

720744



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

Facultad de Química

**Criterio de Selección de un Programa de
Tratamiento de Aguas**



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA

INFORME DE LA PRACTICA PROFESIONAL
Que para obtener el Título de:
INGENIERO QUIMICO
presenta
JAIME WILLIAMS RIVERA

MEXICO, D. F.

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS Tesis
AÑO 1989
FECHA
PROC M. I. ~~278~~ 299



JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Q. Ma. Cristina Rock Fernández
VOCAL: I.Q. Adela Castillejos Salazar
SECRETARIO: I.Q. Jorge Isaac Hernández Velasco
1er. SUPLENTE: I.Q.M. Héctor Alejandro Cárdenas Lara
2o. SUPLENTE: Dr. Joan Genescá Llongueras

Sitio donde se desarrolló el tema: Facultad de Química.


I.Q. Adela Castillejos Salazar
Asesor


Jaime Williams Rivera
Sustentante

A MI MADRE

A LA SRA. LILIA QUINTERO H.

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

CRITERIO DE SELECCION DE UN PROGRAMA

DE TRATAMIENTO DE AGUAS

PÁGINA	1	IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS
PÁGINA	5	TRATAMIENTO BACTERIOLÓGICO
PÁGINA	14	TRATAMIENTOS FÍSICO-QUÍMICOS
PÁGINA	29	TRATAMIENTO PARA GENERADOR DE VAPOR
PÁGINA	42	TRATAMIENTO PARA SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO
PÁGINA	55	RESULTADOS ESPERADOS CON EL CRITERIO APLICADO

BIBLIOGRAFIA

IDENTIFICACION DE SISTEMAS

El agua, preciado líquido que cubre 3/4 partes de nuestro planeta al estar en contacto con él, disuelve sales, gases presentes en la atmósfera y sirve de medio para desarrollo de un sinúmero de organismos uni y pluricelulares algunos de ellos peligrosos para la salud humana, y todo esto es considerado como "impurezas". Estas "impurezas" presentes en el agua, disueltas o en suspensión y no el agua misma, son la fuente de los problemas al usarla.

Debido a ésto es necesario el empleo de determinados procesos para acondicionarla antes de su uso.

Este acondicionamiento se llama potabilización si va encaminado a su uso para consumo humano, y genéricamente tratamiento si se destinará para otros usos.

La tecnología del tratamiento de aguas puede ser mejor comprendida si se tienen en mente los siguientes axiomas.

- ° NO HAY DOS CASOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS QUE REQUIERAN EXACTAMENTE LA MISMA TECNOLOGIA.
- ° HAY MAS DE UNA SOLUCION A CASI CUALQUIER PROBLEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS.
- ° CON LA EXCEPCION DE LAS GENERALIZACIONES ANTERIORES, TODA GENERALIZACION EN TRATAMIENTO DE AGUAS TIENE -- ALGUNA EXCEPCION.

Lo entenderemos mejor, si empezamos por clasificar los diferentes tipos de sistemas que usan agua.

Sistemas de un solo paso: Son los más simples. Tales como el uso doméstico, en oficinas, los sistemas de enfriamiento que toman agua de alguna fuente y la regresan a la misma sin recircular y los sistemas automáticos contra incendio.

Los problemas que se presentan en ellos dependerán únicamente de la composición del agua usada ya que prácticamente no hay alteración en la composición de la misma durante su uso.

Si es corrosiva atacará el metal con que esté en -- contacto, si tiene muchas sales disueltas hasta saturación a la temperatura de operación, provocará in crustación y depósitos, si tiene organismos presentes, éstos se desarrollarán y crearán dificultades.

Sistemas "cerrados" no evaporativos: tales como los de calefacción o agua helada en sistemas de aire -- acondicionado, calefacción solar y salmueras. En -- estos sistemas el factor común que altera la calidad del agua es la temperatura, pero debido a la poca agua de repuesto usada en ellos, los problemas -- generalmente no son agudos.

Sistemas "cerrados" evaporativos; como son las calderas de baja presión para calentamiento o de alta presión para generación eléctrica que involucran -- una total recuperación y reuso del agua evaporada. En ellos además de la temperatura, hay cambios en --

la química del agua, tales como pérdida de gases, - reversión en alcalinidad de bicarbonatos e incrementos en sólidos disueltos que, necesitan acondicionamiento especial para evitar problemas.

Sistemas "evaporativos abiertos": o sin recirculación tales como las calderas con poco retorno de -- condensado, cubicadoras de hielo y humidificadores sin neblina, y se caracterizan por el rápido incremento en los sólidos disueltos que afecta seriamente el comportamiento del agua acelerando los problemas que tiendan a presentarse.

Sistemas de recirculación "abiertos evaporativos": tales como los humidificadores de neblina y los sistemas de enfriamiento como las torres, los condensadores evaporativos y los enfriadores evaporativos. Estos combinan los efectos del incremento con aquellos derivados del íntimo contacto del agua con el aire.

Los cambios efectuados en el agua por su uso en estos diferentes sistemas causan problemas cuyos principales síntomas son:

- ° REDUCCION EN LA EFICIENCIA DE TRANSMISION DE CALOR.
- ° RESTRICCION EN EL FLUJO
- ° DISMINUCION EN LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS.

Lo anterior obviamente va acompañado de deterioro - en el equipo usado y pueden verse intensificados -- por causas ajenas al agua tales como:

Operación incorrecta, diseño inapropiado de materiales, defectos en la instalación y contaminaciones - con el proceso y todos ellos influyen en la selec-- ción del tratamiento adecuado.

Aunque con el tratamiento del agua se busca evitar o disminuir los problemas causados por las impure-- zas presentes en ella, para familiarizarnos con la terminología normalmente usada lo dividiremos en -- dos grandes secciones:

Tratamiento externo o Pre-tratamiento y Tratamiento interno. (ver tabla uno)

El tratamiento externo normalmente involucra algún tipo de equipo, se hace antes del punto de uso del agua y el acondicionamiento de la misma es removiendo aquellas impurezas indeseables presentes en la - misma o substituyéndolas por otras menos problemáti cas bien sea por medios físicos o químicos.

En el tratamiento interno se agregan productos quí micos muy cerca del punto de uso o directamente en él, para obtener el cambio deseado en la composi--- ción del agua.

Ambos tipos de tratamiento requieren de información adecuada para elaborar correctamente el programa -- del mismo, o sea un muestreo representativo de la - calidad promedio del agua de suministro, un análi-- sis confiable de la misma, conocimiento del tipo de sistema donde se va a usar, así como las condiciones de operación del mismo.

Si se siguen los pasos anteriores el programa de --
tratamiento tendrá éxito y los costos de operación --
por este concepto justificarán la inversión dedicada
a la elaboración del mismo.

TRATAMIENTO BACTERIOLOGICO

POTABILIZACION:

Comprende dos procesos básicos:

La disminución (en caso de ser necesaria) de algunas sales presentes hasta los límites de tolerancia por el cuerpo humano, y/o la eliminación de sales o subs tancias tóxicas que le impartan mal sabor.

En la mayoría de los casos en nuestro país las aguas municipales han sido debidamente tratadas hasta obte ner valores de sales contenidas en ellas dentro de --
límites tolerables por el organismo (ver tabla 2), --
siendo únicamente necesario tomar algunas precaucio-
nes adicionales para evitar contaminaciones que impi dan su ingestión sin problema.

El segundo proceso a que nos referimos es la elimina ción o destrucción de los organismos que pudieran --
estar presentes y sean peligrosos para el cuerpo hu-
mano.

La mayor parte de las aguas, aún en el caso de que sean totalmente claras, o hayan sido sometidas a un tratamiento previo, se encuentran generalmente, contaminadas por microbios nocivos para el organismo humano.

Puede obtenerse una depuración bacteriológica no despreciable, con algunos filtros que trabajan a muy pequeña velocidad, pero su acción debe completarse siempre con una esterilización eficaz.

Los principales agentes de esterilización empleados industrialmente son:

- ° El cloro y sus derivados
- ° El ozono
- ° Los rayos ultravioleta

ESTERILIZACION POR CLORO Y SUS DERIVADOS.

CLORO

El cloro, debido a su gran eficacia, incluso en dosis extremadamente pequeñas, y a su facilidad de empleo, es el reactivo más utilizado para la esterilización del agua.

Posee un poder oxidante muy elevado, que favorece la destrucción de las materias orgánicas. Su acción microbicida puede explicarse por la destrucción de las diastasas indispensables para la vida de los gérmenes microbianos.

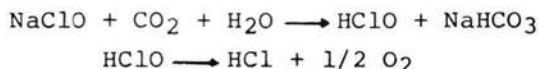
Como fuente de obtención de este reactivo se utiliza normalmente cloro gaseoso o hipoclorito de sodio o de calcio.

Las ecuaciones que representa las reacciones que se llevan a cabo, son las siguientes:

Cloro:



Hipoclorito de sodio:



Si el pH es inferior a 5, todo el cloro se encuentra en forma molecular; si está comprendido entre 5 y 6, el cloro se encuentra en forma de ácido hipocloroso (HClO): Si es superior a 10, el cloro se encuentra en forma de ión hipoclorito (ClO⁻).

Si el pH está comprendido entre 5 y 10, lo que es una mezcla de ácido hipocloroso y de iones hipoclorito, en proporciones variables según el pH.

La esterilización se efectúa mejor en medio ácido que en medio alcalino, y es más eficaz cuanto mayor es el tiempo contacto entre el agua y el reactivo. Si el tiempo de contacto es pequeño, se puede compensar con el empleo de una dosis mayor de reactivos.

CLORAMINAS

Son antisépticos muy estables, cuya acción es menos rápida que la del cloro, pero que subsisten en el agua durante un tiempo mayor.

Se preparan, generalmente, a partir de cloro y de amoníaco; la dosis de amoníaco está comprendida entre 1/4 y 1/2 de la dosis de cloro.

Se utilizan poco actualmente.

CONTROL AUTOMATICO DEL EXCESO DE CLORO

Como es sabido, la cantidad de cloro necesaria para asegurar la esterilización del agua depende del consumo que ésta tenga de cloro, y, de todas formas, conviene regular la esterilización de acuerdo con la dosis de cloro que se encuentre en exceso en el agua después de un cierto tiempo de contacto. Existen aparatos automáticos que efectúan la medida del exceso de cloro, ya sea por fotocolorimetría, por volumetría o por amperimetría.

EFICACIA DE LA ESTERILIZACION POR CLORO

La resistencia de los distintos gérmenes patógenos varía según la especie considerada, la naturaleza y la dosis del agente antiséptico utilizado. De acuerdo con algunos estudios publicados sobre la acción del cloro, pueden darse algunos datos relativos a su eficacia. No existen datos similares correspondientes a otros antisépticos.

Naturaleza del cloro: Utilizando una misma dosis, y para obtener la misma eficacia bactericida, sería necesario un tiempo de contacto cien veces más largo con el cloro combinado (cloramina) que con cloro libre.

La presencia de amoníaco reduce, por tanto la eficacia bactericida. Esta eficacia es mayor con un pH bajo y a una temperatura elevada.

ESTERILIZACION POR OZONO

El ozono es un gas inestable de fórmula O_3 , que se obtiene por la acción ionizante, sobre el oxígeno de un campo eléctrico creado por un potencial elevado. El fenómeno se manifiesta por la aparición de un efluvio violeta.

En la práctica, el ozono se obtiene industrialmente haciendo pasar una corriente de aire, o, con menos frecuencia, de oxígeno, entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial alterna. Con el fin de evitar la formación de un arco eléctrico, se recubre uno de los electrodos, o a veces los dos, con un dieléctrico de espesor uniforme, que crea una superficie equipotencial.

La diferencia de potencial a la que se someten los electrodos es función, evidentemente, de la naturaleza y del espesor del dieléctrico, así como de la distancia entre los electrodos. En la práctica, se encuentra entre 10,000 y 20,000 V.

INSTALACION DE ESTERILIZACION POR OZONO

Una instalación de esterilización por ozono, producido a partir de aire atmosférico, consta generalmente de una compresión y de una desecación del aire, antes de la ozonización y de la inyección en el agua a esterilizar.

1.- Deseccación del aire

Es indispensable que el aire de alimentación del ozonizador se encuentre perfectamente seco. En efecto, la presencia de vapor de agua produce un descenso del valor de la constante dieléctrica - del medio gaseoso, lo que puede dar lugar, en el límite, al paso del régimen de efluvi^o a la formación del arco eléctrico, que tendría como consecuencia el deterioro, más o menos rápido, de los electrodos. La misma presencia de vapor de agua hace que, al crecer el contenido de éste, - crezca el consumo específico de energía y disminuya la producción de ozono.

Por otra parte, la alimentación de un ozonizador con aire húmedo puede ser causa de la formación de derivados nitrados, inadmisibles en el agua - potable.

Es esencial, por tanto, disponer de una instalación adecuada de desecación de aire, y de un aparato preciso de medida del punto de rocío, con señal de alarma, de forma que se evite en todo momento la llegada de aire mal desecado al ozonizador.

En instalaciones pequeñas, la desecación se efectúa haciendo pasar el aire sobre un producto adsorbente, generalmente alúmina activada, o sobre un tamiz molecular que se regenera periódicamente.

En el caso de instalaciones importantes, antes del paso de aire sobre el producto adsorbente, - se efectúa por lo general, una condensación parcial del vapor de agua que contiene, haciendo --

descender su temperatura hasta un valor comprendido entre 2 y 5° C.

La elección del sistema de desecación se efectúa, generalmente por razones económicas. La refrigeración previa del aire tiene como consecuencia - una reducción de la importancia de los secadores, pero, por el contrario exige la utilización de - un grupo de producción de frío.

2.- Producción de ozono

La concentración normal en ozono del aire ozonizado es, por término medio, de 10 a 20 g/m³.

Para esta concentración, y supuesta una buena de secación (punto de rocío comprendido entre -40 y -60°C), la producción de los ozonizadores actuales varía, según los modelos, de 50 a 150 g. por m² de superficie de dieléctrico y por hora, si la frecuencia de la corriente es de 50 Hz. En ciertas condiciones, pueden obtenerse valores superiores, aumentando la frecuencia.

Una desecación menos eficaz tiene como consecuencia una producción netamente inferior, consumos específicos mayores y el deterioro rápido de los electrodos.

La energía eléctrica total consumida por la instalación completa varía, según su importancia, - de 20 a 30 W/g de ozono producido. El propio -- ozonizador consume de 14 a 18 Wh por gramo de -- ozono producido. Una parte muy importante de -- esta energía se convierte en calor debido a las pérdidas por efecto Joule en los dieléctricos, -

que provocan un fuerte calentamiento. Como el rendimiento de producción de ozono disminuye con la temperatura, debe preverse un sistema de refrigeración por circulación de agua.

La calidad de un ozonizador depende esencialmente de la naturaleza y de las características geométricas del dieléctrico.

3.- ESTERILIZACION POR CONTACTO DEL AGUA CON EL AIRE OZONIZADO

Para esterilizar 1 m³ de agua clara, se necesitan, aproximadamente, de 0.5 a 2 g de ozono, según las características del agua y el tiempo de contacto (agua y ozono); pueden necesitar dosis mayores si el agua a tratar es rica en materias orgánicas o en color. Se admite que, para eliminar totalmente los gérmenes comunes y los virus, debe mantenerse una concentración de ozono residual de 0.3 a 0.4 g por m³, durante un tiempo mínimo de cuatro minutos.

El ozono es poco soluble y, por ello, debe estudiarse cuidadosamente el contacto del aire ozonizado y del agua. La elección adecuada de los valores de la superficie de contacto gas-líquido y de la concentración de ozono en la fase gaseosa condicionan el rendimiento de la operación de solubilización. Si se tiene en cuenta solamente la solubilidad del ozono en el agua, parece interesante aumentar al máximo la concentración de ozono en el aire ozonizado. Sin embargo, para -

una dosis de tratamiento constante, al aumentar esta concentración se aumenta el consumo de ozonizador, se exponen los dieléctricos a fuertes calentamientos, que exigen limpiezas más frecuentes y se disminuye considerablemente la superficie de cambio agua-burbujas de aire, al reducir el volumen de estas últimas. El punto óptimo de funcionamiento se obtiene para una concentración de ozono de 12 a 15 g por m³ de aire medido a la presión atmosférica. El rendimiento de disolución decrece cuando la temperatura del agua aumenta y la presión de inyección disminuye.

OTROS PROCEDIMIENTOS DE ESTERILIZACION

Esterilización por rayos ultravioletas

Los rayos ultravioletas se producen por lámparas de vapor de mercurio a muy baja presión.

Su potencia es de 200 watts y la duración media de vida es de 2000 a 4000 h. Las longitudes de onda utilizadas están comprendidas entre 2000 y 3000 angstroms correspondiendo la máxima acción microbicida a unos 2600 angstroms.

El agua que se ha de esterilizar debe circular por las proximidades de la lámpara, en una corriente del menor espesor posible, ya que los rayos ultravioletas son absorbidos rápidamente por el agua. Esta deberá ser completamente clara.

Una ampolla de 25 watts puede esterilizar unos -- 2000 l de agua por hora, con un espesor de capa de 15 a 20 cm. pero, en la práctica, para obtener una esterilización suficientemente rápida, debe contarse con un consumo del orden de 40 Wh por metro cúbico de agua tratada.

El tratamiento se efectúa generalmente a presión. Se hace pasar el agua a tratar por el interior de un tubo en cuyo centro se encuentra otro tubo de cuarzo que envuelve la lámpara emisora de la radiación ultravioleta. De esta forma, el agua que debe esterilizarse se encuentra expuesta a las radiaciones germicidas en las condiciones indicadas de paso por una lámina delgada.

En la práctica y para el caso general que nos ocupa recomendamos el uso del cloro, ya que los inconvenientes de corrosividad, y ligero sabor en caso de exceso se ven compensados por el efecto bactericida residual de protección que se puede obtener - al aplicarlo en aguas previamente desinfectadas y desodorizadas.

TRATAMIENTO FISICO QUIMICO

Esto involucra tanto el externo como el interno.

Someramente los tratamientos externos son:

Sedimentación que se llama subsidencia o pre-decantación para eliminar la arena fina y el barro presente en aguas crudas, cuando el contenido de materias en suspensión es superior a los 10,000 mg/L.

Cuando se agrega un reactivo (poliélectrolitos) para aumentar la eficacia del proceso y acelerarlo se le nombra floculación.

Cuando las partículas en suspensión están en estado coloidal, por su tamaño y la carga generalmente electronegativa que poseen el tiempo que tomarían para asentarse sería de varios años, entonces se agrega un producto capaz de neutralizar la carga del coloide y formar un precipitado.

Los coagulantes más comunes son: Sulfato de alumina, Aluminato sódico, Cloruro férrico, Sulfato ferroso y Cloruro de Aluminio.

El mismo principio aplicado buscando abatir la dureza y la sílice en frío o en caliente (94°C) usando cal, carbonato de sodio, y óxido de magnesio se le llama suavización.

Todos los procesos anteriores se caracterizan por tener un denominador común: PRECIPITADO.

Este obviamente debe removerse, y parte se logra por decantación o sea dejar el agua en reposo o fluyendo a una velocidad muy baja, que permita que las partículas en suspensión se asienten y se separen por medio de rastras o purgas de lodos.

Sin embargo hay partículas pequeñas que es necesario separar por otro medio y este se llama filtración.

FILTRACION

La filtración es un procedimiento en el que se utiliza el paso de una mezcla sólido-líquido a través de un medio poroso (filtro) que retiene los sólidos y deja pasar los líquidos (filtrado).

Si las materias en suspensión que deben separarse tienen una dimensión superior a la de los poros, quedarán retenidas en la superficie del filtro. La filtración se denomina, en ese caso, superficial o en torta, o -- también sobre soporte. En caso contrario, las materias quedarán retenidas en el interior de la masa porosa y la filtración se denomina en volumen o en profundidad, o también sobre lecho filtrante.

FILTRACION A TRAVES DE UN LECHO FILTRANTE

Se utiliza una filtración sobre lecho filtrante, cuando la cantidad de materias que deben retenerse es grande y la dimensión de las partículas contenidas en el agua es relativamente pequeña.

Efectivamente, para que una filtración de este tipo -- sea eficaz, es preciso que las materias puedan pene---trar profundamente dentro del lecho y no bloquearlo en su superficie. Por otra parte, es preciso que el o -- los materiales que componen el lecho, se elijan cuidadosamente tanto en su granulometría como en la altura de capa, de forma que el filtrado responda a la cali---dad deseada.

Puede efectuarse esta filtración sin un acondiciona---miento previo del agua: es el caso de la filtración, lenta ó rápida, de un agua de la que sólo se desea reducir su contenido en materias en suspensión, sin acc---tuar sobre su color o su contenido en materias orgáni---cas.

Cuando se pretende obtener la clarificación óptima de un agua, por filtración rápida, es necesario acondicionarla previamente por adición de reactivos, con o sin decantación.

Un filtro se atasca a medida que su lecho se carga de materias retenidas.

Cuando el bloqueo alcanza un valor excesivo o la calidad del filtrado no es aceptable, debe procederse al lavado del lecho filtrante. Es indispensable, -- que, con este lavado, se devuelvan al lecho sus cualidades iniciales, sin las cuales, el filtro iría -- perdiendo eficacia y el material filtrante debería -- retirarse para su limpieza completa o para ser reemplazado.

El buen funcionamiento de un filtro depende del perfecto reparto a través de la masa filtrante del agua a filtrar, del agua de lavado y, eventualmente, del aire, si se utiliza este fluido en el lavado. Tiene, por tanto, una importancia fundamental la forma de -- distribución de agua filtrada y de reparto de agua -- de lavado, así como el sistema que se adopte como so -- porte del lecho filtrante.

Según las características de las partículas que de-- ben retenerse, puede efectuarse la filtración sobre una capa de mayor o menor altura, de material homogéneo, sobre dos o varias capas de diferentes granulometrías de materiales homogéneos a cada nivel o, por último, sobre una o varias capas de materiales de -- granulometría totalmente heterogénea y escalonada.

La eficacia de un filtro depende, fundamentalmente, - del sistema de regulación de su caudal; su regulación individual, si existe, debe estar al abrigo de cualquier fluctuación y la regulación de conjunto de la - instalación debe evitar los golpes rápidos e importantes de caudal, en cada filtro, tanto en los períodos de cambio de caudal general, como durante la fase de lavado, ya que, en caso contrario, las materias retenidas por el lecho atraviesan rápidamente el filtro - que es traspasado prematuramente por la materia en -- suspensión en el agua.

Para asegurar una buena filtración, un filtro debe -- reunir numerosas condiciones. No existe un filtro -- universal, sino filtros adaptados especialmente a cada uno de los problemas que se plantean.

FILTROS A PRESION

Estos filtros son, generalmente metálicos.

FILTROS VERTICALES LAVABLES SOLO CON AGUA

Van equipados con materiales filtrantes cuya granulometría y densidad deben elegirse de acuerdo con la velocidad de retorno de agua de lavado, que es necesario prever para su expansión. La capa filtrante descansa sobre un soporte de lechos sucesivos de materia les de granulometría creciente hacia abajo y la toma de agua filtrada se efectúa por un colector ramificado perforado, embebido en la capa de granulometría mayor.

En la mayoría de los casos, la capa filtrante es única, arena o antracita.

Pueden utilizarse, sin embargo, capas múltiples; - por ejemplo, arena fina y sobre ella, antracita de granulometría mayor. Según la granulometría del lecho filtrante, la velocidad de filtración puede variar.

La pérdida de carga máxima que se alcanza, al final del ciclo, es función esencialmente de la finura de la capa filtrante y de la velocidad de filtración; puede variar de 0.2 a 2 bares.

La velocidad de lavado está relacionada igualmente con la granulometría y debe ser suficiente para producir una expansión de la altura del lecho filtrante.

FILTROS VERTICALES LAVABLES POR AIRE Y AGUA

Filtros con capa única homogénea

El lecho filtrante, homogéneo en toda su altura, - descansa sobre el falso fondo metálico en el que - van roscadas las boquillas metálicas o de plástico, según la naturaleza y la temperatura del líquido - a filtrar.

La altura de capa debe adaptarse a la velocidad de filtración y a la carga de materias a retener.

Las velocidades de filtración varían. En tratamiento industrial, se utiliza este filtro, trabajando a grandes velocidades, con aguas cargadas de sustancias minerales o residuos metálicos, con poco poder de atascamiento.

Estos filtros se adaptan, perfectamente, a su utilización en batería.

Este tipo de filtro ofrece grandes ventajas:

- ° Simplicidad de manejo
- ° Seguridad total de funcionamiento
- ° Caudal pequeño de agua de lavado y, por tanto, consumo reducido.

El carbón activado, debido a su alto poder adsorbente, puede utilizarse sobre una capa soporte de celulosa, - para decoloración y la eliminación, casi total, de materias orgánicas de origen vegetal.

Las diatomeas son conchas silíceas fosilizadas, de origen marino, muy finas (5 a 100 micras) y que tienen un cierto poder adsorbente. En presencia de aguas cargadas de coloides, se consigue con las diatomeas una mejor clarificación que la obtenida con la celulosa. Son además capaces de adsorber impurezas en emulsión, - como aceites e hidrocarburos. La sílice de las diatomeas es ligeramente soluble en el agua desmineralizada.

INTERCAMBIO IONICO

Volviendo a nuestra tabla de referencia (No. 1) el proceso que vamos a tratar a continuación se le conoce -- como intercambio iónico y su uso más común es para eliminar los iones de calcio y magnesio del agua (ablan--darla o suavizarla), culpables de la dureza.

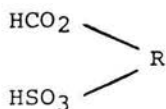
CARACTERISTICAS QUE DEFINEN UN INTERCAMBIADOR DE IONES

Un intercambiador de iones, para poder utilizarse industrialmente, debe responder a las siguientes especificaciones:

Su estructura química, generalmente macromolecular, debe ser tal, que incluya en su molécula uno o varios radicales de función ácida o básica.

La presencia de estos radicales hace que, en el estudio de los fenómenos de cambio, pueda equiparse un intercambiador de cationes con un ácido de forma $H - R$ y un intercambiador de aniones con una base de forma $R-OH$. La fuerza de este ácido o de esta base, es función de la naturaleza del núcleo molecular y de los radicales unidos a él, HCO_2 , HSO_3 , NH_3OH , etc.

Se dice que un intercambiador es monofuncional, si en su molécula sólo existe un tipo de radicales, por ejemplo HCO_2 o HSO_3 ; y polifuncional, si la molécula posee, simultáneamente, radicales de naturaleza y, en consecuencia, de fuerza iónica diferentes, por ejemplo:



El producto debe ser insoluble en las condiciones normales de empleo.

En la práctica, todos los intercambiadores actualmente utilizados responden a esta condición y su solubilidad real, a la temperatura ambiente, no teniendo en cuenta el período inicial, es indetectable por los métodos normales de análisis en las condiciones de

caudal y temperatura habituales.

Esto no se cumple, sin embargo, en el caso de algunos intercambiadores de iones, si la temperatura sobrepasa un cierto valor.

El producto debe presentarse en granos de la mayor homogeneidad posible y de tales dimensiones que su pérdida de carga en filtración sea aceptable.

La variación de los iones retenidos por el intercambiador no debe producir la degradación de su estructura física.

En el proceso de cambio, el intercambiador puede fijar iones, o complejos ionizados, de dimensiones y pesos muy variables.

En algunos casos, esto da lugar a un aumento de volumen o a una contracción no despreciables (hasta el 100% con algunas resinas carboxílicas (HCO_2R), entre la fase H y la fase NH_4). Esta hinchazón y esta contracción no deben ser causa, evidentemente, de una rotura de los granos. Por otra parte, el diseño de los aparatos debe tener en cuenta, en los casos extremos, la necesidad de permitir esta expansión sin que se produzcan compresiones demasiado fuertes en el seno del lecho intercambiador.

Conviene tener siempre presente que el empleo de intercambiadores de iones está sujeto a cierto número de condiciones que se desconocen con mucha frecuencia:

Los intercambiadores de iones sólo pueden trabajar en presencia de una fase líquida de concentración limitada y no se resuelve con ellos todo tipo de problemas.

Los intercambiadores de iones están destinados a fijar iones y no a filtrar materias en suspensión, coloides o emulsiones grasas. La presencia de estas sustancias acorta la duración de la vida de los productos. Se es tudiará más adelante el problema complejo de las mate rias orgánicas solubles.

La presencia en el agua de gases disueltos en gran can tidad puede dar lugar a fuertes perturbaciones en la ac tividad de los cambiadores.

Los oxidantes enérgicos (Cl_2 y O_3) afectan en ciertas resinas.

Por último, y de una manera general, la aplicación a es cala industrial de los resultados de laboratorio o de la información facilitada por los fabricantes de in tercambiadores de iones, exige mucha prudencia.

Las normas de cálculo y de explotación de los aparatos tienen tanta importancia como el conocimiento de la ac tuación teórica de los intercambiadores.

VOCABULARIO EMPLEADO EN EL INTERCAMBIO DE IONES

Capacidad (o poder de intercambio) de un intercambia-- dor.

Es la masa de iones que puede fijarse por unidad de vo lumen (menos frecuentemente de masa) del intercambia-- dor considerado. La capacidad se expresa en equivalen tes gramo, o en grados X metro cúbico o grados X litro por litro de resina asentada, siendo variable el valor del grado, con relación al equivalente gramo, según -- los países (grado francés, grado alemán, etc).

Hay que distinguir:

La capacidad total que es la masa total de iones intercambiables y que caracteriza a una resina dada.

La capacidad útil que es la fracción utilizable de la anterior, en función de las condiciones hidráulicas y químicas de cada caso particular de utilización.

Carga volúmica. Relación entre el volumen horario de líquido a tratar y el volumen de resina.

Dosis de regeneración. Masa de reactivo utilizada para regenerar la unidad de volumen de cambiador de iones.

Rendimiento de regeneración. Se denomina así usualmente a la relación: $EgR/EgRe$

Equivalentes gramo de reactivo regenerante empleado

Equivalentes gramo de reactivo que corresponden este quiométricamente a los iones intercambiados.

Se observará que en este caso el término rendimiento es impropio, ya que expresa la inversa de la noción de rendimiento.

Fuga iónica (o leakage). Relación (expresada en %) entre las concentraciones del ión a fijar, en el líquido ya tratado y en el líquido antes del tratamiento.

Desgaste. Desgaste mecánico de los granos de los intercambiadores durante su empleo.

PRINCIPALES TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE IONES

Existen dos grandes grupos de intercambiadores de iones:

Intercambiadores de cationes, caracterizados por la presencia en su molécula, de radicales de función ácida, tipo HSO_3 o HCO_2 , capaces de fijar cationes minerales u orgánicos y de cambiarlos entre sí, o por el ión hidrógeno H^+ .

Intercambiadores de aniones, cuyas moléculas contienen radicales de función básica, por ejemplo, funciones aminadas del tipo NH_3OH , capaces de fijar aniones minerales u orgánicos y de cambiarlos entre sí o por el ión oxhidrilo OH^- .

EMPLEO DE INTERCAMBIADORES DE IONES

Se describen, a continuación, los principales procesos de tratamiento de aguas en los que se utilizan cambiadores de iones en lechos fijos, regenerados y saturados de arriba abajo.

Estas técnicas, las más sencillas de utilización, han sido las únicas empleadas durante largos años. Sus inconvenientes, han llevado a estudiar métodos más modernos: Regeneración a contracorriente, lechos de intercambiadores diferentes superpuestos, intercambiadores de lechos móviles. Sin embargo solo se usan en casos sumamente específicos que no se tratarán en este resumen.

UTILIZACION DE UN INTERCAMBIADOR DE LECHO FIJO REGENERADO EN EL MISMO SENTIDO DE SATURACION

Se define el ciclo por la capacidad de cambio de la capa de resina correspondiente a una masa de iones intercambiables y, en consecuencia, a un cierto vo-

lumen de agua tratada entre dos regeneraciones. -
El ciclo consta de 4 fases:

Agotamiento o Fijación. Paso del volumen de --
agua definido anteriormente, a través de la capa
de resina, de arriba abajo.

Esponjamiento a contra-corriente de la capa de re
sina. (Retrolavado)

Regeneración. Paso de arriba abajo del reactivo
regenerante convenientemente diluído.

Enjuague. Eliminación del regenerante que impreg
na la resina, mediante un lavado con agua de arri
ba abajo.

Características generales de una unidad de inter-
cambio de iones.

Cualquiera que sea la naturaleza del intercambio,
suavización, descarbonatación o desmineralización,
cada aparato está constituido normalmente por un
recipiente cilíndrico, cerrado, de eje vertical,
que contiene la resina. Esta puede disponerse en
contacto directo con el sistema colector del lí-
quido tratado, constituido bien sea por boquillas
repartidas uniformemente sobre un fondo plano, o
bien por una red de tubos en número y de sección
convenientes, o puede ir sobre una capa soporte -
de material granular inerte: sílex, antracita o
granos de plástico, con una red colectora de dre-
naje.

Se prevé, por encima de la capa de resina, un espacio libre suficiente para permitir su expansión normal -- (entre el 30 y el 100% de su volumen asentado, según la naturaleza de la resina) en el momento de los es--ponjamientos o contracorriente.

El agua a tratar y el regenerante se introducen por la parte superior del recipiente, mediante un sistema repartidor, más o menos complicado.

El aparato va provisto de un conjunto externo de válvulas y tuberías necesarias para realizar las diver--sas operaciones de agotamiento (intercambio directo), retrolavado, regeneración (intercambio inverso), y enjuague.

Las válvulas pueden accionarse manualmente o de forma automática, o también reemplazarse por una válvula --central de pasos múltiples.

Las tres aplicaciones principales del tratamiento de agua por intercambiadores de iones son:

- ° Suavización
- ° Descarbonatación o Desalcalización
- ° Desmineralización total (denominada, a veces, biper--mutación).

OSMOSIS INVERSA

Este es un proceso en el cual el agua es forzada a --través de una membrana semi-permeable cuando la dife--rencial de presión entre los dos lados de la membrana es mayor que la presión osmótica, y no es simplemente

el flujo a través de un poro más o menos pequeño, si no la difusión de una molécula de agua a la vez a través de huecos en la estructura molecular de la membrana, de polímero amorfo que normalmente la forma.

También ha sido llamada hiper-filtración indicando su relación con el proceso de filtración a ultra presión, pero no debe confundirse con la ultra filtración que usa menores presiones, diferente tipo de membranas y no remueve solutos de medio y bajo peso molecular como lo hace la ósmosis inversa.

El producto obtenido aproximadamente es del orden del 10% del total de sólidos disueltos contenidos en el agua inicialmente, mientras que el resto de ellos quedan en lo que se llama el rechazo.

Sin embargo para obtener esta pureza hay que rechazar una cantidad muy elevada de agua ya que si se disminuye el rechazo o purga permitiendo alta concentración en ese lado de la membrana la calidad del efluente disminuye considerablemente.

De esta forma, en general si se desea un agua con 100 ppm de sólidos totales a partir de 1000 ppm originales, de cada 1000 L. de agua original se obtendrán entre 150 y 200 L. de agua de buena calidad, rechazándose el resto.

A esto hay que agregar la facilidad con que las impurezas (materia en suspensión sumamente fina), sales de curva de solubilidad inversa y materia orgánica presentes en el agua bloquean y contaminan las membranas por lo que se requiere de un pretratamiento para operar satisfactoriamente.

TRATAMIENTOS INTERNOS

Llamados también tratamientos químicos, complementan normalmente los tratamientos externos vistos anteriormente y terminan de acondicionar el agua para el uso al cual se va a destinar.

En el tratamiento de las aguas potables, que debe responder a unos fines comunes, se utiliza un número relativamente limitado de procedimientos, aunque éstos ciertamente se perfeccionan cada vez más; la industria requiere, en cambio, para unas necesidades múltiples, unas calidades de agua para cuya obtención no siempre pueden adoptarse unos procesos comunes de depuración. Es necesario el empleo de productos químicos normalmente adicionados en el punto de uso y de composición y cantidad variables de acuerdo a la calidad y uso a que se destina el agua.

TRATAMIENTOS GENERALES DE LAS AGUAS INDUSTRIALES:

GENERADORES DE VAPOR Y CIRCUITOS TERMICOS

Consta de tres zonas a evitar que sufran deterioro -- por contacto con el agua:

- ° El interior de la caldera
- ° Los tubos de la zona de vapor y el equipo que utiliza ese vapor
- ° Los tubos que retornan el condensado

El programa de tratamiento debe cubrir todas las posibilidades de problemas en éstas áreas y lo podemos dividir en las siguientes secciones:

- A) Inhibidores de incrustación
- B) Inhibidores de corrosión
- C) Control de concentraciones (descargas)
- D) Evaluación por análisis de las secciones - anteriores.

A) Inhibidores de Incrustación:

La incrustación es el depósito de sales provenientes del agua, en forma adherente sobre la superficie que sirve de medio transmisor de calor.

Normalmente tienen un coeficiente de transmisión de calor sumamente bajo (ver tabla 3) disminuyendo la eficiencia del equipo.

Los métodos para inhibir la formación de incrustación son:

- 1.- Eliminar los iones que la causan - Suavización o Desmineralización (proceso ya visto anteriormente).
- 2.- Sustituir uno de los componentes en la incrustación alterando su tendencia a adherirse al metal y facilitando su expulsión del interior del sistema.
Esto se logra agregando varios tipos de compuestos fosfatados que sustituyen a los carbonatos, sulfatos, cloruros etc. normalmente presentes en las incrustaciones.
- 3.- Acondicionar los lodos, o sea a los precipitados ya formados con los fosfatos es conveniente hacerlos, más voluminosos (para que se asienten rápidamente) más fluidos (para que resbalen sobre los tubos) o en el caso de aguas con poca formación de precipitados evitar que se -

aglomeren o sea DISPERSARLOS en el seno del líquido.

Los productos más usados son los poliacrilatos, poliolésteres, lignosulfonatos etc.

- 4.- Evitar la formación de espumas, este fenómeno aparentemente inofensivo en el interior de las calderas provoca, al romperse la burbuja que las gotas de agua conteniendo los sólidos disueltos presentes en el agua sean arrastrados por el flujo de vapor y se depositen en líneas de transmisión o de controles obstruyéndolos.

Los productos usados son modificadores de tensión superficial derivados de alcoholes etoxilados.

B) Inhibidores de Corrosión.

Considerando que el agua usada para generar vapor no esté contaminada con productos corrosivos provenientes del proceso únicamente será potencialmente corrosiva por su contenido de oxígeno, bióxido de carbono o ácido sulfhídrico.

El proceso se conoce como desgasificación o deaireación.

La desgasificación tiene por objeto la eliminación del oxígeno y del gas carbónico disueltos en el agua de alimentación de un generador de vapor, con el fin de proteger la caldera y los recalentadores anteriores a la misma, contra la corrosión. Esta corrosión es tanto más peligrosa cuanto más pura es el agua en la que se encuentran disueltos estos gases.

Generalmente, el tratamiento que sufre el agua de aportación de una caldera elimina prácticamente en su totalidad el gas carbónico disuelto, pero no modifica su contenido en oxígeno. Un agua fuertemente alcalina disuelve el hierro cualquiera que sea este -- contenido. Por ello, con el fin de evitar que el pH del agua, dentro de la caldera, alcance un valor demasiado elevado, debido a la concentración natural - en sales que en ella se produce, es necesario alimentarla con un agua cuyo pH sea próximo a 9. Para este valor se alcanza rápidamente la saturación del -- agua en hierro disuelto y la corrosión es muy pequeña, salvo que el agua contenga oxígeno que impida la creación de este estado de equilibrio que limita la evolución peligrosa del fenómeno de corrosión. Por tanto, es necesario eliminar todo el oxígeno disuelto.

Cuando el agua se utiliza en circuito cerrado, como es el caso de las centrales térmicas de producción - de electricidad, podría considerarse suficiente la - desgasificación del agua de aportación que compensa las pérdidas del circuito. Por razones de seguridad, y especialmente porque siempre es posible que se pro - duzca una entrada de aire en los puntos en los que - la presión interna es inferior a la presión atmosférica (caso de un condensador), se desgasifica la totalidad del agua de alimentación de la caldera.

El procedimiento de desgasificación física de un - - agua se basa en las dos leyes fundamentales que rigen la solubilidad de los gases. La primera, ley de - - Henry, dice que, a una temperatura dada, la concen--

tración másica de gas disuelto en un líquido es proporcional a su presión parcial en la atmósfera que se encuentra por encima del líquido. La segunda ley expresa que la solubilidad de un gas en el agua es una función decreciente de la temperatura.

Para desgasificar un agua, basta, por tanto, teóricamente, según la primera ley, que en el recinto que contiene el agua se mantengan las condiciones apropiadas de presión y temperatura del vapor saturante, para que los gases disueltos, entre ellos el oxígeno, pasen automáticamente a la fase vapor.

Si el agua atraviesa en continuo este recinto, deben evacuarse los gases al exterior a medida que pasan a la fase vapor, lo que se hace de forma natural si el recinto se encuentra a una presión superior a la atmosférica o mediante un eyector o una bomba de vacío, si se encuentra a una presión inferior.

La desgasificación puede efectuarse en vacío o a presión, pero la segunda ley enunciada indica que es más ventajoso operar a presión, puesto que al aumentarse la temperatura con la presión, decrece la solubilidad de los gases. Por otra parte, la resistencia al transporte de los gases de la fase líquida a la fase vapor es tanto mayor cuanto más elevada es la viscosidad del agua; el hecho de que esta viscosidad disminuya al aumentar la temperatura del agua, es un factor también favorable para la desgasificación a presión.

No entra dentro del plan de este manual realizar un estudio profundo del fenómeno de la desgasificación, ya que es mucho más complejo que lo que pueda parecer, según la exposición esquemática anterior. En es

pecial, no se puede aplicar estrictamente la ley de Henry, que se refiere a un estado de equilibrio, a un desgasificador térmico que funciona en régimen dinámico. Cualquiera que sea el procedimiento de desgasificación, en vacío o a presión, los aparatos deben responder a tres condiciones:

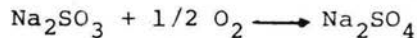
- ° Contacto máximo entre el agua y el vapor.
- ° Mantenimiento de la temperatura del agua en un valor próximo a la temperatura del vapor saturado, a la presión de desgasificación.
- ° Obtención, en la atmósfera del recinto, de una presión parcial del gas que se quiere eliminar, inferior a la correspondiente, según la ley de Henry, al contenido final exigido.

Este medio mecánico disminuye la cantidad de gases disueltos a valores inferiores a 1 ppm o 1 mg/l pero es necesario eliminar totalmente la presencia de estos gases si queremos evitar la corrosión.

Esta eliminación solo se puede hacer con dos productos: el sulfito de sodio y la hidrazina

Sulfito de sodio

Actúa según la reacción representada por:



Según esta reacción el consumo teórico es de 7.88 g. de sulfito sódico anhidro por gramo de oxígeno disuelto.

La velocidad de reacción del sulfito natural es generalmente suficiente a partir de 95°C, pero a temperaturas inferiores debe utilizarse sulfito catalizado para acelerar la reacción. El sulfito catalizado debe conservarse al abrigo de la humedad, si está en forma de cristales, y al abrigo del aire, si se encuentra en solución.

Hidrazina

Reduce el oxígeno según la reacción representada por:



Es decir, teóricamente, se necesita 1 g de N_2H_4 por gramo de oxígeno. La hidrazina se encuentra generalmente comercializada en forma de hidrato de hidrazina ($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) al 24%, es decir, al 15% en N_2H_4 .

La reacción es muy lenta en frío y a 80°C la dosis necesaria es aún varias veces superior a la cantidad teórica. Se han propuesto diversos procedimientos de catálisis de esta reacción.

Tanto la hidrazina como los productos de su reacción con el oxígeno son volátiles; este procedimiento, por tanto, no incrementa la salinidad del agua de la caldera. Sin embargo, a temperaturas superiores a 270°C deben tenerse en cuenta los productos de su descomposición, amoníaco y nitrógeno.

Con esto evitamos el problema de corrosión en la fase líquida, queda por resolverlo en la fase vapor.

Con la aplicación de la desgasificación y el complemento del sulfato de sodio o la hidrazina a la fase vapor solo pasarán pequeñas cantidades de bióxido de carbono como gas disuelto originalmente en el agua.

Sin embargo tenemos otra fuente de CO_2 que son los bicarbonatos presentes en el agua de alimentación.

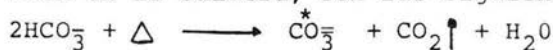
El carbonato y el bicarbonato sódico, contenidos en el agua de alimentación de una caldera, se descomponen, - en el interior de la misma, produciendo:

En el agua de la caldera, una mezcla de sosa cáustica y carbonato sódico, en unas proporciones que dependen del grado de hidrólisis del carbonato sódico a la presión de vaporización considerada.

En el vapor, gas carbónico.

En fase vapor saturado o sobrecalentado, el CO_2 no es corrosivo, pero si se produce una condensación, el CO_2 se disuelve en el agua condensada, confiriéndole un carácter francamente corrosivo.

Las ecuaciones que representan las reacciones que ocurren en la caldera, son las siguientes:



En líneas de condensado:



Es por tanto extraordinariamente importante proteger - las tuberías de condensados y de retorno frente a este tipo de corrosión. Se obtiene esto, generalmente, empleando aminas volátiles que se introducen en el agua de las calderas y son arrastradas con el vapor.

Estas aminas son de dos tipos:

Aminas neutralizantes: Amoníaco, ciclohexilamina, etanolaminas, morfolina, etc.

Al condensarse el vapor, combinan con el ácido carbónico disuelto, formando un bicarbonato de amina, no corrosivo. Los coeficientes de reparto del CO_2 entre las fases vapor y agua son tales que las dosis de empleo pueden ser muy inferiores a las cantidades estequiométricas calculadas, teniendo en cuenta el CO_2 -- efectivamente liberado en la caldera.

Con presiones bajas y medias, la dosis es del orden de 1 g por gramo de CO_2 liberado. Con altas presiones, después de una desgasificación térmica, las dosis son aproximadamente de 1 g/m³ de agua.

Aminas que forman una película protectora: Son aminas grasas de cadena larga. Un extremo de la molécula es hidrófilo, y el otro hidrófobo.

Las moléculas se orientan paralelamente unas a otras, perpendicularmente a las paredes metálicas y constituyen así una película continua e impermeable que elimina el contacto agua-metal y, por tanto, toda causa de corrosión.

Su dosis de empleo es aproximadamente de 2 g/m³, pero su utilización exige algunas precauciones.

El empleo de estas aminas está indicado especialmente cuando la cantidad de CO_2 que se libera es grande, es decir, cuando el consumo de amina neutralizante sería muy elevado.

Si la constitución de la red de tuberías puede obstaculizar la formación de una película realmente continua, debe evitarse este procedimiento ya que todas las corrientes de corrosión se concentrarían en las superficies no protegidas, y se producirían fácilmente perforaciones.

Conforme la caldera produce vapor y reponiendo su nivel con agua nueva los sólidos se van incrementando en razón directamente proporcional a los sólidos presentes en el agua de repuesto; además los productos químicos van produciendo lodos por las reacciones que llevan a cabo.

Debido a esto se hace necesario establecer un programa de descargas que permita eliminar los lodos formados antes que causen problemas y que además mantenga los valores analíticos de los diferentes constituyentes del agua que aún están en solución dentro de los límites establecidos.

La frecuencia y duración de las descargas es específica para cada sistema y si analizamos la gráfica No. 4 vemos la importancia de las mismas y las desviaciones que sufren las concentraciones cuando no se sigue correctamente el programa propuesto.

CONTROL

Todo lo anterior queda sin efecto si no existe algún tipo de información que nos indique claramente como se está comportando el sistema, y si hay desviaciones, que tan graves son y como corregirlas.

Este tipo de información solo puede recabarse por medios analíticos y la frecuencia de dichos análisis dependerá de la forma de operación del sistema (continua o intermitente) de las variaciones en cuanto a demanda de vapor, de la forma en que se aplique el tratamiento etc.

Es por eso que no hay un programa genérico, que pueda aplicarse a todos los casos; sin embargo si podemos sugerir las principales determinaciones que den una idea confiable del comportamiento del sistema, sin perjuicio que se lleve un control periódico con una frecuencia no mayor de cada 30 días por un químico especialista en tratamiento de aguas y en el cual se verifiquen por análisis todos los parámetros necesarios para tener un panorama completo del comportamiento del sistema y de acuerdo a esto hacer las correcciones pertinentes para obtener los resultados esperados del tratamiento.

En cuanto a las principales determinaciones que se puedan hacer con relativa facilidad y frecuencia por el personal operativo las siguientes nos pueden dar idea del comportamiento general.

Agua cruda - Ninguna por el personal, todas por el químico especialista.

Si el suministro es municipal-cada año análisis completo.

Si es de pozo - cada 6 meses análisis completo

Si es de río - cada 15 días análisis completo

TRATAMIENTO EXTERNO

FILTRACION

- POR ARENA - Revisar caída de presión para -
retrolavar oportunamente.
- POR CARBON ACTIVADO - Revisar caída de presión para -
retrolavar oportunamente.
Cloro residual en el efluente -
cada 3 meses.

INTERCAMBIO IONICO

- SUAVIZACION - Determinación de dureza en el -
efluente para regenerar oportu-
namente.
- DESALCALIZACION - Determinación potenciométrica,
normalmente el equipo tiene apa-
rato para lectura constante de
calidad.
- DESMINERALIZACION - El mismo caso anterior

Agua de Alimentación a Caldera

- ° Dureza cada 8 días máximo
- ° Hierro - cualitativa cada 8 días máximo

Condensado

- ° pH - diariamente
- ° Hierro - Cualitativa cada 3 días máximo

Caldera

- ° Dureza - Una vez por semana
- ° Cloruros - Dos veces por semana
- ° pH - Diariamente (en caso de variación fuera de -
límites, hacer dureza, alcalinidad total y -
tratamiento residual.

- ° Sólidos disueltos - Si se cuenta con el aparato -
diariamente y no hacer cloruros.
- ° Tratamiento residual
 - ° Fosfatos Cada mes máximo, de preferencia por
 - ° Sulfitos el químico especializado.

En la tabla No. 7 están los valores límites para calderas desde el punto de vista de operación en E.U.A.

TRATAMIENTO PARA SISTEMAS DE
ENFRIAMIENTO

La mayoría del agua empleada en la industria es -- usada para enfriar algún producto o proceso, y esto es debido a su gran capacidad calorífica.

Ultimamente el uso del agua para enfriamiento ha sido sujeto a un escrutinio cuidadoso tanto desde el punto de vista ecológico, como de conservación y como resultado el impacto en la química del agua ha modificado substancialmente los criterios de -- tratamiento.)

Este capítulo revisa brevemente las operaciones in dustriales que involucran agua de enfriamiento y -- los problemas de incrustación, corrosión y desarro llo de materia orgánica que afectan la eficiencia de transmisión de calor, provocan fallas o paros -- no programados y son examinados varios conceptos -- de tratamiento y sus procedimientos de control pa -- ra tener éxito.

El agua de enfriamiento normalmente no entra en -- contacto con la fuente de calor, si no, la separa una barrera buena conductora del calor llamada su -- perficie de transferencia, y frecuentemente la -- fuente de calor también es un líquido.

Una vez que el agua ha absorbido el calor de la -- fuente, este a su vez debe ser disipado, lo que en los sistemas de un solo paso se logra desechando -- el agua al lugar de donde se tomó (río, lago etc.) el cual absorbe el calor, en este tipo de sistema

cada litro de agua es calentado 1.23°C por cada 0.55 - calorías removidas del sistema.

En los sistemas de recirculación abierta el calor absorbido es cedido a la atmósfera poniendo a esta en íntimo contacto con él y permitiendo volver a usarla una y otra vez consumiendo mucho menor cantidad de agua.

Si somos congruentes con la identificación de los diferentes tipos de sistemas y sus problemas en cuanto a - tratamiento de aguas que hicimos al principio de este resumen vemos que el que más atención requiere es precisamente el de recirculación "abierto evaporativo" y será el que tratemos a continuación

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ABIERTO EVAPORATIVO:

Cada sistema de enfriamiento presenta una combinación única de equipo, calidad de agua, forma de operación y facilidades de control, siendo necesario recabar esta información para seleccionar el tratamiento adecuado - para él.

Consta de 3 zonas a evitar que sufran deterioro por -- contacto con el agua.

- ° El cambiador de calor
- ° Los tubos y bombas que transportan el agua
- ° La torre de enfriamiento en sí

El programa de tratamiento debe cubrir todas las posibilidades de problemas en estas areas y lo podemos dividir en las siguientes secciones:

- A) Inhibidores de Incrustación
- B) Inhibidores de Corrosión
- C) Control Biológico
- D) Evaluación analítica de las secciones anteriores.

A) Inhibidores de incrustación

La incrustación es el depósito de sales provenientes del agua, en forma adherente sobre la superficie que sirve de medio transmisor de calor.

Normalmente tienen un coeficiente de transmisión de calor sumamente bajo (ver tabla 3) disminuyendo la eficiencia del equipo.

Los métodos para inhibir la formación de incrustación son:

1.- Ciclos de concentración:

No se debe permitir un número de concentraciones mayor que el máximo para cada componente en equilibrio, pues una vez excedido este punto se inicia la precipitación y el problema de incrustación.

Dado que los valores de equilibrio para algunas sales son muy bajos el mantenerlas dentro de estos valores significaría una purga sumamente elevada, pero a continuación veremos el empleo de varios factores que alteran este punto de equilibrio incrementándolo y permitiendo por consiguiente reducir la purga y ahorrar agua.

Procedimiento de equilibrio

En función de cierto número de índices, introduciendo reactivos, se regula el pH, la dureza y la alcalinidad del agua de refrigeración y no del agua de repuesto, es decir, que se tiene en cuenta el grado de concentración de forma que se la sitúa en el equilibrio entre la incrustación y la corrosión.

El índice de Langelier $I_L = \text{pH} - \text{pH}_S$ ($\text{pH}_S = \text{pH}$ de saturación o pH de equilibrio) determina si un agua es incrustante ($I_L > 0$) o agresiva ($I_L < 0$).

Las dos nociones de agresividad frente al carbonato cálcico, y de corrosividad, especialmente frente al acero, no coinciden totalmente; un agua no agresiva puede ser corrosiva.

J.W. Ryznar ha propuesto un índice empírico $I_R = 2\text{pH}_S - \text{pH}$, que, según la experiencia, parece más representativo del carácter corrosivo o incrustante de un agua de refrigeración:

$$\begin{array}{ll} I_R < 6, & \text{agua incrustante} \\ 6 < I_R < 7, & \text{agua próxima al equilibrio} \\ I_R > 7 & \text{agua corrosiva} \end{array}$$

El procedimiento de equilibrio puede ser atractivo por su sencillez, pero presenta grandes limitaciones, por una parte, debido al contacto del agua con el aire en el refrigerante atmosférico y, por otra, a la variación de temperatura del agua en el circuito.

El pH exigido por el equilibrio carbónico - del agua no siempre es compatible con el pH que se tiene en el refrigerante atmosférico, debido a la distribución del CO₂ entre el - agua y el aire.

Existe un equilibrio del agua para cada temperatura. Ahora bien, tratándose de un circuito de refrigeración, el agua tendría que ser estable dentro de toda una gama de temperaturas, lo que no es posible normalmente. Evidentemente, o bien el agua está en equilibrio a bajas temperaturas y se observan - incrustaciones en los puntos calientes, o, por el contrario, se encuentra en equili--- brio en los puntos calientes y es corrosiva a temperaturas inferiores.

En todos los casos, para respetar el equilibrio, debe limitarse la concentración de sales disueltas en el agua de circulación, efectuando las purgas necesarias, con lo -- que se tiene un consumo de agua de aporta--- ción más o menos importante, según la calidad del agua.

2.- Modificación del sistema cristalino.

También lo podemos llamar procedimiento de estabilización o equilibrio y constituye -- una mejora al equilibrio natural, ya que se introducen productos químicos para retardar la precipitación del carbonato cálcico y, - por tanto, proteger los puntos calientes --

del circuito. Se fijan entonces los valores de pH, dureza y alcalinidad total del agua de forma que se encuentre en equilibrio a temperaturas -- frías y el producto estabilizante actúa evitando la formación de incrustaciones en los puntos calientes.

Los principales productos, que se utilizan generalmente de forma combinada, son, por una parte, los polifosfatos, que impiden la formación de -- los primeros cristales de carbonato cálcico actuando a nivel molecular y, por otra parte, algunos coloides orgánicos que envuelven los cristales finos formados, impidiendo que constituyan un germen de cristalización. Actúan a escala microscópica y modifican el sistema cristalino.

Si se compara con el procedimiento de equilibrio, puede decirse que el procedimiento de estabilización:

Amplia la zona de temperaturas dentro de la cual puede considerarse el agua en equilibrio.

Mejora sensiblemente la protección de los puntos calientes contra la formación de incrustación.

Permite un aumento del grado de concentración -- del agua y, por tanto, hace que disminuya su consumo.

Por el contrario, favorece los desarrollos biológicos (algas y bacterias) debido a los elementos nutritivos, especialmente fosfatos, que se aportan al agua.

- 3.- Modificación de los constituyentes; como adición a los dos puntos anteriores agregando cantidades medidas cuidadosamente de ácidos o álcalis se mo

difican algunas sales presentes en el agua original tales como el carbonato de calcio cuyo -- punto de equilibrio es sumamente bajo, se transforma en sulfato de calcio con un punto de equilibrio 8 veces mayor. De esta forma nuevamente se incrementa la proporción aceptable de sales en el sistema disminuyendo la purga o pérdida - de agua tratada del mismo, sin perjuicio de mantener buenos resultados.

4.- Remoción física de impurezas

Este último medio de evitar incrustación se presenta a veces como consecuencia de los procedimientos 1 a 3 donde al excederse por momentos - el punto de equilibrio o en algunas zonas con - fuerte presencia de polvos, o procesos directos como el descascarillado de trenes de laminación hay sólidos en suspensión presentes en el sistema, estos deben removerse filtrando por arena, antracita etc. para evitar acumulación de ellos en los tubos del cambiador de calor.

En algunos casos la dureza en el agua cruda es muy elevada y se recomienda suavizar por intercambio iónico pero parcialmente, nunca totalmente.

B) Inhibidores de Corrosión:

- 1.- Se consideran, bajo esta denominación, los - - principales productos químicos que pueden añadirse a un agua para eliminar su efecto corrosivo frente a los metales. Se les denomina -- también pasivantes.

Los inhibidores de corrosión no actúan sobre los compuestos químicos del agua, sino que forman generalmente sobre los metales una película fina protectora que, al suprimir el contacto metal-agua, evita la corrosión que podría resultar de este contacto.

Son numerosos los productos utilizados con esta finalidad.

La elección del tipo de inhibidor para la protección de un circuito de refrigeración debe realizarla un especialista. Pueden darse, sin embargo, unos elementos-guía que ponen de manifiesto la necesidad que tiene el usuario de conocer cuáles son los principales constituyentes de los compuestos que utiliza; ya ha pasado la era del "polvo milagroso"

Inhibidores de acción química

Los inhibidores de acción química basan su poder de inhibición en la creación de pares electrolíticos que se forman en el metal los cuales constituyen una capa protectora. La protección es selectiva y se aplica allí donde realmente es necesaria.

Unos inhibidores son activos sobre los ánodos de corrosión (cromatos), otros sobre los cátodos (sales de zinc), otros sobre los ánodos y/o los cátodos, según las condiciones de empleo (fosfatos). Su acción consiste en modificar, bien el potencial, o bien las curvas de polarización de los electrodos.

Los polifosfatos. Se han estudiado ya estos productos debido a su inestabilidad creciente con la temperatura, se limita su empleo a los circuitos en los que las temperaturas máximas de las paredes se mantienen dentro de valores moderados.



Se utilizan, generalmente, con aguas aireadas, cuyo pH es del orden de 6.5 en dosis de 5 a 50 g/m³; estas dosis aumentan con la dureza del agua.

Los cromatos son inhibidores anódicos, muy estables al calor, que, naturalmente, no pueden utilizarse con aguas potables.

Dosis de empleo: Varios gramos por litro, cuando se utilizan solos; en este caso su uso se limita a circuitos completamente cerrados, en los que las cantidades de agua de aportación son muy pequeñas. Los nitritos protegen eficazmente el acero, pero no así los metales cuprosos.

La dosis de empleo es del orden de un gramo por litro de agua.

Inhibidores Compuestos

En muchos casos es necesario estabilizar, reforzar o ampliar la acción de los inhibidores de corrosión mediante el empleo de otros productos químicos, como son: sales tampón, catalizadores o dispersantes. Por ello, se presentan generalmente en el comercio en forma de productos compuestos.

Por otra parte, el empleo combinado de dos inhibidores ofrece una protección a la corrosión muy superior a la suma de sus acciones individuales: se produce una sinergia. Se consigue con ello reducir fuertemente las dosis de productos a utilizar.

El uso de este tipo de inhibidor ofrece grandes ventajas en el acondicionamiento del agua de circuitos de refrigeración, con refrigerante atmosférico, en los que el consumo de agua y, por tanto, de producto, es muy fuerte.

En circuitos cerrados, donde la aportación de agua - es muy pequeña, interesa generalmente utilizar un só lo inhibidor en dosis elevada, con lo que se simplifican los controles.

Con esto queda protegido el cambiador de calor y las tuberías de transporte de agua de los problemas de - incrustación y corrosión.

Queda por resolver el desarrollo de materia orgánica en la torre de enfriamiento en sí.

C) Control Biológico.

Si observamos las condiciones de desarrollo de los - microorganismos (ver tabla 5) notaremos que todas -- ellas se presentan en las torres de enfriamiento y - constituyen un medio privilegiado para su desarrollo. Encuentran en el, aire, calor y luz.

No es pues de extrañar que con solo unos días de ope- ración sin control el desarrollo biológico llegue al extremo de formar placas de limo y algas en las zo-- nas más expuestas a la luz solar.

Estas acumulaciones adsorben las materias en suspen- sión y llegan a constituir un obstáculo físico para la circulación del agua. Además, crean localmente - condiciones de vida favorables para el desarrollo de bacterias ferruginosas y sulfatorreductoras.

Para luchar contra el desarrollo de estos organismos, se utiliza generalmente el cloro, en forma de gas o de hipoclorito. Las dosis que se emplean normalmen- te, sin embargo, sólo limitan su crecimiento sin des- truir las formas biológicas resistentes que pueden - tomar estos organismos en presencia de condiciones - de vida temporalmente desfavorables.

Se recomienda la introducción del producto clorado - de forma masiva y discontinua; las dosis y frecuencias deben fijarse según los casos y las estaciones. Con procedimientos inhibidores de corrosión sin fosfatos, que no aportan elementos nutritivos para las algas y bacterias, las dosis de cloro necesarias son mucho menores. En la práctica, se ajustan estas dosis de forma que se limite el contenido en materias orgánicas del agua del circuito.

La tabla 6 contiene las formas más comunes de biocidas usados en los sistemas y conviene además efectuar periódicamente (1 a 3 veces por año) una esterilización total del circuito, especialmente al comenzar el período de vegetación, entre abril y junio, - para destruir las formas biológicas resistentes. Deben utilizarse sales de amonio cuaternario, específicamente bactericidas y biodegradables, con preferencia al pentaclorofenato, producto muy tóxico y estable en los vertidos.

El programa completo de control del desarrollo biológico comprende los siguientes pasos a determinar:

- 1.- Nivel de desarrollo permisible
- 2.- Selección del biocida adecuado
- 3.- Condición actual del sistema
- 4.- Concentración letal del biocida
- 5.- Frecuencia de la dosis
- 6.- Rotación de Biocidas
- 7.- Reglamentación Ecológica

D) Evaluación Analítica de las Secciones Anteriores.

El arma más poderosa con que se cuenta en tratamiento de aguas para evitar los problemas en los sistemas es el control analítico de resultados.

El comportamiento de las variables dentro del sistema nos indica la tendencia del agua, por ejemplo la dureza de calcio y magnesio nos define la tendencia incrustante del agua; la alcalinidad, el pH y la temperatura definen la concentración de los iones carbonato y bicarbonato y por ende la solubilidad del carbonato de calcio; los sulfatos y la sílice la tendencia a formación de yeso y compuestos incrustantes a base de sílice.

No olvidemos que ninguno de los sistemas y productos usados en tratamiento de agua de enfriamiento es bueno o suficiente POR SI MISMO, por ejemplo un buen control de corrosión es imposible si el sistema está sucio con algas o incrustado, así como un sistema libre de incrustación y desarrollo de materia orgánica disminuye notablemente sus necesidades de inhibidores de corrosión, y algunos productos como los fosfatos orgánicos (fosfonatos) ayudan a resolver más de un problema y el que un producto sea o no el más adecuado para un sistema dependerá de las condiciones específicas del mismo.

RESULTADOS DEL PROGRAMA
INTEGRAL DE TRATAMIENTO
DE AGUAS

EVITA PAROS NO PROGRAMADOS:

Derivados de incrustación, corrosión o taponamientos

ALARGA LA VIDA UTIL DEL EQUIPO:

A través del control de corrosión

AHORRA ENERGETICOS:

Por evitar la formación de incrustación y regular --
las descargas.

DISMINUYE EL COSTO DE OPERACION:

Por control de dosificación y eliminación de desper-
dicios de tratamiento

BAJO IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE:

Con formulaciones no contaminantes, ó de baja concen-
tración de contaminantes

OPTIMIZACION CONSTANTE DE SISTEMAS:

Con análisis confiables, muestreos frecuentes, gráfi-
cas de control y revisiones periódicas con equipo hu-
mano especializado.

RESULTADOS ESPERADOS CON EL CRITERIO APLICADO.

° Congruencia:

Se trata el sistema de acuerdo a la calidad del agua de alimentación, las características intrínsecas del mismo y las condiciones de trabajo u operación, pues estamos convencidos que no existen los tratamientos mágicos que funcionan para todas las variables dadas en un sistema.

° Costo:

Al diseñarse el tratamiento lo mas específico posible las necesidades de productos o consumo de los mismos son estrictamente las requeridas o lo más cercano a ello; evitándose desperdicio de los mismos.

° Resultados:

Obviamente son los esperados, alargándose notablemente la vida útil del equipo, evitándose paros costosos NO programados y ahorrando energía por operar -- limpias las superficies transmisoras de calor.

TABLA UNO

TIPOS DE TRATAMIENTO

	SEDIMENTACION	{ SUBSIDENCIA FLOCULACION	
	COAGULACION		
	SUAVIZACION	{ FRIO CAL-CARBONATO CALIENTE CAL-CARBONATO FOSFATO-MAGNESIO	
PRETRATAMIENTO O TRATAMIENTO EXTERNO (REMOVED)	DESAERACION		ANTES DEL PUNTO DE- USO
	DESINFECCION		
	FILTRACION	{ ARENA CARBON ANTRACITA ACTIVADO TIERRA DIATOMACESS	
	INTERCAMBIO IONICO	{ SUAVIZACION DESALCALIZACION DESMINERALIZACION	
	OSMOSIS INVERSA		
TRATAMIENTO INTER NO COMPLEMENTARIO (AGREGAR)	PRODUCTO QUIMICO DENTRO DEL SISTEMA		EN EL PUNTO DE USO

TABLA 2

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD
VALORES PARA AGUA DE CONSUMO HUMANO

CONSTITUYENTE mg/L:	INTERNACIONAL LIMITE PERMISIBLE	LIMITE MAXIMO	EUROPEO LIMITE RECOMENDADO	EUA LIMITE RECOMENDADO
ALKYL BENZEN SULFONATO ABS	-	0.5	-	0.5
AMONIO	-	0.2	0.5	0.2
ARSENICO (As)	-	0.2	-	0.01
BARIO	-	-	-	1.0
CADMIO	-	-	0.05	0.01
COLORFORMO	-	-	-	0.2
CALCIO	75	200	-	-
COLORUROS	200	600	-	250
CROMO TOTAL	-	0.05	0.05	0.05
COBRE	1.0	1.5	0.05	1.0
CIANURO	-	0.01	0.01	0.01
FLUOR	-	-	1.5	0.6-0.9
HIERRO	0.3	1.0	0.1	0.3
PLOMO	-	0.1	-	0.05
MAGNESIO	50	150	125	50
MANGANESO	0.1	0.5	0.1	0.05
MERCURIO	-	0.002	-	-
NITRATOS	-	-	50	45
OXIGENO	-	-	5.0	-
FENOL	0.001	0.002	0.001	0.001
SELENIO	-	0.05	-	0.01
PLATA	-	0.05	-	-
SULFATOS	200	400	250	250
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	500	1500	-	500
ZINC	5.0	15.0	5.0	5.0

TABLA No. 3
CONDUCTIVIDAD TERMICA DE METALES, INCRUSTACIONES Y MATERIALES AISLANTES

METAL O ALEACION	$\lambda \times 10^5$ (BTU/IN ² -SEC-°F/IN)
ALUMINIO	282.2
COBRE	515.2
ACERO AL CARBÓN	80.4
ACERO AL CROMO	40.9
BRONCE	145.6
DEPOSITOS	
Al ₂ O ₃	0.7
CaCO ₃	1.2
CaSO ₄ ·2H ₂ O	1.7
Fe ₂ O ₃	0.8
3MgO·2SiO ₂ ·2H ₂ O	1.3
MATERIAL AISLANTE	
PLACA DE ASBESTO	1.0
LADRILLO REFRACTARIO	0.6

PROGRAMA DE DESCARGAS

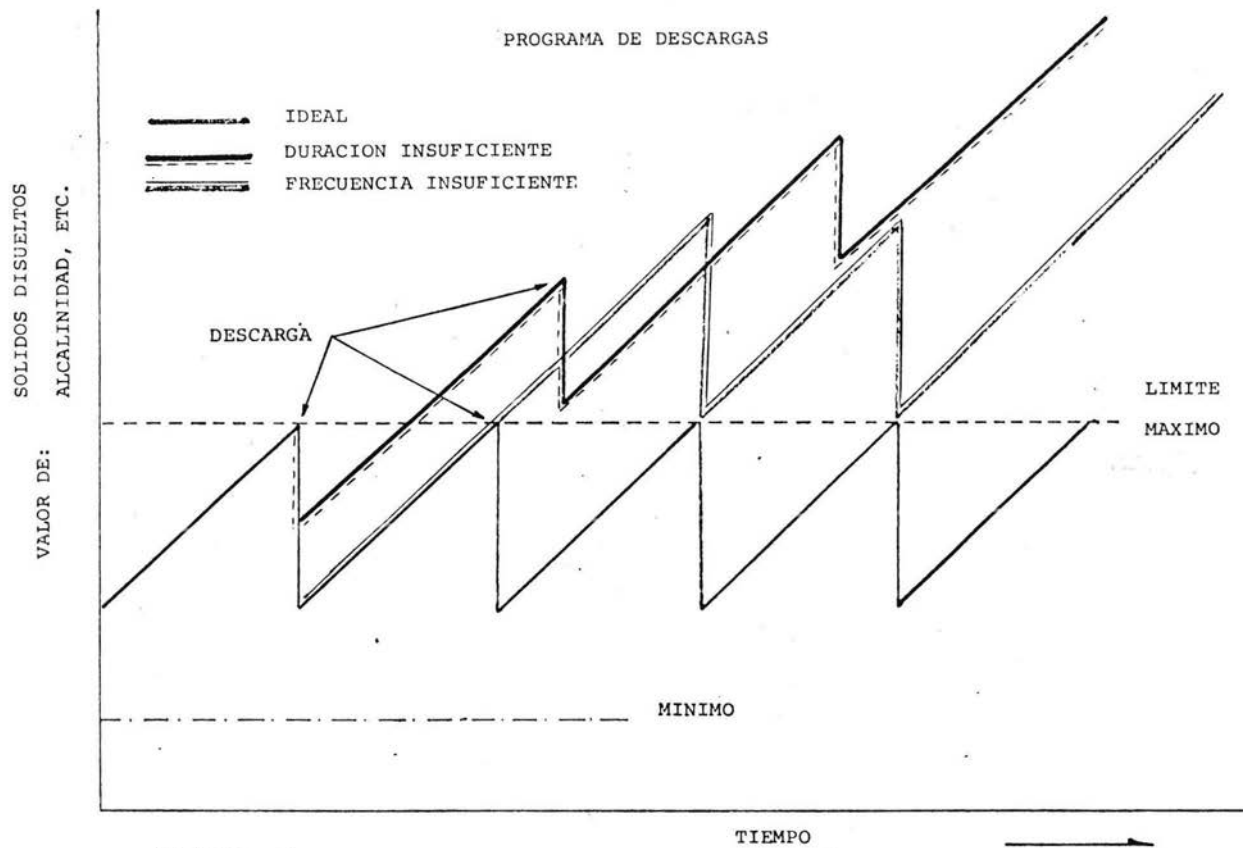


TABLA No. 4

TABLA No. 5
 MICROORGANISMOS
 CONDICIONES DE DESARROLLO

TIPO	PH	TEMPERATURA °F	AIRE	LUZ
ALGAS	5.5-9.5	65-186	SI	SI
BACTERIAS	5.0-9.0	60-150	SI-NO	NO
BACTERIAS FERROSAS	5.5-8.2	41-77	SI	NO
BACTERIAS SULFATO REDUCTORAS	5.5-8.5	77-140	NO	NO

TABLA No. 6

B I O C I D A S

O X I D A N T E S

- CLORO GAS
- DONADORES DE CLORO
 - HIPOCLORITOS
 - DIOXIDO
 - ISOCIANURATOS
- OZONO

N O O X I D A N T E S

- SALES DE COBRE
- SULFUROS ORGANICOS
- CARBAMATOS
- SULFONATOS
- FENOLES
- CUATERNARIOS DE AMONIO

BIBLIOGRAFIA

BARROWS, HAROLD KILBRITH
WATER POWER ENGINEERING
3rd EDITION MCGRAW HILL
NEW YORK 1943

COWAN, JACK C.
WATER FORMED SCALE DEPOSITS
HOUSTON AULF PUBLISHING CO.
U.S.A. 1976

PRESKO H. SAMUEL CATE
WATER BACTERIOLOGY, WITH SPECIAL REFERENCE TO
WATER ANALYSIS
JOHN WILEY & SONS,
NEW YORK, 1946

EISENBERG DAVID
THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF WATER
CLARENDON PUBLICATIONS
OXFORD, 1969

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS
MANUAL DE AGUAS
3^a EDICION, EDITORIAL LIMSSA
MEXICO, 1976

SPIEGLER, K
SALT WATER PURIFICATION
2nd EDITION, PLENUM PRESS
NEW YORK, 1977

BAHR, HUGO
CALDERAS Y MAQUINAS DE VAPOR
3^a EDICION EDITORIAL LABOR
BARCELONA, 1959

P. STEWART
PRINCIPLES OF CORROSION AND PROTECTION
ED. MACMILLAN
LONDON, 1968

PERRY JOHN H. PH.D
MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO
EDITORIAL HISPANO AMERICANA
MEXICO, 1966