

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**SELECCION DE ABLANDADORES DE AGUA
PARA UNA NECESIDAD DE VAPOR DE 1100
GPH Y DUREZA DISPONIBLE DE 400 PPM DE
 CaCO_3**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

Jorge Luis Guizado Cortez

Promoción 1985-I

2005

INDICE

Prólogo	1
Capítulo I	
Introducción	2
Capítulo II	
Teoría de ablandamiento de agua:	3
2.1 Breves nociones	3
2.2 Dureza del agua	5
2.3 Aplicaciones del agua blanda	7
2.3.1 En la alimentación de calderos	7
2.3.2 Para la tintorería	9
2.3.3 Para la lavandería	9
2.3.4 Para la industria alimenticia	9
2.4 Unidades para la denominación de la dureza	10
2.5 Equivalencias importantes	10
2.6 Método para determinar la dureza del agua	12
2.6.1 Método para determinar los sólidos totales	12
2.6.2 Método de la solución estándar de jabón	12
2.6.2.1 Factor de espuma	14
2.7 Problemas en calderos causados por el agua	14
2.8 Tratamiento interno de la dureza en los calderos de vapor	17

2.8.1 Agentes químicos y reacciones	17
2.8.2 Aditivos orgánicos	23
2.8.2.1 Agentes orgánicos dispersantes	23
2.8.2.2 Agentes orgánicos coagulantes	25
2.9 La incrustación silícea	25
2.10 Espumaje y arrastre	26
2.10.1 Causas del arrastre	26
2.10.2 Espumaje	27
2.11 Agentes químicos	29
2.12 Las purgas del agua de las calderas	30
2.13 Retorno del condensado a la caldera	34
Capítulo III	
Metodología de ablandamiento:	36
3.1 Hirviendo el agua	36
3.2 Ablandamiento con hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y carbonato de sodio (Na_2CO_3)	36
3.3 Ablandamiento por intercambio iónico	38
3.3.1 Equipo para intercambio de iones	39
3.3.2 Ciclo de funcionamiento del ablandador	42
3.3.3 Arquitectura	43
3.4 Osmosis inversa	43
3.5 Selección del método de ablandamiento a emplearse	45

Capítulo IV

Características del ablandamiento por intercambio iónico	48
4.1 Capacidad de intercambio	48
4.2 Capacidad de flujo	48
4.3 Dureza del agua	48
4.4 Descripción de funcionamiento	49
4.4.1 Ablandamiento	49
4.4.2 Regeneración	49
4.4.3 Lavado	49
4.4.4 Instalación	50
4.5 Contenido del reactor y tanque de salmuera	51
4.6 Puesta en funcionamiento y regulación	51

Capítulo V

Consideraciones técnicas:	55
5.1 Situación de la fábrica.	55
5.2 Consideraciones para la selección de la mejor alternativa	56
5.2.1 Materiales a emplearse. Lewatit S100 Bayer	56
5.2.2 Selección a la mejor alternativa (datos de capítulo VI)	57

Capítulo VI

Selección óptima:	59
6.1 Diseño del ablandador y Regenerador	59
6.1.1 Del agua - Datos técnicos	59

6.1.2 Propiedades de la resina	59
6.1.3 Capacidad de intercambio iónico	60
6.2 Diseño del ablandador	60
6.3 Diseño del tanque regenerador	61
6.4 Diseño mecánico de los tanques	64
6.4.1 Tanque reactor	64
6.4.1.1 Tapas	64
6.4.1.2 Cuerpo central	65
6.4.2 Tanque regenerador	66
6.5 Selección de las tuberías de la instalación	67
6.6 Selección de la cantidad de toberas plásticas	68
6.7 Diseño de tapas bombeadas	68
6.8 Tiempo de regeneración para cada reactor	70
6.9 Selección Económica	71
6.10 Pro forma de los ablandadores seleccionados.	72
CONCLUSIONES	75
TABLAS	77
BIBLIOGRAFIA	78

PROLOGO:

La planta industrial dedicada a la elaboración de productos lácteos ubicado en la ciudad de Arequipa, debido al incremento de su capacidad productiva requirió con urgencia, aumentar el suministro de agua para sus calderos por lo cual cambió los ablandadores que poseía por otros de mayor capacidad y así satisfacer la demanda.

Justamente el presente informe de suficiencia trata de tal situación y para ello es conveniente su desarrollo estructurándolo de la siguiente manera: Teoría de ablandamiento de agua; Metodología de ablandamiento; Características del ablandamiento por intercambio iónico; Consideraciones técnicas y selección óptima abarcando los diseños respectivos.

CAPITULO I

INTRODUCCION

El presente informe de suficiencia tiene por finalidad aportar conocimientos del tema, siendo caso específico de un sistema de ablandamiento de aguas muy usadas para la alimentación de agua para las calderas.

Exponiendo un estudio sobre la sustitución de la planta de ablandamiento de agua que se encuentra trabajando, ya que actualmente requiere de mayor capacidad de alimentación, debido al incremento de su producción.

Así mismo la importancia del tratamiento de agua para diversos propósitos, es reconocida desde hace mucho y ha adquirido mayor énfasis en los últimos tiempos, desarrollando sistemas más eficientes y económicos.

El ablandador, parte principal del presente trabajo, va a disponer de agua que llega a tener un promedio de 400 ppm de CaCO_3 de dureza y la capacidad de agua requerida es de 1 100 GPH. con proyección a 10 años.

CAPITULO II

TEORIA DE ABLANDAMIENTO DE AGUA

2.1 Breves nociones

El agua a simple vista parece pura y buena, pero sometida a un análisis químico, siempre contiene impurezas. El agua en forma de lluvia mantiene su forma pura, pero al entrar en contacto con los ríos, lagos y al filtrarse en la tierra absorbe y disuelve una variedad de materiales que pueden mantenerse en suspensión y también en forma disuelta.

Las aguas que circulan por las calderas, otros sistemas de generación, sistemas de enfriamiento y otros procesos, pertenecen al grupo de las llamadas aguas industriales.

En principio, la composición química del agua industrial es muy variable dependiendo de su origen (superficial, subterránea, etc). Cualquiera que fuera la fuente de abastecimiento, el agua poseerá diversos contenidos de sustancias químicas en suspensión y solución, las cuales en un momento determinado, dada la condición de trabajo de los equipos (vapor sobrecalentado, elevadas presiones, etc.) hacen que estas sustancias corroan las paredes externas y se depositen formando una capa aislante

térmica que evita que se conduzca la totalidad de calor, y que en condiciones críticas puede llegar a grandes pérdidas económicas y tanto más grave el hecho circunstancial de que las instalaciones puedan explotar.

El tratamiento adecuado de cada planta se determina mediante un minucioso estudio de todos los factores, tales como, la facilidad con que pueda obtenerse las sustancias químicas, su costo, los resultados que puedan esperarse, la inversión inicial, la habilidad de la mano de obra de la localidad para hacerse cargo de la operación del equipo, el espacio disponible, la condición del agua en cuanto a limpieza y turbidez y otros factores más.

El ablandamiento es una etapa del tratamiento de agua, por ejemplo, para tratar el agua de calderos se sigue las siguientes etapas:

- Eliminación de los materiales que producen incrustaciones.
- Eliminación del sílice, para evitar incrustaciones de sílice y depósitos en las turbinas.
- Eliminación del oxígeno y otros gases no condensables para inhibir la corrosión.
- Eliminación del aceite del vapor condensado.
- Control de la condición química en la caldera .
- Reducción y control de la concentración de la cantidad de sólidos disueltos y suspendidos en el agua. Justamente desarrollaremos esta

última etapa que se la conoce con el nombre de ablandamiento, la cual consiste en eliminar alcalinidad del agua, sales de calcio y de magnesio. Cuando el agua disponible y la cantidad de sólidos que contiene es mínima (arena, óxido de fierro, arcilla, etc.) se recomienda un ablandador de intercambio iónico, manual o automático para ablandar el agua, junto con un calentador desaereador para eliminar el oxígeno.

Últimamente para calderas de presiones elevadas y de alta capacidad se usa agua destilada, especialmente cuando la cantidad de agua de reposición es pequeña.

2.2 Dureza del agua

Se denomina agua dura, al agua que presenta sales de magnesio y de calcio principalmente que son no visibles a simple vista. Considerando las diferentes impurezas que contiene el agua las cuales son de múltiples formas y características se pueden dividir en:

- a) Sales minerales en solución, estas consisten en bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos en forma de calcio, magnesio, sodio o potasio.
- b) Sólidos en suspensión o turbidez; como la arena, el óxido de fierro, arcilla o grava, etc.
- c) Gases disueltos: como el oxígeno, el bióxido de carbono, el nitrógeno, el hidrógeno sulfurado, metano, etc.
- d) Materiales Orgánicos: como micro-organismos de tipo animal y vegetal, aceites, etc.

Todas las aguas naturales sea cual fuere su procedencia, tienen algunas de estas impurezas indicadas. Nuestro país, por la irregular configuración de su territorio, presenta una amplia variedad de calidades de agua; se presentan grados de durezas (expresados en términos de carbonato de calcio) que varían desde 60 ppm. hasta 1 500 ppm. razón por la cual el diseño del ablandador para una determinada zona debe ser de acuerdo a una análisis del agua de la localidad y los volúmenes del agua a tratar, para obtener resultados satisfactorios para las necesidades de la industria.

La tabla I señala a los tipos de dureza.

DUREZA	DENOMINACION
0 – 71,5	Muy blanda
71,5 – 143	Blanda
143 – 215	Semi dura
215 – 322	Bastante dura
322 – 535	Dura
535 a más	Muy dura

TABLA I.- TIPO DE DUREZA

Tabla tomada del libro de HUTE (Pág. 1081 tomo 1)

2.3 Aplicaciones del agua blanda

2.3.1 En la alimentación de calderas

Cuando la caldera es alimentada con agua dura, se forman en el interior de su superficie (tubos y placas) depósitos calcarios de gran dureza que se los llaman comúnmente "Caliche", esta formación es la responsable de la pérdida de eficiencia de la caldera y por consiguiente el aumento del consumo de combustible, llegando hasta 10% más de lo normal.

El aumento considerable de temperatura por recalentamiento del metal, reduce la vida de la caldera y muchas veces ocasiona serias explosiones. Los calderos son básicamente intercambiadores de calor transfieren energía térmica de combustibles como el petróleo, carbón, etc. El agua le da para convertirla en vapor y así poder transportar el calor y usarlo directamente o indirectamente con la mayoría de los procesos industriales y otras actividades, tales como plantas de fuerza, buques, locomotoras, hospitales, etc.

Los calderos pueden ser clasificados, de acuerdo a la relación agua/gas de combustión y según su presión operativa. Si el agua circula dentro de los tubos del caldero y los gases de combustión "golpean desde afuera" a los tubos, el caldero se llama **Acuo tubular** el agua es mantenida en dos o más tambores o recipientes lo mismo que el vapor producido, es almacenado en un domo.

La circulación del agua puede ser natural o forzada. Por el contrario si los gases de combustión van a circular dentro de los tubos, el caldero se llama **Piro tubular**, el agua ebulliciona fuera de los tubos y es retenida por la misma carcaza del caldero a manera de gran recipiente, los calderos pueden ser de uno y hasta cuatro pasos. Indudablemente que las diferencias estructurales de cada uno son grandes y el comportamiento del agua y sus impurezas es diferente.

El tratamiento del agua en calderos Acuo tubulares es más crítico por muchas razones: los sedimentos dentro de los tubos pueden ocasionar la interrupción del agua y aumentar la presión en el caldero y hacerlo explotar y los Acuo tubulares generalmente trabajan con presión de medias a elevadas más de 3 200 psi en casos especiales.

Se puede en términos generales, que los calderos piro tubulares trabajan con presiones que raramente pasan de las 250 psi; arriba de 250 psi los calderos que se construyen son los acuo tubulares.

En la medida que los calderos aumentan su presión, en la misma proporción se incrementa la estrictez del tratamiento de agua, hasta llegar usarse en equipos súper críticos, agua prácticamente destilada o desmineralizada con apenas unos cuantos ppm de sólidos totales, según tabla II.

Baja presión	Hasta 200 psi manométrica
Presión intermedia	201 a 500 psi “
Alta presión	501 a 2 000psi “
Muy alta presión	2 001 a 3 200psi “
Presión supercrítica	Más de 3 200psi “

TABLA II.- CLASIFICACION CONVENCIONAL DE CALDEROS SEGÚN SU PRESION OPERATIVA

2.3.2 Para la tintorería

En el teñido, la importancia del agua es decisiva. El agua de baja dureza es recomendable para teñir el algodón, lana, seda, fibra sintéticas; el empleo de agua blanda produce colores más vivos y duraderos en el teñido, asimismo en el acabado final de las telas.

2.3.3 Para las lavanderías

Generalmente las lavanderías usan agua blanda para obtener calidad en el lavado. La ropa y demás fibras lavadas con agua blanda no requieren de mucho manipuleo y además reduce el consumo de jabón en gran porcentaje, siendo el uso de agua blanda ampliamente justificable.

2.3.4 Para la industria alimenticia

El uso de agua blanda en la industria alimenticia es básico, especialmente en los productos enlatados, así como en las bebidas

de todas sus formas. Se ha comprobado que las bebidas tratadas con agua blanda producen una sensación de suavidad y placer en el paladar. En general, el agua blanda es recomendada en todos los procesos industriales, así como institucionales, en donde se quiere obtener resultados con productos de calidad.

2.4 Unidades para la denominación de la dureza

La dureza del agua generalmente se refiere al contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) a las sales de magnesio y otros componentes de calcio, de los cuales se hace su equivalencia respectiva para indicarlo como dureza total en términos de carbonatos de calcio. La dureza de agua puede expresarse en:

- Miligramos por litro..... (mg/L)
- Partes por millón..... (ppm)
- Granos por galón..... (gpg)
- Grados alemanes..... (dA°)
- Grados franceses..... (dF°)
- Grado inglés..... (dI°)

En algunos países se indica la dureza del agua en términos de cal viva (CaO), expresándola en grados alemanes.

2.5 Equivalencias importantes

Ver tabla III,

<p>1° dA (Grado alemán)</p>	<p>1,79° dF 1,25° dl 17,9 ppm CaCO₃ 15,00 ppm MgCO₃ 1,047 granos / US Gal. 10 mg. CaCO₃ / L Agua</p>
<p>1° dF (Grado Frances)</p>	<p>0,558° dA 0,698° dl 17,9 ppm CaCO₃ 8,4 ppm MgCO₃ 0,584 granos/ US Gal 14,3 mg CaCO₃/ L agua</p>
<p>1° dl (Grado Inglés)</p>	<p>0,8° dA 1,43° dF 14,32 ppm CaCO₃ 12,00 ppm MgCO₃ 0,837 granos/US Gal 14,3 mg CaCO₃/ L agua</p>
<p>1 ppm (Partes por millón de CaCO₃)</p>	<p>1 mg/L 0,058 granos/US Gal 0,1° dF 0,07° dl 0,84 ppm MgCO₃ 0,055 dA</p>
<p>1 Grano/Gal (Unidad Americana)</p>	<p>17,1 ppm CaCO₃ 14,36 ppm MgCO₃ 17,1 mg/ L 0,95° dA 1,19° dl</p>

TABLA III.- EQUIVALENCIAS IMPORTANTES

2.6 Métodos para determinar la dureza del agua

2.6.1 Método para determinar los sólidos totales

A continuación se indica uno de los métodos más fáciles y económicos para determinar los sólidos totales. En un recipiente en forma de plato con una capacidad entre 125 y 150 cm³, el cual ha sido pesado previamente, se colocan 10 cm³ de la muestra de agua, se procede a evaporar lentamente, hasta que el agua desaparezca. Colocar el recipiente con el residuo en un sistema de enfriamiento y luego pesar el recipiente con el residuo el incremento en peso, expresado en miligramos y multiplicado por 10 es igual al total de sólidos en ppm. los sólidos en suspensión, pueden ser determinados por la diferencia entre el total de sólidos de una muestra de agua evaporada y el total de sólidos de agua evaporada que haya sido filtrada previamente, los sólidos disueltos totales también se pueden determinar por medio de hidrómetros.

2.6.2 Método de la solución estándar de jabón

Con el objetivo de obtener resultados que puedan reproducirse, las muestras de agua deberán llevarse al mismo valor de pH (aprox. 8,3) la muestra de agua deberá estar entre 15 y 38°C. Las sustancias que contienen cantidades apreciables de materia en suspensión deberán sedimentar y filtrar hasta que quede clara.

Para ajustar el pH, se tomara 50 ml de la muestra que se va a probar en un frasco de vidrio transparente, dotado de un tapón, agregar

fenolftaleína, para ajustar el pH se lo hace con hidróxido de sodio y ácido sulfúrico.

A la muestra de agua de 50 ml con el valor de pH ajustado, agréguese la solución estándar de jabón por medio de una bureta, en 0,2 ml cada vez, cerrar el recipiente y agitar vigorosamente. Cuando empiece a formarse una espuma permanente, redúzcase los incrementos de solución a 0,1 ml hasta que con una agitación posterior la capa de espuma persista sobre la superficie por un período de 5 minutos, en este momento el recipiente deberá dejarse en reposo y en posición horizontal, para que la espuma tenga más área y deberá anotarse los ml de la solución estándar de jabón usados.

Cuando se llega a este punto deberá hacerse la prueba para el punto final falso, agregando 0,2 ml de solución de jabón y agitando sí la espuma desaparece la valoración deberá continuarse hasta el punto final, que nos indicará la dureza total en términos de CaCO_3 . El punto final falso, nos indica la presencia de sales de magnesio (dureza temporal en términos de CaCO_3).

Resultados:

$$D = (J - J_e) \times F \dots \dots \dots (2.1)$$

Donde:

D = dureza total en ppm de CaCO_3

J = ml de solución de jabón empleado

Je = ml del factor de espuma

F = factor de dureza (20)

2.6.2.1 Factor de espuma

El factor de espuma se determina añadiendo 0,05 ml de solución estándar de jabón, cada vez a una muestra de 50 ml de agua destilada, hasta que forme una espuma estable que persista por más de 5 minutos, después de agitarlo el número de ml nos indica el factor de espuma que suele cambiar por lo que hay que comprobarse cada cierto período.

2.7 Problemas en calderos causados por el agua

La utilización de aguas industriales, en los calderos ocasionan diversos problemas, los más comunes son los que se detalla a continuación: sedimentos de incrustación, lodos en exceso, corrosión general, picaduras, arrastres y espumaje, fragilidad cáustica sedimentos en línea de alimentación y calentadores, purgas inadecuadas y aceite carbonizado. Si analizamos la figura 1, vemos que estos se pueden agrupar en tres principales: arrastre, incrustaciones y corrosión, los que a su vez causan otros.

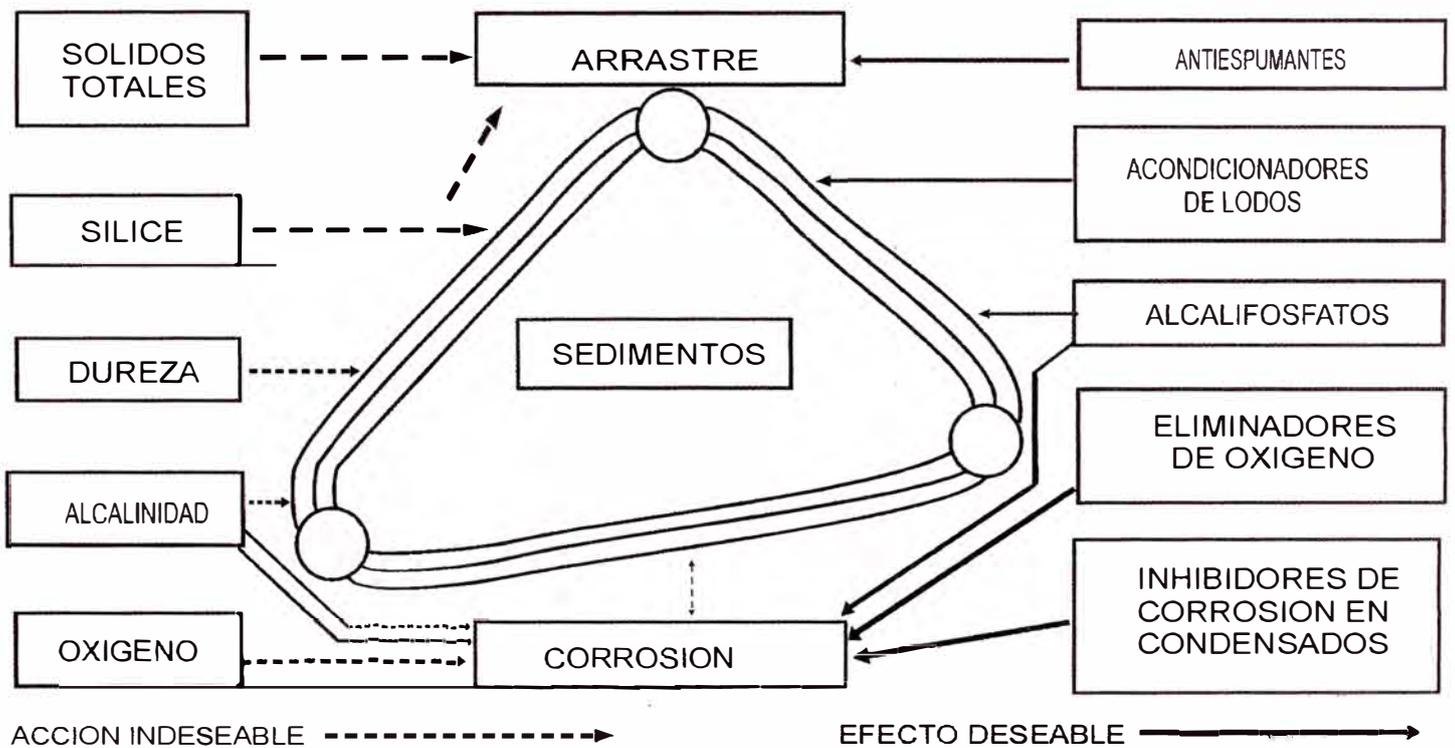


FIGURA 1.- CAUSAS, PROBLEMAS Y SOLUCIONES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS, EN EQUIPOS GENERADORES DE VAPOR (CALDERO)

Se puede decir que los sedimentos son de dos tipos: sedimento en los tubos de calderos causados por calor como las incrustaciones y sedimentos en forma de lodo que precipitan en el fondo del caldero, causando problemas de purgas y otros.

La interacción de las causas es muy clara; lo mismo se ve en los agentes químicos correctores o solucionadores de estos problemas. El tratamiento de agua debe ser lo suficiente balanceado para resolver y prevenir daños y también para no causar problemas posteriores. Dicho en lenguaje popular “para que el remedio no sea peor que la enfermedad”.

La principal causa de los problemas en equipos generadores de vapor es la incrustación, que es la sedimentación de la dureza del agua de alimentación de los calderos, dureza que es natural y común en todas las aguas llamadas dulces y aún potables (aguas de los ríos, pozos, lagos, etc.), o sea la formación de capas más o menos porosas de sustancias tales como el sulfato de calcio, el carbonato de calcio, lo mismo con otras sales de magnesio de sílice precipitada y otras que alteran el normal funcionamiento de los calderos. Los principales daños son los siguientes:

- Reduce la eficiencia calórico de 0,1 a 0,2% , lo que anualmente puede significar pérdidas importantes de combustibles por gasto adicional y la carga económica que resulte es verdaderamente notable.
- Altera peligrosamente la temperatura del metal superficial de los tubos. El incremento es tal, en calderos de media y alta presión, que puede causar ruptura y destrucción de los mismos.
- En calderos acuo tubulares, la incrustación crece dentro de los tubos y los llega a obstruir, impidiendo la circulación de agua líquida y provocando la destrucción de los equipos. En los caldero piro tubulares, deforma los tubos por lo que hay que cambiarlos.

- Obliga hacer paros de mantenimiento, para cambiar los tubos, para hacer costosas y delicadas limpiezas químicas y otras reparaciones. Esto ocasiona fuertes pérdidas de tiempo y dinero como es fácil de suponer.

2.8 Tratamiento interno de la dureza en los calderos de vapor

.Se puede observar además en la figura 1 que detalla causas, problemas y soluciones en el tratamiento de aguas, en equipos generadores de vapor que resultan inadecuados, cualquier método para ablandar el agua como única forma de tratamiento.

Los sistemas de reducción de dureza, como cal-sosa y otros de tipo externo, dejan residuos variables de sales cálcicas y magnésicas. Las mismas que si no son eliminadas a tiempo incrustarán las placas y tubos metálicos del caldero.

Aún el ablandamiento con resinas catiónicas sódicas, en la práctica deja escapar hasta 5 ppm de dureza expulsada en CaCO_3 .

Por lo que resulta imperativo dar un “acabado final” al tratamiento y la eliminación de la dureza.

2.8.1 Agentes químicos y reacciones

El “acabado final” de la dureza se logra por medio de agentes inorgánicos y orgánicos alimentados directamente dentro del caldero. Los agentes inorgánicos eliminan la dureza, por combinación directa por la sales de calcio y magnesio y por la forma especial de la sílice disuelta. La finalidad consiste en transformar “las sales duras” con el bicarbonato y sulfato de calcio y

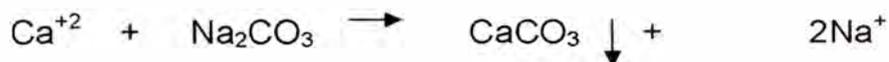
magnesio en compuestos fácilmente precipitables que no se adhieran a los tubos y placas del caldero; es decir, que no se formen incrustaciones peligrosas.

Los compuestos químicos más usados son:

- El carbonato de sodio
- Los ortofosfato de sodio
- La soda cáustica o hidróxido de sodio

En forma simplificada, las reacciones son las siguientes:

1. Tratamiento por carbonato de sodio



Los aniones son generalmente bicarbonatos y sulfatos, (algunas veces cloruros).

El tratamiento con carbonato de sodio, resulta conveniente para aguas con una dureza entrante mayor de 60 ppm y con alcalinidad "m" igual o mayor que la dureza (dureza no carbónica). $\text{Alk "M"} > \text{Ht}$.

Además, el carbonato de sodio se desdobra o hidroliza dentro del caldero, por altas temperaturas alcanzadas y forma soda cáustica y anhídrido carbónico.

La hidrolización del carbonato sódico, resulta a la vez un problema y una solución. Un problema, porque la soda cáustica formada aumenta peligrosamente la alcalinidad libre o "P" en una forma

incontrolable, lo que puede conducir, en calderos mayores de 200 psig a la ruptura intercrystalina o fragilidad cáustica. Agregado a esto, el CO₂ formado se escapa del caldero en forma de gas junto con el vapor, causando problemas posteriores de corrosión en las líneas de vapor y condensado.

Una solución, porque la soda cáustica formada reacciona en la siguiente manera con la dureza magnésica:



Precisamente, el gel de hidróxido de magnesio es el único conveniente para la eliminación de la dureza magnésica, de otro modo el tratamiento con fosfatos, sino hay suficiente alcalinidad dentro del caldero, formará fosfato de magnesio básico.

Además, el gel magnésico “adhiera” la sílice soluble, precipitándola en parte. Esto se logra siempre y cuando la proporción de magnesio/sílice sea mayor de 3.

Se afirma que hidróxido magnésico, por sus propiedades coloidales, aumenta la fluidez y movilidad de los lodos dentro del caldero, haciéndolos no incrustables y fácilmente eliminables por la purga.

Para llegar a este punto, se debe cuidar que el agua interna del caldero, mantenga la siguiente relación, llamada “Fórmula índice”.

$$\text{Fórmula índice} = \frac{100}{(\text{Ca})} \left[\frac{(\text{Mg})}{3} - (\text{SiO}_2) \right] > 7$$

Si la cifra resultante fuese menor de 7 habría que agregar alguna sal magnésica, ejemplo óxido de magnesio, al agua de alimentación, hasta lograr un valor superior a 7.

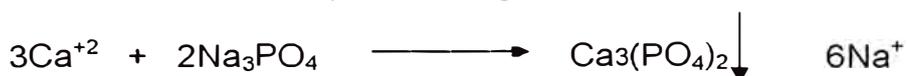
En general, debido a lo delicado del uso del carbonato de sodio, se le utiliza en formulaciones comerciales balanceadas, que toman, según el análisis previo del agua de alimentación, en cuenta todas estas circunstancias.

Se utilizan mezclas o “blends” de carbonato con fosfatos y coloide y también el tratamiento moderno a base de sosa y polímeros orgánicos como los poli-acrilatos.

Todos los métodos de acondicionamiento de agua que incluyen carbonato de sodio, resultan prácticos y rentables para aguas con dureza mayor de 60 ppm con una buena relación calcio/magnesio y para calderos con presiones menores de 200 psig.

2. Tratamiento por fosfatos

La reacción más simple es la siguiente:



Los aniones son: Sulfatos, bicarbonatos y aún cloruros.

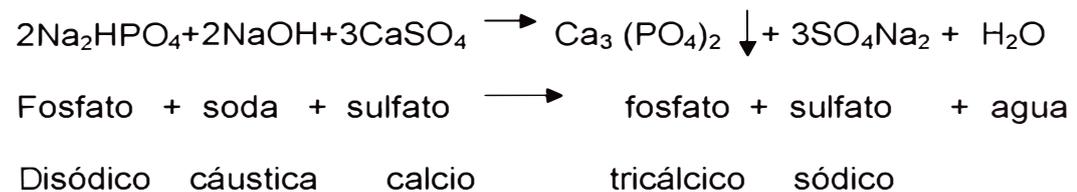
El tratamiento interno de aguas de caldero con fosfatos, particularmente los ortofosfatos sódicos, se ha hecho práctica común desde hace más de 45 años en todo el mundo.

La formación de fosfato tricálcico es deseable, ya que el precipitado formado es dispersable y poco adherible a placas metálicas calientes del caldero.

Con la alcalinidad conveniente, se forma hidroxiapatita, de fórmula $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$, mineral óptimo para ser eliminado por purgas al precipitar al fondo del caldero. Hemos omitido decir, que el mineral más deseable de las sales de magnesio es la serpentina: $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Los ortofastos más usados son el trisódico, anhidro y cristalizado y el disódico (anhidro y cristalizado) ($12\text{H}_2\text{O}$). El trisódico genera más alcalinidad, por lo que se utiliza el disódico que requiere de alcalinidad libre OH para convertirse en trisódico y combinarse con las sales de calcio, permitiendo sus cationes.

Observen que hemos dicho sales de calcio y no de magnesio, por las razones antes mencionadas sobre la peligrosidad de las sales fosfáticas de magnesio.



Mezclas balanceadas de fosfatos trisódico y disódico, según el tipo de agua, ayudan a controlar perfectamente la alcalinidad total dentro del caldero. Hemos visto por las tablas pertinentes, que la alcalinidad debe alcanzar ciertos límites permisibles, según el

código American Society of Mechanical Engineers (ASME), de acuerdo a la presión de los calderos, para evitar problemas causados por la alcalinidad excesiva.

El pH dentro del caldero debe ser superior, a 9,5 sino se formarán peligrosas incrustaciones de fosfatos monocálcico y dicálcico.

En general, se puede calcular la cantidad de fosfato que eliminará la dureza residual del agua de alimentación, estequiométricamente, tomando en cuenta el grado técnico, comercial del producto y si es anhidro o cristalizado. Es de vital importancia, mantener un margen residual de fosfatos en el agua interna del caldero, para evitar cualquier sorpresa, por variación de la dureza del agua influente. Según la presión del caldero el margen de fosfatos residual en el agua interna debe ser entre 20 y 80 ppm (para los calderos piro tubulares la cifra varía entre 40 y 60 ppm precisamente mantener 40 y 60 ppm, eleva y mantiene el pH del caldero en 10,5).

La siguiente relación es muy conveniente para determinar los límites del fosfato residual como PO_4 .

ppm de PO_4 residual	Presión caldero en psig
40	< 750
10	1 000
5	>1 000

2.8.2 ADITIVOS ORGANICOS

En realidad, desde la construcción de los primeros equipos generadores de vapor, se han usado tratamientos a base de sustancias orgánicas; tal es el caso del acondicionamiento del agua de las locomotoras antiguas de vapor, a base de papas.

En los últimos 30 años, el método orgánico ha tomado mucha fuerza, especialmente para los calderos de baja y media presión. Básicamente los agentes orgánicos, son acondicionadores de lodos, fluidizadores de los minerales precipitados y centrados dentro del caldero, para que puedan ser eliminados por las purgas en lugar de que se adhieran a los tubos del caldero. Son todos agentes de tipo coloidal que actúan como dispersantes y coagulantes de las reacciones posteriores entre la dureza y los fosfatos.

La dosificación de los mismos es producto de la experiencia ya que no reacciona mol a mol con la dureza del agua. Las dosis varían entre 50 ppm y 200 ppm, sino hay indicación específica.

2.8.2.1 AGENTES ORGANICOS DISPERSANTES

Su función principal es distorsionar la formación de cristales, los que ordinariamente sedimentarían en las placas y tubos calientes del caldero. Estos geles envuelven por decir así, las moléculas de sales de calcio y magnesio.

Entre los principales tenemos:

- a) Taninos, ácido tánico del quebracho y palo campeche, como el catechol y pirogalol, tienen estructuras de glucósidos ésteres de glucosa. No sólo arrastran dureza, sino también adhieren oxígeno disuelto. Funcionan bien en caldero hasta 300 psig, a mayor presión se descomponen.
- b) Ligninas, orgánicas con un peso molecular de aproximadamente de 840, constituido por grupos metoxilos, hidroxilos y carbonilos, tales como lignin-sulfonatos de uso comercial arrastran preferiblemente fosfatos tricálcicos y fierro en suspensión. Funcionan bien en calderos de 300 psig hasta 2 200 psig, dosis 2-12ppm.
- c) Almidones del tipo polisacáridos como la dextrina y la celulosa .
- d) Polímeros sintéticos, como los poliacrilatos y poliacrilamidas son compuestos muy modernos y buenos dispersantes. Su uso es un problema de costos. Su dosificación es baja (10-200 ppm).
- e) Otros dispersantes menos usados son: la dextrina, la celulosa, el aceite de linaza y varios glucósidos.

2.8.2.2 AGENTES ORGANICOS COAGULANTES

Son sustancias que condicionan coloidalmente el agua interna del caldero por coagulación, forman flocos fácilmente sedimentables.

Los más usados son de la familia de los alginatos sódicos, sodio manuronato y agar-agar, proceden de las algas marinas. Laminaria digitata, longicruris y sacharina, con pesos moleculares de aprox. 250 000.

Su efectividad se recomienda para presiones hasta 700 psig.

2.9 LA INCRUSTACION SILICEA

Hemos visto que puede ser eliminada parcial o totalmente por medio de coagulantes coloidales o por desmineralización. La sílice disuelta es un caso especial dentro del grupo de minerales disueltos en el agua.

En lugar de permanecer únicamente dentro del caldero y concentrarse hasta formar incrustaciones muy peligrosas por el "K" tan bajo que tiene, (0,06) para incrustaciones porosas, tiene la propiedad única de ser volátil, es decir se evapora y escapa junto con el vapor de agua contaminándolo y recorriendo toda la línea de vapor hasta llegar a puntos finales, como las turbinas de las casas de fuerza en plantas térmicas de energía eléctrica.

En las paletas de las turbinas forma sedimento vidriados muy duros y difíciles de extraer, alterando las características fluido dinámicas de las turbinas y bajando el rendimiento de las mismas.

Este fenómeno se llama "Arrastre selectivo de sílice", raramente se encuentra en calderos de presiones inferiores a 400 psig. Cuando las presiones sobrepasan los 900psig el peligro es constante. La norma actual es que el TDS total en el vapor de agua no sea mayor de 1 ppm. La remoción de sílice vítrea incrustada en las paletas de las turbinas se logra por lavado con soda cáustica y por limpieza mecánica, el método químico es preferible.

2.10 ESPUMAJE Y ARRASTRE

Son dos fenómenos internos del caldero, en parte interna, es causado por las partículas de agua atomizada arrastradas por el vapor. El vapor pierde "Título" o calidad calórica y los sólidos y gases provenientes del agua interna del caldero, cuyas concentraciones son siempre mayores que las del agua de alimentación, produce una serie de problemas en las líneas de vapor y condensado, lo mismo que en los equipos intercambiadores a donde se dirige el vapor.

Además si el uso de vapor es directo, contamina las sustancias del proceso, alterando la calidad de las mismas.

Problemas tales como corrosión por gases disueltos y sedimentos causados por los sólidos disueltos y en suspensión concentrados en el agua del caldero, son causados por arrastre.

2.10.1 CAUSA DEL ARRASTRE

Se pueden agrupar en causas mecánicas y causas químicas.

Causas Mecánicas:

- a) Diseño del caldero, tubos y complejidad interior.
- b) Turbulencia del agua del caldero.
- c) Salida de los tubos de vapor, con trampas.
- d) Alto nivel del agua interna del caldero
- e) Cámaras o domos de vapor, muy pequeñas
- f) Demandas repentinas de vapor.
- g) Velocidad indebida del vapor..

Causas Químicas:

- a) Sólidos en suspensión
- b) Sólidos disueltos (sales)
- c) Alcalinidad.
- d) Aceite (animal y vegetal) saponificable (Triglicéridos).

Los factores químicos causan problemas, cuando sobrepasan los límites establecidos como máximo dentro del caldero. Con el constante funcionamiento del caldero, el agua se evapora, y los sólidos no, y se van concentrando cada vez más.

2.10.2 ESPUMAJE

Las altas concentraciones de sólidos dentro del agua interna del caldero forman burbujas, en la superficie del agua libre, es decir, interfase vapor/liquido, las espumas se estabilizan con un agente dispersante, siguiendo la ley de Gibbs para las soluciones binarias:

Por último podemos añadir que:

a) Los sólidos en suspensión son más importantes que los sólidos disueltos.

b) El fosfato de calcio del tratamiento de aguas, contribuye a la formación de espuma.

Los anti-espumantes más usados en el pasado y presente son:
(no en el orden de importancia).

- Aceite de ricino (en desuso por saponificación)
- Aceite gálico (baja presión)
- Cera de abeja (costoso y de poca duración)
- Pirogalol
- Acido tártrico y cítrico
- Colesterol
- Alcoholes monohídricos
- Amidas de los ácidos grasos vegetales estearamida.
- Dioleil piperazina.

Los tres últimos son los más recomendables, los otros pueden sufrir ruptura molecular arriba de los 300 psig. La dosis de los antiespumantes fluctúan entre 1 y 10 ppm excepto la dioleilpiperazina que es de 0,2 ppm .

c) La espuma aumenta por el contenido cada vez más creciente de tensioactivos (detergentes) del agua de alimentación, por la contaminación ambiental urbana.

d) Las grasas y aceites (triglicéridos), a las temperaturas reinantes dentro del caldero, se saponifican fácilmente con la alcalinidad excesiva del agua. Sabido es, que jabones y detergentes son fuertes formadores de espuma. Si las razones del arrastre son puramente mecánicas, los remedios son sólo de tipos mecánicos, es decir, no funciona cualquier tratamiento químico. Los arreglos más comunes son:

- 1.- Cortina de deflectores, bien ubicados
- 2.- Trampa, de superior diseño
- 3.- Reducir la velocidad del vapor
- 4.- Usar separadores ciclónicos

2.11 AGENTES QUIMICOS

El uso de agentes químicos anti-espumantes, resulta la solución físico-químico a los casos de arrastre causantes del valor húmedo o de bajo título.

Se considera que los anti-espumantes químicos funcionan formando agregados sobre las películas o films de las burbujas causantes de espuma, lo cual origina una alta diferencia de tensión superficial, localizada. Y en consecuencia, una rápida ruptura de las burbujas, liberando el vapor y permitiendo una producción correcta de vapor seco.

Es así como, con los anti-espumantes se puede mantener altas concentraciones de sólidos dentro del caldero, las mismas que pueden

sobrepasar en mucho, las cifras límites recomendadas por el código American Society of Mechanical Engineers (ASME), según las presiones de los calderos. En los calderos Piro tubulares, su uso es común, ya que además sus presiones operativas son generalmente no mayores de 250 psig. En los calderos Acuo tubulares, es decir en los de media y alta presión, hay que hacer consultas precisas al fabricante de cada anti-espumante, para evitar rupturas moleculares dañinas del agente químico, debidas a altas temperaturas.

Las consecuencias favorables del uso de anti-espumante, lo son también porque al aumentar el máximo de sólidos totales se disminuye proporcionalmente el régimen y cantidad de purgas, con el consiguiente ahorro de agua, agentes de tratamiento y calor.

Entre los anti-espumantes más recomendables para los calderos Acuo tubulares y su dosis de estos anti-espumantes es de 1 y 10 ppm excepto la dioleilpiperazina que es 0,2 a 2,0 ppm tenemos:

- Alcoholes monohídricos
- Amidas de los ácidos grasos vegetales. Estere amidas
- Dioleil piperazina

2.12 LAS PURGAS DEL AGUA DE LAS CALDERAS

Un procedimiento siempre adecuado para evitar el espumaje y arrastre y lograr un vapor de buena calidad, es el uso razonable de purgas o drenajes del agua del caldero.

La extracción sistemática del agua del caldero, permite no rebasar los límites del total de sólidos establecidos por las diferentes normas del A.S.M.E.

Aunque no hubiese problemas causados por el espumaje y arrastre siempre sería necesario un régimen adecuado de purgas, de otro modo el agua del caldero continuaría concentrando sus sólidos hasta convertir el agua interna en una masa pastosa totalmente inoperable.

En la figura 7 pagina 77 observamos cómo es posible controlar el total de sólidos dentro de los límites permisibles, manteniendo un régimen apropiado de purgas. Se podría ampliar lo dicho, diciendo que se utilizan cinco criterios que influyen el régimen de purgas y determinan su cálculo.

- 1.- Lodos, causados por tratamientos combinados internos, la dureza sedimentada, las sales reductoras de oxígeno y las sustancias coloidales.
- 2.- Sólidos totales, sólidos en suspensión más sólidos disueltos.
- 3.- Sílice, para evitar el arrastre selectivo de sílice junto con el vapor y la formación de incrustaciones en los tubos y placas.
- 4.- Hierro, hay que impedir la formación de incrustaciones de óxido férrico en calderas de alta presión (hay casos importantes que el porcentaje de purgas dependen del contenido de Fe del agua).
- 5.- Alcalinidad, la alcalinidad total "M", causa arrastres y la alcalinidad "P", la fragilidad cáustica.

Las purgas pueden ser continuas e intermitentes, pero por experiencia las mejores son las continuas. La elección depende de aspectos económicos y operativos. Pero resulta una obligación en calderos acuosos tubulares de media y alta presión, los que tienen niveles críticos de presión de operación, por lo tanto un mayor cuidado en el manejo de estos equipos. En el pasado los drenajes o purgas se determinaban según el buen sentido de cada operador, se efectuaban “a ojo de buen cubero” basados en criterios de experiencia.

El control moderno para determinar el régimen de purgas se hacen en función de la evaporación total, mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de purga} = \frac{A}{B - A} \times 100$$

Donde:

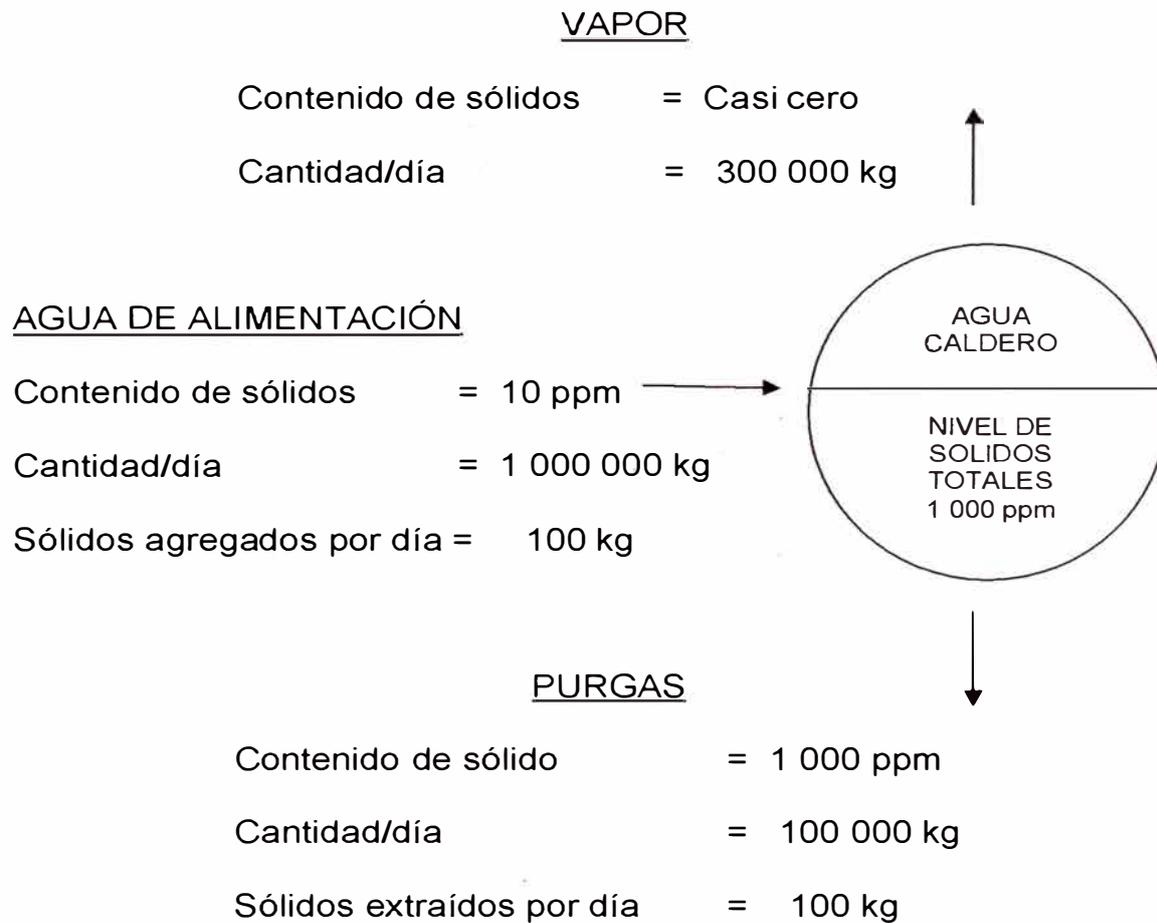
A = total de sólidos en el agua de alimentación

B = total de sólidos máximos permisibles en el agua interna del caldero.

Según las normas establecidas en el código American Society of Mechanical Engineers (ASME), ver tabla IV - página 33 .

PRESION DEL CALDERO (psig)	SOLIDOS TOTALES (ppm)	ALCALINIDAD Ex. CO ₃ Ca (ppm)	SOLIDOS EN SUSPENSION (ppm)	SILICE Si O ₂ (ppm)
0-300	3 500	700	300	125
301-450	3 000	600	250	90
451-600	2 500	500	150	50
601-750	2 000	400	100	35
751-900	1 500	300	60	20
901-1 000	1 250	250	40	8
1 001-1 500	1 000	200	20	2,5
1 500-2 000	750	150	10	1,0
Más de 2 000	500	100	5	0,5

TABLA IV.- LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES EN EL AGUA INTERNA DEL CALDERO



2.13 RETORNO DEL CONDENSADO A LA CALDERA

La cantidad de combustible utilizada en la generación de vapor, puede ser reducida de 10 a 20% mediante el retomo del vapor condensando a la caldera para ser utilizada como agua de alimentación, en efecto, al venir a cierta temperatura ahorra energía y productos químicos usados en la planta de tratamiento de agua, reduce la contaminación de agua y reduce las pérdidas debido a las fugas de la trampas de vapor. Por ejemplo si en una caldera que genera vapor saturado a $13,7 \text{ kg/cm}^2$ se

recupera condensado a 1,7 kg/cm², un 17% de la energía contenida inicialmente en el vapor podrá ser recuperada, es decir, viendo en una tabla de vapor, que el calor neto de la energía por kilogramo de vapor recuperable en estas condiciones es 638kcal, se podrá mediante el retorno del condensado recuperar un 17% de esta cantidad, 108 kcal por cada kg de condensado recuperado, esta energía corresponderá a un ahorro equivalente de combustible y consecuentemente de dinero.

CAPITULO III

METODOLOGIA DE ABLANDAMIENTO

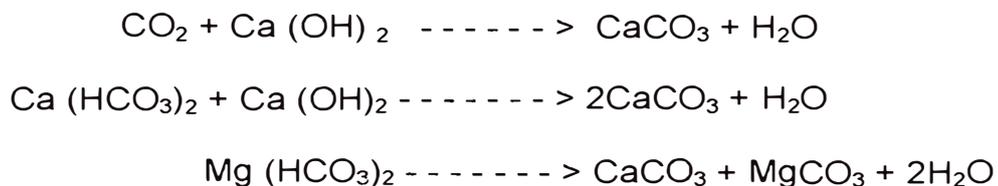
Entre las más comunes tenemos los siguientes métodos:

3.1 Hirviendo el agua

Este método requiere mucho calor y consume mucho tiempo, además, sólo elimina el bicarbonato de calcio. Por eso es considerado ineficiente y poco económico.

3.2 Ablandamiento con hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) y carbonato de sodio (Na_2CO_3)

Las adiciones de productos deben calcularse en base a un análisis químico del agua cruda, las cuales, después de mezclado rápidamente sedimenta y se remueven con o sin filtración. La secuencia química del proceso es la siguiente:





El CaCO_3 y el Mg(OH)_2 son insolubles y precipitan. Con este proceso a la temperatura normal, se reduce la dureza cálcica hasta aproximadamente 35 ppm, permaneciendo el 90% de la dureza magnésica en solución.

Elevando la temperatura, la dureza total se reduce aproximadamente a 20 ppm, si se agrega pequeñas cantidades de fosfatos la dureza total se reduce aproximadamente a 2 ppm de CaCO_3 .

A continuación se mostrarán algunas fórmulas para calcular la dosificación de calcio y sodio, teniendo en cuenta las reacciones químicas, los pesos equivalentes y el análisis químico de agua.

$$\text{Cal} = \frac{41,1(\text{alc} + \text{Mg})}{50} \text{ (3.1)}$$

$$\text{Ceniza de soda} = \frac{53(\text{D.T} - \text{alc})}{50} \text{ (3.2)}$$

Ambas relaciones se aplican si $\text{alc} < \text{D.T.}$, si $\text{alc} > \text{D.T.}$ no se necesita sodio y la relación queda.

$$\text{Cal} = \frac{47,1(\text{D.T} + \text{Mg})}{50} \text{ (3.3)}$$

Siendo:

D.T = Dureza total (ppm CaCO_3)

Mg = Dureza magnésica (ppm CaCO_3)

alc = Alcalinidad total (ppm CaCO_3)

50 = Peso equivalente de CaCO_3

41,1= Peso equivalente Ca $(\text{OH})_2$

53 = Peso equivalente de Na_2CO_3

3.3 Ablandamiento por intercambio iónico

Se trata el agua con resinas de intercambio iónico llamadas zeolitas, las cuales son compuestos complejos de sodio, aluminio y silicio, que tienen la propiedad de intercambiar las bases. Se pueden obtener por purificación de depósitos naturales o por síntesis, generalmente en forma sódica. El medio del ablandador de agua, es un depósito de minerales el cual, está lleno, con granos de poliestireno, llamados también resinas o zeolita. Los granos están cargados eléctricamente negativos. El calcio y el magnesio en agua, ambos llevan cargas positivas. Esto significa que estos minerales se aferran en los granos cuando el agua dura pasa a través del depósito mineral. Los iones de sodio también tienen cargas positivas, no obstante tan fuerte como la carga en el calcio y el magnesio, según las siguientes ecuaciones:



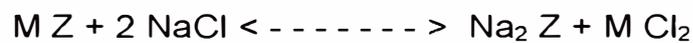
Siendo: Z = Zeolita o resina



M^{++} = iones de calcio y magnesio

La capacidad de intercambiador se expresa en gramos de carbonato de calcio por pie cúbico o por gramos por litro.

Cuando se ha agotado el valor de intercambio, la resina ha de regenerarse, recuperando los iones Na removidos durante el ablandamiento, tratándolo con solución saturada de cloruro de sodio (NaCl), de acuerdo a la reacción inversa siguiente:



El sistema de intercambio iónico con respecto al de calcio y sodio tienen las siguientes ventajas:

- No hay que eliminar lodos
- Permite el empleo de una instalación compacta y fácil de manejo
- Se obtiene agua de dureza baja

3.3.1 Equipo para intercambio de iones

El equipo de cambio de iones elimina la dureza cuando el cambiador de iones se regenera con una sal de sodio, elimina la dureza y alcalinidad cuando se regenera con un ácido y, aún otro tipo, elimina los iones cuando se regenera con un álcali.

El ablandador basado en el intercambio de iones es el método más sencillo de eliminar la dureza, consiste en un tanque con un lecho de material cambiador de iones sostenido por capas de grava graduada, sobre un sistema de distribución y recolección. El receptáculo puede ser abierto de madera, acero y hormigón para

ablandar el flujo de agua que pasa por gravedad, o puede ser un tanque cerrado de acero para suavizar el agua bajo presión.

Cuando el agua contiene compuestos de calcio o magnesio entra a un intercambiador de iones regenerado con sal, el calcio y el magnesio se combinan con el material cambiador de iones y el sodio del mismo entra en el agua para formar compuestos de sodio, de cantidad y tipo equivalentes a los compuestos de calcio y sodio originalmente en el agua.

El agua por ablandarse se admite por la parte superior del tanque y es distribuido uniformemente en la superficie del lecho del cambiador de iones y luego baja por el mismo. Durante la bajada, los elementos que producen la dureza son eliminados.

El agua ablandada pasa por capas de soporte consistentes en grava clasificada y es recolectada por un sistema de drenajes interior, de donde sale del ablandador y entra al servicio.

Cuando se agota la capacidad del cambiador de iones el grupo ablandador se desconecta del servicio para regenerarlo. La primera etapa de la regeneración es el contra lavado que se efectúa pasando fuertes corrientes de agua hacia arriba a través del ablandador. Esto afloja y reclasifica el material cambiador de iones, lo sostiene semi-suspendido y se elimina por lavado lo sucio que pudiera acumular en la parte superior del lecho. La segunda etapa consiste en la aplicación de la sal.

Se aplica al ablandador una cantidad predeterminada de sal en solución la cual se distribuye uniformemente en la parte superior del lecho. Al bajar por el lecho, la sal reacciona con el cambiador de iones, elimina el calcio y magnesio en forma de cloruros solubles y al mismo tiempo, restaura la zeolita a su condición sódica original.

La tercera y última etapa en la regeneración es el enjuague, es decir, el lavado del cloruro de calcio y de sodio junto con el exceso del cloruro de sodio (NaCl) por medio del agua pasada lentamente y descargada por el drenaje. Después del enjuague el ablandador vuelve a ponerse en servicio.

Algunos cambiadores de iones pueden regenerarse con ácido para que, luego, con el ciclo de hidrógeno, eliminen la dureza y la alcalinidad del agua. Los bicarbonatos se cambian en ácido carbónico que es un gas y se deja escapar a la atmósfera. Los sulfatos, cloruros y nitratos se cambian en ácidos clorhídricos, sulfúricos y nítricos.

Cuando el contenido de cloruros sulfatos y nitratos es bajo, el agua se pasa por un ablandador cambiador de iones regenerado con ácido. Después de expulsar el gas que elimina el ácido carbónico clorhídrico, sulfúrico y nítrico en el agua, se neutraliza por un álcali como soda cáustica o fosfato de sodio. Cuando se usa fosfato de sodio generalmente ya no es necesario agregar más fosfato para

protección adicional de las paredes de la caldera o de más sistemas.

Cuando el contenido de cloruros, sulfatos o nitratos es relativamente alto, la práctica es usar un ablandador cambiador de iones regenerado con sal (ciclo de sodio) conectado en paralelo con uno regenerado con un ácido (ciclo de hidrógeno), en tal caso el bicarbonato de sodio, en el efluente del grupo con el ciclo de sodio neutraliza la acidez mineral libre en el efluente del grupo, con el ciclo de hidrógeno.

Si el agua se hace pasar de nuevo por el ablandador de cationes regenerado con ácido para luego desgasificarla y pasarla por un cambiador de aniones adecuado, regenerado con álcali entonces todas las sales se cambian a los ácidos correspondientes como en el caso anterior y se eliminan en el cambiador de aniones. El efluente es el equivalente al agua destilada.

3.3.2 Ciclo de funcionamiento del ablandador

El ciclo de funcionamiento consta de cuatro fases, que lo podemos ver en el siguiente diagrama:

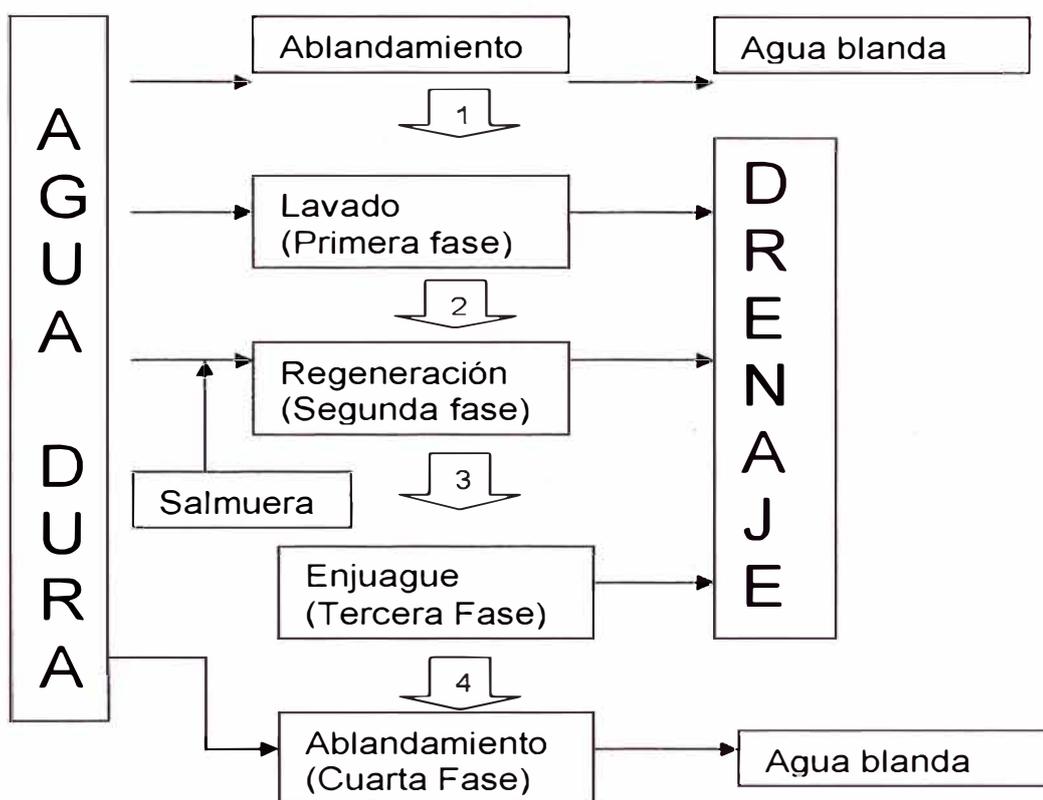


FIGURA 2.- FASES DEL CICLO DE FUNCIONAMIENTO

3.3.3 Arquitectura

El equipo adecuado deberá tener un cuerpo cilíndrico para así evitar que elementos incrustantes y corrosivos se queden en las esquinas si esta no fuera cilíndrica.

Tratándose de un tanque cerrado de acero este tendrá una presión interior y para reducir costo se empleará tapas del tipo bombeadas, reduciendo por lo tanto el espesor con respecto a la pared.

3.4 Osmosis inversa

El proceso de la ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable para separar y para quitar los sólidos disueltos, los orgánicos, los

pirogenitos, la materia coloidal submicro organismos, virus y bacterias del agua. El proceso se llama ósmosis "reversa" puesto que requiere la presión para forzar el agua pura a través de una membrana, saliendo; las impurezas detrás. La ósmosis reversa es capaz de quitar 95%-99% de los sólidos disueltos totales (TDS) y el 99% de todas las bacterias, así proporcionando un agua segura pura.

La osmosis inversa es un procedimiento que garantiza el tratamiento desalinizador físico, químico y bacteriológico del agua. Funciona mediante membranas de poliamida semipermeables, enrolladas en espiral, que actúan de filtro, reteniendo y eliminando la mayor parte de las sales disueltas al tiempo, que impiden el paso de las bacterias y los virus, obteniéndose una agua pura y esterilizada.

Aguas con un elevado contenido de sales como, sodio, calcio, boro, hierro, cloruros, sulfatos, nitratos y bicarbonatos, pueden ser tratados con la osmosis inversa hasta alcanzar los límites considerados como agua aceptable para su utilización. Las membranas filtrantes son la clave y responsables de separar las sales del agua. Dichas membranas pueden considerarse como filtros moleculares. El tamaño de los poros de estos filtros membranas es extremadamente reducido, por lo que se requiere una presión considerable para hacer pasar cantidades de agua a través de ellas. La elección del modelo de membrana más apropiado es según el agua a tratar y su empleo posterior, determinando el tipo de instalación más idónea.

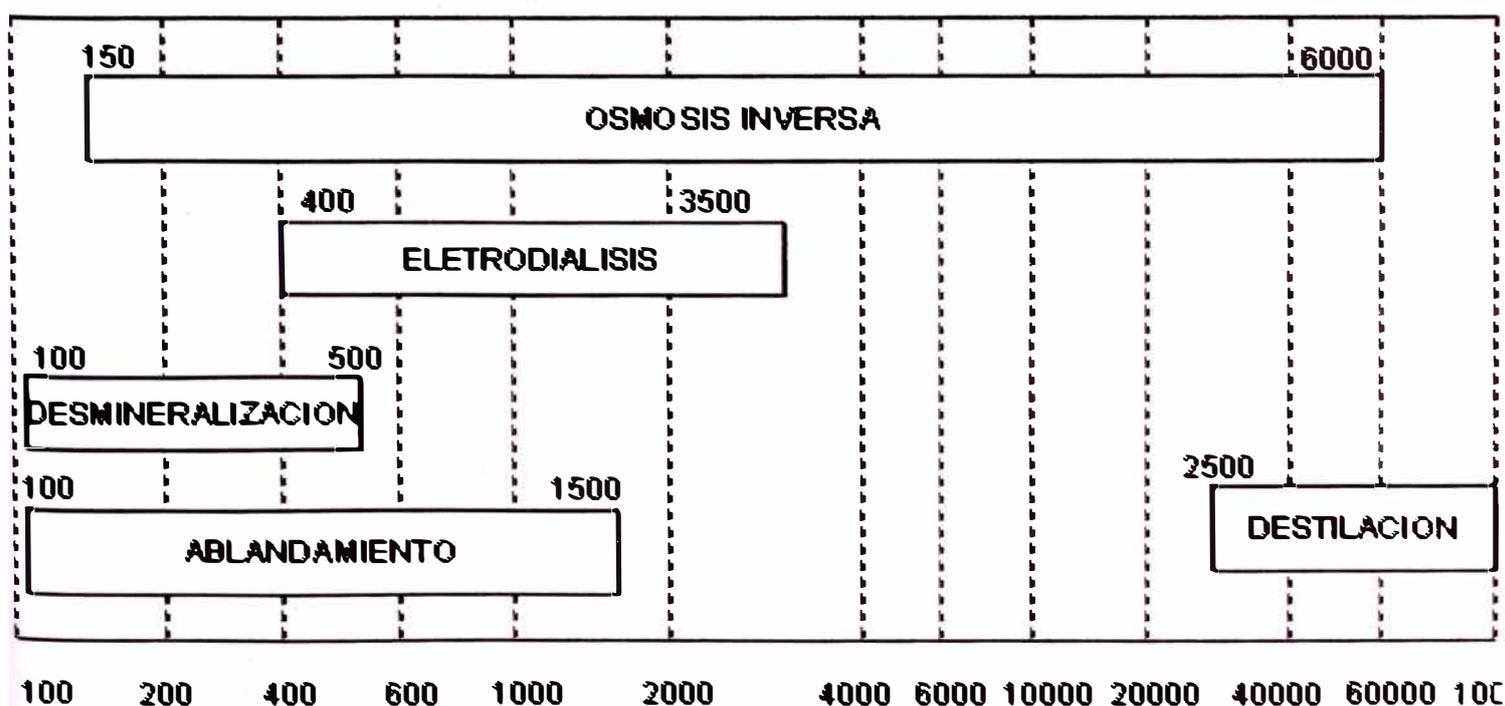
3.5 Selección del método de ablandamiento a emplearse

En la gráfica siguiente se puede ver los diferentes métodos de ablandamiento de agua, para determinar el más adecuado para nuestro servicio.

El agua suministrada a la fábrica es del subsuelo, con una dureza de 400 ppm de CaCO_3 , de las gráficas y para este tipo de dureza se observa varios procesos posibles a elegirse, se sabe además que el agua servirá para alimentar a un equipo generador de vapor, por lo tanto, la selección estará influenciada por los aspectos de servicio y costo de proceso para la obtención del agua ablandada.

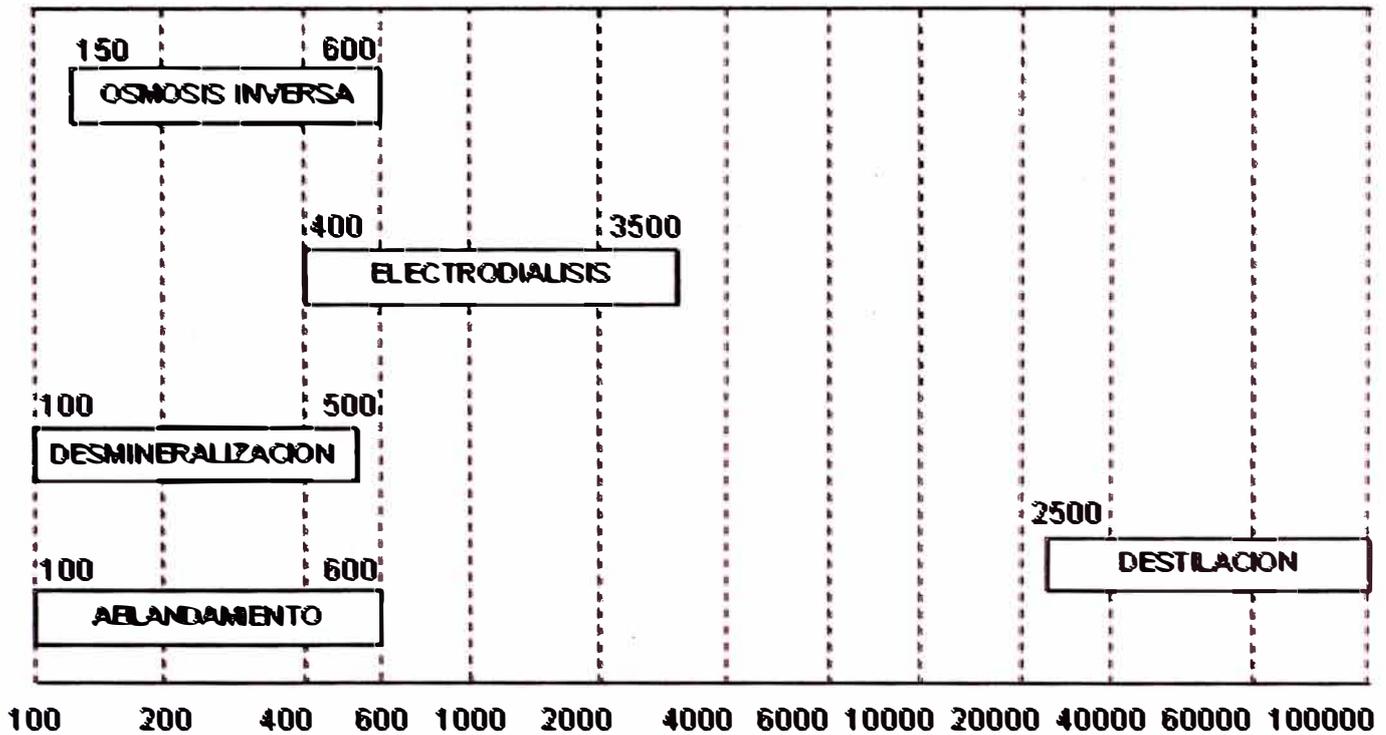
PRINCIPALES PROCESOS INDUSTRIALES DE DESALACION – SÓLIDOS

TOTALES DISUELTOS



Miligramos por litro (partes por millón) de sólidos totales disueltos

COMPARACION DE PRINCIPALES PROCESOS INDUSTRIALES DE DESALACION-
SALES CALCIO Y MAGNESIO

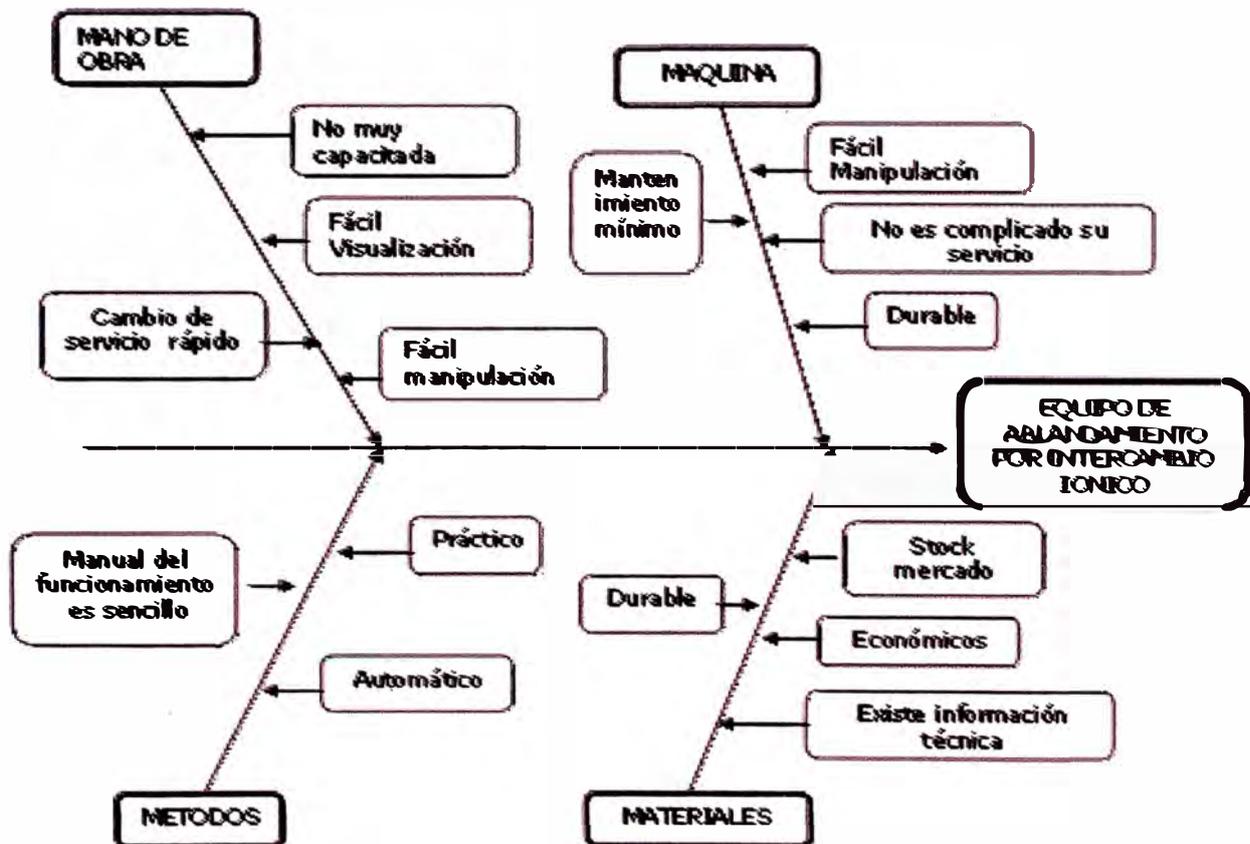


Partes por millón, ppm CaCO₃ dureza

PROCESO INDUSTRIAL	\$/m ³
OSMOSIS INVERSA	1.18
DESMINERALIZACION	2.3
ABLANDAMIENTO POR INTERCAMBIO IONICO	0.5

Costos comparativos aproximados entre los diversos procesos industriales para la obtención de agua ablandada en dolares americanos por metro cúbico

Además, utilizando una de las herramientas de calidad, como es el diagrama de causa y efecto y/o diagrama de Ishikawa podemos tener una mejor visión para confirmar nuestra elección, como es un aspecto técnico utilizaremos la técnica de las 4M.



Por lo tanto, se concluye que la mejor alternativa en servicio y costos a emplearse, es el proceso de ablandamiento de agua por intercambio iónico, también lo confirma nuestro diagrama de causa y efecto.

CAPITULO IV

CARACTERISTICAS DEL ABLANDAMIENTO POR INTERCAMBIO IONICO

4.1 Capacidad de intercambio

Es la cantidad total de dureza que puede absorber el ablandador sin necesidad de regenerar la resina; se expresa en grano (grain) o su equivalencia en otras unidades.

4.2 Capacidad de flujo

Está determinado por el máximo flujo que puede pasar por la resina y depende del diámetro del reactor o aparato.

Al hacer pasar un flujo mayor que el de diseño, el agua pasará con más dureza que la debida (dureza residual muy alta). La capacidad de flujo debe ser mayor que el consumo de agua blanda para poder almacenar el sobrante y usarlo en la etapa de regeneración del ablandador.

4.3 Dureza del agua

El agua sea de pozo, red ú otra fuente de abastecimiento siempre contiene un tipo de dureza como lo expresamos en el capítulo anterior.

Las sales que normalmente contiene el agua son cloruros y carbonatos de calcio y/o magnesio. La dureza se expresa en granos/galón o su equivalente en otras unidades mencionadas anteriormente (tabla III, pág. 11).

4.4 Descripción del funcionamiento

4.4.1 Ablandamiento

El ablandador contiene resina sintética cuyo objeto es transformar las sales que contienen calcio en sales de sodio que son fácilmente eliminables.

Como la resina debe soltar uno de sus componentes de sodio, se comprende que llegará un momento que se agote su capacidad.

Se dice entonces que la resina está saturada y será necesario someterla a un proceso de regeneración; para esto es necesario, probar la dureza del agua cada cierto tiempo especialmente al final de cada ciclo.

4.4.2 Regeneración

Consiste en hacer pasar una solución concentrada de salmuera por el tanque ablandador. El cloruro de sodio en contacto con la resina le deja al sodio y la resina suelta el calcio, que absorbió durante el ablandamiento.

4.4.3 Lavado

Tiene por objeto eliminar los residuos de la salmuera que queda dentro del ablandador, después del proceso de regeneración.

Consiste en hacer pasar un flujo rápido de agua durante unos minutos a través de la resina del ablandador.

4.4.4 Instalación

El equipo deberá instalarse cerca del tanque de agua blanda y de las máquinas a las cuales abastecerá (ver planos).

Conectar la línea de agua dura a la entrada de la válvula multiport.

Conectar la línea de agua blanda a la salida de la válvula multiport pasando antes por el medidor de flujo.

La línea de salmuera será conectada a la entrada marcada "Brine". El esquema siguiente indica mejor la instalación.

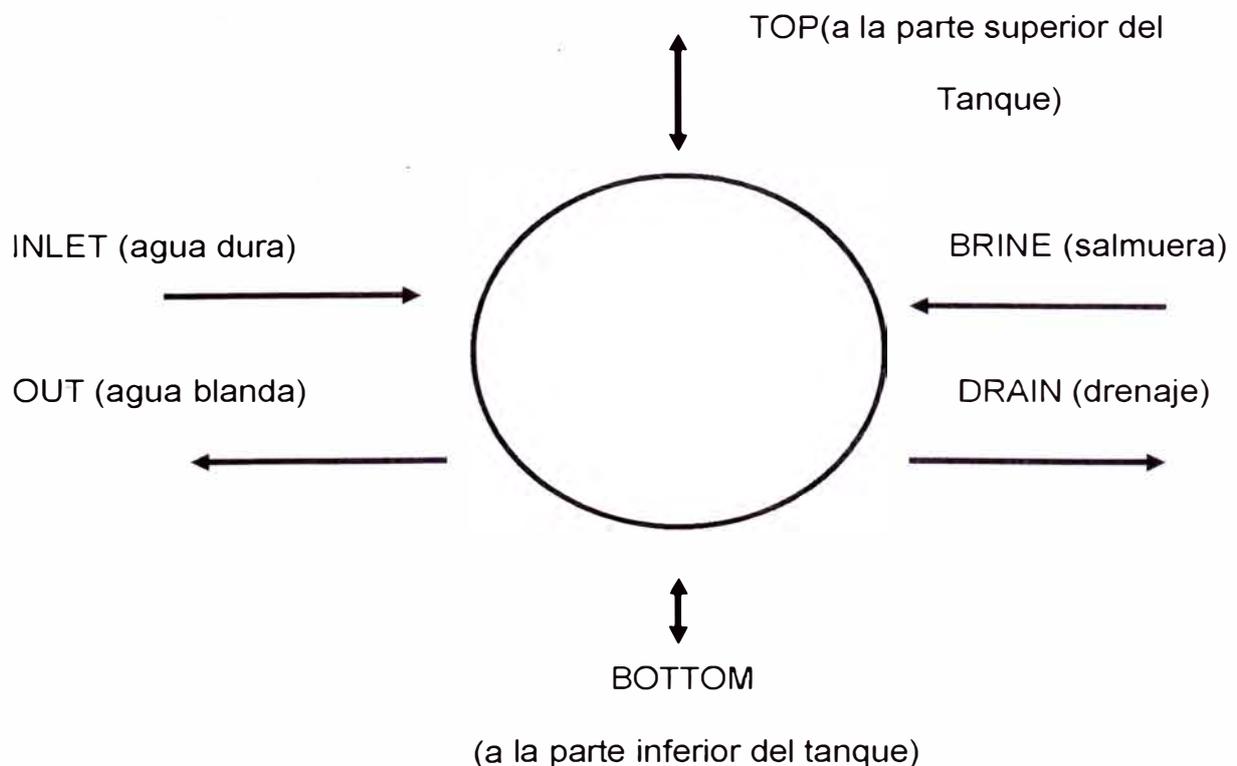


FIGURA 3.- DETALLE TIPICO DE UNA VALVULA MULTIPORT

4.5 Contenido del reactor y tanque de salmuera

Según recomendaciones de fabricantes el medio filtrante de ablandador debe tener las siguientes características:

- Primera Capa: Grava de 1 1/8" espesor de capa 76,2 mm
- Segunda Capa: Grava de 1/2" espesor de capa 76,2 mm
- Tercera Capa: Grava de 1/4" espesor de capa 76,2 mm
- Cuarta Capa: Grava de 1/8" espesor de capa 38,2 mm
- Quinta Capa: Resina

Actualmente no se emplea grava debido a que está siendo reemplazada por toberas de bronce o plásticas. Cuando el reactor va equipado con toberas no es necesario colocar las distintas capas de grava, en este caso se llena directamente la resina.

Antes de colocar la capa de resina, se debe llenar el reactor con agua para lavar bien la grava o las toberas.

El tanque de salmuera también lleva el lecho filtrante igual a la primera, segunda, tercera capa del reactor. Luego se llena sal común hasta un espesor de 305 mm en operación debe mantener por lo menos 254 mm de NaCl.

4.6 Puesta en funcionamiento y regulación

El primer proceso que se hace en la unidad es la regeneración de la resina.

Para iniciar el proceso cerrar la válvula de descarga de agua blanda y seguir las siguientes fases:

Fase 1: Lavado

- Colocar la válvula multiport en posición 1, manteniendo la válvula de salmuera cerrada.
- Para llenar de agua el tanque de sal, abrir la válvula de salmuera.
- Al operar el equipo por primera vez es necesario regular, la cual se aprecia colocando un recipiente de loza o vidrio en la línea de purga que permite detectar cualquier fuga de resina.

Fase 2: Regeneración

- Colocar la válvula multiport en posición 2 y abrir la válvula de salmuera. Para regular el flujo de salmuera se procede como sigue: quitar el tapón del inyector de salmuera de la válvula multiport y ajustar el flujo de manera que el contenido del tanque se consuma en 15 minutos aproximadamente una vez regulado el flujo, colocar el tapón.

Fase 3: Enjuague

- Cerrar la válvula de salmuera, la válvula multiport sigue en la posición 2.
- El proceso de enjuague debe durar tanto como sea necesario para que el agua que sale con las purgas no contenga sal.
- En cuanto el agua comienza a salir blanda termina esta etapa y el equipo está listo para entrar en servicio.

Fase 4: Servicio

- Abrir la válvula de salida de agua blanda, cerrar la válvula de salmuera, colocar la válvula multiport en la posición 3.

- Al iniciar el servicio debe tomarse una muestra para comprobar que la dureza sea 0 o el valor esperado,
- Cuando se pone en servicio por primera vez una unidad, se registra cada cierto tiempo la cantidad de agua procesada y su dureza. Esto permite determinar cada cuantos galones de agua y cada cuantas horas se hará la regeneración de la resina.

Recomendaciones:

- Tener siempre disponible un probador de dureza sea en pastillas o en soluciones.
- El ablandador no es suficiente para el tratamiento total del agua, sino existe otros aditivos o productos químicos que deben añadirse al agua para obtener el tipo de agua deseada.

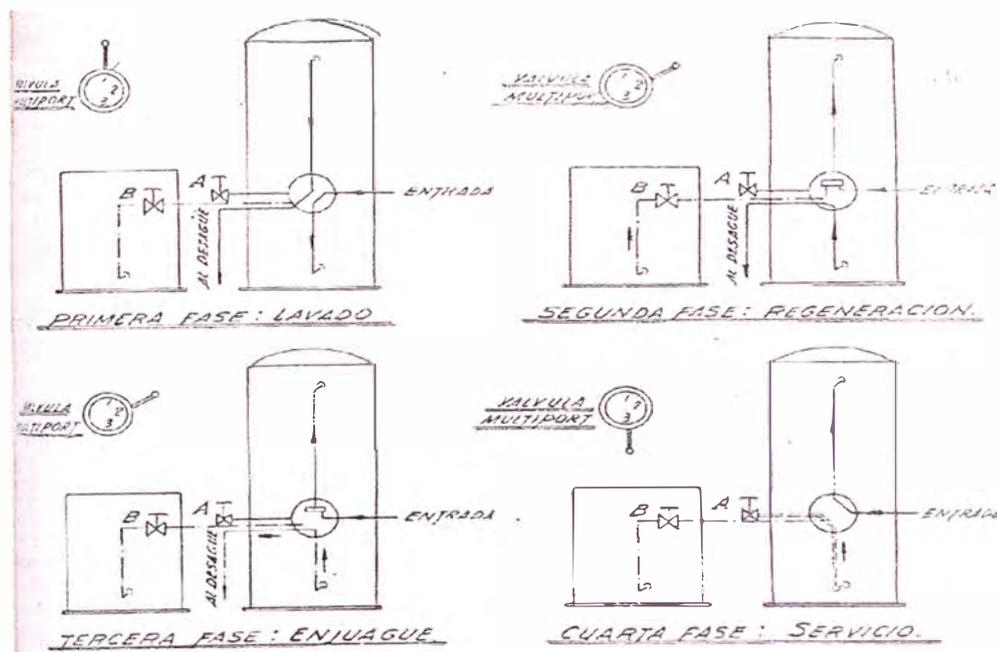
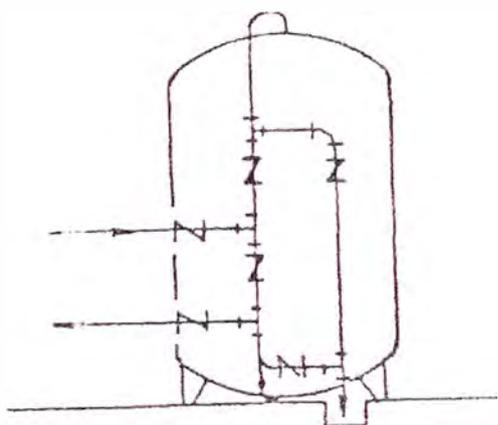
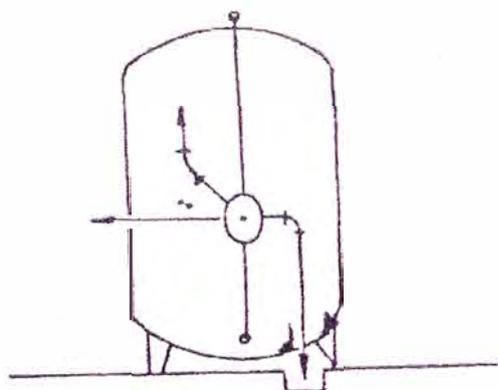


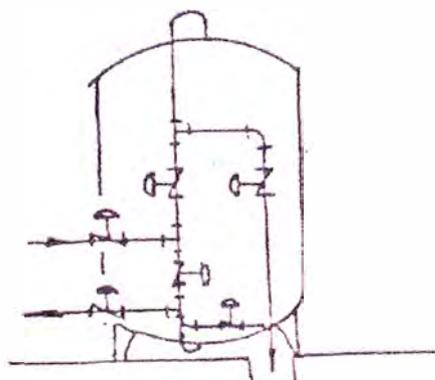
FIGURA 4.- FUNCIONAMIENTO DEL ABLANDADOR Y POSICIONES DE LA VALVULA MULTIPORT



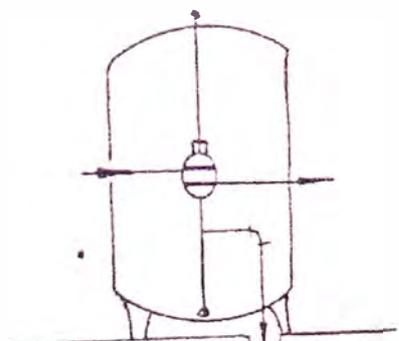
- Operación manual.- Con válvulas tipo compuerta, instaladas en las tuberías del sistema, siendo accionadas en forma independiente.



- Operación Semiautomática.-Esta se realiza con válvulas del tipo multipaso y específicamente la comúnmente usada multiport, que es de fácil manejo.



- Operación automática.- Accionada por un conjunto neumático, hidráulico o motorizado, operan las válvulas individualmente.



- Operación automática completa.- Este sistema está operado eléctricamente, incluyendo mandos hidráulicos para obtener una completa automatización del reactor, una válvula conocida es la solomatic o control Bruner-Matic.

FIGURA 5.- TIPOS DE OPERACIÓN DEL ABLANDADOR

CAPITULO V

CONSIDERACIONES TECNICAS:

SITUACIÓN DE LA FABRICA Y CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACION DE LA MEJOR ALTERNATIVA AÑO 2003

5.1 Situación de la Fábrica

La fábrica contaba con un equipo ablandador de agua del año 1965, con una capacidad de diseño de 200 GPH, posteriormente se rediseño aumentando la capacidad a 250 GPH.

La tasa de crecimiento anual de la producción y de los requerimientos de agua en los últimos años ha llegado al 12%.

En vista de la gran demanda de los productos que elabora esta fabrica, se amplían las líneas de producción, instalando nuevos equipos, significando esto una mayor demanda de consumo de agua ablandada, por eso la urgencia de contar con un equipo ablandador de agua de mayor capacidad, debido a la tasa de crecimiento anual de producción, se necesitó diseñar un equipo de ablandamiento de agua, con una capacidad de tratamiento de 1 100 GPH, con una proyección de 10 años.

Los ablandadores se alimentaran con agua dura que vendrá de un reservorio de almacenamiento elevado y la presión máxima de operación será de 40 psi que corresponde aproximadamente a una altura de 28 metros de agua.

5.2 Consideraciones para la evaluación de la mejor alternativa

Las consideraciones se describirán paso a paso según se avance con los cálculos de capítulo VI, donde se determina directamente la mejor alternativa económica, a continuación describiremos algunas consideraciones importantes.

5.2.1 Materiales a emplearse

El uso de la resina LEWATIT S100 marca Bayer se va a emplear, por tener la información necesaria de sus características.

La dureza del agua disponible es variable a lo largo del año tomaremos el promedio más alto que corresponde a 400 ppm de CaCO_3 , que corresponde a un agua dura (tabla I, pág 6).

La capacidad máxima de diseño de 1 100 GPH para un tiempo de 10 años justificada anteriormente.

La eficiencia normal de procesamiento es experimental y aconsejada por el fabricante de resina, considerando también la calidad de agua, a parte de ser dura, se le debe tratar con aditivos o productos químicos.

Las tapas de los tanques reactores serán del tipo toriesféricas o bombeadas, por ser esta una característica de estética y más que

todo por economía ya que se dispone de menor espesor de plancha.

El material a emplearse en las tapas, cuerpo, soportes como la placa donde van instaladas las toberas plástica serán del tipo ASTM A -36 o similar.

5.2.2 Evaluación de la mejor alternativa

El punto de partida para elegir la mejor alternativa es el siguiente:

Se va a considerar 6 alternativas, comenzado inicialmente por un tanque reactor y su reserva e incrementándose hasta 6 tanques reactores con su respectiva reserva así lo muestra la siguiente tabla:

ALTERNATIVA	TANQ. REACTOR	RESERVA	TOTAL REACTORES
1	1	1	2
2	2	1	3
3	3	1	4
4	4	1	5
5	5	1	6
6	6	1	7

Cada alternativa contará con tan sólo un tanque regenerador, por ser antieconómico que cada tanque reactor tenga un tanque regenerador. Además la regeneración se puede programar en cualquiera de los grupos por contar con un tanque reactor de reserva.

Se considera el costo de materiales y accesorios de un tanque reactor y se multiplica por la cantidad de tanques que corresponda

a la alternativa más su tanque de reserva. El costo de la resina cantidad a emplearse en cada alternativa, se toma como referencia de la primera alternativa que contará con un solo tanque reactor, los siguientes serán sub-múltiplos. En esta subdivisión no se toma en cuenta el tanque de reserva ya que este será similar al tanque reactor de la alternativa que corresponda.

Con las dos consideraciones anteriores y tomando como coordenadas: grupos de tanques vs. costo de cada grupo (material y resina) y luego sumando ambos costos se obtiene el grupo de tanques más económico y esta sería la alternativa a elegirse.

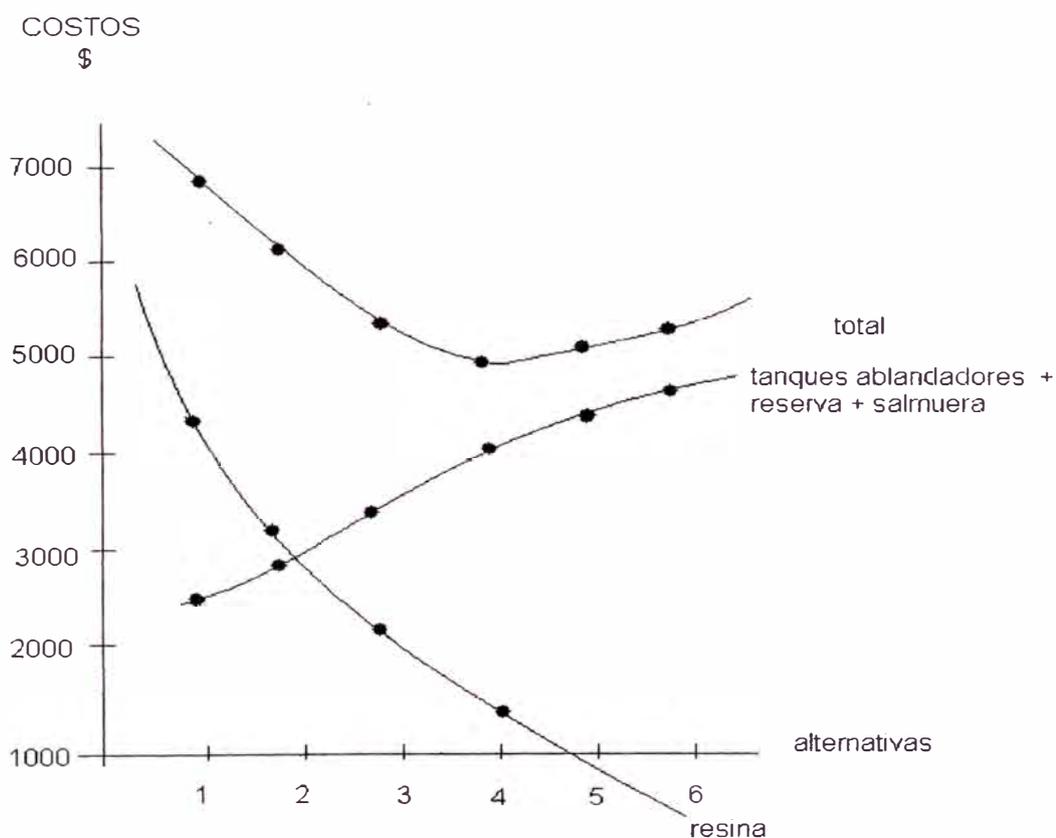


FIGURA 6.- EVALUACION ECONOMICA DE LAS ALTERNATIVAS

CAPITULO VI

SELECCIÓN OPTIMA:

CALCULOS Y EVALUACION ECONOMICA

6.1 Diseño del ablandador y Regenerador

6.1.1 Del agua - Datos técnicos:

Tiempo de procesamiento :	24 Horas
Capacidad :	1 100 GPH = 4 164 L/h.
Dureza del agua disponible :	400 ppm = 0,4 g/L
Resina a emplearse :	LEWATIT S-100 (Bayer)

6.1.2 Propiedades de la resina:

Forma :	En bolas
Granulometría :	0,3 - 1,2 mm
Peso a granel :	800 – 900 g/L
Capacidad útil:	Hasta 90 g CaCO ₃ /L de resina
Capacidad de regeneración :	Hasta 300 g NaCl/L de resina por metro y por cada m/h de velocidad de filtrado (20° C)

Capacidad de flujo de regeneración : 4,0 a 8,0 L/h / L

6.1.3 Capacidad de intercambio

$$C = 400 \text{ ppm} \times \frac{1 \text{ Grano/Galón}}{17,1 \text{ ppm}} \times 1 \text{ 100 GPH} \times 24 \text{ h}$$

$$C = 617 \text{ 543 Granos}$$

6.2 Diseño del ablandador

Se tiene que:

$$V_r = \frac{Q \times d \times H}{C \times n} \dots\dots\dots (6.1)$$

Donde:

- d : Dureza (g/L)
- V_r : Volumen de resina (L)
- Q : Flujo de agua (L/h)
- H : Tiempo de procesamiento (h)
- C : Capacidad útil de la resina
- n : Eficiencia del proceso

Consideraciones y características de diseño:

$$n = 0,8$$

$$h_a = 2 \text{ Da} \dots\dots\dots (6.2)$$

$$V_a = 2 V_r \dots\dots\dots (6.3)$$

Reemplazando en la ecuación (6.1) se obtiene:

$$V_r = 555,0 \text{ L}$$

Con la ecuación (6.3)

$$V_a = 1\,110 \text{ L}$$

Determinando las dimensiones del ablandador:

$$V_a = 3,1416 \text{ Da}^2 \times h_a \dots\dots\dots(6.4)$$

Reemplazando (6.2) en (6.4) y despejando Da se obtiene:

$$D_i = D_a = 0,086 \times \sqrt[3]{V_a} \dots\dots\dots(6.5)$$

$$\mathbf{D_i = D_a = 0,89 \text{ m}}$$

De la ecuación (6.2)

$$\mathbf{h_a = 1,78 \text{ m}}$$

Evaluación de la altura de la resina:

$$h_r = \frac{4 \times V_r}{\pi \cdot D_a^2}$$

$$h_r = 0,00127 \times \frac{1,249L}{1,14mm} \dots\dots\dots(6.6)$$

$$\mathbf{h_r = 0,89 \text{ m}}$$

Los demás resultados aparecen en la tabla V.

6.3 Diseño del tanque regenerador

$$W_s = \frac{0,3(KgNaCl)}{(L.resin a)} \times V_r \dots\dots\dots(6.7)$$

$$\mathbf{W_s = 166,5 \text{ kg NaCl}}$$

Solución al 10%

$$V_s = 166,5 \text{ kg NaCl} \times 10 \text{ L/kg NaCl}$$

$$\mathbf{V_s = 1\,665 \text{ L}}$$

Debido al empleo de las válvulas multiport, en la fase de regeneración hay succión de la salmuera al ingresar agua dura al reactor por lo que la concentración en el tanque de salmuera deberá aumentar a 40%; por lo que a la cantidad anterior de volumen del tanque regenerador la multiplicaremos por 0,6.

$$V_s = 999 \text{ L}$$

Dimensionamiento del tanque:

$$V_s = \frac{\pi}{4} D_B^2 x h_B \dots\dots\dots (6.8)$$

Considerando:

$$h_B = D_B \dots\dots\dots(6.9)$$

Esta consideración se hace por lo siguiente:

Dar facilidad al operario encargado, de vaciar las bolsas de sal, para la preparación de la salmuera motivo por el cual el tanque no debe ser muy alto, por lo que incrementa el diámetro para mantener la misma capacidad. De la ecuación (6.8) y (6.9) y despejando D_B obtenemos:

$$h_B = 1,08 \text{ m} \qquad D_B = 1,08 \text{ m}$$

Resultados de las demás alternativas en la tabla V.

ABLANDADOR						REGENERADOR			
ALTERNATIVA	Vr L	Va L	Da m	ha m	hr m	Vs L	Ws Kg	DB m	hB m
1	555	1110	0,89	1,78	0,89	999	166,5	1,08	1,08
2	275	555	0,71	1,42	0,69	495	82,5	0,85	0,85
3	137,5	275	0,56	1,12	0,56	248	41,3	0,68	0,68
4	68,8	139	0,45	0,90	0,45	124	20,6	0,54	0,54
5	34,4	70	0,35	0,70	0,35	62	10,3	0,43	0,43
6	17,2	35	0,28	0,56	0,28	31	5,2	0,34	0,34

TABLA V.- DIMENSIONAMIENTO DE LOS TANQUES ABLANDADORES

6.4 Diseño mecánico de los tanques

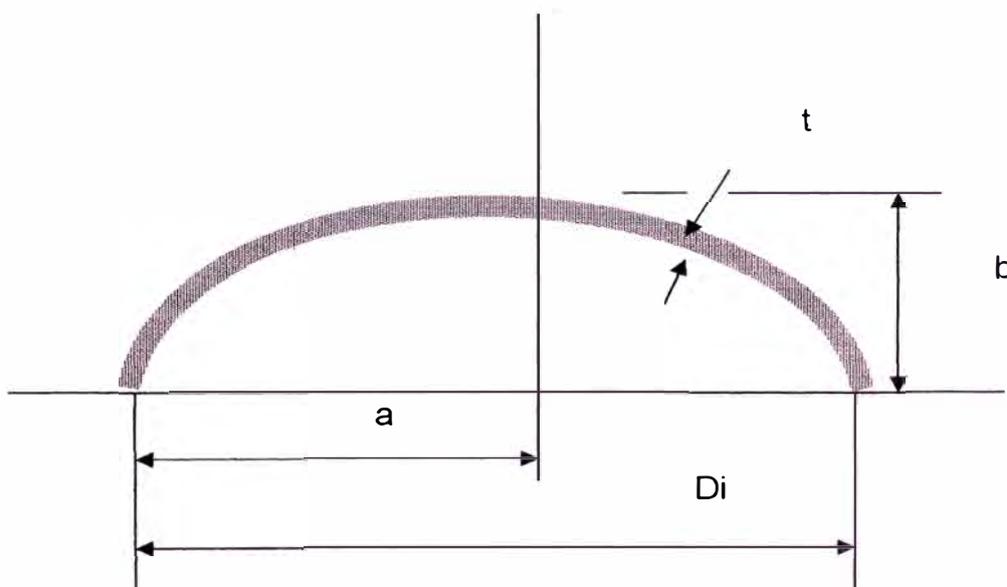
6.4.1 Tanque reactor

6.4.1.1 Tapas

Característica	:	Bombeadas
Material	:	Planchas de acero al carbono
		Calidad ASTM A-36
Temperatura	:	100°F 38°C
Esfuerzo	:	Sf = 16 900 psi 11,9 Kg/mm ²
Presión de diseño	:	Pd = 150 psi 0,106 Kg/mm ²

Nota: Las fórmulas para el diseño mecánico son obtenidas del libro PROCESS EQUIPEMENT DESIGN VESSEL DESING y tablas de corrosión, así mismo son basadas en lo establecido en el código ASME SECCION VIII DIVISION 1.

$$t_1 = \frac{Pd \cdot Di \cdot W}{2 \cdot Sf \cdot e - 0,2Pd} + Co \quad \dots \dots \dots (6.10)$$



Donde:

- t_1 : Espesor de la tapa (mm)
 Pd : Presión de diseño
 W : Factor de intensificación de esfuerzo para tapas torisféricas

$$W = \frac{1}{4} (3 + \sqrt{rc/r1})$$

$$Rc/r1 = (\sqrt{k^2+1} - K) / (\sqrt{k^2+1} - 1)$$

$$K = a/b$$

e = Eficiencia de la junta (soldadura eléctrica e = 1)

Co = Espesor de pérdida por corrosión aprox. 0,00011 mm por año.

Reemplazando la ecuación (6.20) se obtiene:

$$t = 0,0042D_i + 0,00011\text{mm} \dots \dots \dots (6.1)$$

Reemplazando $D_i = 890$ mm

$$t = 3,85 \text{ mm}$$

6.4.1.2 Cuerpo central

Determinando el espesor por el esfuerzo circunferencial tenemos:

$$t_c = \frac{Pd.R_i}{Sf.e - 0,6Pd} + Co = \frac{Pd.R_o}{Sf.e - 0,4Pd} + Co$$

Donde R_i : Radio interior (mm)

R_o : Radio exterior (mm)

Reemplazando datos:

$$t_c = 0,00448 D_i + 0,0001 \text{ mm} \dots \dots \dots (6.12)$$

Reemplazando en la ecuación (6.12)

$$t_c = 4,10 \text{ mm}$$

Determinando el espesor por el esfuerzo longitudinal tenemos:

$$t_l = \frac{Pd.Ri}{2Sf.e + 0,4Pd} + Co$$

Reemplazando tenemos:

$$t_l = 0,00222 Di + 0,00011 \text{ mm} \dots \dots \dots (6.13)$$

Reemplazando en la ecuación (6.13)

$$t_l = 2,09 \text{ mm}$$

Resultados de los cálculos tabla VI

ALT.	TAPA			CUERPO					
				ESF. CIRCUNFERENCIAL		ESF. LONGITUDINAL		SELEC. Pulg	PESO Kg
	TEOR mm	PRACT Pulg.	PESO Kg	TEOR mm	PRACT Pulg.	TEOR mm	PRACT Pulg.		
1	3,85	3/16	49,3	4,01	3/16	2,09	1/8	3/16	186,1
2	3,10	1/8	20,4	3,30	1/8	1,70	1/8	1/8	79,0
3	2,46	1/8	13,0	2,60	1/8	1,35	1/8	1/8	49,1
4	2,00	1/8	8,2	2,13	1/8	1,10	1/8	1/8	32,0
5	1,60	1/8	5,2	1,7	1/8	0,90	1/8	1/4	19,2
6	1,30	1/8	3,3	1,4	1/8	0,73	1/8	1/8	12,3

TABLA VI.- ESPESORES DE PARED Y TAPAS DEL ABLANDADOR

6.4.2 Tanque regenerador

Como este tanque va a trabajar con NaCl en solución y como es una sustancia muy corrosiva tendrá que tener un recubrimiento de

fibra sintética y tomamos como espesor de pared de 3/8 pulgada para los casos de todas las alternativas tabla V pág. 63 .

6.5 Selección de la tubería de la instalación

$$Q = V \times A = V \times 3,1416 \sqrt{Dt} / 4$$

Donde:

Q = Caudal (GPH)

V = Velocidad del agua (m/s)

Dt = Diámetro de la tubería (m)

Se recomienda que la velocidad de agua en tuberías debe ser de 3 m/s para este tipo de ablandadores.

Reemplazando tenemos:

$$Dt = 0,0006679 \sqrt{Q} \dots\dots\dots(6.14)$$

Reemplazando en la ecuación (6.14)

$$Dt = 0,2215 \text{ (m)} = 0,87''$$

Seleccionamos por diámetro comercial

Dt = 1" de diámetro

Demás resultados en la tabla VII.

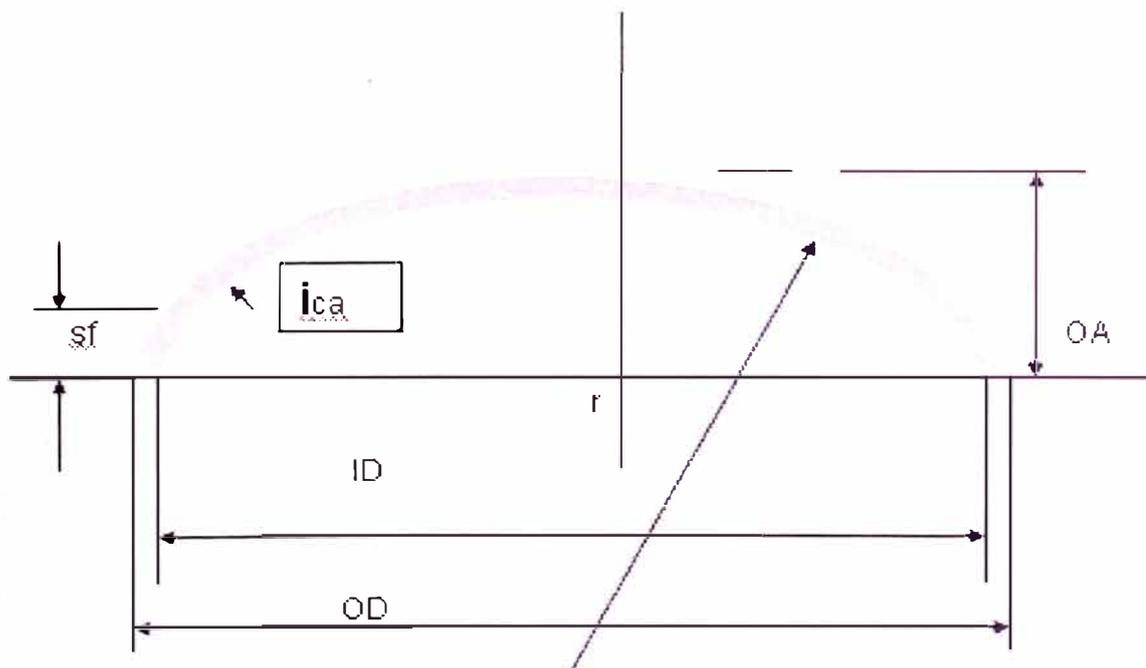
ALTERNATIVA	CAUDAL GPH	DIAMETRO DE LA TUBERIA			
		VELOCIDAD D m/s	TEORICO mm	TEORICO Pulg	SELECCIONADO Pulg
1	1100	3	0,02215	0,87	1
2	550	3	0,0157	0,62	3/4
3	275	3	0,110	0,44	1/2
4	220	3	0,0099	0,39	1/2
5	176	3	0,0089	0,35	1/2
6	140	3	0,0080	0,31	1/2

TABLA VII .- SELECCIÓN DE TUBERIA DE LA INSTALACION

6.6 Selección de la cantidad de toberas plásticas

Las toberas plásticas reemplazan a la grava según el distribuidor Calderos Part de toberas de ½" por 2", tienen una capacidad de filtración de 72 GPH cada una, por lo que para nuestro caso necesitamos 16 toberas.

6.7 Diseño de las tapas bombeadas



CONSIDERANDO TAPA TIPO IV CON:

$$r = 0,8 \text{ ID}$$

$$icr = 0,08$$

$$Sf = 0,2 \text{ ID}$$

$$OA = t + r - \sqrt{(r - icr)^2 - (ID/2 - icr)^2} + Sf \dots\dots\dots (6.15)$$

DP = Diámetro de la tapa antes de bombearse

$$DP = OD + OD/24 + 2Sf + 2/3 icr + t \dots\dots\dots (6.16)$$

WP = Peso de la placa

$$WP = (DP^2/4) \times t \times Pa \dots\dots\dots (6.17)$$

$$Pa = 7\,850 \text{ Kg/m}^3 \quad (\text{Peso específico del acero})$$

Reemplazando en (6.15, 6.16 y 6.17) se obtiene los resultados de la tabla VIII .

ALTERNATIVA	ID mm	t Pulg	t mm	OD mm	icr mm	r mm	Sf mm	OA mm	DP mm	WP Kg	CANTIDAD
1	890	3/16	4,76	899,52	71,2	712	178	374,28	1 344,76	53,08	4
2	710	1/8	3,18	716,36	56,8	568	142	297,97	1 071,17	22,5	6
3	560	1/8	3,18	566,36	44,8	448	112	235,69	846,94	14,07	8
4	450	1/8	3,18	456,36	36,0	360	90	190,02	682,50	9,13	10
5	350	1/8	3,18	356,36	28,0	280	70	148,50	533,01	5,57	12
6	280	1/8	3,18	286,36	22,4	224	56	119,79	428,37	3,60	14

TABLA VIII ESPECIFICACIONES PARA LAS TAPAS BOMBEADAS

6.8 Tiempo de regeneración para cada reactor

Dato normalizado: ciclo sodio : caudal 4,0 a 8,0 L/h / L

Volumen de salmuera : 999 litros

Considerando:

Caudal = 5 L/h x 555 L (resina)

Caudal = 2 775 L/h

$$T_R = \frac{V_s}{Caudal}(NaCl) \dots\dots\dots (6.18)$$

Reemplazando datos obtenemos:

$$T_R = \frac{999L}{2775L/h} = 0,36h = 21,6 \text{ minutos}$$

Reemplazando datos de la ecuación (6.18) obtenemos la tabla IX .

ALTERNATIVA	VOLUMEN RESINA (L)	VOLUMEN SALMUERA Vs	TIEMPO REGENERACION Tr minutos	h RESINA m
1	555	999	21,6	0,89
2	275	495	21,6	0,69
3	137.5	248	21,6	0,56
4	68,8	124	21,6	0,43
5	34,4	62	21,6	0,35
6	17,2	31	21,6	0,28

TABLA IX .- TIEMPOS DE REGENERACIÓN

6.9 Selección económica

De acuerdo a las consideraciones tomadas en el capítulo anterior, y con las fórmulas utilizadas en este capítulo se desarrollan de igual manera para las seis alternativas, obteniéndose la tabla X de costos.

ALTERNATIVA	TANQUES ABLANDADORES + RESERVA + SALMUERA	RESINA	TOTAL
1	2 443,7	4 440	6 883,7
2	2 666,9	3 330	5 996,9
3	3 151,7	2 200	5 351,7
4	3 666,8	1 376	4 930,5
5	4 545,8	825,6	5 371,4
6	5 183,7	481,6	5 665,3

TABLA X.- COSTOS DE MATERIALES PARA SU FABRICACION EN DOLARES AMERICANOS

Así mismo, graficándose con todos estos datos, se obtiene la figura 6 lo cual determina que la alternativa 4 es la más conveniente.

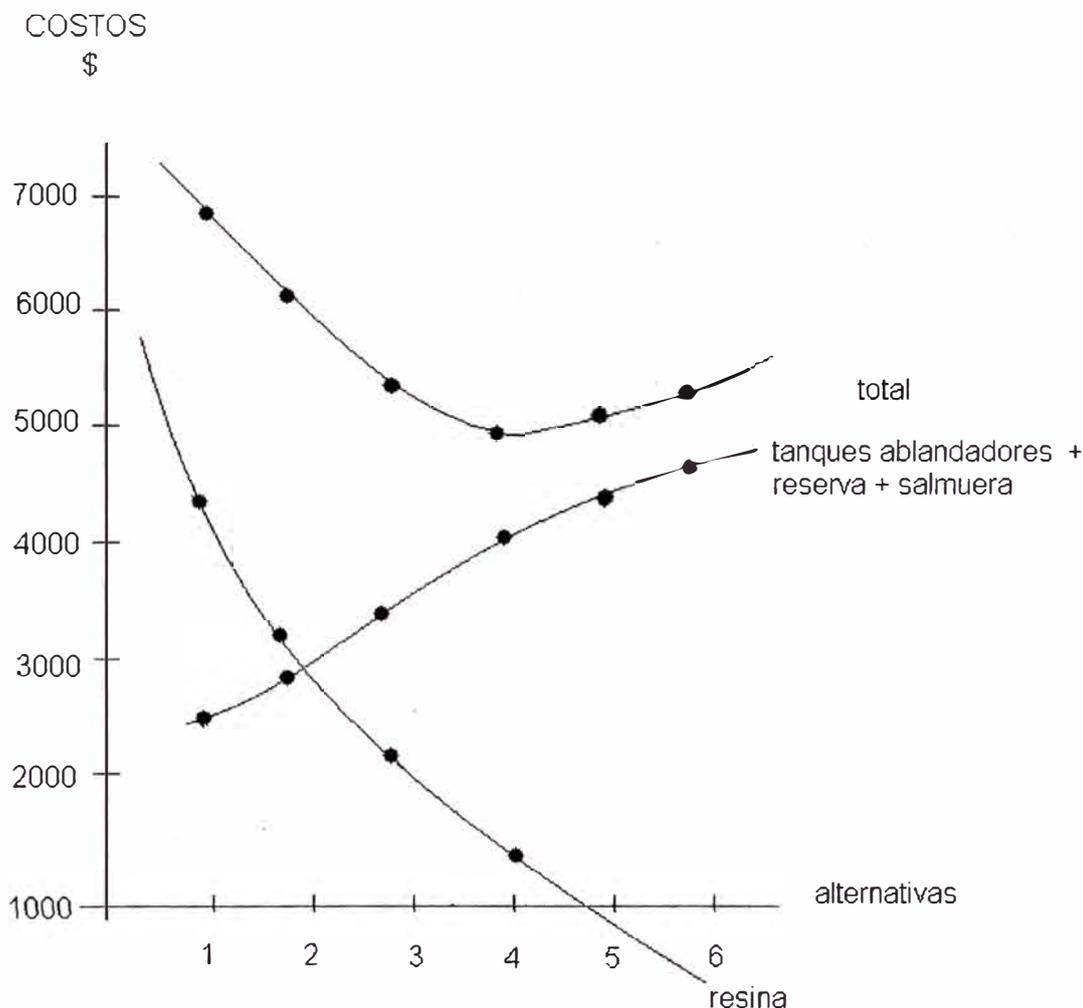


FIGURA 6.- EVALUACION ECONOMICA DE TODAS LAS ALTERNATIVAS

6.10 Pro forma de los ablandadores seleccionados

Equipo de ablandamiento de agua de las siguientes características:

Capacidad de intercambio	: 90 gr CaCO ₃ / L
Capacidad de tratamiento	: 1 100 GPH
Dureza del agua tratar	: 400 ppm (0,4 g/L)
Eficiencia de la regeneración	: 80%

Periodo de regeneración	:	24 horas
Presión máxima de operación	:	40 psi (2,8 bar)
Presión mínima de operación	:	30 psi (2,1 bar)
Presión de prueba del sistema	:	150 psi (10,6 bar)

Los tanques deben ser confeccionados según lo establecido en el código ASME SEC VIII división 1 “cálculos y diseño de tanque a presión” y como lo establece también a las pruebas a realizar.

La soldadura será realizado de acuerdo a las normas AWS D1.1 materiales de acero estructural.

Tres tanques reactores

Tipo	:	Cilindro Vertical
Diámetro	:	710mm (interior)
Altura	:	450 mm
Cantidad de resina	:	68,8 L
Toberas plásticas	:	4 unidades
Material	:	Plancha de Acero al Carbono calidad ASTM A – 36

Un tanque de salmuera

Tipo	:	Cilindro vertical
Diámetro	:	850mm (interior)
Altura	:	850 mm
Carga de grava especial	:	

Accesorios

- Tres válvulas multiport de 1/2" de diámetro de 3 posiciones
- Tres medidores de flujo de 1/2"
- Tres válvulas en línea de servicio de 1/2" tipo globo, material bronce
- Tres válvulas en línea de salmuera de 1/2" tipo compuerta, material bronce
- Tres grifos toma-muestra de 1/2"

CONCLUSIONES.

- La incidencia del costo de la resina y el costo de materiales con respecto a cada alternativa, fue un factor importante para poder elegir la alternativa más económica, aunque esto es una consideración particular porque pudo considerarse otros parámetros como el costo de las válvulas Multiport, costo de tuberías, costo de planchas, etc.
- Siempre es recomendable emplear a la salida del tanque de salmuera una bomba de agua para impulsarla y así realizar una mejor regeneración, entre la salida del tanque regenerador y la bomba deberá existir una válvula check.
- De acuerdo al conocimiento adquirido se tiene que el sistema de ablandamiento por resinas catiónicas requiere de un acabado final de la dureza, en la práctica deja escapar hasta 5 ppm de dureza expulsada en CaCO_3 , y esto se logra por medio de agentes inorgánicos y orgánicos alimentándolos directamente dentro del caldero.
- Los agentes inorgánicos eliminan la dureza, por combinación directa por la sales de calcio y magnesio y por la forma especial de la sílice disuelta.

- Una de las finalidades consiste en transformar las sales duras con el bicarbonato, sulfato de calcio y magnesio en compuestos fácilmente precipitables que no se adhieran a los tubos y placas del caldero, es decir, que no se formen incrustaciones peligrosas, los compuestos químicos más usados son el carbonato de sodio, los ortofosfatos de sodio, la soda cáustica o hidróxido de sodio.
- Básicamente los agentes orgánicos, son acondicionadores de lodos fluidizadores de los minerales precipitados y centrados dentro del caldero, para que puedan ser eliminados por las purgas en lugar que se adhieran a los tubos del caldero, entre lo principales tenemos; taquechol y pirogalol para caldero de baja presión, lignin-sulfatos para calderos hasta 2200 psig, almidones como dextrina y la celulosa.
- Del cuadro de costos versus alternativas se puede observar que la mejor alternativa es la 4 por lo tanto, se deberán mandar a fabricar cinco tanques ablandadores similares con un solo tanque regenerador como se detalla en 6.10 y como se observa en los planos de perspectiva y de detalles.
- El buen tratamiento de agua, mejora la eficiencia calórica lo que anualmente puede significar ahorros importantes de combustibles.

TABLAS

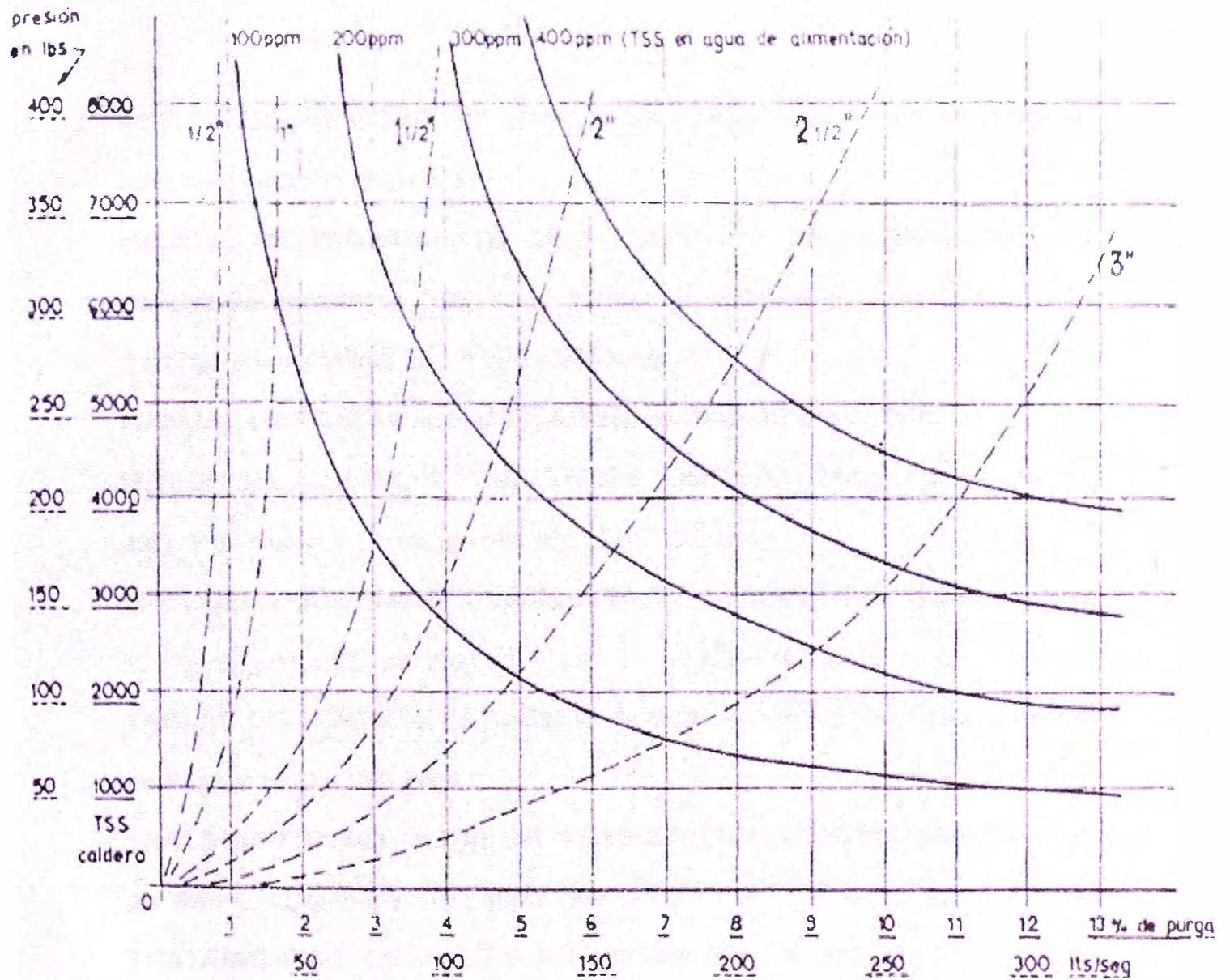


FIGURA 7.- DIAGRAMA PARA DETERMINAR EL % DE PURGAS A REALIZAR EN LOS CALDEROS

BIBLIOGRAFIA

DOW CHEMICAL COMPANY, water conditioning manual dowex ion exchange resins – 3º edición año 1985.

MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUA, editado por el departamento de sanidad del estado de New York, Heman E. Hilleboe M.D, primera edición, editorial Limusa Wikes S.A. 1964 – 205 págs.

MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUA, editado por Bayer 1998

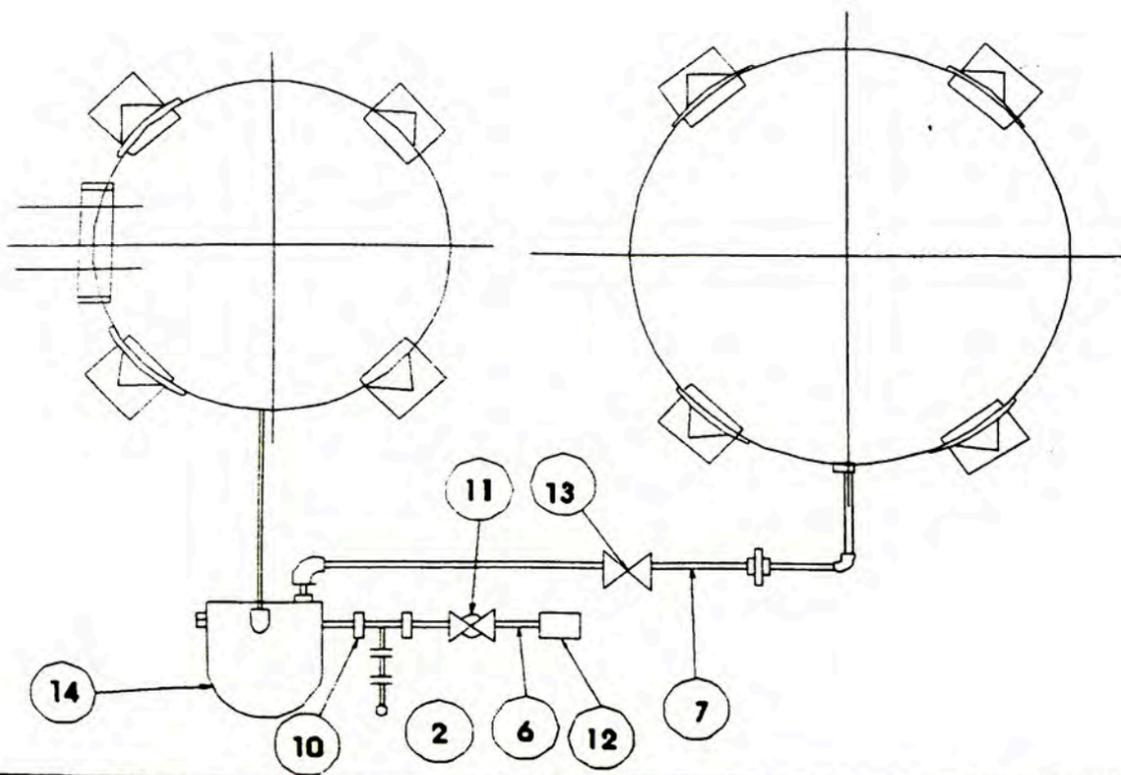
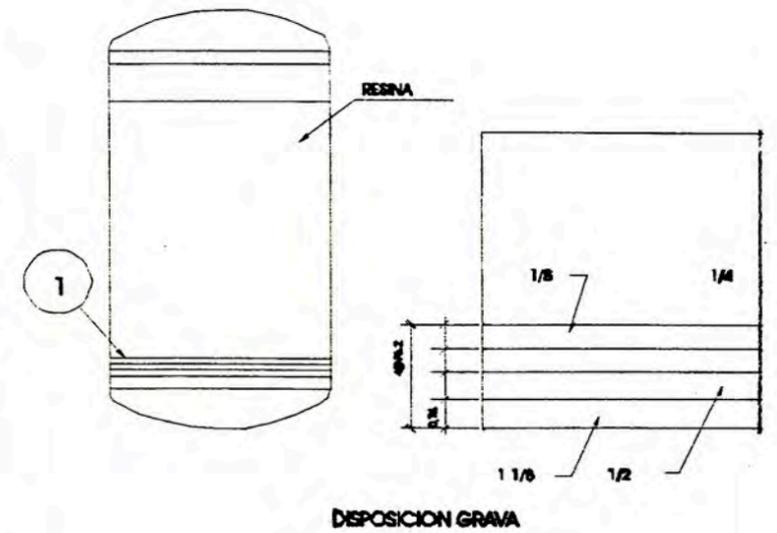
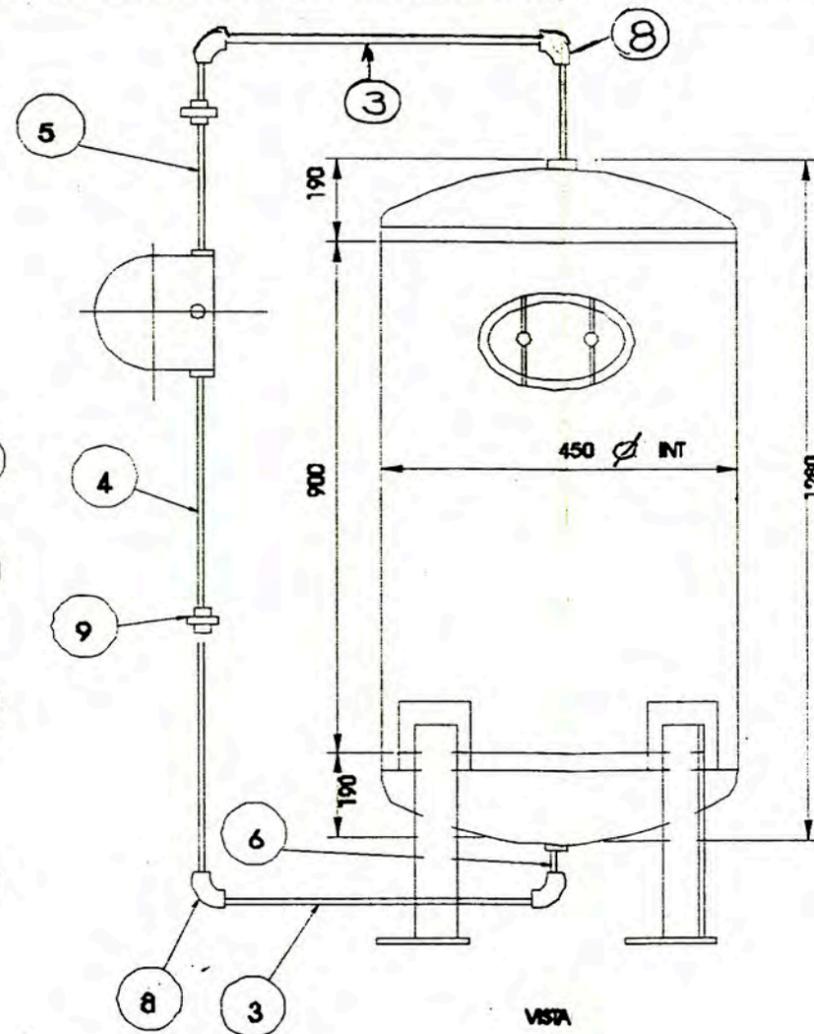
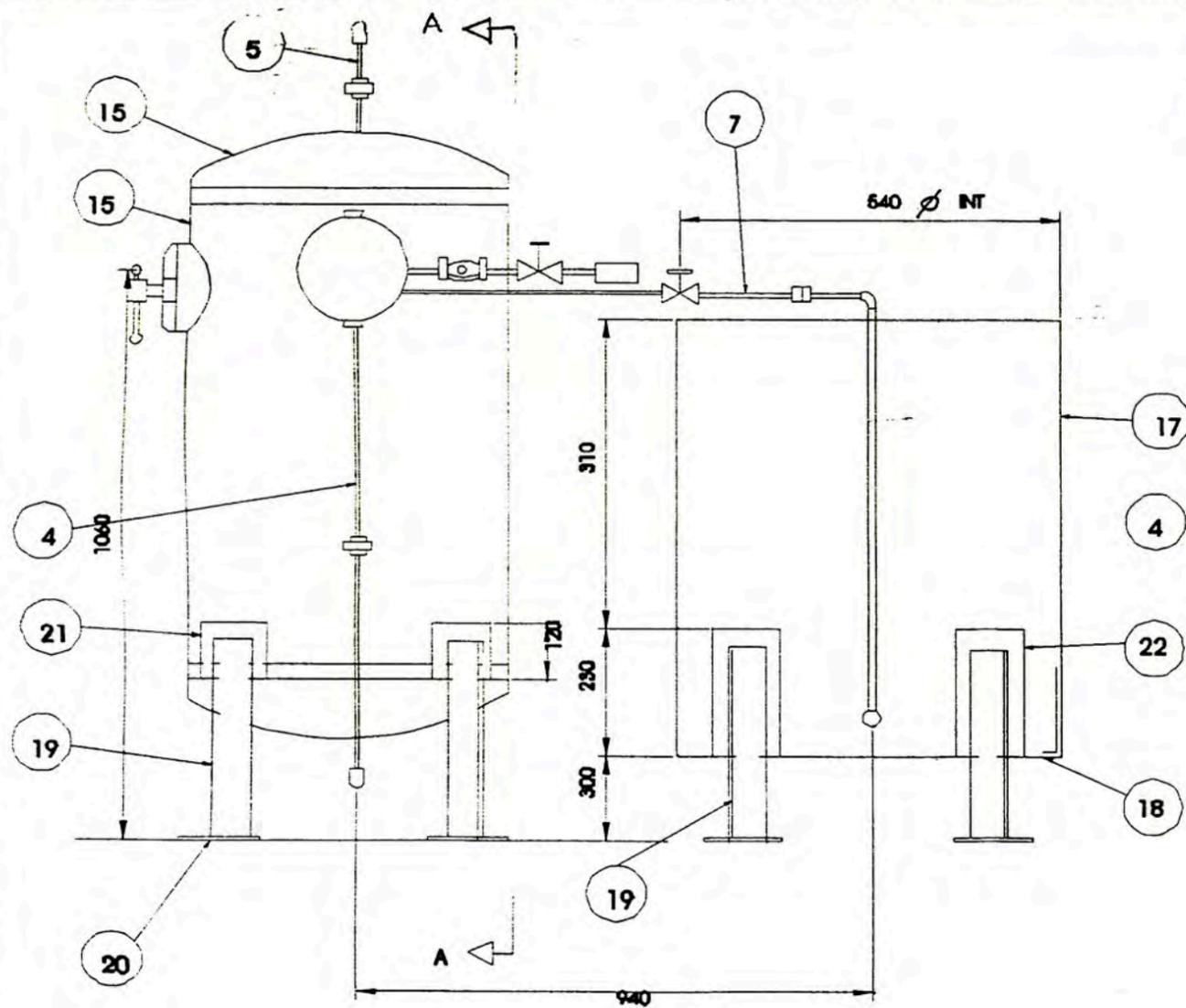
MITSUBISHI CHEMICAL INDUSTRIES LIMITED, Diaion manual of ion exchange resins – 1º edición octubre 1984 -135 págs.

PROCCES EQUIPEMENT DESING VESSEL DESING, Lloyd Brownel, Edwin H. Young, editorial Jonh Wiley & Sons Inc. - 1969 – 408 págs-

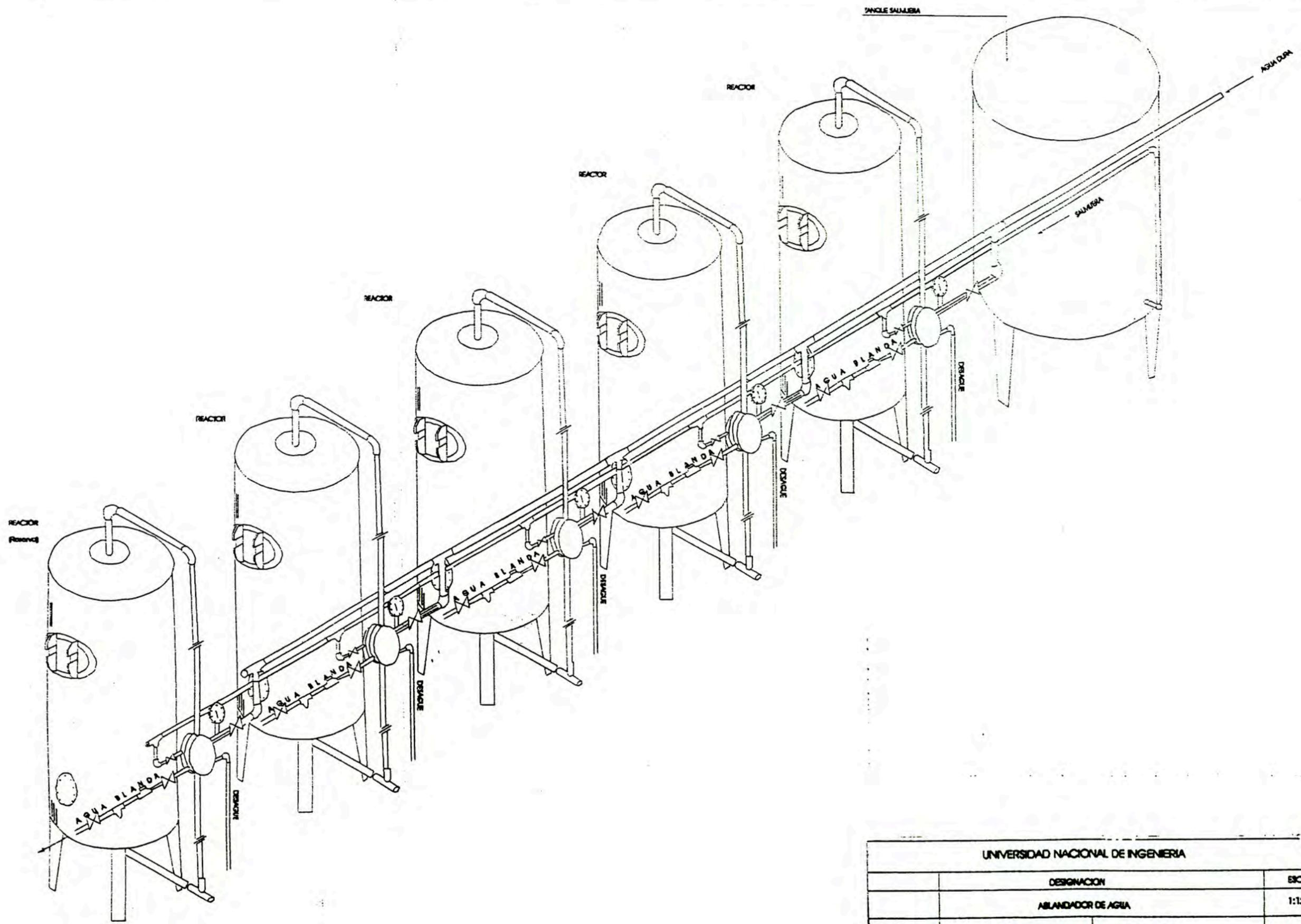
TABLAS DE CORROSION AVESTA, Avesta Jernversks Aktiebolag, impreso en Suecia 1969 – 198 págs.

TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACION DE CALDERAS, Editado por Permutit Company USA 1990 - 356 págs.

TRATAMIENTOS DE AGUAS INDUSTRIALES, Vergara Yayon Fernando, editores Kavi S. A. 1984 - 480 págs.



22	4	R. 1/4"x280x160 des.	SA-36	
21	4	R. 3/16"x120x150 des.	SA-36	
20	8	R. 1/2"x125x125	SA-36	
19	8	PATAS Lx1/45x3/8x370	SA-36	
18	1	TAPA	SA-36	R. 1/8"x540
17	1	CIL. DE SALMUERA 540x540	SA-36	R. 1/8"
16	2	TAPA TORESFERICA 190x450	SA-36	R. 1/8"x682.5 des.
15	1	CIL. REACTOR 450 INT ϕ INT x 900	SA-36	R. 1/8"
14	1	VALVULA MULTIPOR 1/2" ϕ x200	ACUAMATIC	
13	1	VALVULA DE COMPUERTA 1/2" ϕ x125	BRONCE	
12	1	MEDIDOR DE FLUJO 1/2" ϕ	BRONCE	
11	1	VALVULA DE GLOBO 1/2" x125	BRONCE	
10	1	TEE 1/2" ϕ	GALV.	
9	3	UNION UNIVERSAL 1/2" ϕ	GALV.	
8		CODO 1/2" ϕ 90°	GALV.	
7	1	ϕ 1/2" ϕ 900	GALV.	
6	4	ϕ 1/2" ϕ 10°	GALV.	
5	2	ϕ 1/2" ϕ 360	GALV.	
4	2	ϕ 1/2" ϕ x1092	GALV.	
3	2	ϕ 1/2" ϕ x650	GALV.	
2	1	GRIFO STD. 1/2"		
1	4	TOBERAS BAYER 1/2" x2"	PLASTICO	
POS	CANE.	DESCRIPCION		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
DESIGNACION			ESCALA
ABLANDADOR DE AGUA			1:125
FECHA	REVISADO	DIBUJADO POR	PLANO
11-04-05	ING ELBEO PUESA	GUZADO CORREZ J.	N°1