la cebada con el objetivo de presentar en forma más extensa la aplicación del agua desalcalinizada, a pesar de que estas pailas no constituyen parte de los equipos de una planta desalcalinizadora.

2.10 ESPECIFICACION DE LOS PARAMETROS INICIALES DE DISEÑO

Para el diseño de la Planta se encuentra con la siguiente información:

- Caudal de Agua de Servicio, 120 Galones por minuto
= $7.72 \frac{\text{Litros}}{\text{Segundo}}$
- Presión del Agua de Servicio (Máxima) = 40 PSI =
2.854 Bar.
- Dureza a eliminar: La originada por el Carbonato de Calcio.
- Contenido de Carbonatos a eliminar en el Agua de Servicio 183 p.p.m. (partes por millón)
- Resina Seleccionada: DOWEX SAR, con coeficiente de saturación de: $K = 30.5 \text{ Kilogramo/Pie Cúbico}$
- Tipo de Regeneración: Con salmuera
- Resistencia del Suelo: 0.5 Kg/cm^2
- Temperatura de Trabajo: Atmosférica (28° C)

- Voltaje de la Líneas Motrices: 380 Voltios
- Voltaje de la Línea Neutra: 220 Voltios
- Acabado Interior de los Equipos: Resistente a los álcalis.
- Acabado Exterior de los Equipos: Resistente a los hongos originados por la humedad de la selva.
- Espacio disponible: Area de 20m X 60m.

Limitaciones de altura Ningun

III

DISEÑO Y SELECCION DE LOS COMPONENTES

3.1 DISEÑO DE LAS TORRES DE INTERCAMBIO IONICO

3.1.1 Cálculo de la cantidad de resina a utilizar:

Tal como se especificó en el capítulo anterior, las condiciones iniciales están determinadas por :

- Dureza Inicial de CaCO_3 = 183 ppm. (máximo)
Contenido de Cloruros $\cong 0$
- No. de regeneraciones por día : Uno
- T = No. de horas de funcionamiento continuo antes de regenerar las torres de intercambio Iónico = 12 horas
- Resina a utilizar DOWEX SAR con $K = 30.5$ -
kilogramo
Pie cúbico
- Caudal nominal de agua de servicio en total
120 Galones
minuto

Para efecto de diseño, consideramos un factor de

Seguridad sobre algunos de los parámetros de Diseño:

$$T = 12 \times f.s \quad 13.0 \text{ horas}$$

$$T = 780 \text{ minutos}$$

$$Q = \text{Caudal Nominal} = 120 \times f.s. = 144 \frac{\text{Galones}}{\text{minuto}}$$

De acuerdo al manual de la firma DOW pág. 34 , (referencia Bibliográfica N° 1) el proceso de cálculo es el siguiente:

- 1° El contenido de Carbonatos en el agua de servicio expresado como Ca CO_3 es 183 ppm, luego:

$$D = \frac{\text{Granos}}{\text{Galón}} = \frac{183}{17.1} = 10.70 \frac{\text{Granos}}{\text{Galón}}$$

2° El nivel de Cloruros es despreciable.

3° La fórmula aplicada en este caso es:

$$\frac{\left(\frac{\text{Galones}}{\text{Minuto}} \right) \times \left(\frac{\text{Minuto}}{\text{Ciclo}} \right) \times \left(\frac{\text{Granos}}{\text{Galón}} \right)}{\frac{\text{Kilogramo}}{\text{Pie Cúbico}} \times 1000} = \frac{\frac{\text{Granos}}{\text{Ciclo}}}{\frac{\text{Granos}}{\text{Pie Cúbico}}} = \frac{\text{Pie Cúbico}}{\text{Ciclo}}$$

$$\text{Es decir: } \frac{Q \times T \times D}{K} = V_r$$

siendo $V_r =$ Volumen de resina en Pies Cúbicos

De acuerdo a información del fabricante, la resina DOWEX SAR retiene hasta saturación -----

$$30.5 \frac{\text{Kilogramos}}{\text{Pie Cúbico}}$$

$$\text{Es decir: } K = \frac{\text{Kilogramo}}{\text{Pie Cúbico}} = 30.5$$

Luego se tiene :

$$V_r = \frac{144 \times 780 \times 10.70}{30.5 \times 1000}$$

Se aproxima a $V_r = 40$ Pies Cúbicos de resina en total

- . Seleccionamos dos torres de 20 Pies Cúbicos cada una.

3.1.2. Cálculo de la Altura y Diámetro de las Torres

Al lado se presenta el esquema de una de las Torres.

$$\left\{ \frac{\pi D^2}{4} \right\} \times (h) = \text{Volúmen de Resina}$$

$$\frac{\pi h^3}{4} = 20 \text{ pies}^3$$

$$h = 2.94 \text{ pies} = 0.896 \text{ m.}$$

con un factor de seguridad de 6%

$$D = h \times 1.06 = 0.952 \text{ m.}$$

El Diámetro de la Torre es: $D = 952 \text{ mm.}$

La altura total de la Torre está dada por:

$H = h + h + 0.15h + 0.15h$ de acuerdo a la figura 2
utilizamos $h = 952 \text{ mm.}$

$$\bullet. H = 2.3h = 2.19 \text{ m.}$$

Profundidad de Grava = $0.15h = 143 \text{ mm.}$

Profundidad de la Cámara debajo del portatoberras, (aparte del bombeado): $p = 0.15h = 143 \text{ mm.}$

3.1.3 Cálculo del Número de Toberas

El consumo del agua de cada Torre es:

$$Q = \frac{120 \text{ Galones}}{2 \text{ minuto}} = 60 \text{ Galones/min.}$$

De acuerdo a información proporcionada por el

fabricante de las Toberas, Gross Equipment, cada tobera tiene un rendimiento de:

$$q = 2.2 \text{ galones/minuto}$$

∴ El número de toberas a utilizar por torre

$$\text{es de: } n = \frac{Q}{q} = \frac{60}{2.2} = 28 \text{ toberas}$$

De acuerdo a solicitud del usuario, Cervecería San Juan S.A. se utilizó un sobredimensionamiento del 30% en el número de toberas colocadas:

$$n' = 1.3n = 1.3 (28)$$

$$n' = 37 \text{ Toberas por Torre}$$

3.1.4 Diseño Estructural de cada Torre de Intercambio Iónico

El parámetro más importante en este diseño es el espesor de la plancha para fabricación de las torres, tanto en el cuerpo como en las tapas ó cabezas bombeadas. Para ello los datos que se requieren conocer son la presión de diseño y los esfuerzos permisibles del material, con los cuales hay que establecer un modelo matemático ó físico que permita predecir el comportamiento del recipiente, es decir, relacionar los esfuerzos con las sollicitaciones (presión de diseño).

La mayoría de las normas ó especificaciones establecen criterios generales para determi--

nar estos valores y relaciones, ó en otros casos, especifican directamente los valores y relaciones a ser usadas.

3.1.4.1 Esfuerzos en las Torres

Asumiendo que en estos recipientes la baja presión interna genera solo esfuerzos de membrana (tensión ó compresión) es posible deducir mediante las condiciones de equilibrio expresiones que permitan conocer la magnitud de estos esfuerzos tanto en el cuerpo cilíndrico como en la tapa semielipsoidal.

De acuerdo a la figura adjunta, denominamos σ_c a los esfuerzos circunferenciales. Los esfuerzos longitudinales σ_e tienen por magnitud:

$$\sigma_e = \frac{Pr}{2t}$$

$$\sigma_c = \frac{Pr}{t}$$

donde: P = es la Presión interna del recipiente.

r = es el Radio medio del cilindro

t = es el espeso de la pared

Para la tapa semielipsoidal se pueden deducir las siguientes expresiones para los esfuerzos circunferenciales σ_c y meridionales σ_m :

$$\sigma_c = \left\{ (rk)^2 + r_o^2 (1-k^2) \right\}^{1/2} \cdot \left\{ 1 - \frac{r^2 k^2}{2 r^2 k^2 + r_o^2 (1-k^2)} \right\} \cdot \frac{P}{t}$$

$$\sigma_m = \frac{P}{2t} \left\{ r^2 k^2 + r_0^2 (1-k^2) \right\}^{1/2}$$

Donde: $K = r/h$

h , es el Semi-eje de la tapa elipsoidal

r_0 , es el radio variable de un círculo horizontal cualquiera

Estos esfuerzos son máximos en la parte superior de la tapa ($r_0 = 0$) y tienen los siguientes valores para una relación entre Semi-ejes de $K = 2$

$$\sigma_c = \sigma_m = \frac{Pr}{t}$$

Es decir, los esfuerzos máximos en el cuerpo cilíndrico y la tapa semielipsoidal son iguales. La deducción de las ecuaciones anteriores se ha realizado asumiendo un comportamiento "membranal" del recipiente, lo cual puede considerarse válido para zonas relativamente alejadas de la unión entre el cuerpo cilíndrico y la tapa.

En la unión misma esta suposición origina incompatibilidad en la deformación del recipiente tal como se muestra en la figura.

A fin de establecer la compatibilidad de la deformación de la unión se hace necesaria la presencia de fuerzas cortantes Q y momentos flectores M (Ver figura) los cuales producirán además de los esfuerzos membranales de tensión o compresión, esfuerzos de flexión y corte ó esfuerzos secundarios. La teoría -

clásica "flexión de placas" permite obtener expresiones que dan la magnitud y distribución de los esfuerzos de flexión.

En la figura N° 3 se muestran los esfuerzos primarios de membrana, circunferenciales y longitudinales (ó meridionales en la tapa bombeada) y su magnificación - por efecto de los esfuerzos secundarios de flexión para el caso de un recipiente cilíndrico de cabeza se mielipsoidal (K=2).

3.1.4.2 La Presión de Diseño

De acuerdo a lo indicado en el manómetro colocado a la salida de la línea de agua de servicio se tiene:

$$P = 40\text{PSI} (\approx 60\text{m de columna de agua}) \\ = 2.818 \text{ Kg/cm}^2 = 2.854 \text{ BAR}$$

Esta presión es casi constante ya que existe un tanque alto de agua a más de 60m de altura.

3.1.4.3 Esfuerzo Admisible y Coeficiente de Seguridad

La magnitud de los esfuerzos producidos en el recipiente correspondientes a la presión de diseño no deben sobrepasar los esfuerzos admisibles especificados por los códigos o normas respectivas, cuyos valores se expresan como una fracción determinada del esfuerzo de rotura, el límite elástico (o es

fuerzo de fluencia) u otra característica mecánica - considerada como representativa de la resistencia de material. La relación entre la característica mecánica elegida y el esfuerzo admisible recibe el nombre de "factor de seguridad". Para este tipo de recipientes son los esfuerzos denominados "primarios" es decir, los esfuerzos de "membrana" producidos por la presión interna del recipiente y dados por las expresiones en 3.1.4 los que no deben sobrepasar las tensiones admisibles.

El valor de los factores o coeficientes de seguridad establecidos en los códigos es resultado de la experiencia adquirida en el diseño y utilización de recipientes a baja presión, y trata de tomar en cuenta los diversos factores que pueden afectar el comportamiento mecánico previsto en el diseño tales como:

- (i) variaciones en la presión de diseño,
- (ii) variaciones en las dimensiones del recipiente,
- (iii) variaciones en las propiedades mecánicas del material,
- (iv) la calidad de la fabricación y tipo de acero,
- (v) limitaciones en las teorías o modelos empleados para el análisis de esfuerzos en el recipiente, es decir, el coeficiente de seguridad empleado dependerá si se trata sólo de esfuerzos primarios o membranales, o si se incluye los esfuer-

zos secundarios (o de flexión), con concentraciones de esfuerzos, etc.,

(vi) consideraciones relativas a corrosión y desgaste.

En la Tabla siguiente se indican los factores de seguridad especificados por algunos códigos y especificaciones sobre recipientes a presión en general y recipientes portátiles a presión.

Los factores de seguridad están referidos al esfuerzo de fluencia, y en algunos casos también al esfuerzo de rotura (o resistencia a la tracción). En el caso de las especificaciones que se refieren a los recipientes portátiles, los factores de seguridad indicados en la tabla han sido calculados para una presión de diseño igual a la presión de servicio. Los esfuerzos admisibles calculados con estos coeficientes de seguridad corresponden a los esfuerzos primarios (o de membrana).

<u>Coefficientes de Seguridad para Recipientes a Presión</u>		
<u>Especificación</u>	<u>Sobre Esf. de Fluencia</u>	<u>Sobre Esf. de Rotura</u>
<u>Recipientes a presión</u>		
ASME Sección VIII, División 1)	1.6	4
ISO TC/11	1.5	2.4
BS1515 (Inglaterra)	1.5	2.3
Alemania	1.5	-

En la mayoría de los casos se especifica además un coeficiente de eficiencia para las uniones soldadas - que toma en cuenta el tipo de unión, la forma de ejecución y la clase de exámen posterior.

La inversa de este coeficiente de eficiencia representaría un coeficiente de seguridad adicional por el cual hay que incrementar los factores de seguridad anteriormente mencionados.

En la Tabla siguiente se indican los coeficientes de eficiencia de las uniones soldadas adoptados por algunos códigos y especificaciones sobre recipientes a presión.

Coeficientes de Eficiencia de Uniones Soldadas para
costuras Longitudinales

Tipo de Unión	A S M E, 12, Sección VIII División 1	ISO 'TC, 11, 58/SC-3 ICC-4B
---------------	--	-----------------------------------

Uniones a tope soldadas
por un sólo lado con -
fleje de refuerzo

-Totalmente radiografiada	0.9	1.0
-Parcialmente radiografiada	0.8	0.9
Sin radiografía	0.65	0.75

Los esfuerzos de fluencia y de rotura para el material utilizado, Planchas de SIDER-PERU (A32-GL, ITIN TEC 341.088), tienen los siguientes valores:

Esfuerzo de fluencia mínimo:	2,310 Kg/cm ²
Resistencia a la tracción :	4,200 Kg/cm ²

3.1.4.4 Cálculo del espesor en las torres

De acuerdo a lo señalado 3.1.4.1, el esfuerzo circunferencial está dado por :

$$\sigma_c = \frac{P \cdot r}{t}$$

Siendo :

P = Presión de diseño

r = Radio = $952/2 = 476 = 47.6 \text{ cm}$

t = espesor

Considerando que en estas torres normalmente son diseñadas para una presión máxima de

P = 80 PSI = 5.636 kg/cm^2

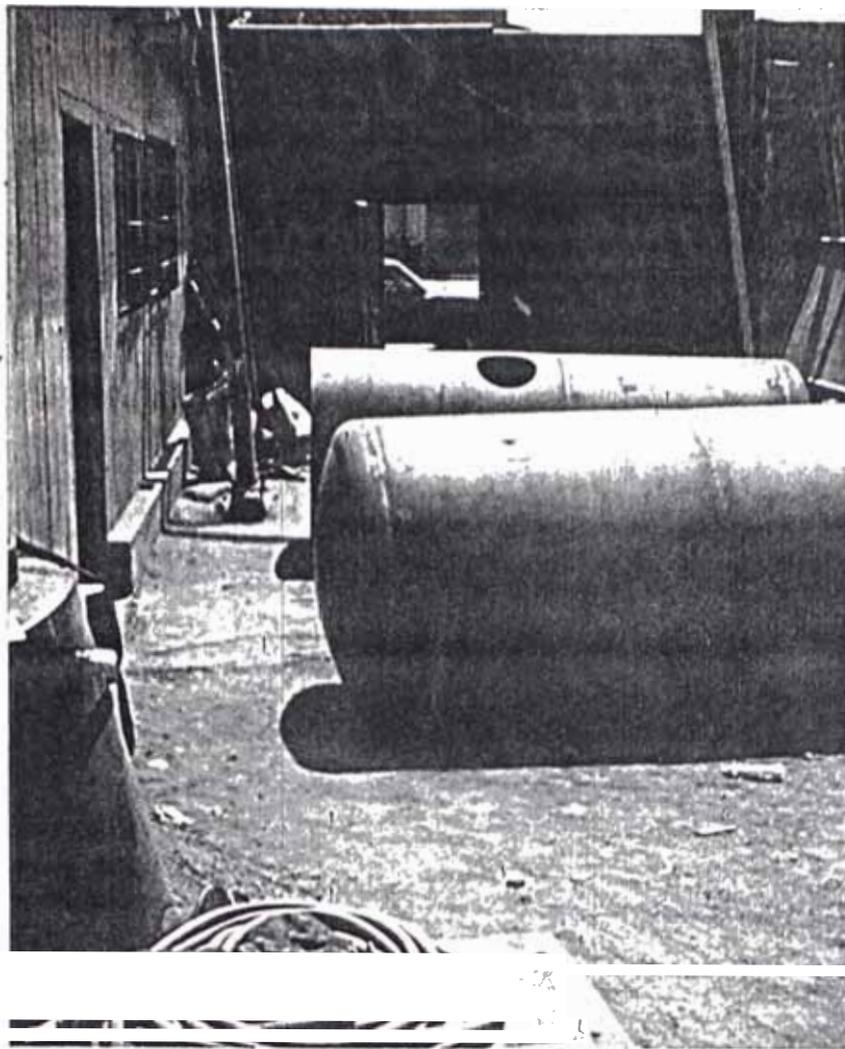
$$\text{Se tiene } t = \frac{P \cdot r}{\sigma_{cd}} = \frac{5.636 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 47.6 \text{ cm}}{0.4 \times 2,310 \text{ kg/cm}^2}$$

$$t = 0.29 \text{ cms} = 2.9 \text{ mm}$$

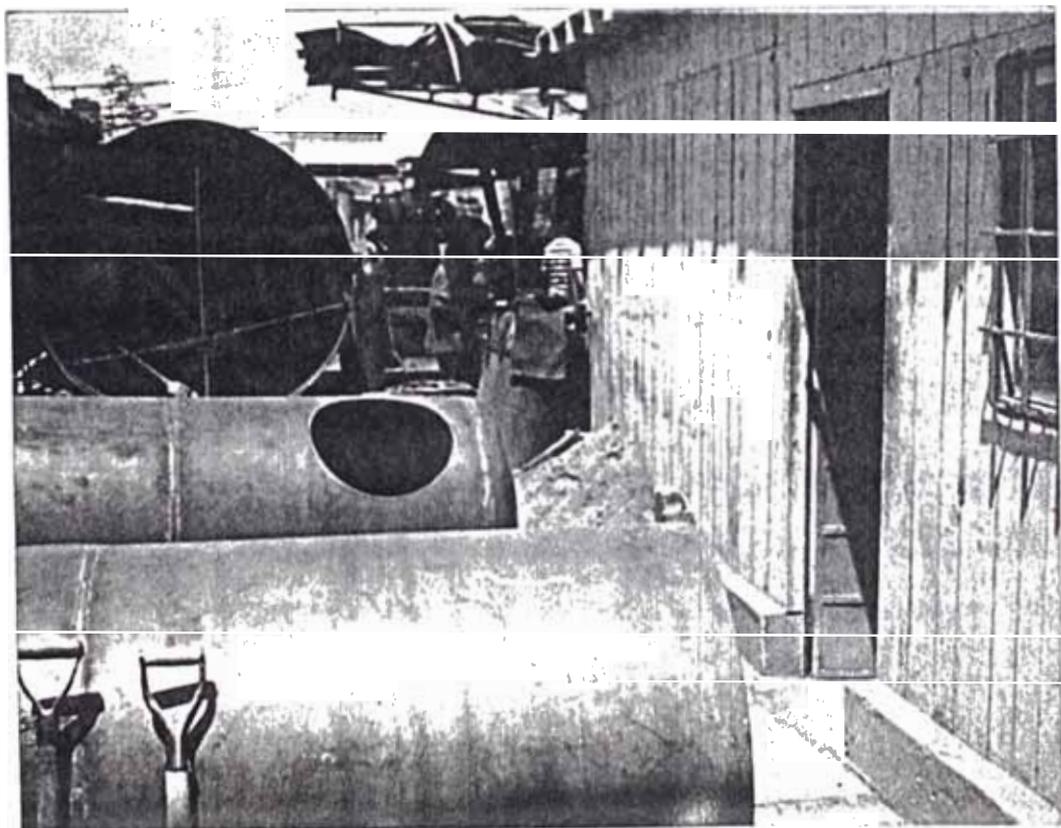
Se tiene :

$$t = ,3 \text{ mm (teórico)}$$

Se ha considerado el esfuerzo circunferencial



Proceso de fabricación de las torres de desalcalinización



de diseño como un 40% del esfuerzo de fluencia indicado en el acápite anterior.

De acuerdo a lo solicitado por Cervecería San Juan para el espesor de la plancha se utilizará un factor de servicio de 2. Por lo tanto, el espesor de la plancha en la torre será de $T = 2 t$

$$T = 6 \text{ mm (aprox. } 1/4\text{")}$$

3.1.4.5 Recomendaciones en torno a la soldadura

Considerando de que el espesor de la plancha es de 6.3 mm, resulta conveniente un cordón de soldadura en las tapas tipo "Y" a ambos lados que sobresalga 1.5 mm sobre el nivel de la plancha a cada cara. Por lo tanto, el ancho del cordón de soldadura a cada lado es de:

$$a = 3 + 1.5 \text{ mm} = 4.5 \text{ mm (aprox. } 3/16\text{")}$$

Para lograr una mejor unión entre las tapas y el cuerpo, preferimos utilizar, en la primera pasada, electrodo AWS - 6011 (CELLOCORD) para lograr mayor penetración.

En la segunda pasada se utiliza AWS - 7018 (SUPERCITO) que es un tipo de soldadura más duro, pero que es muy propensa a la formación de poros. Finalmente, en la tercera pasada del electrodo de soldadura debe utilizarse el tipo AWS 6012 (OVERCORD- S) para dar un buen acabado y uniformidad al cordón de soldadura.

El diámetro del electrodo a utilizar en cada pasada es de 2.38 mm (3/32") excepto con el SUPERCITO, que es de 3.2 mm (1/8").

3.1.4.6 Características técnicas generales de las torres

De acuerdo a los cálculos realizados en el acápite No. 3.1, son las siguientes:

Capacidad de Resina	:	20 pies cúbicos
Diámetro exterior	:	952 mm.
Altura lateral	:	2440 mm. (sin incluir profundidad del bombeado).
Tipo de tapas	:	Semielipsoidales
Material de la pared	:	Plancha de fierro comercial (negro) 6.35 mm espesor SAE 1035.

- Material de las tapas: Plancha de 7.94 mm
- Entrada de Hombre : 500 mm. diámetro a 350 mm. del extremo superior del ablandador.
- Registro de mano : 300 mm. de diámetro ubicado a 1,350 mm. del extremo superior del ablandador.
- Bridas del registro de mano y de la Entrada de Hombre : 7.94 mm de espesor x 500 mm. de ancho con 35 pernos 11.1 mm en manhole y 22 pernos 11.1 mm en el registro de mano.
- Brida del Portatobetas : 25.4 mm. espesor rectificadas por una cara, sin pestaña, diámetro interior de 952 mm., y diámetro exterior de 1,052mm, esta brida estará ubicada a 300 mm. del fondo de la torre ,

		conectada con 42 pernos de 7.94 mm. x 101.6 mm.
Tipo de soldadura	:	Aws E-7018 a ambos lados, cordón de 3116 " c/u.
Empaquetaduras	:	Nitrilo de 3.6 mm. de espesor.
Disco portatoberas	:	Removible de 6.35 mm. espesor con 36 agujeros de 27.8 mm para toberas de 19 mm. y 36 coples soldado para tubo roscado de 19 mm. Se entregará con las toberas conectadas, tipo Gross Equipment.
Coples de entrada y salida	:	50.8 mm. diámetro roscado, ubicados en el centro de las tapas toroidales.
Patas	:	4 tubos standar de 50.8 mm. diámetro x 360 mm.
Ubicación del Manhole	:	A 135° del registro de mano
Deflector de flujo interior	:	Tubo de PVC de 304.8 mm diámetro x 500 mm. de longitud agujereado a 0.8 mm roscado en la parte superior y con tapón de PVC en la parte inferior.

Pintura : 2 capas de poxilac-Fast
(0.6 mm. espesor total)

En el plano No. 2 se muestra la disposición y dimensiones de cada torre.

3.2 DISEÑO DE LA POZA DE SALMUERA

De acuerdo a lo recomendado por la empresa DOW CH. el volumen de agua utilizada para la regeneración es el triple del volumen de resina. Siendo el volumen en cada torre :

$$V = 20 \text{ pies cúbicos}$$

El volumen de agua requerida para regeneración será de :

$$V = 60 \text{ pies cúbicos} \quad 1.699 \text{ m}^3$$

Este volumen de agua se logra con una poza de las siguientes dimensiones:

$$\text{Profundidad} - 1.0 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 0.80 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} - 2.70 \text{ m}$$

El volumen resulta

$$1.0 \times 0.8 \times 2.70 \quad 2.16 \text{ m}^3$$

Quedando espacio para una cámara de salmuera de:

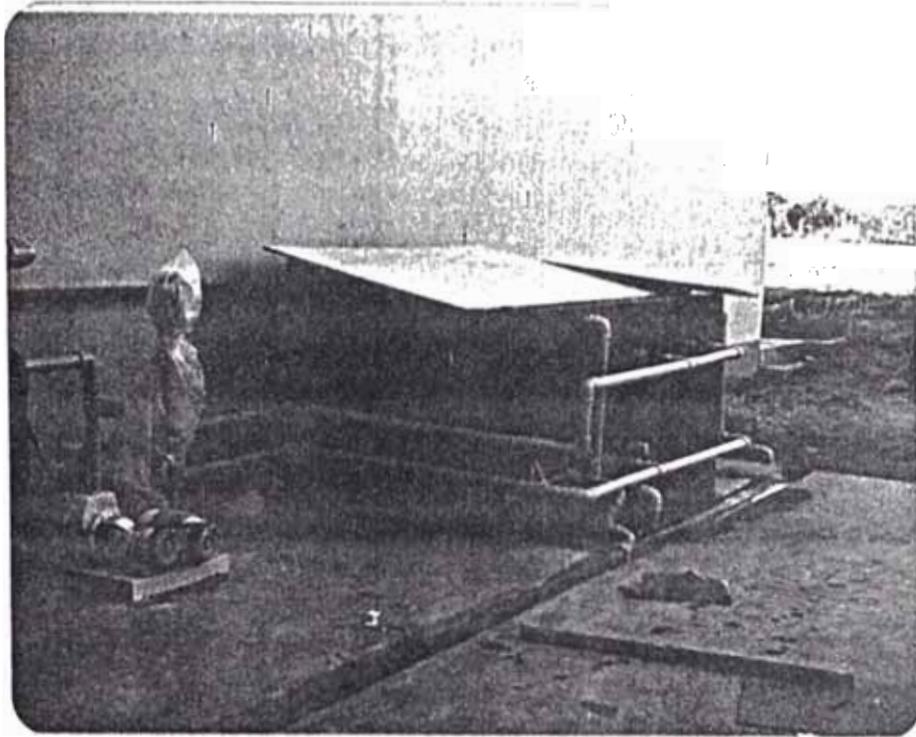
$$V' = 2.160 \text{ m}^3 - 1.699 \text{ m}^3 = 0.461 \text{ m}^3$$

La cámara de salmuera puede tener las siguientes dimensiones:

Profundidad	-	1.0 m
Ancho	=	0.80 m
Longitud	=	0.57 m (incluido el espesor de la pared)

Esta cámara es capaz de almacenar tres sacos de salmuera de 50 kgs.

En el plano No. 3 se muestra una vista Isométrica de la poza de salmuera. Para el acabado de la poza, se utilizó también la pintura tipo POXILAC FAST así como una capa de brea.



Poza de salmuera instalada en la Cervecería
San Juan S.A. en Pucallpa, mostrando el sis
tema de conexiones para la recirculación con
bomba centrífuga

3.3 DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

3.3.1 Volúmen del tanque

El período requerido para la regeneración y la lavado de las torres, se calcula de la siguiente forma:

Tiempo de preparación de la poza de salmuera	:	25 minut.
Tiempo de regeneración	:	20 minut.
Tiempo de lavado	:	15 minut.
Tiempo de operación en válvulas	:	10 minut.
TIEMPO TOTAL	:	70 minut.

Durante 70 minutos una torre, es capaz de en tregar un gasto de agua de :

$$G = 60 \text{ galones/min.} \times 70 \text{ mins.} = 4,200 \text{ galones}$$

$$G = 16,212 \text{ litros}$$

Este valor coincide con el requerimiento de agua por hora en las pailas de cocimiento -- (Sección 3.6) que es de 30,000 litros por hora, ya que para continuar el suministro de agua a las pailas durante la regeneración, se conecta en paralelo el agua entregada por la torre que

no se está regenerando con la salida del tanque de almacenamiento, con una capacidad de:

$$(16,212 \frac{\text{litros}}{\text{hora}} \times 2 = 32,424 \text{ litros/hora})$$

3.3.2 DIMENSIONES PRINCIPALES

El tanque de almacenamiento está diseñado en posición vertical, debido a la disponibilidad de una altura de 15 metros libres sobre una loza, donde se ha puesto la colocación de la planta.

El dimensionamiento del tanque con la mayor altura posible nos permite disminuir el diámetro, propiciando así un ahorro de espacio Favorece también la circulación del agua hacia las pailas por efecto de la gravedad. Así, si es que fijamos el diámetro en $D = 1950 \text{ mm.}$ para alcanzar el volumen requerido de 16,200 lts., la altura lateral resulta $L = 5,334 \text{ mm.}$ considerando el volumen del cono inferior (de 0.5m de profundidad) la capacidad del tanque es :

$V = 16,500 \text{ litros.}$

Por lo tanto, las dimensiones principales del tanque quedan especificadas de la siguiente for

ma:

D	=	1,950 mm.
H Lat.	=	5,334 mm.
Cono inferior	=	500mm de profundidad
Sombrero chino superior	=	316 mm.
Diámetro en la Entrada del Hombre	=	600 mm.

3.3.3 Cálculo del espesor de la pared del tanque

La presión en la pared lateral del fondo del tanque de almacenamiento resulta ser la crítica para efectos de diseño, siendo su valor:

$$p = H_{tot} = 316 + 5,334 + 500 \text{ mm de columna } H_2O = 6.15 \text{ m}$$

Cambiando de unidades:

$$p = 6.15 / 10.33 = 0.595 \text{ kg/cm}^2$$

Siendo el esfuerzo de diseño: $\sigma_d = 0.6 \text{ r}$

y conociendo
$$\sigma_d = \frac{P \times r}{t}$$

$$\text{Para } d = 0.6 \times 2,310 \text{ kg/cm}^2 = 1,386 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = \text{Presión de diseño} = 0.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$r = \text{Radio} = \frac{1,950}{2} \text{ mm} = 975 \text{ mm} = 97.5 \text{ cm}$$

$$t = \text{Espesor}$$

Despejando t se tiene :

$$t = \frac{P \times r}{d} = \frac{0.595 \text{ (kg/cm}^2) \times 97.5 \text{ cms}}{1,386 \text{ kg/cm}^2} =$$

$$0.0418 \text{ cms}$$

$$t = 0.5 \text{ mm. en la pared}$$

El espesor de la plancha de las paredes es muy delgado si se considerase como parámetro principal sola la presión en el recipiente.

Para soportar las 20 toneladas que pesa el tanque cargado, sin deformarse, en el fondo el espesor es mayor. Adicionalmente es conveniente el prevenir efectos de corrosión. Para ello se ha utilizado un espesor de :

$$t = 4.9 \text{ mm en la pared}$$

3.3.4 Cálculo del espesor de pared del cono inferior

En la figura adjunta se aprecia el diagrama de fuerzas actuando al fondo del tanque por efecto de la presión de las patas sobre las paredes

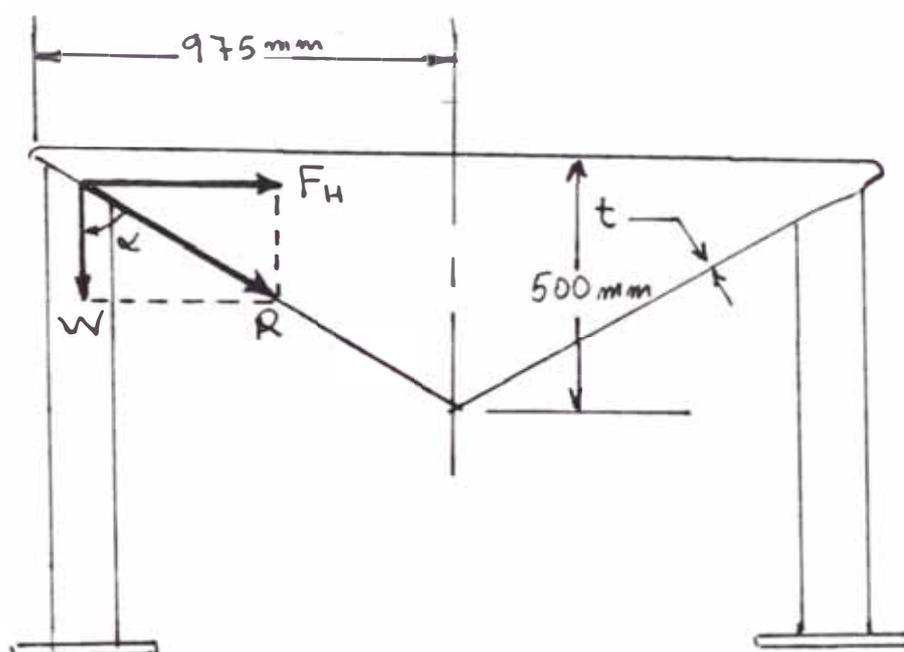


DIAGRAMA DE FUERZAS

- W = Peso sobre la pata
- F_H = Fuerza Horizontal
- R = Resultante
- α = Angulo de conicidad

El ángulo del cono inferior o sombrero chino del tanque de almacenamiento es de:

$$\alpha = \text{Arc tg } \frac{F_H}{W} = \text{Arc tg } \frac{500}{975} = 27.14^\circ$$

Para dimensionar el espesor al fondo, se supone que el tubo de 102 mm. de Dia. utilizado como pata tiende a "hundir" la plancha del cono, y que el área sometida a esfuerzo cortante es un anillo ubicado en la intersección del tubo con la plancha del cono.

$$\text{Area sometida a corte} = A_c = \pi D_{\text{tubo}} \times t$$

donde t = Espesor de la plancha del cono

Siendo el esfuerzo de diseño (Sección anterior)

de :

$$\sigma_d = 1,386 \text{ kg/cm}^2$$

y considerando que el peso en cada pata es:

$$W + \frac{20,000}{4} \times 1.3 = 6,500 \text{ kg.}$$

se tiene que :

$$d = \frac{F_{\text{corte}}}{A_{\text{corte}}} = \frac{W}{A_{\text{tubo}}} =$$

$$= \frac{W}{\pi D t \cos (90 - \alpha)}$$

se deduce el espesor:

$$t = \frac{W}{\sigma_d \pi D \text{Sen } \alpha}$$

$$t = \frac{6,500 \text{ (kgs.)}}{1,386 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \times 3.14 \times 10.2 \text{ (cm)} \times \text{sen } 27.2}$$

$$t = 3.2 \text{ mm.}$$

Suponiendo un sobredimensionamiento del 100 % al fondo del tanque, se utiliza :

$$t = 6 \text{ mm.}$$

Utilizando este espesor no es necesaria la aplicación de refuerzos para evitar la deformación de la plancha en el fondo.

Sin embargo, para evitar el riesgo de deformar el cono en el traslado y montaje, se han colocado interiormente carletas de 7.9 mm de 300 x 400 mm, y exteriormente de 30 x

20 cm para dar rigidez a la unión entre fondo y las patas

3.3.5 Estructura de las patas

Para el diseño de las patas se consideró tubería de acero cédula 40 de 101.6 mm (4") - de diámetro nominal y la cual resisten un peso de $\frac{20 \text{ toneladas}}{4 \text{ patas}} = 5 \text{ toneladas} = 5,000 \text{ kg}$

Si sobredimensionamos la pata con un factor - de un 25% más de la carga que van a soportar - entonces :

Se diseñará para $W = 1.25 \times 5,000 \text{ kg}$.

$$W = 6,250 \text{ kg}$$

Luego procederemos a verificar la resistencia del tubo.

Un tubo de acero al carbono de 4" de diámetro cédula 40 SIDER PERU tiene un esfuerzo de -- fluencia de :

$$S_y = 33,000 \text{ PSI} = 2,310 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo permisible a torsión y compresión



Vista inferior de las patas del tanque
de almacenamiento

de este tipo de tubo es de:

$$\sigma_p = 0.6 SY = 1,386 \text{ kg/cm}^2$$

Siendo : $\sigma_p = P/A$

La sección transversal mínima que no fallará por esfuerzo de compresión será de :

$$A = \frac{P}{\sigma_p} = \frac{6,250 \text{ kg}}{1,386 \text{ kg/cm}^2} = 4.5 \text{ cm}^2 =$$

$$0.70 \text{ pulg}^2$$

lo cual se muestra dentro del rango para el tubo seleccionado

$$A_t = 3.17 \text{ pulgs}^2 = 20.45 \text{ cm}^2$$

Chequeo del pandeo por relación de esbeltez

Para evitar el pandeo en las columnas principales se busca que la relación longitud "L" a radio de giro "r" sea de :

$$\frac{L}{r} \leq 120$$

o sea que :

$$r \geq \frac{L}{120}$$

Para nuestro caso, $l = 900$ mm es decir:

$$r = 7.5 \text{ mm. } \approx 0.3''$$

Del catálogo adjunto sobre propiedades mecánicas de las tuberías tenemos:

$$r = 1.510 \text{ pulgadas} = 38.4 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el tubo de acero cédula 40 de 101.6 mm de diámetro cumple satisfactoriamente los requerimientos del punto de vista de compresión y pandeo por relación de esbeltez.

Chequeo del pandeo por limitación de carga

Para la tubería de 4" seleccionada tenemos:

$$a = 3.17 \text{ pulgs}^2 = 2,045 \text{ mm}^2 \text{ (área del metal de la sección transversal)}$$

$$r = 1.510 \text{ pulg} = 38.3 \text{ mm} \text{ (radio de giro)}$$

ver tabla anexa

De acuerdo a la referencia bibliográfica No.17 página 274, cada pata puede soportar una carga

de acuerdo a la fórmula

$$\frac{l}{r} \leq 120 ; \frac{P_w}{a} = 1,200 - 0.0341 \left(\frac{l}{r} \right)^2$$

donde P_w = carga máxima permisible

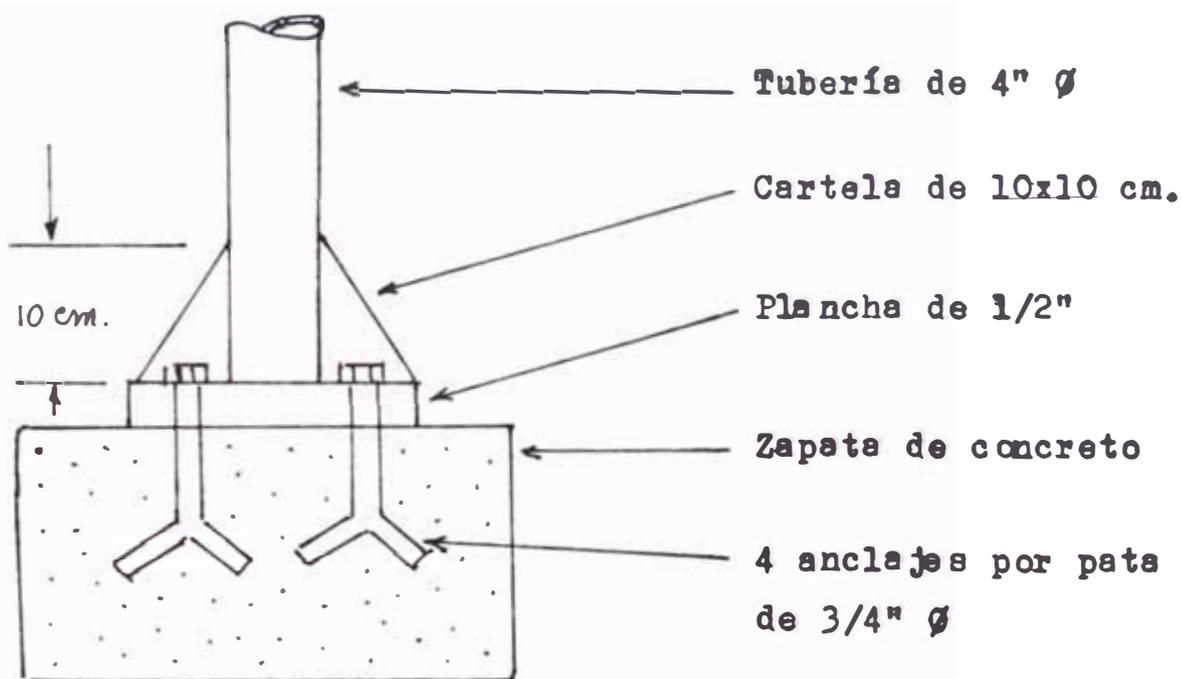
reemplazando valores:

$$\frac{P_w}{20.45 \text{ cm}^2} = 1,200 - 0.0341 \left(\frac{900}{38.3} \right)^2$$

de donde cada pata podrá soportar como máxi
mo:

$$P_w = 24,154 \text{ kg.})$$

Cálculo de la zapata de concreto



Siendo el esfuerzo permisible de diseño del concreto:

$$\sigma_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$W = 6,250 \text{ kg.}$$

la plancha debe tener una sección mínima de:

$$A_b = \frac{W}{c} = \frac{6,250 \text{ kg}}{210 \text{ kg/cm}^2} = 29.76 \text{ cm}^2$$

Por estética se puede usar una plancha circular de 20 cm. de diámetro como se muestra en fotografía anexa para cada pata

$$A_{\text{pata}} = \frac{b^2}{4} = 314 \text{ cm}^2$$

Suponiendo un suelo arcilloso:

$$\text{suelo} = 0.5 \text{ kg/cm}^2$$

La sección mínima de la zapata para no hundirse el tanque en la arcilla al soportar el peso de todo el tanque, será de:

$$A_{\text{zapata}} = \frac{M}{\text{suelo}} = \frac{25,000 \text{ kg}}{0.5 \text{ kg/cm}^2} = 50,000 \text{ cm}^2$$

donde M = Masa total del tanque lleno

Se usará una zapata de 2.2 m x 2.2m x 0.4mm de espesor, con 10 varillas de fierro corrugado de 19 mm de diámetro (3/4") en disposición transversal.

Corrección por carga sísmica

Para este cálculo hacemos referencia al anexo M utilizando las Normas para Diseño Sísmico Resistentes, emitidas por el Ministerio de Vivienda y Construcción.

De acuerdo a lo calculado para la carga máxima permisible que soporta cada pata sin fallar se tiene :

$$P_w = 24,154.9 \text{ kg}$$

Se desea verificar si las cargas originadas por viento y sismos adicionales a los 6,250-kg. que soporta estáticamente cada pata llegan a superar el valor máximo permisible P_w .

Fuerza sísmica horizontal total en la base:H

De acuerdo a la Fórmula para el cálculo de la fuerza horizontal:

$$H = \frac{Z \times U \times S \times C \times P}{R_d}$$

donde :

Z = Factor de zona = 0.7 (Pucallpa)

U = Factor de uso e importancias = 1.3 (Categoría "B" tanque)

S = Factor de suelo = 1.2 (arcilla densa)

C = Coeficiente sísmico: entre 0.16 y 0.40

Por tratarse de una estructura no muy alta - (6.5 m) usamos C = 0.40

R_d = Factor de ductilidad = 3.0 (Categoría
B₄ tanque)

P = Peso de toda la estructura = 25 Tons =
25,000 kg.

reemplazando en la ecuación anterior se tiene
ne:

$$H = 3,640 \text{ kg.}$$

Fuerza sísmica vertical total:

En la zona 2 (Pucallpa) se considera

$$V = 0.2 (P) = 5.0 \text{ tons.}$$

Carga por el viento

La sección transversal al viento es :

$$A_v = 5.7 \times 1.95 = 11.12 \text{ m}^2$$

Para una velocidad de diseño del viento de

$$V = 12 \text{ m/seg.}$$

La fuerza en Newtons sobre el centro de área:

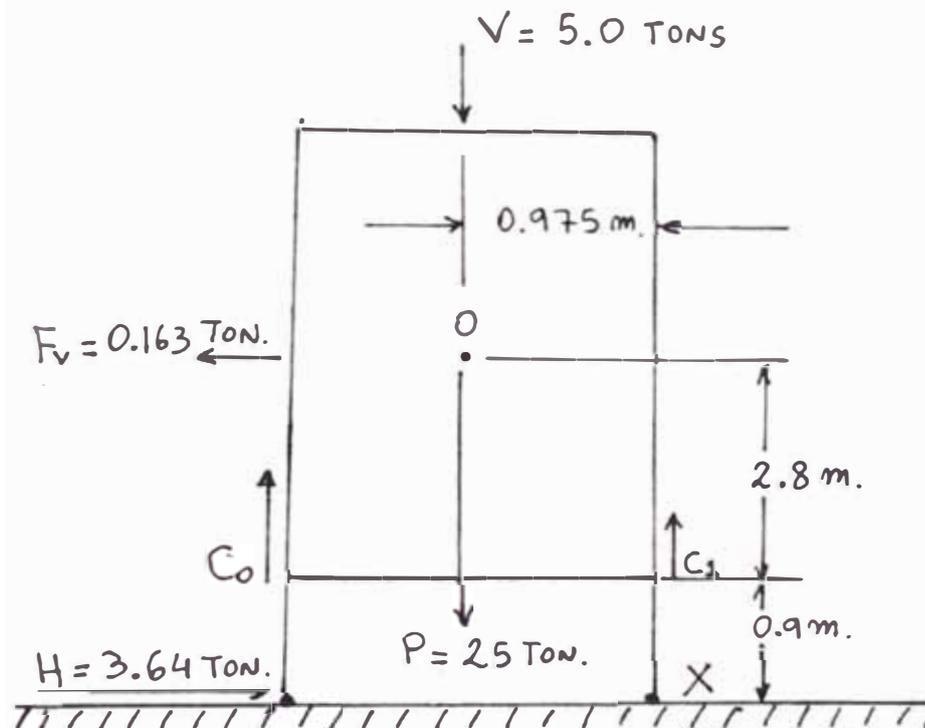
$$F_v = \rho v^2 A = \left(1.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(12^2 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2}\right) \left(11.12 \text{ m}^2\right)$$

$$F_v = 1,601 \text{ Newtons} = 163.2 \text{ kg.}$$

Luego consideraremos una fuerza por viento de :

$$F_v = 163 \text{ kg}$$

Diagrama de fuerzas en el tanque



Considerando suma de momentos en $X = 0$
tenemos :

$$C_o (1.950) - 163(2.8 + 0.9) - 25,000 (0.975) - 5,000 (0.975) = 0$$

$$C_o = \frac{603.1 + 24,375 + 4,875}{1.95} = 29,853.1 \text{ kg}$$

$$C_o = 15,309 \text{ kg.}$$

La suma de las fuerzas verticales es cero:

$$5,000 + 25,000 - C_1 - C_o = 0$$

$$\text{Despejando } C_1 = 14,690.71 \text{ kg.}$$

Con el efecto del viento, cada pata soporta:

$\frac{C_o}{2} = 7,654.5 \text{ kg}$	en vez de 6,250 kg.
--------------------------------------	---------------------

Considerando el efecto de la fuerza horizontal en la base:

\sum Momentos en el centro de gravedad = 0
del tanque

$$3,640 (2.8 + 0.9) - 2 F_g = 0$$

$$F_g = 6,734 \text{ kg.}$$

F_s es el efecto de superposición de una fuerza de compresión y otra de tracción en cada uno de los pares de patas, producto de la fuerza sísmica horizontal.

Dicho efecto es en cada pata :

$$\frac{F_s}{2} = 3,367 \text{ kg.}$$

Luego:

La carga crítica de compresión en caso de sismo y viento será :

$$\frac{C_o}{2} + \frac{F_s}{2} = 7,654.5 + 3,367 = 11,021.5 \text{ Kg}$$

Este valor queda totalmente cubierto por la característica del tubo de 4" seleccionado el cual alcanza a soportar una carga máxima permisible por compresión :

$$P_w = 24,154.9 \text{ kg.}$$

3.4 SELECCION DE LA BOMBA, TUBERIAS Y VALVULAS

3.4.1 Selección de la bomba

La única bomba utilizada en el sistema, es la que conecta la poza de salmuera con las torres de intercambio iónico.

De acuerdo a la especificación de condiciones iniciales, el flujo nominal en cada torre es de:

$$Q = 60 \text{ Gal/min.} = 3.78 \text{ Lt/seg.}$$

Las presiones nominales en este sistema de tuberías son del orden de:

$$P = 80 \text{ PSI (aproximadamente 60 mts. de agua)}$$

La potencia requerida por la bomba será de aproximadamente:

$$\text{Pot} = \frac{\gamma \times Q \times H}{\eta \times 75} \text{ (HP)}$$

donde η = eficiencia promedio $\approx 0.6 - 0.7$

$$H = 60 \text{ mts.}$$

$$Q = 3.78 \text{ Lt/seg.} = 0.00378 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

$$\gamma = \text{Peso específico del agua} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Es importante indicar que el valor de H en esta fórmula debe incluir la altura de succión de la bomba.

En la figura de la página No. 43 se muestra la disposición entre la bomba y la poza de salmuera. En ella se puede apreciar que la altura de succión es positiva, ya que el nivel del líquido a succionar está sobre la tubería de succión de la bomba.

A pesar de que la altura de la poza es de 900mm sobre la bomba se considerará la altura de succión:

$$h' = 0$$

debido a que esta altura es variable conforme se va vaciando la poza, y que llega a ser nula cuando ya ha sido entregada toda la salmuera.

Calculando la potencia en la fórmula anterior - con esta consideración, se tiene :

Para :

$$H_{total} = H_{presión} + H_{succión}$$

$$H_{total} = H + h' = H$$

$$\text{Pot} = \frac{100 \times 0.00378 \times 60}{0.65 \times 75}$$

$\text{Pot} = 4.65 \text{ HP}$

Por lo tanto, seleccionamos para la bomba un motor tipo Delcrosa de 4.8 HP, 380 Volts. de 1760 RPM trifásico con conexión doble estrella.

No se ha aplicado un factor de servicio mayor a uno, debido a que esta bomba solamente funciona durante 20 minutos al día.

La bomba seleccionada es fabricada en fierro fundido tanto el rotor como la carcaza y es de eje libre para facilidades de mantenimiento. Se le ha agregado un revestimiento interior resistente a los álcalis. Seleccionamos también una bomba que sea autocebante para evitar problemas de cebado y cavitación al inicio de cada ciclo de trabajo.

Por recomendación del fabricante de la bomba (Hidrostal), se ha acoplado a la bomba de eje libre con el motor eléctrico utilizando 2 poleas una de 101.6mm (6" Ø) de diámetro conectada al eje de la bomba y otra de 76.2 mm (3" Ø) de diámetro conectada al eje motor,

construidas de bronce. La faja utilizada corresponde al tipo "B" en "V" de 15.9 mm (5/8") de ancho, se ha seleccionado la faja marca "DAYCO" (ver anexo).

3.4.2 Selección de tuberías

Considerando que las tuberías transportan fluidos corrosivos (salmuera) y que la temperatura es la del medio ambiente, resulta conveniente el uso de material plástico "PVC" rígido, tanto en las tuberías, codos, tees, y válvulas.

De acuerdo al catálogo proporcionado por Interquímica S.A. (anexo al final), observamos que resulta muy conveniente el empleo de tuberías de la clase 10 que soporta hasta 9.54 BAR (145 PSI).

El diámetro nominal de la tubería (50.8mm) ha sido calculado de la siguiente forma:

Velocidad recomendada = $V = 1.5$ a 3.0 m/seg.
en la tubería

(ver tabla en anexo sobre velocidades recomendadas en tuberías - UNI).

$$\begin{aligned} \text{Caudal de agua} &= 60 \frac{\text{Gal}}{\text{min}} = 3.78 \frac{\text{Lt}}{\text{seg}} = 0.00378 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \\ \text{en la tubería} & \end{aligned}$$

Siendo caudal = área x velocidad

$$Q = A \times v \quad A = \frac{Q}{v}$$

Por lo tanto,

$$A = \frac{0.00378 \text{ m/seg}}{1.5 \text{ m/seg.}} = 0.00252 \text{ m}^2$$

$$\text{siendo } A = \frac{\pi D^2}{4} \quad D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Por lo tanto,

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.00252}{\pi}} = 0.057 \text{ m} = 57 \text{ mm}$$

La selección final resulta en una tubería de 50.8 mm de diámetro nominal (2" Ø)

Debido a que la tubería seleccionada es de 50.8 mm. todos los accesorios como tees, codos, uniones universales, tapones, niples, etc., serán también de 50.8 mm (2" Ø) de diámetro nominal que de acuerdo a la tabla de Interquímica tienen un espesor de la pared -

de 2.9 mm.

3.4.3 Selección de válvulas

Para poder regular el flujo o caudal que circula por las torres de intercambio iónico resulta más conveniente utilizar válvulas tipo Globo de material plástico "PVC" rígido, suministrado por la firma REPINSA, único proveedor en la ciudad de Lima de válvulas marca - "BAGDAG" (USA) de 50.8 mm. de diámetro x 8.6 Bar; de presión de trabajo (125 PSI) con conexiones roscados tipo hembra.

3.5 EIA BORACION DEL ESQUEMA DE CONEXIONES Y EXPLICACION DEL SISTEMA OPERATIVO

A continuación se mencionará una explicación básica del funcionamiento de la planta de desalcalinización teniendo como referencia el plano No. 1 (Ver planos al final), el cual re presenta el dibujo isométrico de la mencionada plnta.

Proceso de operación

Durante este proceso, el agua es recibida de la línea de agua de pozos, la cual recibe a su vez, el agua de un tanque de almacenamiento ubicado a 60 mts. de altura con respecto a la plnta de desalcalinización.

Este suministro de agua abastece a las torres "A" y "B" a una razón de 60 galones/minuto cada una. Siendo la disposición de ambas torres simétricas en paralelo, así como sus instalaciones, describiremos solamente el proceso pa ra la torre "A".

El agua de alimentación circula a través de la válvula No.1 (abierta) subiendo y cruzando la válvula No. 3 (abierta), manteniendo la vál-

vub Nos. 2 y 4 cerrada e ingresando a la torre por la parte superior (conexión de 2" Ø); en el interior de la torre el agua atraviesa un filtro que actúa como elemento difusor haciendo un efecto de ducha sobre la parte superior de la resina, evitándose la canalización del agua en solo algunos sectores del volumen de resina. Una vez atravesado los 20 pies cúbicos de resina de malla 20-40 y de haberse efectuado la de salcalinización química, se encuentra un depósito de grava de 1/2" (fina), la cual al mismo tiempo de impedir que la resina pase hacia el fondo de la torre, también protege a las toberas de plástico de 3/4" del efecto del peso de un operario que al momento de efectuar la limpieza del sistema pueda pararse sobre las mismas sin ocasionarles daño alguno.

Posterior al paso a través de la grava, se presentan un conjunto de 37 toberas en cada torre (filtros-ranurados) con conexión de 3/4" de diámetro y las cuales tienen por función el evitar el paso de los granos más pequeños de la resina DOWAX SAR. Las toberas se dimensionan al 50% del tamaño de grano menor (malla 20) resultando en toberas con ranuras de 12 milésimas de pulgada (0.012 pulg.).

Posteriormente el agua ya desalcalinizada pasa a la cámara inferior de la torre que a su vez, tiene por

objeto el atrapar y depositar cualesquier sólido que halla podido pasar a través de las toberas.

Una vez que el agua sale por la conexión inferior de descarga de la torre (2" Ø) esta, fluye a través de la válvula No. 6, manteniendo cerrada la No. 5 y se dirige hacia la línea de agua desalcalinizada de 3"Ø para alimentar a las pailas de cocimiento de la cebada (4 pailas de 15,000 lts. c/u.) y al tanque de almacenamiento (Vertical 17.5 m³) en paralelo.

La planta en este proceso de operación (desalcalinización) es operada automáticamente mediante el uso de dos electrodos para control alto y bajo de nivel, así como un reloj de tipo BW para apertura y cierre de una válvula de solenoide colocada en la parte superior del ingreso al tanque de almacenamiento.

La planta desalcalinizadora suministra asimismo, agua a la paila directamente cuando el tanque de almacenamiento está lleno, siendo su nivel controlado normalmente por un operario. Cuando el requerimiento de agua es mayor se vacía el tanque de almacenamiento directamente a la paila por gravedad.

La planta desalcalinizadora es capaz de suminis-

trar 120 Gal/min. de agua en forma continua durante - 20 horas antes de que la resina se sature de carbonatos.

Proceso de Regeneración

El proceso de regeneración viene a ser un lavado de la resina una vez que está saturada.

Este lavado de la resina se realiza mediante el uso de agua con salmuera con una concentración de Sal (Na Cl) del 90% por volumen.

La planta requiere la regeneración de cada torre después de 20 horas de uso; durando la misma aproximadamente 20 minutos por cada torre, siendo mas conveniente el realizar la regeneración en cada torre por separado.

En primer lugar es necesario cargar la salmuera sobre la rejilla para salmuera (aproximadamente se consumirá un saco de 50 kg. en la regeneración de cada torre).

Después de cargar la sal se apertura manualmente la válvula No. 8 de la ducha sobre la sal y se procede a cargar la cámara lateral de la poza adyacente a la sal. Al iniciar la operación es conveniente recircular

la salmuera utilizando la bomba autocebante (centrífuga) 2"x 2" instalada para este fin aperturando las válvulas 9, 10, 11 y 12 y cerrando la válvula No. 13. 5 minutos de recirculación es suficiente para garantizar una buena disolución y homogenización de la salmuera en el agua. Después de la recirculación se cierran las válvulas 11 y 12 y se apertura la válvula - No. 13, estando apagado el motor de la bomba así como cerradas las válvulas 14 y 15 para aislar la planta durante el proceso de regeneración.

La bomba de agua es conectada para succionar la solución de la poza de salmuera y depositarla dentro de la torre "A" que se piensa regenerar primero. Para ello, se procede a abrir la válvula No. 4, 3 y 11 manteniendo el resto de válvulas de la torre "A" cerradas.

El agua que ha reaccionado con la resina y contiene los desechos de los carbonatos, es descargada hacia la escuadra o desagüe a través de la válvula No. 11.

Una vez que se ha vaciado el contenido de agua de la poza de salmuera, se puede proceder a regenerar la torre "B" en forma similar a lo realizado para la torre "A".

Una vez regeneradas las 2 torres debe procederse al lavado de las resinas y de las torres.

De acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante de la resina, esta puede tener una vida activa de 5 años de uso continuo, período después del cual se puede reactivar la misma mediante un lavado con solución de Meta-Bisulfito de Potasio o Sodio al 10%; pudiendo operar durante 5 años más, tolerándose un máximo de 3 reactivaciones.

Proceso de Lavado

Luego de la regeneración quedan siempre residuos de diversos tipos de cloruros tanto en las cámaras de las torres, así como en la grava, tuberías y válvulas. Por ello, resulta indispensable realizar un lavado de todo el sistema luego de terminado el proceso de regeneración.

Para realizar un lavado más eficiente y veloz, es conveniente el hacer circular el agua proveniente de la línea de servicio (agua de pozos) en un sentido de flujo inverso al de operación normal de la torre, es decir, se hace ingresar el agua de servicio desde la parte inferior de la torre a través de las toberas y

de la grava hacia la tubería de 2" \varnothing ubicada en la parte superior de la torre para que sea finalmente desalojada en la escuadra o desagüe.

Este proceso de lavado se realiza abriendo las válvulas Nos. 15, 5, 3 y 2 y cerrando el resto de válvulas de la torre "A". Para acortar los tiempos que requiere el lavado resulta conveniente realizar el mismo, simultáneamente en ambas torres. La duración del lavado toma aproximadamente de 15 a 20 minutos.

Proceso de Purga

Normalmente luego de realizado los procesos de regeneración y lavado, quedan bolsas de aire dentro de las torres. También existe este fenómeno al iniciar la operación de dos torres después de realizada la primera carga de la resina en ellas. La presencia de aire es perjudicial en los procesos de desalcalinización, ya que puede generar fases con niveles de saturación diferentes dentro de la misma resina, ocasionando que una parte de la resina no trabaje.

Para evitar las bolsas de aire, se ha colocado en la parte superior una tubería y un cople de 1" de diámetro de tal forma que cuando se desee eliminar esta-

bolsa de aire se realice aperturando la válvula de 1" que permite salir a la atmósfera al aire entrampado en la torre quedando esta, completamente llena de -- agua.

En algunas instalaciones en las que no se ha previsto la colocación de esta purga se ha llegado incluso a producir golpes de ariete dentro de la torre que lleguen a rajarse las soldaduras.

Esquema de Conexiones

En el plano adjunto No. 1 incluido al final de esta tesis, se presenta un esquema de conexiones de todo el sistema de válvulas, tuberías y manómetros entre las torres de intercambio iónico, la bomba de -- agua y la poza de salmuera. El módulo aquí presentado constituye ya una planta desalcalinizadora. Se han colocado manómetros de bronce a la entrada y salida de cada torre con la finalidad de poder controlar con exactitud las presiones del sistema.

El sistema de válvulas presentado con una disposición en H en cada torre, sustituye el efecto de una válvula multi-port. Se ha utilizado este sistema debi

do a que no se contaba con válvulas multi-port de PVC en el mercado nacional.

A la bomba autocebante presentada en el esquema de conexiones en el plano No. 1, se le realizó un revestimiento interior en poliéster elaborado por tecnología y denominado de TEKTANE, que es una resina resistente a los ácidos y a los álcalis.

Acabado interior y exterior de las torres y del tanque de almacenamiento

Para el revestimiento interior de las torres se utilizó un tipo de pintura denominada POXILAC - GAR de Industrias Fast S.A., que es resistente a los álcalis y a la alta temperatura, ya que con el objetivo de abaratar costos sin alterar la calidad ni la eficiencia de la planta, no se ha empleado acero inoxidable del tipo 304 normalmente empleado en la industria de los alimentos.

La pintura utilizada luego de su correcta aplicación, presenta la apariencia de un acabado metálico-enlozado y resulta difícil de remover incluso utilizando el método de limpieza por arenado a presión.

El POXILAC - GAR es un revestimiento epóxico sin solventes, 100% sólidos, para aplicarse sobre superficies de tanques de acero, madera, concreto, eternit o fibra de vidrio que van a almacenar sustancias alimenticias, ácidos, álcalis, aceites, solventes, etc., a diferentes concentraciones.

Este sistema se compone de 2 componentes, uno líquido "A" y otro sólido "B"; resultando la mezcla de ambos con las siguientes propiedades:

Propiedades y características
físicas

- Viscosidad integral : Tipo pasta
- Viscosidad reducida : No se recomienda. Sólo en caso necesario para favorecer la aplicación (Soplete Airless, se puede adelgazar hasta un 10%).
- Densidad : 5.188 kg/galón.
- Sólidos : 100%
- Capacidad de recubrimiento : De 8 a 10 m² por cada 3/4 de galón de POXILAC-GAR.
- Espesor de la película seca : 8 a 10 mm.
- Tiempo de secado : De 24 a 48 horas

- Tiempo para curado total : De 8 a 15 días
- Acebado : Vidreado
- Solvente de reducción : Solvente para POXIIA C-SF 100
- Solvente para limpieza : Solvente para POXIIAC-SF 100
- Proporción mezcla por volúmen :
 - Parte "A" : 2 volúmenes
 - Parte "B" : 1 volúmen
- Vida de la mezcla antes de su secado inicial : 50 a 60 minutos a 25° C

EXPOSICION DE LA PELICULA POXIIAC - GAR A DIVERSAS SOLUCIONES POR 48 DIAS DESPUES DE TRANSCURRIDOS 12 DIAS DE CURADO

Pruebas de Laboratorio

- Solución ácido acético : Excelente (no fué atacado) presenta ligero cambio de color
- Solución ácido clorhídrico al 10% : Excelente (No fué atacado) presenta ligero cambio de color.

- Solución ácido cítrico al 10% : Excelente (no fué atacado) presenta lgero cambio de color.
- Solución ácido sulfúrico al 10% : Excelente presenta ligero cambio de color.
- Mosto de cerveza después de 1 1/2 mes : Excelente
- Xilol durante 2 meses : Excelente
- Aguarrás durante 2 meses : Excelente
- Lejía durante 1 mes : Excelente, muestra ligero cambio de color.

Recomendaciones para el uso del revestimiento epóxico

POXILAC - GAR

- a. Aplicar sobre superficies perfectamente limpias , excentas de óxido, grasa, polvo, etc.
- b. Las superficies metálicas deberán estar perfectamente arenadas a SA - 2 1/2 STANDAR SUECO (gris - plata)
- c. El proceso de fraguado y curado, debe hacerse a una temperatura no menor de 15° C
- d. La limpieza del equipo usado debe hacerse inmediatamente después de su aplicación para evitar su

deterioro, ya que debido a su corto tiempo de secado inicial, resulta casi imposible limpiarlo - después de su fraguado.

- e. Para su aplicación no se requiere del uso de máscaras ni ventilación ya que no utiliza solventes.
- f. Se recomienda no utilizar los depósitos protegidos, hasta después de 15 días de haberse aplicado

3.6 DISEÑO DE LAS PAILAS DE COCIMIENTO

El agua desalcalinizada es utilizada en - cuatro pailas de cocimiento, cada una de un vo lúmen de 15,000 litros.

Normalmente siempre se encuentran en opera ción simultánea, dos de las cuatro pailas, re quiriéndose llenar cada hora, dos pailas, sien do el consumo de agua para cocimiento de:

$$\text{Consumo} = 30,000 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}$$

Esta sección pretende simplemente mostrar- la aplicación del agua desalcalinizada debido a que las pailas de cocimiento ya existían en la planta antes de la construcción de los equipos- desalcalinizadores. Por ello se realiza una des- cripción de la paila y una verificación de los parámetros que intervienen en su operación como son: Temperatura, presión, caudal de vapor, vo lumen almacenado, etc.

3.6.1 Dimensiones de las pailas

De acuerdo a lo señalado en el plano No. 4 incluido al final, las dimensiones son las siguientes:

altura = 1,841 mm.

ancho interior = 2,400 mm.

longitud interior = 3,600 mm.

Estas dimensiones coinciden con el volumen de 15,000 litros

3.6.2 Parámetros de funcionamiento de la paila

La presión de vapor recomendada a la entrada de las pailas y marmitas con camiseta de vapor son:

$$p = 15 \text{ PSIG}$$

A la salida de la camiseta de vapor existe una trampa de vapor de 38 mm DIA.

3.6.3 Espesores y materiales de la paila

La tina interior de la paila está construída en ACERO INOX 304 de 6.3 mm. de espesor y

la camiseta de vapor en fierro negro de 7.9mm de espesor. Los refuerzos interiores de la paila son también de fierro negro.

3.6.4 Potencia de vapor consumida por la paila

El calor absorbido por la camiseta de vapor sirve para calentar el agua en ella contenido

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta t = \dot{m} C_p (t_2 - t_1)$$

siendo :

$$\dot{m} = \frac{15,000 \text{ kgs.}}{20 \text{ min} \times 60 \text{ seg/min}} = 12.5 \text{ kg/s}$$

$$C_p = 1.0035 \frac{\text{KJ}}{\text{Kf}^\circ\text{K}}$$

$$\Delta t = 100^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 75^\circ\text{C}$$

Ebullición ambiente

Se obtiene: $Q^\circ (\text{K Watt}) = 12.5 \times 1.0035(75^\circ\text{C})$

El calor entregado por hora es de =

$$Q^\circ = 940.78 \text{ K Watts}$$

Potencia de vapor requerido:

$$Q_c^\circ = 1.05 Q^\circ = 988.0 \text{ K Watts.}$$

Flujo de calor a través de la pared del aislamiento térmico :

La camiseta a vapor de la paila posee exteriormente una capa de esbesto de 101 mm de ancho como aislamiento térmico.

De acuerdo a la referencia bibliográfica No. 19, pág. 28, el flujo de calor puede calentarse a partir de la conocida fórmula:

$$Q = \frac{KA}{L} (t_2 - t_1)$$

En este caso:

K = Conductividad térmica

A = Area sometida a transferencia de calor

L = Ancho de la pared

$(t_2 - t_1)$ = Diferencia de temperaturas a am
bos lados de la pared.

Q = Flujo de calor

Según la pág. 901 de la referencia bibliográfica 19, para el aislamiento de esbesto utilizado en las pailas se tiene:

$$K = 0.114 \frac{\text{BTU}}{\text{Hora} \times \text{pie}^2 \frac{\text{o}_F}{\text{pie}}}$$

Siendo las dimensiones de la paila 3.6 M x
2.4 m x 1.74 m.

se tiene:

$$A = (3.6 + 2.4) \times 2 \times 1.74 + 3.6 \times 2.4 \times 2$$

$$A = 38.15 \text{ m}^2 = 410.68 \text{ pié}^2$$

El ancho de la pared es:

$$L = 101 \text{ mm} = 0.33 \text{ pies}$$

Siendo:

$t_2 = 100.38^\circ\text{C}$ para $p = 15 \text{ psi}$ de las tablas
de vapor.

y $t_1 = 25^\circ\text{C}$ Temperatura ambiente

$$t_2 - t_1 = 75^\circ\text{C} = 135^\circ\text{F}$$

Reemplazando valores:

$$Q_p^o = \frac{0.114 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr} \times \text{pié}^2 (\text{°F}/\text{pié})} \times 410.68 \text{ pié}^2 \times 135^\circ\text{F}}{0.33 \text{ pié}}$$

$$Q_p^o = 19,152.62 \text{ BTU/Hora} \quad 5.61 \text{ KWatts}$$

Considerando el calor que se pierde a través del aislamiento térmico se tiene que el consumo de potencia de vapor total es de:

$$Q^{\circ} = Q_c^{\circ} + Q_p^{\circ}$$

$$Q^{\circ} = 988 + 5.61 \text{ KWatts}$$

$$Q^{\circ} = 993.61 \text{ KWatts}$$

Es la potencia de vapor requerida para mantener la cocción de la cebada.

Potencia de Vapor requerida para calentar la paila de acero

Esta potencia es la que se requiere para empezar el calentamiento en cualquiera de las pailas, considerandose que la potencia de calentamiento inicial Q_{inic} no es necesaria

en ciclos futuros de cocción, sino hasta realizar una parada de planta para su mantenimiento.

$$\dot{Q}_{inic} = \dot{m} C_p \Delta T$$

$$C_{pacero} = 70.2 \text{ KJ/K}^{\circ}\text{K}$$

$$m = A \times e = 38.15 \times 0.0063 \times 7850$$

$$m = 1,887 \text{ Kg}$$

$$t_2 = 100.38 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_1 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$A = 38.15 \text{ m}^2$$

$$T = 30 \text{ min.}$$

Luego:

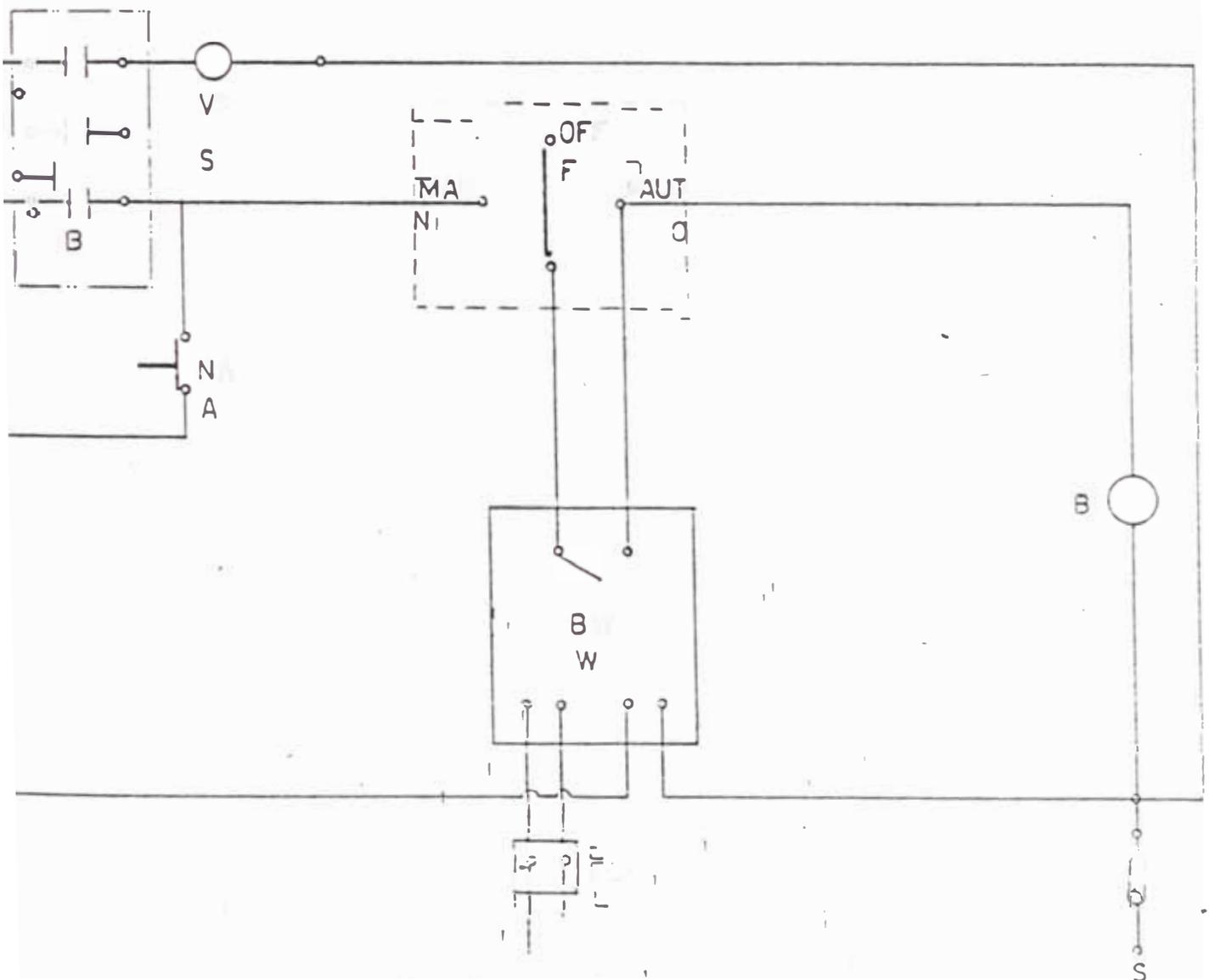
$$m = 1,887 / 1,800 = 1.048 \text{ Kg/seg}$$

$$\dot{Q}_{inic} = 1,048 \times 70.2 \times 75$$

$$\dot{Q}_{inic} = 5,518 \text{ KW}$$

3.7 DISEÑO ELECTRICO

La cervecería San Juan en Pucallpa posee una Central Termoeléctrica que genera en el sistema matriz a 380 voltios de corriente alterna, existiendo la posibilidad de obtener de estos generadores una línea neutra de 220-voltios para los sistemas de mando automáticos



ESQUEMA UNIFILAR DE MANDO

3.7.1 Selección del cable del sistema matriz

De acuerdo a la conocida fórmula:

$$\text{Pot} = V \times I \sqrt{3} \text{ Cos } \phi$$

Donde :

V = Voltaje

I = Corriente

Cos ϕ = Angulo desfasaje

Pot = Potencia del motor eléctrico

Se deduce que:

$$I = \frac{\text{Pot}}{V \sqrt{3} \text{ Cos } \phi}$$

reemplazando valores :

$$I = \frac{4.8 \text{ HP} \times 745 \frac{\text{Watts}}{\text{HP}}}{380 \text{ Volts} \times 1.7321 \times 0.9}$$

$$I - 6.0 \text{ Amperios}$$

De acuerdo al manual de INDECO el alambre No. 14 AWG - TW es apto para trabajar hasta con 15 amperios por lo tanto, hemos seleccionado este tipo de cable el cual es muy utilizado en nuestro medio.

3.7.2 Selección del Sistema de Mando

Para el motor de la bomba se ha utilizado un sistema de relay térmico y contactor marca Telemecanique de 4.0 KWAT de Potencia a 380 voltios (trifásico) con un sistema de botonera de arranque y parada y fusibles de protección en la línea de entrada de corriente, modelo LCI - D093.

Para el sistema de mando de la válvula de solenoide, se ha seleccionado un relé controlador de nivel electrónico BW tipo 50 - 201 de alta sensibilidad, operación inversa de 12.5- $M\Omega$ y 0.1 Faradios; siendo la válvula a solenoide del tipo automático normalmente cerrada, con tubería de 50.8 mm para 220 voltios del modelo ASCO.

Para el control del nivel en el tanque de almacenamiento de agua, se ha concluido el uso de un conmutador de 3 vías que permite la operación manual y automática del nivel del tanque. Se anexa al final de esta tesis, los planos de instalaciones eléctricas unifilar y de conexiones del sistema, indicándose también en el capítulo No.4, el listado exacto de los materiales

eléctricos requeridos para la instalación.

IV

EVALUACION ECONOMICA

4.1 LISTADO Y COSTO DE MATERIALES: (En Dólares Americanos)

4.1.1. PLANCHAS : (NORMA ASTM A 32)

Cantidad	Material	Espesor	Dimensiones	Costo Unitario	Costo Total US \$
8	Fierro	6.35mm	1220 x 2440	280	2240
1	Fierro	25.4 mm	1220 x 2440	1120	1120
1	Fierro	7.94mm	1220 x 2440	350	350
8	Fierro	4.9 mm	1524 x 3048	341	2728
	Fierro	3.2 mm	1220 x 2440	140	140

TOTAL DE PLANCHAS: 6578

4.1.4 ANGULOS : (En Dólares Americanos)

Canti dad	Material	Dimensio nes	Espe sor	Precio Unita- ri	Cost Total
3	Fe negro	50 x 50	4.76	86	258
TOTAL DE ANGULOS .					258

4.1.5 PERNOS : (En Dólares Americanos)

Canti dad	Material	Dimensiones	Precio Unita- rio	Costo Total
72	ASTMA 240	15.8 Ø x 140 mm	6	432
120	ASTM 240	11.1 Ø x 31.75 mm	3.2	384
32	ASTM 240	11.1 Ø x 25.4 mm	2.8	89
TOTAL DE PERNOS :				905

4.1.6 EMPAQUETADURAS : (En Dólares Americanos)

Canti- dad	Material	Dimensiones	Precio Unita- ri	Costo Total
3 m	Nitrilo	1m x 3m x 4.76mm	59	177
2 m	Caucho	1m x 2m x 3.2 mm	28	56
TOTAL DE EMPAQUETADURAS:				233

4.1.7 ACCESORIOS : (En Dólares Americanos)

Canti- dad	Descripción	Dimensiones	Precio Unita- rio	Costo Total
1	Tubo PVC 305mm	305Øx6,000 long x	120	120
5	Manómetros Wika de bronce	114mm Ø x 40 PSI	35	175
1	Parri la para - poza e sálmue- ra.	1088 m x 69.5 m	305	305
28	Válvulas de PVC marca BAGDAD (USA)	50 mm Ø x 125 PSI	80	2,240
1	Bomba ra.	4.8 HP	1,250	1,250
25	Tubería PVC Cla se 10	50.8 mm x 6,000	58	1,450
48	Codos PVC Clase 10	50.8 mm x 125 PSI	23	1,104
<u>39</u>	<u>TRES PVC Clase 10</u>	<u>50.8 mm x 125 PSI</u>	<u>23</u>	<u>6</u>
TOTAL ACCESORIOS:				7,580

4.1.8 MATERIALES DE ALBAÑILERIA: (En dólares meri-
ricanos)

<u>Canti</u>	Descripción	Carac- terís- tica	Precio Unita- rio	Cost Total
12	Sacos de cemento	94 lbs.	4	48
500	Ladrillos	King Kong	0.3	150
20	Varillas Fe co- rrugado.	1/2"	19	38
3	Sacos impermea- bilizantes	CIKA	65	195
TOTAL ALBAÑILERIA :				77

4.1.9 MATERIALES ELECTRICOS: (En Dólares Americanos)

Canti dad	Especificación		
2	Fusible 15 amps 220 Volts pastilla	5	10
3	Fusible 380 volts 10 Amps Tiro Cartucho	6	18
1	Botonera de arranque 220 Volts 60 Hz 15 A	5	5
1	Botonera de parada 220 Volts 15 Amps	5	5
1	Motor bomba de salmuera Trifás. 4.8 HP-3600 RPM - 380 Volts	620	620
1	Conmutador manual de tres vías 220 Volts, 15 Amps, telemechanique	25	25
1	Contactador 220 Volts, 6 Amps, 60 H ₃	85	85
1	Contactador 380 Volts, 4 Kwatts, 60 H ₃	102	102
1	Electrodo de nivel tipo BW ti po 50 - 201 220 Volts, 60 H ₃ , Amps.	210	210
1	Relay de control de nivel BW 220 Volts, 60 H ₃ , 6 Amps.	324	324
1	Interruptor trifásico 380 Volts, 15 Amps, cuchilla	285	285
1	Rollo de alambre 14 AWG - TW	190	190
30	Metros de alambre No. 8 AWG - TW	2	60
1	Válvula asolenoide normalmente cerrada de 50.8 mm Ø 220 Volts modelo de asco ara a ua	429	429
TOTAL MAT. ELECTRICOS:			2,468

4.1.10 CONSUMIBLES: (En Dólares Americanos)

Canti dad	Especifi cación	Precio Unita- rio	Costo Total
0 kg.	Soldadura AWSE 6012	5.08	203
0 Kg.	Soldadura AWSE 7018	5.26	421
4	Botellas de Oxígeno	25	100
1	Botella de Propano	10	10
3	Discos de esmeril	4	12
2	Cajas de pintrua Fast Gar	85	170
3	Galones thiner fuerte	24	72
1/4	Aceite SAE 30	2	2
TOTAL CONSUMIBLES :			990

COSTO TOTAL DE MATERIALES

21,076

4.2 COSTO DE SERVICIOS: (En Dólares Americanos)

Descripción	Cantidad	Precio Unita- rio	Costo
- Servicio de rolado de plancha	4,820 kgs.	0.95/kg.	4,579
- Servicio de torneado	40 horas	8 US\$/h	320
TOTAL DE SERVICIOS			4,899

4.3 COSTO DE MANO DE OBRA: (En Dólares americanos)

El período de trazado, corte, soldado, pulido, montaje y pintado de los elementos de la planta se establece en un límite de tres meses, trabajando las siguientes personas:

Cargo	No. Personas	Pago Mensual Total
- Ingeniero mecánico	1	350 *
- Dibujante	1	200 *
- Trazador - calderero	2	400
- Soldador - cortador	2	420
- Tubero	2	380
- Ayudantes	2	280
- Electricista	1	240
TOTAL MANO DE OBRA MENSUAL :		2,270

MANO DE OBRA TOTAL (x 3 meses) = 6,810

4.4. COSTO TOTAL: (En Dólares Americanos)

* En este cuadro de remuneraciones, se ha considerado que el Ingeniero Mecánico y el Dibujante, trabajan a medio tiempo c/u.

DESCRIPCION	CANTIDAD US \$
COSTO DE MATERIALES	21,076
COSTO DE SERVICIOS	4,899
COSTO DE MANO DE OBRA	6,810
GASTOS ADMINISTRATIVOS (1% Costo)	328
GASTOS FINANCIEROS (2% Costo)	656
IMPREVISTOS (5% Costo)	1,639
 C O S T O T O T A L : US	 <u>35,408</u>

4.5 BENEFICIO ESPERADO:

La construcción de la planta desalcalinizadora, tuvo como objetivo el mejorar el sabor de la cerveza para lograr un mayor consumo a través de una significativa elevación de la calidad de la cerveza.

Suponiendo que esta acción logre incrementar las ventas en un 10% luego de un año, se estaría incrementando ingresos en aproximadamente novecientos ochenta mil dólares anuales, con

lo cual se espera que esta mejora tecnológica -
revierta en un incremento de utilidades anual -
de quinientos cincuenta mil dólares.

Sin embargo, los resultados exactos de la
instalación de la planta se medirán luego de -
transcurrido por lo menos un año en el cual se
podrá evaluar en términos reales el efecto de
esta mejora sobre el público consumidor.

Para efecto de un estimado teórico de los
resultados del proyecto, puede considerarse que
el beneficio esperado por la empresa, es de -
0.5 US\$ de utilidad por cada dólar de venta, con
un incremento de venta nacional del orden del
millón de Dólares Americanos Anuales.

Tal como se indicó al inicio, la relación en
tre el contenido de CaCO_3 y las ventas está de-
terminada por el sabor y la calidad de la cerve-
za.

Una estandarización del sabor y calidad pue-
de incrementar las ventas en valores mucho más
grandes al 10% dependiendo de factores como son
la publicidad, el cambio de hábitos de consumo,
el área geográfica, la estacionalidad, etc.

Es importante señalar que el lograr acercar la composición química y calidad a la cerveza alemana , y a los estándares internacionales, puede favorecer un incremento de las exportaciones de este producto.

Considerando un tiempo de vida útil de la planta desalcalinizadora de 20 años y estimando un interés anual del 15% sobre el costo de la inversión, tendremos que para el primer año el cual resultaría ser el más crítico (Costo financiero alto) la planta costará por año:

$$\text{Costo Anual} = \frac{\text{Costo Total}}{\# \text{ Años}} + \frac{\text{Interés (Costo x 0.15)}}{1^{\text{er}} \text{ Año}}$$

$$\text{Costo Anual} = 35,408/20 + 35,408 \times 0.15$$

Costo Anual = 7,081.6 USD

Por lo tanto si se espera una utilidad neta anual adicional de quinientos cincuenta mil USD, el costo anual de la inversión proyectada sería recuperada en 4.6 días, justificandose ampliamente la inversión en este proyecto.

V

C O N C L U S I O N E S

- En la presente tesis se presenta un método de diseño para una planta desalcalinizadora, que pudiera hacerse extensivo para otras plantas de diferentes capacidades a la calculada.
- La resina seleccionada, DOWEX SAR es la más apropiada de las existentes en el mercado para desalcalinización de agua, ya que evita la manipulación de ácidos para su regeneración, lo cual conlleva al diseño de equipos más económicos y de menor riesgo para el operador de planta.
- La utilización de plantas desalcalinizadoras y torres de intercambio iónico en general posibilita-

- una estandarización del sabor de la cerveza, porque permite uniformizar la composición química del agua de cocimiento de la cebada.
- Este trabajo constituye un estudio de investigación llevado a la práctica, en relación con la tecnología de desalcalinización por intercambio iónico, utilizando componentes, materia prima y mano de obra, totalmente nacionales.
 - La resina empleada en el proceso de desalcalinización no genera desperdicios tóxicos y su procedimiento de desecho industrial no requiere regulaciones especiales para el control de contaminación del medio ambiente por cuanto es un producto biodegradable.
 - Para eliminar la dureza del agua utilizada en la Cervecería San Juan S.A. en Pucallpa (183 p.p.m. de CaCO_3) con un requerimiento de 120 Gal/min. de consumo de agua de proceso, se requiere de 2 torres de intercambio iónico de una capacidad de almacenamiento de resina de 20 pies cúbicos cada una, con procesos de regeneración cada 12 horas.
 - Cada torre de intercambio iónico posee un diámetro de 952 mm y una altura de 2,190 mm. y tiene 37 to

beras, con un espesor de pared de plancha de acero comercial SIDER PERU A -32 de 6.3 mm. (1/4") de espesor.

- La soldadura recomendada tanto para las torres de intercambio iónico como para el tanque de almacenamiento es aplicada con extremos biselados en "Y" a 60° y un espesor total de cordón de 6.3mm aplicado en tres pases de electrodo:
 - La primera pasada con electrodo AWS - 6011 (CELLOCORD)
 - La segunda pasada con electrodo AWS - 7018 (SUPERCITO)
 - La tercera pasada con electrodo AWS - 6012 (OVERCORD M)

- La bomba de agua utilizada debe permitir un alto porcentaje de contenido de sólidos durante la regeneración con salmuera.

- La pintura anterior seleccionada, POXILAC - GAR de Fast, es resistente a la salmuera y a la soda (Na OH) constituyendo un revestimiento interior de buena calidad, bajo precio y un tiempo de vida estimado de 20 años de trabajo, siempre y cuando su aplicación sea de acuerdo a las normas establecidas.

- La bomba de agua debe ser de 4.8 HP, 380 voltios-trifásica, con un revestimiento interior resistente a la salmuera siendo del tipo autocebante y entrega hasta 60 gal/min. de caudal a una presión de 80 PSI máxima; siendo la presión nominal de 40 PSI.
- El volumen de la poza de salmuera, es de por lo menos el triple del volumen de la resina utilizada en las torres; en este caso la profundidad es de un metro, el ancho de 0.8 mt. y la longitud de 2.7 mts.
- Las tuberías y válvulas seleccionadas son fabricadas en "PVC" rígido de la clase No. 10, de 50.8mm de diámetro y de una resistencia de hasta 145 PSI de presión.
- El volumen del tanque de almacenamiento es de 16,500 Lts., con un espesor en el fondo de 6.3 mm y un peso estimado vacío de aproximadamente 3,500 kgs., siendo el diámetro del tanque de 1.95 mts. y la altura lateral de 5,334 mm.
- La planta desalcalinizadora permite suministrar agua a las 4 pailas de cocimiento de 15,000 lts. de capacidad cada una, las 24 horas del día.

- Para el control automático del nivel en el tanque de almacenamiento, se ha utilizado un reloj-electrónico tipo BW, el cual acciona una válvula de solenoide normalmente cerrada ubicada en la tubería de entrada al tanque de almacenamiento.

- El costo de fabricación de esta planta es de aproximadamente de 35,000 Dólares Americanos . Dependiendo el beneficio esperado de la aceptación por parte del público consumidor del nuevo sabor y calidad de la cerveza, siendo el período mínimo requerido para evaluar objetivamente los resultados de un año.

B I B L I O G R A F I A

1. WATER CONDITIONING MANUAL,
DOWEX ION EXCHANGE RESINS, THE DOW CHEMICAL COMPANY. 1974, 1981, 1985.
2. DISEÑO DE SISTEMAS DE TUBERIAS,
WILLIAM F. MANRIQUE V., BOLETINES 1, 2 y 3 EDICIONES POPULARES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (1979).
3. CENTRALES DE VAPOR,
G.A. GAFFERT, EDITORIAL REVERTE S.A., 1975. Pág. 274 a 282.
4. MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO,
JOHN H. PERRY, TOMO II, Talleres de Impresora y Litografía Azteca S.A., Mexico 1,976, Pág. 1,913

5. **TERMODINAMICA,**
VIRGIL MORING FAIRES, UNION TIPOGRAFICA EDITO -
RIAL HISPANO AMERICANA. Págs. 774 a 783.
6. **MANUAL DE SOLDADURA,**
OERLIKON, 1985.
7. **V CONIMERA 1977, DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESION,**
VICTOR SANCHEZ MOYA.
8. **ELEMENTOS DE RESISTENCIA DE MATERIALES,**
S. TIMOSHENKO / D.H. YOUNG, EDITORIAL MONTANER
Y SIMON, S.A. Pág. 52.
9. **MANUAL DE BOMBAS,**
IGOR J. KARASSIK Y OTROS, EDITORIAL MC GRAW -
HILL, 1976, Capítulo 12.
10. **REGLAS Y RECOMENDACIONES PARA DISEÑO Y CONSTRUC
CION DE GRANDES TANQUES SOLDADOS PARA ALMACEN JE
A BAJA PRESION,**
AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE N° 620, 1979.
11. **CATALOGO INTERNACIONAL TELEMECANIQUE PARA SELEC
CION DE DISPOSITIVOS ELECTROMECHANICOS, 1980.**
12. **BOMBAS - SU SELECCION Y APLICACION,**

TYLER G. HICKS, COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL ,
Capítulo 17.

13. MANUAL DE CLASIFICACION DE EMPAQUETADURAS CHES -
TERTON, 1980.
14. MANUAL DE FAJAS,
DAYCO RUBBER Co.
15. DISEÑO DE MAQUINAS,
HALL Y OTROS, MC GRAW HILL, 1975. Cáp. 27.
16. CONSEJOS PARA LA UTILIZACION DE MOTORES ELECTRI-
COS, Antonio Ferrecio Nosiglia, Editorial Libuni,
Lima 1,960.
17. RESISTENCIA DE MATERIALES, Seely-Smith, Editorial
Uthea, 1,974.
18. PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS, A.S.Foust y
otros autores, Editorial C.E.C.S.A. Barcelona -
España, 1,975.
19. PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Donald Q. Kern
Editorial C.E.C.S.A. Barcelona, 1,974.

20. MANUAL DEL INGENIERO MECANICO, Marks Yionel Si-
meon, Editorial "Mechanical Engineers", Handbook
4ta Edición - New York - Mc Graw Hill, 1,941

21. Manual del onstructor de Máquinas, H. Dubbel,
Editorial Labor S.A. Barcelona, España 1,975.