

Marta Lillian Paiz R.



**ACONDICIONAMIENTO DE AGUA
PARA USO INDUSTRIAL
METODOS Y TRATAMIENTO**

Guatemala, Noviembre 1963

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

ACONDICIONAMIENTO DE AGUA
PARA USO INDUSTRIAL

Métodos y Tratamiento

T E S I S

*Presentada a la Honorable Junta Directiva de la Facultad
de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de
San Carlos de Guatemala,*

P o r

MARIA LILLIAN PAIZ R.

En el acto de su Investidura como:

INGENIERO QUIMICO



Guatemala, Noviembre de 1963.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Biblioteca Central

Sección de Tesis

3934-74

06
†(811)

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano:Lic. Ricardo Antillón
Vocal 1ºIng. Carlos E. Molina.
Vocal 2ºDr. Francisco Aguirre.
Vocal 3º
Vocal 4ºBr. Carlos A. Marroquín.
Vocal 5ºBr. Fernando Mazariegos.
SecretarioLic. Rubén Mayorga.

Tribunala que practicó el Examen General Privado:

Decano:Dr. Mario Villanueva.
ExaminadorIng. Miguel A. C. Argüelles.
ExaminadorIng. Alfredo Méndez Zebadúa.
ExaminadorIng. Marcelo Sepe.
SecretarioLic. Roberto Letona.

Tesis asesorada por: *Ing. Carlos Solares Buonafina.*

DEDICO ESTE ACTO:

A la Memoria de mi Padre:

ROBERTO PAIZ

A mi Madre:

CARLOTA v. DE PAIZ

A mi Hermano:

INGENIERO RICARDO PAIZ

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con lo establecido por la ley Universitaria, tengo el honor de presentar ante vosotros mi trabajo de tesis intitulado "ACONDICIONAMIENTO DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL", tema que me fuera designado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

INTRODUCCION

Desde que se inició el proceso industrial era obvio que el agua utilizada por las industrias tuviera el grado de pureza exigido por las más estrictas normas sanitarias, por consiguiente previo a los procesos industriales, las aguas deberán pasarse por aquéllas fases necesarias para dejarlas en las condiciones de mínima impureza.

Es por esto que su acondicionamiento y tratamiento, viene a ser una función esencial para preparar un agua apropiada a la industria química.

IMPUREZAS ENCONTRADAS EN EL AGUA

Las aguas naturales no están nunca completamente puras. Durante su precipitación y paso sobre o a través de la tierra, adquieren una gran variedad de impurezas que se disuelven o quedan en ella en suspensión. Estas pueden modificar profundamente el comportamiento químico del agua o su utilidad para los propósitos que de esta va a servirse.

En referencia al grado de dispersión o tamaño de las partículas, las impurezas en el agua se clasifican: 1) disueltas y 2) en suspensión; clasificación usada especialmente para materiales sólidos. La determinación de estas impurezas hace necesarios los análisis de aguas y el control de las mismas hace del acondicionamiento de agua un punto indispensable.

El agua después de que es evaporada de la superficie de la tierra es precipitada nuevamente de la atmósfera, mezclándose con el oxígeno, nitrógeno y anhídrido carbónico, que son los gases que normalmente se encuentran en ella, asimismo el agua encuentra polvo, humo y gases que quedan disueltos o en suspensión, filtrándose a través de las capas superiores del suelo disuelve cierta cantidad de substancia mineral con la que está en contacto.

Las diversas fuentes de agua de que pueden disponer las empresas industriales son las siguientes:

Aguas superficiales: corrientes, lagos y aguas recogidas en depósitos.

Aguas subterráneas: de manantial, pozos y galerías de infiltración.

Servicios municipales.

En cuanto al agua municipal de la ciudad de Guatemala proviene de tres plantas: Santa Luisa, El Cambray y el Ojo de Agua, que poseen un buen tratamiento, obteniéndose un agua bastante estable.

El examen químico de las aguas consideradas como materia prima para uso industrial comprende lo siguiente:

- | | |
|----------------------|--------------------------|
| 1o.—Turbidez. | 7o.—Alcalinidad. |
| 2o.—Color. | 8o.—Dureza. |
| 3o.—Olor y Sabor. | 9o.—Hidrógeno sulfurado. |
| 4o.—Hierro. | 10o.—Bióxido de Carbono. |
| 5o.—Manganeso. | 11o.—pH. |
| 6o.—Sólidos totales. | |

COLOR

El color de las aguas naturales es debido a sustancias disueltas en ella, generalmente de origen vegetal, como taninos, glucósidos y sus derivados, así como al hierro, manganeso y otras sustancias minerales y también a la presencia de algas en el agua.

El término "color aparente" incluye tanto el debido a sustancias en solución como en suspensión y se determina en la muestra original sin filtración o centrifugación.

En las aguas industriales el color es más dañino cuando va a usarse en trabajos dentro del proceso de fabricación, por ejemplo en la manufactura del papel y en la industria textil, las aguas altamente coloreadas pueden interferir en el producto terminado.

El método usual para la remoción del color envuelve el uso de coagulantes seguido de filtración.

DUREZA

La dureza de las aguas industriales puede variar considerablemente según la localización de la fuente de donde se obtiene.

Hay dos tipos de dureza del agua:

DUREZA CARBONATADA: debida a carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio, la que puede precipitarse por ebullición del agua.

DUREZA NO CARBONATADA: debida a cloruros, sulfatos y nitratos de calcio y magnesio, no es afectada por ebullición, pero se elimina por tratamiento químico o por destilación.

La dureza causa numerosos efectos dañinos, tal como un excesivo consumo de jabón en lavanderías, formación de incrustaciones en tuberías y calentadores y es así mismo indeseable en fábricas textiles, industrias de alimentos, fabricación de pulpa de papel, jabonerías etc.

A continuación se da una clasificación general de las aguas:

DUREZA	CLASIFICACION
menos de 15 p.p.m.	muy suave.
15 a 50 "	suave.
50 a 100 "	media.
100 a 200 "	dura.
más de 200 "	muy dura.

Para la determinación de la dureza se presentan tres métodos de análisis químico, fundamentalmente diferentes entre sí:

- 10.—Determinación de la dureza por cálculo a partir de los resultados de la dosificación del calcio.
- 20.—Determinación con solución valorada de jabón.
- 30.—Por titulación con un agente secuestrable en presencia de un indicador sensible a los iones de calcio y magnesio.

La dureza puede eliminarse del agua por ablandamiento con zeolitas, cal-soda y acondicionamiento con fosfatos.

ALCALINIDAD

La propiedad alcalina de las aguas, se debe generalmente a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos y con menos frecuencia a boratos, sulfatos y fosfatos. Por lo tanto la alcalinidad está relacionada con la dureza; su determinación puede substituir a la de ésta, en especial cuando se deban comparar rápidamente varias muestras de agua o comprobar las variaciones, aún pequeñas, que un agua determinada pueda experimentar.

El proceso de ablandamiento con cal-soda, puede efectuar una reducción en la alcalinidad debida a bicarbonatos.

HIERRO

En condiciones reductoras el hierro se presenta en estado ferroso siendo relativamente soluble, en agua, pero por exposición al aire se oxida a estado férrico y puede llegar a precipitarse.

Para el reconocimiento del hierro en una muestra de agua, el método más usado es el de Tiocianato, que consiste en una coloración roja de tiocianato férrico producida por la reacción de una solución de tiocianato de potasio con el hierro presente en la muestra sometida a examen.

La eliminación del hierro se efectúa por aireación seguida por coagulación y filtración.

MANGANESO

Al igual que el hierro, para la mayoría de procesos industriales el contenido de manganeso en el agua no debe exceder de 0.1 partes por millón y para industrias tales como la fabricación de tejidos y papel, esta concentración ya representa una excesiva polución.

Los métodos usados para la eliminación de esta impureza son los mismos que los descritos para la remoción del hierro.

HIDROGENO SULFURADO

El hidrógeno sulfurado es indeseable en el agua por dos razones primordiales:

- 1o.—Imparte un olor desagradable al agua, haciéndola inadecuada para industrias de alimentos.
- 2o.—La presencia de hidrógeno sulfurado da al agua un carácter corrosivo, causando ataque a los metales con los que dicha agua está en contacto.

La contaminación del agua con hidrógeno sulfurado presenta un serio problema en los sistemas de recirculación de agua, donde el cromato es usado como inhibidor de corrosión, ya que este es reducido en presencia de hidrógeno sulfurado, disminuyendo su efectividad.

En la investigación cualitativa del hidrógeno sulfurado, se usa el método iodométrico. Se basa en la adición de una muestra de agua contaminada a una solución standard de yodo. El yodo residual es titulado con solución normalizada de tiosulfato de sodio en presencia de solución indicadora de almidón.

La aireación es el tratamiento adecuado para la eliminación del hidrógeno sulfurado del agua.

ESPECIFICACIONES DE LAS AGUAS USADAS EN LA INDUSTRIA

Las industrias requieren grandes sumas de agua para enfriamiento, generación de vapor, procesos de manufactura etc. Sin embargo a veces se pasa por alto la importancia de preparar un agua apropiada para la industria, a pesar de que los métodos de fabricación consumen enormes cantidades, desde el agua sin tratar hasta el agua destilada.

Como es bien sabido, la cantidad de agua disponible y su pureza tienen gran importancia en la ubicación de una fábrica, debiéndose tomar en cuenta tanto el agua superficial como el agua del subsuelo.

El acondicionamiento del agua ha de adaptarse en cada caso al empleo a que va a destinarse, así el uso de presiones altas necesita un agua purificada más cuidadosamente. Además cada industria en particular tiene especificaciones especiales de color, olor, contenido mineral, alcalinidad, turbidez, pH, que los servicios municipales no pueden proporcionar. En lo que se refiere a los productos alimenticios el agua debe llenar las condiciones bacteriológicas y sanitarias más estrictas; pero la amplia variedad de productos y los diferentes procesos a que está sujeta su fabricación hace imposible detallar una lista de las condiciones óptimas necesarias para cada uno.

A continuación se detallan las especificaciones relativas a varias industrias.

ESPECIFICACIONES DE LAS AGUAS USADAS EN LA INDUSTRIA

TODOS LOS VALORES EXPRESADOS EN P.P.M.

INDUSTRIA O USO	TURBIDEZ	COLOR	DUREZA Ca CO ₃	HIERRO	MANGANESO	SOLIDOS/ALCALINI- TOTALES/AD. CO ₂ /SABOR	OLOR	H ₂ S	O T R O S REQUERIMIENTOS
AIRE ACONDICIONADO				0.5			BAJO	1	NO CORROSIVA
CERVEZERIA-CERVEZA CLARA	10			0.1	0.1	500	75	0.2	POTABLE, PH 6.5-7.0, NaCl < 275
CERVEZA OSCURA	10			0.1	0.1	1000	150	0.2	POTABLE, PH 7 ó más, NaCl < 275
LEGUMBRES ENLATADAS	10		25-75	0.2	0.2		BAJO	1	POTABLE
BEBIDAS CARBONATADAS	2	10	250	0.2	0.2	850	50-100	0.2	Potable, color + O ₂ consumido < 10
CONFITERIA				0.2	0.2	100		0.2	POTABLE
ALIMENTOS EN GENERAL	10			0.2	0.2		BAJO		POTABLE
HIELO	5	5		0.2	0.2		BAJO		POTABLE, SiO ₂ menos de 10
LAVANDERIA			50	0.2	0.2				
PLASTICOS CLAROS	2	2		0.02	0.02	200			
PAPEL Y PULPA DE MADERA	50	20	180	1.0	0.5				NO CORROSIVA
PULPA KRAFT	25	15	100	0.2	0.1	300			
PULPA A LA SODA Y AL SULFITO	15	10	100	0.1	0.05	200			
PAPEL DE ALTA CALIDAD	5	5	50	0.1	0.05	200			NO FORME INCrustACIONES
RAYON (VISCOSA)	5	5	8	0.05	0.03	100	TOTAL 30 HIDROXIDOS B		Al ₂ O ₃ < 8 p.p.m., SiO ₂ < 25 p.p.m. PH 7.0 ó más, Cu < 5 p.p.m.
RAYON MANUFACTURADO	0.3		55	0.0	0.0		TOTAL 15 HIDROXIDOS B		
TENERIA	20	10-100	50-135	0.2	0.2				
TEXTILES	5	20		0.25	0.25				
TINTES	5	5-20		0.25	0.25	200			ALUMINA RESIDUAL < 0.5 p.p.m.
LANA		70		1.0	1.0				
ALGODON	5	5		0.2	0.2		BAJO		

CONDICIONES BACTERIOLÓGICAS DEL AGUA

Para las industrias fermentativas y bromatotécnicas, la pureza micro-biológica del agua de una fábrica es de gran importancia. Se puede distinguir entre agua de nacimiento y agua de recuperación.

Tanto el agua de nacimiento como el agua de recuperación pueden contener microorganismos, casi siempre solo bacterias, aunque en el agua se pueden encontrar también levaduras y mohos, además en casos determinados el agua puede contener animales y vegetales microbiológicos. La mayor parte de las bacterias que se encuentran en ella son saprófitas, pero también pueden presentarse bacterias patógenas.

La identificación de las bacterias en el agua resulta de gran interés tanto para el Ingeniero Químico, como para el Bacteriológico e Higienista. El agua que contiene una cifra elevada de microorganismos puede ocasionar estragos técnicos y también enfermedades en los hombres y animales a través de los productos elaborados por las diferentes industrias.

El agua corrientemente es superficial o subterránea. Esta última se obtiene a partir de un pozo o por medio de perforación, tanto en los pozos como en las perforaciones se llaman artesianos cuando el agua asciende a la superficie de la tierra como consecuencia de la presión hidrostática.

El agua superficial se encuentra casi siempre contaminada por bacterias, pues las substancias orgánicas que por lo general se hallan en dichas aguas pueden ser aprovechadas por ellas y el contenido de oxígeno disuelto en el agua en combinación con un aporte de energía (calor, luz etc), ofrece buenas condiciones de crecimiento para las bacterias.

En relación con esto hay que recordar que la tierra contaminada puede contener hasta unos 115 millones de gérmenes por gramo. El agua profunda ha sido liberada de todos los microorganismos o al menos de una gran parte, mediante la filtración producida a través de las capas del suelo y además las condiciones de dicha agua son desfavorables para las bacterias.

Una medida de defensa usada para determinar la calidad del agua es el análisis bacteriológico.

Se encuentran tres grupos de bacterias en el aparato intestinal del hombre y del animal llamados: coliforme, las esporiformes anaeróbicas, fermentadoras de lactosas y el estreptococo. De estos tres grupos los organismos coliformes son los más fácilmente determinados entre las patógenas intestinales (tifoidea, disentería). Estos son eliminados y destruidos en tanques de almacenamiento por cloración y otros procesos de purificación. De aquí en adelante la ausencia de los organismos coliformes deberá indicar teóricamente la ausencia de los patógenos intestinales.

El número total de bacterias por mililitro se encuentra poniendo un centímetro cúbico de la muestra en una caja de Petri que contenga una capa de agar estéril. El agar es un medio bajo el cual la bacteria se multiplicará. La caja se coloca en una incubadora y se mantiene a la temperatura de 35 grados o a la temperatura del cuerpo; después de 24 horas la caja se examina.

Bajo las condiciones favorables de temperatura y alimentación las bacterias se reproducirán formando colonias sobre el agar. Las colonias son visibles a la vista y pueden ser contadas, dando así el número de bacterias de la muestra original del agua. En algunos casos las muestras son incubadas a 20 grados durante 48 horas, lo que es aproximadamente la temperatura del medio ambiente. A esta temperatura se obtiene diferente número que a 35 grados, pero para trabajos de salud pública se considera más indicado un conteo de bacterias desarrolladas a la temperatura del cuerpo.

La forma coli tiene la facultad de fermentar lactosa, la fermentación se indica por la generación de gas. Las porciones de la muestra en cantidades de 1/10; 1; 10 y 100 mililitros son puestos en tubos separados e incubados por 48

horas a 35 grados. Las muestras standard consisten de: 5 tubos de 10 mililitros o 5 tubos de 100 ml. Los tubos son preparados por si la forma coli se presenta y si la fermentación toma lugar el gas es atrapado. Los tubos son examinados al final de las 24 horas y se determina la presencia del gas.

Cuando el gas no aparece a las 24 horas se deja durante otro periodo de 24 horas.

La materia del tubo es transferida a otro tubo de caldo lactosado con 2% de verde brillante e incubado por 48 horas a 35 grados. Si el gas aparece otra vez se considera confirmada la presencia de la forma coli. Es necesario, por supuesto hacer todas estas pruebas. Todo medio, debe esterilizarse antes de la inoculación de la muestra.

Algunos organismos coliformes producen solo pequeñas cantidades de gas, algunos otros no producen durante las 48 horas de inoculación.

CRECIMIENTO AEROBICO

Esta propiedad se puede confirmar haciendo siembras sobre agar, de los tubos que presentan gas.

Cuando el agua natural tiene un contenido alto de cloruros y nitratos, es frecuente causa de una previa contaminación y generalmente los microorganismos pueden encontrarse donde nace el agua.

El agua superficial puede tener un contenido alto de materia orgánica, lo que viene a constituir el principio del ciclo del nitrógeno, ésta es una condición que debe ser tomada en cuenta en un nacimiento de agua, sin embargo la materia orgánica en sí misma no es responsable de enfermedades sino que la presencia de enfermedades específicas son necesarias para hacer un agua peligrosa.

La toma de muestras para los análisis químicos sanitarios es similar que para los exámenes químicos ordinarios, precauciones especiales deben de tomarse para muestras de agua en las que va a determinarse oxígeno disuelto, esta

es una determinación que se hace en la investigación de la contaminación de agua y da el grado de aireación y oxigenación del agua.

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS INDUSTRIALES

El resultado de los análisis practicados en las aguas que serán usadas para el abastecimiento de industrias, nos indicará la clase de tratamiento que debe usarse y que puede comprender uno o más de los métodos siguientes:

1o.—Aireación.

2o.—Sedimentación y Coagulación.

3o.—Filtración.

4o.—Ablandamiento.

5o.—Procesos varios.

AIREACION

La aireación es un proceso que consiste en mezclar íntimamente aire y agua, ésta mezcla puede hacerse en la forma de una película delgada, por gotas o atomizado. Se basa en producir un estado de equilibrio entre los gases presentes en el agua y aquellos presentes en la atmósfera. Si bien de la aireación resulta una saturación del agua con otros gases corrosivos como el oxígeno.

METODOS BASICOS

Los métodos generales que se emplean para la aireación son: 1) aquel en el cual el agua cae a través del aire mediante el uso de atomizadores o por medio de aireadores de tiro forzado, 2) cuando el aire es burbujeado a través de la masa de agua, éste se conoce con el nombre de "Difusión del aire". En el tratamiento de agua industrial este método es confinado a los flujos relativamente bajos.

AIREADORES DE CAIDA DE AGUA

Hay muchas variaciones de éste método, el más simple es el uso de elevadores verticales para descargar el agua

por caída libre en un depósito. La adición de pasos o etapas a la caída o la atomización del agua, aumenta el tiempo de contacto, produciendo así una mayor eficiencia. Frecuentemente el espacio requerido limita el uso de este tipo de aireación al acondicionamiento de agua para uso industrial.

Los aireadores de bandeja y tablillas son similares en diseño y poseen la ventaja de necesitar un espacio más pequeño. Los de bandeja son ampliamente usados en la eliminación del hierro y manganeso, estas unidades consisten de una serie de bandejas llenas de cok, entre las cuales penetra el agua y cuentan con aireación adicional suplida durante la caída de una bandeja a la siguiente. Los de tablillas de madera son similares a pequeñas torres de enfriamiento.

Los aireadores de tiro forzado o inducido son favorables para la mayoría de propósitos industriales y presentan la ventaja de que permiten regular el volumen de aire necesario, su velocidad y distribución. El tiro de estas unidades se consigue con ventiladores que inyectan el aire fresco o con extractores que aspiran el aire saturado, de esta forma es posible poner en íntimo contacto una determinada cantidad de aire de velocidad regulada con agua en condiciones de franca turbulencia. En estos casos el aire fluye en contracorriente a la caída de agua y una positiva circulación del aire evita cualquier estancamiento.

DIFUSION DEL AIRE

La difusión del aire va acompañada por el bombeo del aire dentro del agua a través de tuberías perforadas, cribas o platos perforados. Es teóricamente superior a la aireación por caída de agua, ya que las burbujas de aire se elevan a través de ésta y continuamente están expuestas a superficies de líquido fresco. Como la velocidad de las burbujas asciende a través de la masa de agua es más lenta que la velocidad con que caen las gotas, es por esto que este método produce un mayor contacto entre las dos fases.

APLICACIONES

En el acondicionamiento de agua para industria una de las mayores aplicaciones de la aireación es la eliminación de las características corrosivas impartidas por la presencia de gases.

En ciertos casos la aireación se usa para eliminar el anhídrido carbónico liberado en una fase del proceso de tratamiento, por ejemplo en el acondicionamiento de agua para calderas es muy común la práctica de acidificar el efluente de las zeolitas para reducir la alcalinidad del agua que va a alimentar la caldera, el anhídrido carbónico se produce como resultado del tratamiento ácido, usándose la aireación para liberar al agua de este gas corrosivo. También se usa para eliminar metano de ciertas aguas subterráneas.

En la remoción de hierro y manganeso, juega un papel importante ya que es un método conveniente para suplir el oxígeno necesario para su oxidación.

Sin embargo este método aunque presenta grandes ventajas tiene así mismo sus limitaciones, teóricamente a 20 grados centígrados es posible reducir el contenido de anhídrido carbónico del agua a 0.5 partes por millón por medio de aireamiento, pero prácticamente esto no es económico y una reducción de este gas a 10 partes por millón se considera ya satisfactorio. Si bien con la eliminación de este gas, se incrementa el pH de un agua y la vuelve menos corrosiva, también se produce una saturación de esta con el oxígeno del aire, en casos en que el contenido de éste es ya bastante alto no se produce ningún efecto secundario. En las aguas que tienen un porcentaje de anhídrido carbónico alto pero bajo el oxígeno, la aireación puede cambiar simplemente un gas por otro.

La eficiencia es mayor donde la concentración inicial del gas a remover está arriba de su valor de equilibrio. Para la eliminación del hidrógeno sulfurado la aireación no es suficiente y debe ir seguida de una reducción del pH o de clorinación.

Cuando los olores no se deben a gases de descomposición o aceites volátiles, el aireamiento no quita dichos olores, así como tampoco son afectados aquellos debidos a residuos industriales, como fenoles o cresoles.

SEDIMENTACION Y COAGULACION

El propósito de la sedimentación es lograr una clarificación del agua, permitiendo el asentamiento de las partículas suspendidas en ella y reduciendo la turbidez de la misma.

La sedimentación simple se empleará siempre que el promedio anual de turbidez no exceda de 20 partes por millón o 30 ppm. de color; sin embargo pueden aceptarse límites fuera de los indicados, cuando estos hayan sido excedidos sólo en forma ocasional.

El porcentaje aproximado que se elimina por este proceso varía entre 30% y 80%.

El tiempo necesario para la sedimentación depende de gran número de factores tales como peso, forma, tamaño de las partículas, temperatura del agua, así como de la viscosidad y resistencia friccional. Para ilustrar el efecto que tiene el tamaño de las partículas en la sedimentación, se da a continuación la siguiente tabla.

VELOCIDADES A QUE LAS PARTICULAS DE ARENA SEDIMENTAN EN AGUA TRANQUILA

Temperatura 10°C.

Gravedad específica: 2.65 gr/c.c.

Diámetro de partículas en mm.		Velocidad.
1.0	arena gruesa	100mm./seg.
0.2	" "	21mm./seg.
0.1	" fina	8mm./seg.
0.01	cielo	0.15mm./seg
0.001	Bacteria	0.0015mm./seg
0.0001	Partículas arcillosas	0.000015mm./seg

ASCE Manuals of Engineering Practice.

Un estudio de la tabulación anterior nos indica que para operaciones industriales el límite práctico de eliminación de sólidos es para un diámetro mínimo de 0.01mm., ya que el tiempo necesario para sedimentar partículas más pequeñas, será mayor que el prácticamente permitido.

La gravedad específica de las partículas es uno de los factores principales que gobiernan la razón de sedimentación. Partículas de alta gravedad específica sedimentan a una mayor velocidad que aquellas de densidad sólo un poco mayor que la del agua. La velocidad de sedimentación puede calcularse según la ley de Stoke's:

$$V = \frac{g}{18} \frac{S - S_2}{Z} D^2$$

donde:

- V: velocidad de caída en cm/seg.
- D: diámetro en centímetros de las partículas.
- g: aceleración de gravedad (981 cm/seg.)
- S: gravedad específica de las partículas.
- S₂: gravedad específica del fluido.
- Z: viscosidad en centipoises.

El agua que contiene una turbidez debida a sólidos de tamaño relativamente grande puede ser clarificada con un buen grado de asentamiento, pero cuando se debe a partículas finas de baja densidad, el uso de coagulantes se hace necesario para aumentar el tamaño de ellas y producir una sedimentación rápida.

Cuando los coagulantes se mezclan con el agua se forma un precipitado y las partículas suspensas, así como la materia coloidal que se encuentra en ella son arrastradas al precipitado formado y fácilmente pueden eliminarse por sedimentación.

USO DE COAGULANTES

Las reacciones de la coagulación pueden escribirse simplemente mostrando el uso de sales de aluminio y hierro pa-

ra producir un precipitado gelatinoso de hidróxido. Para cada coagulante existe un pH óptimo para lograr una máxima precipitación. El pH mejor depende no solo del coagulante sino de las características minerales del agua que va a tratarse, así mientras los compuestos de aluminio coagulan mejor a un pH de 5.5 en agua destilada, para la mayoría de las aguas naturales la precipitación máxima oscila entre valores de 5.5 y 8.0.

En general la coagulación envuelve tres puntos principales:

- 1o.—La presencia de una mínima cantidad de iones de aluminio o hierro para formar un precipitado insoluble.
- 2o.—La presencia de un anión fuerte tal como sulfato o cloruro.
- 3o.—El pH del agua debe ser controlado dentro de un margen definido.

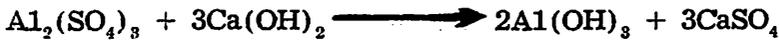
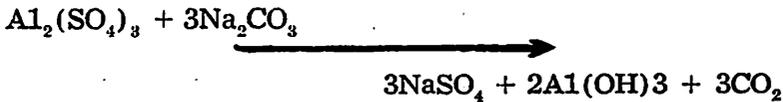
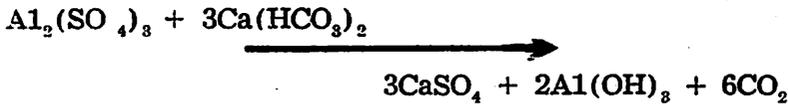
Del análisis químico de un agua no se puede predecir cual será el mejor coagulante a usarse, las cantidades necesarias o el pH óptimo para el mejor control del proceso, ya que para una mejor eficiencia y una coagulación más económica es de desear que los ensayos de laboratorio, se lleven a cabo con diferentes coagulantes a varias concentraciones y diferentes valores del pH.

La presencia de hierro y maganeso en el agua, introduce factores adicionales en la elección y dosificación del coagulante, así como también los residuos industriales presentes pueden complicar este problema.

Los compuestos químicos más usados en la coagulación son: sulfato de aluminio, algunas sales de hierro como el sulfato ferroso, cloruro férrico, el sulfato férrico etc.

REACCIONES CON SULFATO DE ALUMINIO

Las reacciones del sulfato de aluminio cuando se agrega al agua, según contenga ésta bicarbonato de calcio, carbonato de sodio o hidróxido de calcio se dan a continuación:



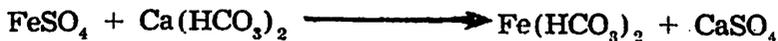
La cantidad de sulfato de aluminio que se necesita para la coagulación depende del grado de turbidez y del color del agua que va a tratarse. Una temperatura abajo de 35°F, o arriba de 70°F puede incrementar la demanda de coagulante a causa de una reacción muy lenta o por redisolución del precipitado.

Cuando el agua se presenta muy coloreada y se usa sulfato de aluminio es necesario producir primero un compuesto formado por el aluminio del coagulante y el material orgánico que causa el color.

REACCIONES CON SALES FERROSAS Y FERRICAS

El sulfato ferroso se usa extensamente junto al óxido de calcio para el tratamiento de aguas que no están coloreadas.

Cuando el sulfato ferroso se agrega al agua que contiene bicarbonato de calcio se produce la reacción siguiente:



Adicionando entonces el hidróxido de calcio:



Una ventaja de los coagulantes ferrosos y férricos en comparación con el sulfato de aluminio es que el precipitado que se produce no se redissuelve con una alcalinidad alta del agua.

SULFATO FERRICO

Produce un buen precipitado y se recomienda cuando el manganeso está presente en cantidades que requieren su eliminación. Cuando se usa sulfato férrico se hace en unión de cal para alcalinizar el agua a tratarse:



AYUDANTES QUIMICOS PARA LA COAGULACION

Para dar al agua el grado necesario de acidez o alcalinidad para una coagulación eficaz con cualquier tipo de compuesto químico es necesario agregar alguna de las sustancias siguientes: carbonato de sodio, cal o ácido sulfúrico. De las sustancias anteriores el carbonato de sodio es el que más se recomienda, ya que cualquier exceso de éste en el agua se combina con el anhídrido carbónico presente para formar bicarbonato de sodio y reducir el carácter corrosivo del agua.

TIPO DE EQUIPO A USARSE

En el proceso de la coagulación tres etapas son indispensables antes de la filtración:

- 1o.—Mezcla.
- 2o.—Floculación.
- 3o.—Sedimentación.

Para una coagulación eficaz es necesario que el compuesto químico que va a usarse como coagulante se mezcle rápidamente con el agua para lograr una mínima dosificación del mismo. Esto puede lograrse mediante el uso de canales con pantallas deflectoras para que al producirse un cambio en la dirección del flujo se produzca la agitación deseada. El diseño de los canales está regido por las siguientes normas:

Canales de mezcla y floculación: horizontal o vertical:

Velocidad recomendable comprendida entre 15 y 60 cm/seg.

Periodo de mezcla: 30 minutos (promedio).

Profundidad mínima del canal: 90 cm. en los horizontales.

2.5 mts. en los verticales.

Distancia entre los tabiques horizontales y la pared: 1.5 veces la separación entre los tabiques.

Se recomienda cuando sea posible, usar procedimientos mecánicos para la mezcla del coagulante.

Los agitadores de paletas o mezcladores son preferidos para estos propósitos ya que se puede controlar la velocidad de flujo y características del precipitado.

Después de la mezcla y formación del floculo el agua ya tratada pasa al tanque de sedimentación para lograr el asentamiento del mismo.

Los tanques de sedimentación se clasifican de acuerdo al método de remoción del sedimento en: tanques sin equipo mecánico para la eliminación del residuo y tanques operados mecánicamente. Los primeros son generalmente rectangulares y según las siguientes especificaciones:

Velocidad horizontal: 0.05 mts/seg.

Periodo de retención entre 3 y 4 horas.

Profundidad: 3 a 5 metros (incluido el volumen de lodos).

Relación de largo y ancho: L/A: 4 a 6.

La entrada de los tanques de sedimentación debe ser por orificios ahogados a lo largo del tanque.

Los clarificadores de flujo vertical que combinan en una misma unidad las funciones de mezcla, coagulación y sedimentación tienen un uso bastante grande, principalmente en industrias, gracias a la marcada reducción tanto de espacio como de costo de instalación. Estos se diseñan normalmente para una o dos horas de retención.

F I L T R A C I O N

La filtración se emplea en el tratamiento para agua industrial como complemento para eliminar o reducir la turbidez. Esta se presenta inicialmente en el agua o puede resultar de alguna precipitación secundaria en el proceso de tratamiento; por ejemplo en el tratamiento con cal-soda o fosfatos se forma un precipitado de las sales de calcio y magnesio, el cual debe eliminarse previamente al empleo de esta agua.

Los diversos procedimientos para producir la fuerza impulsora del fluido y las distintas técnicas usadas para la eliminación del líquido filtrado requiere diferentes tipos de equipo.

FILTROS

Los filtros lentos son recomendables para un promedio anual de turbidez de 20 partes por millón y color menor de 30 ppm. los rápidos se recomiendan para aguas cuyos valores de turbidez y color excedan los anteriores.

Los filtros rápidos pueden ser filtros de gravedad o de presión, siendo su uso de acuerdo a las características y condiciones del terreno y del agua del lugar donde se construye la planta. Estos se usan siempre siguiendo la sedimentación con coagulantes.

FILTROS LENTOS

El agua se filtra en ellos a razones muy bajas. Como el uso de lavado en contra-corriente resulta impráctico cuando se ha acumulado en ellos la materia en suspensión, esta se elimina de la superficie de la capa de arena con rastroillos. Los filtros se diseñan para una capacidad de 2800 a 5000 litros por metro cuadrado y por día y según las especificaciones siguientes:

Capa de arena: 0.60 metros a 1.20 metros de espesor.

Tamaño efectivo de la arena: 0.35 mm.

Coefficiente de uniformidad de la arena: 1.7 a 2.

Tamaño de la grava o pedrín de 1/2" a 1".

Número mínimo de unidades: 2.

Relación entre el largo y el ancho del filtro (forma rectangular).

$$\frac{B}{A} = \frac{N + 1}{2N}$$

donde:

B: ancho.

A: largo.

N: número de unidades.

Máxima pérdida de carga admisible antes de la limpieza: 0.70 mts.

Separación de laterales: 3 a 5 metros.

Distancia entre un extremo de lateral y la pared: 0.45 a 0.75 metros.

FILTROS RÁPIDOS DE GRAVEDAD

En los filtros rápidos de arena, el agua pasa hacia abajo por gravedad a relativamente altas velocidades; el tratamiento de sedimentación y coagulación es necesario hacerlo previamente para lograr mayores razones de filtración.

Para su diseño se siguen las indicaciones siguientes:

Capacidad de filtración: entre 106,000 y 125,000 litros por metro cuadrado por día.

Capa de arena: 0.60 a 0.75 metros.

Tamaño efectivo de la arena: 0.45 a 0.55 mm.

Coefficiente de uniformidad de la arena: no mayor de 1.65.

Capa de grava o piedrín: 0.30 a 0.60 metros.

Tamaño de la grava o piedrín: 1/2" a 1".

Para el tratamiento del agua el cuerpo del filtro se construye de cemento. Los conductos situados bajo el falso fondo perforado evacúan el líquido filtrado procedente del lecho arenoso. Estos conductos van provistos de compuertas o válvulas que permiten efectuar el lavado de la capa de arena por circulación del agua en sentido opuesto para arrastrar así los sólidos acumulados. El fondo perforado está cubierto por una capa de rocas triturados o de grava gruesa para sostener la capa superior de arena. Para el tratamiento de aguas se utiliza como medio filtrante arena de cuarzo de tamaño uniforme.

En todos los casos se dispone el material de relleno grueso sobre el fondo perforado, para que sirva de soporte a los materiales más finos. La arena utilizada ha de tener un tamaño uniforme de partículas para proporcionar la máxima porosidad y la mayor velocidad de filtración. Para cada medio filtrante existe una velocidad definida a la cual el agua de lavado comienza a fluidizar el medio, libe-

rando las partículas atrapadas, ésta viene a constituir la máxima velocidad de lavado y no debe sobrepasarse para evitar pérdidas de arena arrastradas por la misma.

FILTROS DE PRESION

En el acondicionamiento de agua industrial, los filtros de presión son los más usados, ya que eliminan el doble bombeo colocándolos en la misma línea de presión.

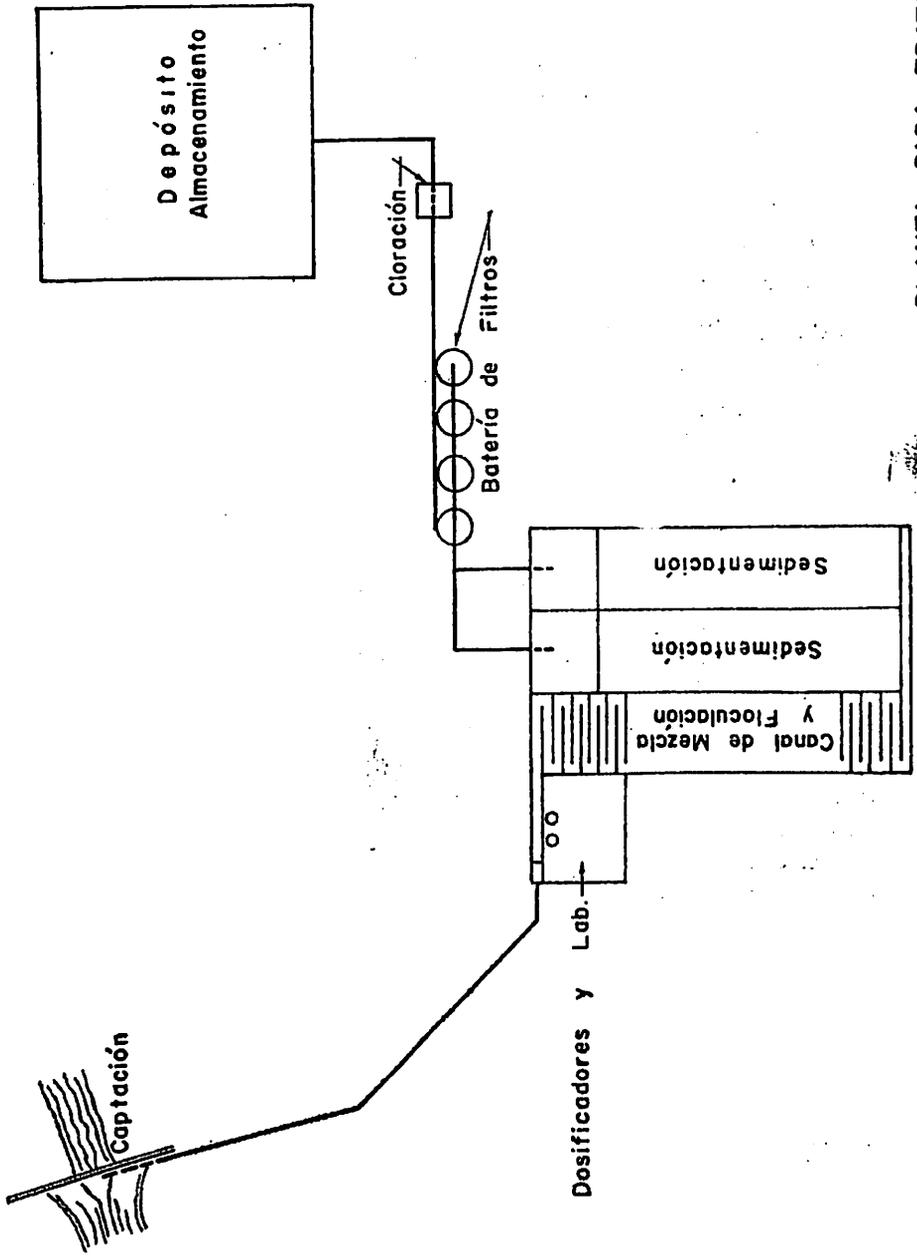
El diseño respecto al medio filtrante es el mismo que en los de gravedad, pero para lograr una capacidad de trabajo elevada el medio debe disponerse en un depósito cerrado y actuar bajo presión. Pueden ser de tipo vertical u horizontal, los recubrimientos del medio filtrante son de acero y de forma cilíndrica. La capacidad de filtración varía tanto en los verticales como en los horizontales entre 2 y 4 galones por minuto por pie cuadrado.

Cuando la pérdida de carga se eleva a 5 libras es deseable limpiar el filtro para eliminar la materia que ha quedado en la capa filtrante. El lavado ha de mantenerse durante diez minutos antes de usarse de nuevo el filtro.

Las desventajas de éstos son las pérdidas que se producen del medio filtrante, ya que estas no se notan por no estar bajo observación.

La selección de uno de los dos tipos de filtros puede hacerse de un estudio de las condiciones y problemas presentes en cualquier instalación particular.

A continuación se da un esquema de una planta de tratamiento.



PLANTA PARA TRATAMIENTO DE AGUA

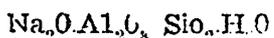
ABLANDAMIENTO DEL AGUA

Los procedimientos encaminados para reducir la dureza del agua, pueden reducirse a los siguientes:

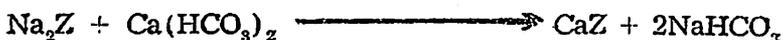
- 1o.—Ablandamiento con zeolitas.
- 2o.—Ablandamiento con cal-soda el cual incluye:
 - a) Método de cal-soda en caliente.
 - b) Método de cal en frío.
- 3o.—Acondicionamiento con fosfatos.

PROCESO DE ABLANDAMIENTO CON ZEOLITAS

La zeolita tanto natural como artificial es una clase de silicato de aluminio y sodio cuya fórmula es:



Durante el proceso de ablandamiento las ecuaciones típicas que se efectúan son:



El aparato donde se lleva a cabo el proceso es un tanque cerrado en que se coloca la zeolita sobre grava clasificada en tamaños, a través de la que circula el agua que va a ablandarse. Como auxiliares figuran tanques donde se almacenan la salmuera y la sal.

El agua que se trata solo con zeolita de sodio lleva todavía considerable cantidad de sales que pueden ser la causa de la espuma dentro de las calderas, la manera de solucionarlo consiste en utilizar las zeolitas de hidrógeno, que es una resina artificial, la que puede regenerarse con ácidos diluidos.

En el comercio se encuentran unidades que operan las zeolitas de sodio e hidrógeno en paralelo. Este tratamiento proporciona aguas con un contenido de calcio y de magnesio bastante bajo. Cuando el material de la zeolita se vuelve inactivo se regenera con cloruro de sodio, para restituir el sodio perdido.

PROCESO DE ABLANDAMIENTO CON CAL-SODA

La aplicación moderna divide este proceso en: cal-soda en caliente y cal en frío.

Con la eliminación de la dureza por el método en caliente se eliminan también el hierro, el anhídrido carbónico libre y la turbidez.

Como en este proceso se opera casi al punto de ebullición, las reacciones se verifican más rápidamente, y se desprenden gran parte de los gases disueltos, tales como el anhídrido carbónico, aire etc.

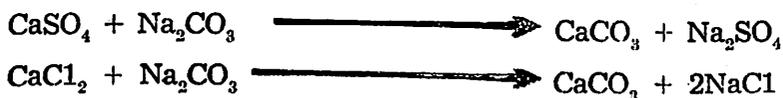
El tratamiento con cal-soda en caliente se considera constituido por los siguientes procesos:

- 1o.—Análisis del agua.
- 2o.—Calentamiento del agua con vapor de escape, mezcla y adición proporcional de la cal y sosa Solvay.
- 3o.—Bombeo de la mezcla cal-sosa al agua.
- 4o.—Reacción con o sin previo calentamiento.
- 5o.—Coagulación o eliminación de la sobresaturación por métodos diversos, tal como la agitación lenta.
- 6o.—Sedimentación o separación del precipitado.
- 7o.—Traslado por bombeo del agua ablandada al exterior, operación que también se puede hacer por gravedad.
- 8o.—Lavado periódico del lodo de salida procedente del fondo del tanque de sedimentación.

Las reacciones que intervienen en este proceso son:



Los sulfatos de calcio y cloruros de calcio producidos como sub-productos o presentes naturalmente en el agua son precipitados químicamente como carbonato de calcio, por el uso de carbonato de sodio, así como sigue:



En estas reacciones, mientras el contenido de calcio se precipita como sal insoluble, se producen compuestos solubles de sodio.

Si se pudieran realizar de un modo completo las reacciones químicas que intervienen en el proceso, se podría eliminar la dureza del agua a las solubilidades teóricas del carbonato de calcio y del hidróxido magnésico.

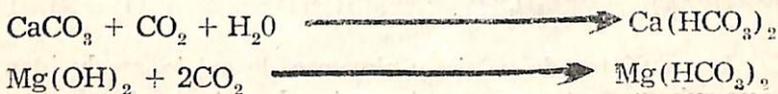
METODO DE LA CAL EN FRIO

Este método se usa para ablandamiento parcial y utilizan como reactivo solamente la cal; logrando reducir la dureza cálcica a 35 ppm. Se aplica en el acondicionamiento del agua de refrigeración en aquellos casos en que la dureza puede dar lugar a la formación de incrustaciones y para ciertas aguas destinadas a la fabricación de papel en que el bicarbonato de calcio origina ciertas dificultades. Para ayudar a la precipitación se añade un coagulante, como el sulfato de aluminio.

RECARBONATACION

En este proceso se usa anhídrido carbónico para estabilizar y prevenir la precipitación de carbonato de calcio de los efluentes del ablandamiento con cal en frío y cal soda en caliente. Como el efluente de estas unidades está saturado con carbonato de calcio, la precipitación se verifica siempre que se incrementa la temperatura del agua.

El carbonato de calcio y el hidróxido de magnesio reaccionan con el anhídrido carbónico, de acuerdo a las siguientes reacciones:



El anhídrido carbónico agregado durante el proceso de recarbonatación convierte los materiales en solución a una forma más soluble, reduciendo su tendencia a precipitar.

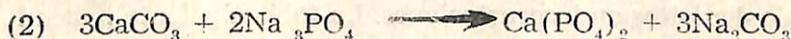
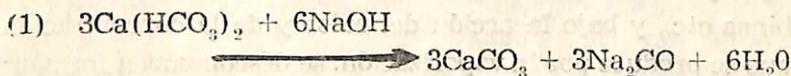
El equipo necesario para la recarbonatación del agua consiste de lo siguiente:

- 10.—Un quemador, en el cual el combustible es quemado para producir anhídrido carbónico
- 20.—Un depurador de gases en el que los gases calientes son limpiados y enfriados hasta cerca de la temperatura del medio.
- 30.—Un secador mecánico para eliminar la humedad llevada con los gases.
- 40.—Un compresor, capaz de elevar la presión lo suficiente para forzarlo a través de las tuberías contra la presión hidrostática del agua del tanque.
- 50.—Un sistema de difusores para la distribución del gas al fondo del tanque de recarbonatación.
- 60.—Equipo de control para regular el grado de recarbonatación.

ABLANDAMIENTO EN CALIENTE CON FOSFATO

Frecuentemente se añaden al agua los fosfatos mono, di y trisódico para precipitar los iones duros en forma de lodos de fosfatos fácilmente separables. El hexametáfosfato ablanda el agua, pero forma complejos solubles con los iones de calcio, magnesio, hierro y aluminio, secuestrándolos para evitar que formen jabones insolubles.

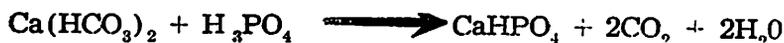
Cualquiera de los varios fosfatos desde el trisódico al mismo ácido fosfórico se pueden usar pero dependiendo de las características del agua a usar. Para control del tratamiento se mantiene un exceso de fosfato de 5 a 10 ppm. El pH de 9.7 es el que se necesita para la precipitación del calcio, pero la eliminación del magnesio y la sílice requiere un valor más alto, aproximadamente de 10.1. Las reacciones de ablandamiento se presentan como sigue:



En la ecuación (1) se puede notar que el bicarbonato de calcio se convierte primero a carbonato de calcio el que

es bastante insoluble, pero en la segunda ecuación se convierte a fosfato tricálcico que es completamente insoluble.

Cuando la alcalinidad natural del agua es tan alta que la hace indeseable, puede reducirse por medio de ácido fosfórico:



El anhídrido carbónico que se forma se elimina por aireación y siguiendo a este proceso, el fosfato ácido de calcio se precipita por la adición de hidróxido de sodio.



TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERAS

Es de gran importancia disponer de un agua adecuada a la alimentación de calderas, la que debe ser limpia y tener un límite bajo de dureza, la dureza total no debe exceder de 35 ppm. para usos ordinarios y podría ser necesaria una dureza cero para calderas que trabajan a altas presiones. La relación de alcalinidad como carbonato de calcio a sulfato de calcio es presentada por la American Society of Mechanical Engineers como sigue:

1 a 1 para calderas que operan a 150 psig.

1 a 2 para calderas que trabajan entre 150 y 250 psig.

1 a 3 para calderas que trabajan a más de 250 psig.

En la operación de calderas, los sólidos presentes en el agua pueden depositarse en las líneas de vapor, en las turbinas etc., y bajo la acción del calor y de la concentración que se produce por la vaporización, se descomponen formando depósitos o incrustaciones. La tabla siguiente indica la tolerancia de los sólidos del agua de abastecimiento de calderas para diferentes presiones.

CALIDAD REQUERIDA DEL AGUA DE ALIMENTACION
DE CALDERAS QUE OPERAN A DIFERENTES
PRESIONES

TODOS LOS VALORES EXCEPTO EL DEL PH ESTAN
EXPRESADOS EN P.P.M.

Impurezas	Presión. Psig.			
	0—150	150 — 250	250 — 400	más de 400
Turbidez	20	10	5	1
Color	80	40	5	2
Oxígeno consumido	15	10	4	3
Oxígeno disuelto	1.5	0.1	0	0
Hidrógeno sulfurado	5	3	0	0
Dureza total como Ca. CO ₃	80	40	10	2
Relación sulfato/carbonato	1:1	2:1	3:1	—
Oxido de aluminio	5	0.5	0.05	0.01
Silice (SiO ₂)	40	20	5	0
Bicarbonatos	50	30	5	0
Carbonatos	200	100	40	20
Hidróxidos	50	40	30	15
Sólidos totales	3000 a 500	2500 a 500	1500 a 100	50
pH(mínimo)	8.0	8.4	9.0	9.6

*TRATAMIENTO ACIDO EN AGUAS DE ALIMENTA-
CION DE CALDERAS*

Como el nombre lo indica, consiste en la continua adición de ácido al agua para corregir el exceso de alcalinidad y el valor alto del pH.

El uso de ácido se emplea en la alimentación de calderas por uno de los siguientes propósitos:

- 1o.—Prevención de la calidad corrosiva del vapor, reduciendo el contenido de anhídrido carbónico.
- 2o.—Prevención de los depósitos de carbonato de calcio.
- 3o.—Prevención de la desintegración de zeolitas por la reducción del pH del agua altamente alcalina.

En el tratamiento ácido es bastante común el uso de ácido sulfúrico. Solo en casos especiales se usan el ácido clorhídrico y fosfórico.

Para la adición continua del ácido se han diseñado varios tipos de alimentadores, incluyendo bombas resistentes a los ácidos.

DESMINERALIZACION

Los procesos y equipo son los mismos que los usados para ablandamiento con zeolitas de hidrógeno.

En cooperación con el costo de producción de agua destilada, la desmineralización resulta mucho más económica para la mayoría de las industrias.

En la actualidad se dispone de materiales sintéticos para el intercambio de iones que actúan satisfactoriamente y eliminan por completo las sales disueltas en el agua ordinaria. Estos productos se dividen en dos clases: de intercambio de anión y de intercambio de catión. Los primeros son de origen orgánico y pueden dividirse en:

1o.—Materiales orgánicos naturales sulfonados.

2o.—Resinas orgánicas sintéticas que contienen grupos sulfónicos activos.

Estos productos tienen un ión H^+ intercambiable.



R: radical orgánico.

Los sulfatos y cloruros reaccionan de la forma siguiente:



El agua ácida resulta inconveniente para la mayoría de procesos y por ello se neutraliza el efluente, haciéndolo pasar a través de un material de intercambio de anión como son las resinas básicas.

Para la regeneración de las resinas se usa carbonato de sodio. Este tratamiento doble desioniza el agua casi completamente.

El uso de agua desmineralizada se aplica en la manufactura de productos farmacéuticos y químicos, en procesos de fabricación de textiles, en electro-plateado y en varios procesos de manufactura donde la calidad del producto fi-

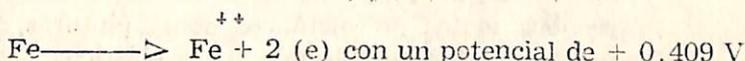
nal no debe ser afectada por la presencia de sales minerales en el agua que está en contacto con el mencionado producto.

Las sustancias orgánicas no pueden eliminarse por desmineralización, ya que no se ionizan en el agua.

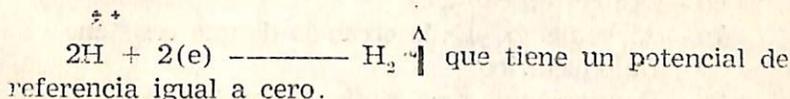
CORROSION

El agua tiende a disolver el hierro y los otros metales de que están hechas las tuberías, en este proceso se distinguen tres etapas: 1o.) una reacción anódica por la cual el metal entra en solución, y los electrones están libres para fluir de éste, 2o.) una reacción catódica, 3o.) una serie de reacciones de los iones metálicos con el agua.

La reacción anódica del hierro es:



La reacción catódica que sigue es más complejo, a un pH abajo de 4.5 se produce Hidrógeno gaséoso de acuerdo a la reacción:



En estas circunstancias el pH es un factor importante en la determinación de la razón de corrosión.

La composición de las aguas es bastante variada y la tendencia a la corrosión es muy leve en el caso de algunas aguas y muy fuerte en otras; pero siempre deben de tomarse en cuenta los puntos siguientes:

- 1o.—El oxígeno y el agua son esenciales en la corrosión.
- 2o.—El contacto entre metales disímiles o la existencia de áreas de diferentes potenciales de oxidación en el mismo metal, promueve la corrosión.
- 3o.—La presencia de electrolitos facilita la corrosión, porque ayuda al flujo de electricidad.
- 4o.—La corrosión es más rápida en soluciones ácidas que alcalinas.

La selección de materiales y métodos para evitar la corrosión, están directamente encaminados al control de una o más de las tres etapas del ciclo de corrosión. Los materiales y métodos comúnmente empleados incluyen los siguientes:

- 10.—Metales o aleaciones resistentes a la corrosión: acero inoxidable, estaño, y cobre..
- 20.—Materiales no metálicos. Pobres conductores de la electricidad y no electrolíticos, resisten el ataque de la mayoría de las aguas, ejemplo: asbesto-cemento, fibra y tubería plástica.
- 30.—Recubrimientos: estos interrumpen tanto las reacciones anódicas como las catódicas, para esto se dispone de metales como zinc, estaño, y cromo o recubrimientos no metálicos como pinturas, cementos, materiales bituminosos y plásticos.
- 40.—Control del pH.
- 50.—Deactivación. Es la eliminación del oxígeno disuelto.
- 60.—Protección catódica.
- 70.—Aislamiento. Es la creación de una resistencia al flujo eléctrico.
- 80.—Deposición de recubrimientos protectores. La deposición de revestimientos de carbonato de calcio en tuberías constituye una medida de protección contra la corrosión.

Excepto en casos especiales, la corrosión se puede atribuir al bajo pH del agua de alimentación o la presencia de oxígeno disuelto en ella.

La estabilización química del agua es el ajuste del pH y la alcalinidad de un agua. a su valor de equilibrio en cuanto a la concentración de carbonato de calcio, necesaria para formar una cubierta protectora dentro de las tuberías. A este punto el agua no disuelve estos depósitos con lo que se dice que se ha estabilizado.

Si el pH está abajo de este valor de equilibrio, los recubrimientos de carbonatos no se formarán y el agua tiene libre acceso al metal, produciéndose

la corrosión. Las aguas naturales de baja alcalinidad y dureza, o de alto contenido de anhídrido carbónico y las desmineralizadas caen dentro de esta categoría. Si el pH está arriba del valor de equilibrio, los depósitos de carbonato se acumulan en las líneas de distribución, calentadores etc., esto reduce su capacidad o causa una pobre transferencia de calor y el sobrecalentamiento de los metales. Puesto que el punto de equilibrio cambia con la temperatura, no es posible lograr un perfecto balance para sistemas de agua fría y caliente al mismo tiempo.

9o.—Inhibidores. Son sustancias confinadas a formar films adsorbentes sobre los metales que protegen. Los polifosfatos se encuentran entre estas sustancias, ya que interrumpen el ciclo de corrosión. El hexametáfosfato de sodio, el heptáfosfato y el pirofosfato tetrasódico son ejemplos de estos agentes químicos.

Los polifosfatos actúan también como secuestradores de iones ya que evitan la precipitación del calcio, magnesio y hierro.

CONTROL DEL pH

Los valores bajos del pH causan ataque del metal con la resultante disolución y desgaste del mismo.

La medida de control para prevenir la corrosión es la neutralización de las características ácidas del agua por el uso de un álcali. En el tratamiento de agua para calderas los más usados son el carbonato de sodio y la soda cáustica.

La experiencia ha demostrado que es deseable mantener como mínimo un pH de 10.5. Este es lo suficientemente alto para sofocar el ataque ácido sobre el metal y proveer el suficiente medio alcalino en el agua, para que precipiten las sales que ocasionan la corrosión.

CONTROL DEL OXIGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto puede haberse introducido en los sistemas, no solo por el agua originalmente abastecida, sino también por infiltración de aire dentro del sistema.

El oxígeno en el agua se libera con un incremento en la temperatura. Ataca las superficies metálicas ocasionando la formación de picaduras, las que gradualmente se van extendiendo no sólo en área sino en profundidad.

La primera y más importante fase en la eliminación de la influencia corrosiva del oxígeno disuelto es la desaireación mecánica del agua, lo que reduce el contenido de éste hasta valores muy bajos.

Se aconseja seguir a la deaireación mecánica el método químico con sulfito de sodio para eliminar las últimas trazas de oxígeno. Aún si no se emplea la desaireación, el método químico puede usarse en su eliminación completa.

La eliminación de 1 parte por millón de oxígeno disuelto requiere 7.88 p. pm. de sulfito de sodio químicamente puro. En las plantas de tratamiento el uso de sulfito de grado comercial, aproximadamente de 90% de pureza, requiere un consumo de 10 libras de sulfito por cada libra de oxígeno.

De preferencia el sulfito de sodio debe agregarse directa y continuamente a la sección del depósito abierto del pre-calentador o en la línea de succión de la bomba que alimenta el agua de la caldera. Este método permite un tiempo mayor de contacto entre el sulfito y el oxígeno, ya que la reacción no toma lugar instantáneamente.

También se han empleado con éxito otras formas de agentes químicos, como son ciertos coloides orgánicos que poseen propiedades suficientes para reducir la agresividad del oxígeno. La hidrazina es un agente reductor que ha encontrado bastante aplicación en la eliminación del oxígeno del agua, reacciona formando agua y nitrógeno.

FORMACION DE INCRUSTACIONES

La formación de incrustaciones y depósitos sobre las superficies de calentamiento es el más serio problema que se ha encontrado en la generación de vapor.

El mecanismo de la formación de incrustaciones toma lugar en dos operaciones distintas, primero la precipitación de las sales tal como el carbonato de calcio y segundo la sedimentación de éste sobre las superficies de calentamiento,

donde queda como una incrustación. Se debe pues a la recristalización de las sales de una solución sobresaturada. La película delgada de agua que se encuentra inmediata a la superficie de calentamiento tiende a concentrarse debido a la vaporización que se produce, así que la solubilidad de las sales se excede primero en esta película que en la propia masa de agua, lo que favorece la precipitación de la sal y forma las incrustaciones.

La costra formada sobre cualquier superficie transmisora de calor supone una resistencia más a la transmisión. Los cambiadores de calor se recubren durante su funcionamiento de lodos que obligan a su limpieza, esta se practica desmontándolos parcialmente y separando mecánicamente los depósitos o haciendo circular determinados disolventes por el aparato. Previendo estas incrustaciones deben proyectarse los intercambiadores, de manera que no sea necesario tener que paralizar el trabajo para realizar limpiezas frecuentes de las superficies del intercambiador.

La razón de transmisión se reduce entre 10 y 12% por la presencia de estas costras.

Los orígenes más comunes de las incrustaciones son: las sales de calcio y de magnesio, la sílice y la presencia de aceite en el agua, ya que puede ser carbonizado, formando una incrustación dura asfáltica, o puede ser absorbido por una porosa ya presente. El aceite debe ser eliminado externamente del agua de alimentación, ya que no hay un tratamiento interno que pueda aplicarse satisfactoriamente.

REMOCION DE SILICE

La eliminación de sílice soluble del agua va acompañada del uso de compuestos de magnesio, bajo condiciones controladas de temperatura, pH, tiempo de contacto y recirculación del sedimento.

El proceso es llevado a cabo en caliente con un proceso simultáneo de ablandamiento con cal o cal-soda. Tiene la ventaja de combinar en una unidad las funciones de a-

blandamiento y eliminación de sílice del agua.

Los compuestos de magnesio usados son: sulfato de magnesio, magnesia calcinada y óxido de magnesio. Ya que este último posee mayor eficiencia y no incrementa el contenido total de sólidos, es el que más se recomienda.

Con este compuesto de magnesio no se necesita ningún equipo especial. Puede ser agregado simplemente al mismo tanque de mezcla donde se agregan la cal y el carbonato sódico.

Otros de los factores que hacen deseable el uso del óxido de magnesio como agente de eliminación de sílice son: a) no aumenta la dureza o alcalinidad del agua, b) la cantidad de cal y carbonato de sodio no se ve aumentada por este compuesto.

Este proceso de eliminación de la sílice se puede aplicar a cualquier tipo de agua.

CONCLUSIONES

El agua suministrada a las diferentes industrias debe cumplir con las especificaciones físicas, químicas y bacteriológicas recomendadas, de acuerdo a la interpretación dada por los laboratorios, no debiéndose aceptar como fuente de aprovisionamiento aquellas aguas cuya calidad no sea satisfactoria y cuyo tratamiento no sea económicamente factible, ya que de lo contrario la calidad de los productos disminuiría considerablemente. Principalmente en el agua destinada a industrias de productos alimenticios debe llenar los requisitos que fije la Dirección General de Sanidad Pública respecto a la potabilidad del agua.

Es por esto que deben hacerse previos estudios sobre las fuentes de agua aprovechables, razones que justifiquen su elección, datos sobre el lugar escogido, características físico-químicas de las aguas. Asimismo debe atenderse al resultado de la inspección sanitaria de la fuente, realizada por la dependencia respectiva de Sanidad Pública, especialmente en el caso de que se trate de agua para industria de alimentos.

MARIA LILLIAN PAIZ R.

Imprimase:

Lic Ricardo Antillón Matta

Decano.

Vo. Bo.

Carlos Solares
Ingeniero Civil
Asesor.

BIBLIOGRAFIA

- 10.—W. A. Hardenbergh "Water Supply and Purification" 5ª Edición (1954). International Textbook.
- 20.—Severns, Degler, Miles "Steam, Air and Gas Power" 5a. Edición (1958). John Wiley and Sons, Inc., N. Y.
- 30.—Norris Shreve "Industrias de Proceso Químico" (1954). Editorial Dossat.
- 40.—Gordon Maskew Fair, John Charles Geyer "Water Supply and Wastw Water Disposal". John Wiley and Sons, Inc., N. Y.
- 50.—Ehlers and Steel, "Municipal and Rural Sanitation" 4a. Edición. McGraw-Hill Book Company.
- 60.—Industrial Water Conditioning. Betz Handbook, 5a. Edición Betz Laboratories.
- 70.—Water Quality and Treatment. AWWA. Manual, 2ª Edición American Water Works Association.
- 80.—Métodos Normales para los exámenes de aguas, aguas negras y deshechos industriales. (1955). Preparados, editados y aprobados por:
 - American Public Health Ass.
 - American Water Works Ass.
 - Federation of Sewage and Industrial Water Ass.
- 90.—"Normas Generales para Diseño de Abastecimiento de Agua Potable". AIDIS. Sección Guatemalteca.
- 100.—Josep A. Salvato Jr. "Environmental Sanitation" (1959) John Wiley Sons Inc., N. Y.
- 110.—Frank Dixey "A Practical Handbook of Water Supply" Editorial Murby.
- 120.—"Permutit Water Conditioning" Compiled by The Permutit Co.
- 130.—"Ground Water Its Development", Uses and Conservation. 1ª Edición. 1957.
- 140.—Phelps. "Public Health Engineering" Volume I, Air contact Water Contact. Wiley and Sons, Inc., N. Y.
- 150.—"Better Laundering". 1952, 2ª Edición. Procter & Gamble.
- 160.—Parker "Food Plant Sanitation", 1a. Edición McGraw Hill Book Company, Inc.

BIBLIOTECA CENTRAL
USAC



4701112570

D.L.