

II GENERALIDADES

A.- ANTECEDENTES. Es gran cantidad de agua la que se emplea para la elaboración de cualquier producto, por ejemplo, para producir un litro de alcohol, se requieren 100 litros de agua; por una tonelada de acero terminado, se emplean 230,000 litros, etc. Así mismo es la sustancia que tiene mayores usos, requiriéndose también, volúmenes superiores a los demás elementos, esto lo sitúa como material de primera necesidad.

Todos los usuarios de agua, ya sean Industrias, Instituciones, Comercios ó Municipalidades, necesitan agua con cualidades especiales, para ésto se proveen de una calidad de agua, que no siempre va de acuerdo a sus necesidades debido a las condiciones del lugar en que se encuentran.

Si hicieran uso de este material, sin cambiar sus características, podría traer como consecuencia, desde trastornos en su equipo de bombeo, hasta mal producto ó cualquier resultado desfavorable y muchas veces desgracias, por lo tanto es necesario, la mayoría de las veces, cambiar sus condiciones antes de su consumo.

B.-CLASIFICACION DEL AGUA. El agua es un líquido incoloro, inodoro, formado por dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, sin embargo, muy difícilmente se encuentra químicamente pura, debido a que es un solvente casi universal, por consiguiente, muy fácilmente contaminable

Agua Meteórica.- El término de agua meteórica, es aplicado a la fuente básica de todos nuestros suministros de agua y que se precipita desde la atmósfera. Dependiendo de las condiciones climatológicas. Durante su trayecto se pone en contacto no solamente con los gases de la atmósfera sino que también con sólidos suspendidos, tales como polvo, basura, hollín y otras impurezas. Aún después de algunas horas de lluvia (por ejemplo) se encuentran sólidos disueltos. El agua que se obtiene de fundir la nieve y el granizo, también contiene sustancias minerales en forma soluble. La nieve que cae en la cima de las montañas, debido a que la atmósfera a esas altitudes, casi no contiene polvo y contiene menos materia mineral, que la nieve que cae en las partes bajas. Muchas corrientes que derivan de las montañas que contienen nieve muy pura, acusan un contenido de minerales disueltos, muy bajo.

Por lo que se refiere a los gases disueltos, el agua de lluvia está saturada de aire (disuelto aproximadamente

entre 20 y 29 ml/lit de agua de 60 a 32 °F) pero la proporción de oxígeno disuelto es mucho más alta en este aire disuelto que lo que es, en el aire disuelto en la atmósfera. En cuanto al contenido de bióxido de carbono libre, según los análisis hechos, se muestra que existe una variación de 2 a 6 ppm. Pudiendo ser que de 1 a 2 ppm. de bióxido de carbono libre, atmosférico, sea el existente y lo demás sea debido al producido por la materia orgánica.

La lluvia que cae en las ciudades, puede algunas veces tener carácter ácido, debido al ácido sulfúrico que se origina al quemar carbón. Este es el caso especialmente en regiones frías y en aquellas en donde el aire contiene polvos de caliza.

Agua de Cisternas.- El agua de Cisterna, es llamada al agua de lluvias que se colecta de las azoteas y se almacena en cisternas. La mayoría, son destinadas a uso casero. Erroneamente, se ha considerado que esta agua pudiera ser destilada y se ha usado algunas veces, para diluir agua con alto contenido de sólidos. Según algunos análisis, se ha encontrado que la dureza varía de 35 a 150 ppm. Esto se debe a que en la azotea, se recoge polvo y se disuelve algo del material de que está hecha. Además, muy a menudo, el agua de las cisternas tiene un olor característico y la cuen

ta bacteriana es usualmente alta, siendo los organismos no patógenos.

Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas.- Cuando la lluvia, ó el agua formada por la fusión de la nieve ó el hielo, se pone en contacto con el suelo, una parte de ella se evapora, parte se colecta y fluye por la superficie y otra se sumerge en el suelo. Las aguas que se colectan ó fluyen por la superficie, para formar lagos, lagunas, ríos y arroyos se llaman Aguas Superficiales. Las aguas que se sumergen en la tierra y que emergen en forma de manantiales ó que se sacan por medio de perforaciones, tiros ó galerías filtrantes se llaman Aguas Subterráneas.

Las propiedades solventes del agua se aumentan para ciertos minerales con la presencia de bióxido de carbono, la piedra caliza, el yeso, dolomita y magnesita, por ejemplo, dependiendo de la cantidad de bióxido de carbono libre presente, pueden ser hasta 100 veces más soluble que en agua pura : el agua que contiene bióxido de carbono también tiene un gran efecto desintegrante sobre muchas rocas silíceas y mucho mayor es este efecto que el del agua pura. Por otro lado, el bióxido de carbono es innecesario para que el agua disuelva los sulfatos, cloruros ó nitratos de calcio, magnesio ó sodio. Gran cantidad de bióxido de carbono

no, es derivado de los procesos de descomposición de la materia orgánica en las capas superiores del suelo. Las aguas subterráneas pueden tomar bióxido de carbono de algunos estratos ó figura de la costa terrestre. De una manera general, las aguas subterráneas, debido a su contacto más intenso y prolongado con estratos rocosas en una area dada, tienen un contenido de minerales más alto, que el agua superficial en esa misma zona.

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

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

El crecimiento de organismos es común en las aguas de la superficie y frecuentemente le imparten sabores y olores objetables. Por otra parte, las aguas subterráneas, están libres, usualmente, de estos defectos. Las excepciones, por lo que se refiere a los desarrollos orgánicos, son aquellos de los pozos que no son muy profundos y que desarrollan bacterias de hierro y manganeso. Las excepciones para olor y sabor, son las aguas sulfurosas y las que contienen hierro, las primeras tienen tanto sabor como olor desagradables y las segundas, tienen un sabor astringente.

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

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

Agua de Mar.- Esta agua, contiene aproximadamente 2.7 por ciento de cloruro de sodio y 0.8 por ciento de otras sa-

les ó sea un total de 3.5 por ciento de sales. En los diferentes océanos, se encuentran algunas diferencias en la salinidad, pero las proporciones relativas de los principales constituyentes, son los mismos en todos los océanos. Los fabricantes de sal, bromo y manganeso, usan el agua de mar como materia prima. También se usa, aunque en forma más limitada, para regenerar intercambiadores iónicos, en las plantas de ablandamiento de agua. Cuando esto sucede, esta agua proporciona el método más barato para ablandar un suministro de agua dura. El agua de mar se usa también ampliamente para enfriar aguas en las plantas situadas cerca del mar. También se le destila en ciertas regiones áridas y a bordo de buques, para proporcionar agua a las calderas, agua para beber y para otros usos. Uno de los métodos usados para destilar agua de mar y que resulta interesante, es haciendo uso de evaporadores con compresión de vapor.

C.- TRATAMIENTOS DE AGUA. En esta parte, se encuentran un número de tratamientos más comunes, empleados en el tratamiento de aguas de suministro municipal.

Eliminación de Turbidez y Color. a) Sedimentación.- Se refiere a la que se hace sin la ayuda de coagulantes, y a que asentamiento es una sedimentación de agua coagulada. Si

el agua cruda contiene cantidades apreciables de materia in-soluble suspendida, de la cual una gran cantidad es lo sufi-cientemente grande para removerse por sedimentación, enton-cas esta operación, presediendo a la coagulación, asenta-mento y filtración, puede acarrear economías significantes.

b) Coagulación y Asentamiento.- El coagulante más usado en plantas de filtración, es el Sulfato de Aluminio, conocido comercialmente como Filter-alum ó Sulfato de Alúmina. La fórmula del producto sólido generalmente se dá como $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, pero el producto comercial, usualmente, tiene un con-tenido menor de agua, cerca de 13 ó 14 moléculas de agua. - Tambien se puede disponer de este producto en forma de solu-ción. Otros coagulantes usados en las plantas de filtración, son de Sulfato Férrico, Cooperas Clorinadas (Sulfato Ferroso) y Aluminio de Sodio. Ademas y especialmente con aguas duras altas en color y de poca turbidez, se puede necesitar el con-curso de un ayudante para la coagulación, tal como la ar-cilla, sílica activada ó algunos de los nuevos polielectro-litos, que son varios los nombres que se encuentran en el co-mercio. Cuando se use arcilla, debe ser de una fuente de la cual se tenga seguridad de su propiedad como ayudante de la coagulación, ya que las arcillas, varían amoliamente en sus propiedades. La sílica activada de Baylis, se obtiene haciendo reaccionar el Silicato con el Acido Sulfúrico dilu-

ido, también se usan otros materiales, como el Sulfito de Amonio, Bióxido de Carbono y Cloro.

La coagulación y el asentamiento, se pueden efectuar en depósitos de asentamiento de varios diseños, tanques y Floc-formes, los más usados son los reactores que trabajan con lechos fluidizados. En éstos, la coagulación y el desarrollo de los flóculos, se efectúan mientras el agua fluye hacia arriba a través de la región inferior. Al efectuarse esto, se filtra en su movimiento ascendente a través del lecho suspendido, que se ha formado en la sección exterior. Al salir el agua a la superficie suavemente ondulante del lecho suspendido, fluye hacia arriba, hacia las descargas, de los cuales pasa a un filtro de arena, de filtración rápida y que puede ser de dos tipos: de Gravedad y de Presión.

Filtración rápida por Gravedad con filtros de arena. Estos filtros, son muy ampliamente usados en los sistemas de filtración de agua para usos municipales. El medio filtrante puede ser arena, de aquí el nombre de "filtros de arena", pero también puede ser antracita. Durante la filtración, la acumulación del material eliminado gradualmente, taponera el filtro, originando un aumento de la resistencia al flujo del agua a través del filtro, cuando ésta alcanza un punto determinado, que generalmente varía de 8 a 12 pies de pérdida de carga en diferentes tipos de filtros de grave

dad, la unidad filtrante, se pone fuera de servicio, se lava por retrolavado, se pone en línea al drenaje por algunos minutos y luego se vuelve al servicio.

Filtración a Presión por medio de filtros de arena.- Estos filtros se hacen en dos formas: Verticales y Horizontales. En prácticas municipales, se usan principalmente en el tratamiento de aguas subterráneas para la eliminación de fierro y manganeso.

Además de la arena y la antracita, hay otros materiales que se emplean como medios filtrantes para usos especiales, como la calcita triturada y graduada, filtros de carbón activado, filtros de zeolita, etc..

Eliminación de Olores y Sabores.- Debido a que los compuestos que producen olores y sabores desagradables tienen cierto grado de volatilidad, la aereación es a menudo un método útil de eliminarlos, como primer tratamiento, también son usados, la clorinación, carbón activado, etc. El carbón activado, para instalaciones de gran tamaño, se usa en forma pulverizada, debido al mejor contacto que se logra.

Ablandamiento de Agua.- Los tratamientos para el ablandamiento del agua son los siguientes:

- 1.- Proceso de Cal (ó Cal Sodada) en Frío

- 2.- Proceso de Intercambio Catiónico, en Ciclo Sódico
- 3.- Proceso de Ablandamiento en dos Pasos: Cal en Frío e Intercambio Catiónico en Ciclo Sódico.

1.- Proceso de Cal Sodada en Frío.- En este proceso de precipitación en frío, la cal hidratada, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, solo se puede usar para reducir la dureza de bicarbonatos (comunmente, dureza de carbonatos) ó la cal hidratada más carbonato de sodio, soda-ash, sosa comercial, siendo su fórmula, Na_2CO_3 , que puede usarse tanto para reducir la dureza de bicarbonatos, como para la de no carbonatos. Si se usa solamente la cal hidratada, el proceso se conoce como de Cal en Frío, mientras que si se hace uso de la cal y soda-ash, el proceso se conoce como proceso de Cal sodada en Frío. Sin embargo, el término proceso de Cal Sodada en Frío se ha usado por costumbre para designar a los dos mencionados anteriormente.

Además de las sustancias mencionadas, en estos procesos, se usan pequeñas cantidades de coagulantes, tales como el alumbre (Sulfato de Aluminio) ó una sal de fierro apropiado, porque los precipitados que se forman son demasiado finos y se necesita una coagulación para asegurar un buen asentamiento y filtración.

Una excepción, es el proceso catódico, en el cual el carbonato de calcio formado se adhiere fuertemente al catalítico que se le adiciona, de manera que no se necesita coagulante.

En lugar de usarse cal apagada, puede usarse cal viva, y luego apagarla, la reacción química es:



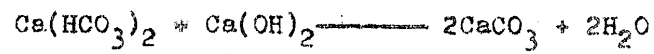
El uso de cal viva, en vez de cal apagada en los tratamientos de agua, acarrea economías, pero es necesario disponer de un buen apagador, para que esto suceda, debe evitarse que el óxido de calcio entre en contacto con el agua, debido a la gran cantidad de calor que se desprende en la reacción.

La dureza de carbonato que se elimina, el bióxido de carbono y la cal hidratada que se añade al agua, se precipitan como carbonato de calcio, CaCO_3 . La dureza de magnesio, que se elimina, se precipita como hidróxido de magnesio, Mg(OH)_2 . Ya que los precipitados son muy poco solubles, debe haber alguna dureza en el agua tratada que se podría determinar en el efluente. Si el proceso se lleva a cabo para reducir la dureza tanto como sea posible, sin usar exceso de reactivos, esta dureza residual es de 68 ppm.

Brevemente se describen a continuación los equi

valentes de reactivos necesarios para eliminar un equivalente de dureza:

a).- Un equivalente de alcalinidad de calcio, requiere un equivalente de cal hidratada.



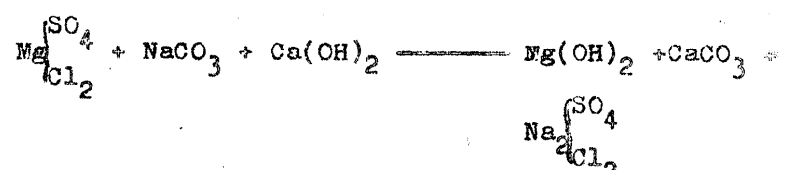
b).- Un equivalente de alcalinidad de magnesio, requiere dos equivalentes de cal hidratada.



c).- Un equivalente de dureza de no carbonatos de calcio, requiere un equivalente de soda-ash.



d).- Un equivalente de dureza de no carbonatos de magnesio requiere un equivalente de soda-ash, más un equivalente de cal hidratada.



Mientras que la cal hidratada tiene un peso equivalente mayor y un costo más elevado que la cal viva, ambas sustancias son de bajo costo. La soda-ash tiene un costo mayor y un peso equivalente más elevado que los dos anteriores, de manera que el costo de eliminar la dureza de no carbonatos es mayor que el -

de eliminar la dureza de los bicarbonatos.

Las plantas de tratamiento de aguas municipales, que emplean el proceso de cal sodada en frío, usan el siguiente equipo: 1.- Dosificadores, 2.- Unidades de a blandamiento, en los cuales tiene lugar la reacción química de blandamiento y la de coagulación en donde se asienta la mayor parte de los precipitados, 3.- Filtros que eliminan los vestigios de turbidez, 4.- Cisterna de donde el agua se bombea al sistema; además si el agua contiene fierro, manganeso, un alto contenido de bióxido de carbono libre ó es agua sulfu rosa, se usa un equipo de aereación, operando de manera que el efluente de el, llegue al desgasificador ó blandador.

El tipo más antiguo del proceso de tratamiento por cal sodada en frío, era de tipo Batch ó por lotes. En este tipo se llenaba un tanque con agua, se añadía una cantidad pesada de los reactivos químicos, se agitaba, se dejaba asentar y luego se filtraba. Este método está prácticamente eliminado, se ha reemplazado por los procesos continuos, en los que el agua se a blanda de acuerdo como fluye por la planta.

Eliminación de fierro y manganeso en los equi--

nos de ablandamiento por cal sodada en frío.- La eliminación de fierro y manganeso presentes en forma de bicarbonatos solubles, puede efectuarse fácilmente en este tipo de tratamiento, aereando el agua antes de entrar en los suavizadores. El aerador de cualquier tipo que sea, de tipo forzado ó natural, se coloca sobre el reactor de manera que se alimenta ésta por gravedad. Debido al pH alto en el reactor, los compuestos de fierro y manganeso, se oxidan rápidamente y se precipitan como sus óxidos hidratados superiores (hidróxidos de fierro y de manganeso). Las aguas ácidas que contienen sales como sulfatos, pueden librarse de ellas por el mismo procedimiento. El agua alta en bióxido de carbono, también se somete a aereación para reducir su contenido hasta menos de 10 ppm., el cual se elimina, precipitándolos en forma de carbonato de calcio.

2.- Proceso de Intercambio Catiónico, Ciclo Sódico - (Zeolitas). En el ablandamiento de aguas municipales, una parte de agua se ablanda totalmente y luego este flujo se mezcla con una cantidad suficiente de agua cruda, para obtener el efluente de composición deseada. Por ejemplo, si una agua que contiene 340 ppm. de

BIBLIOTECA DE LA ESCUELA
CIENCIAS QUIMICAS

dureza, debe ablandarse hasta una dureza residual de 85 ppm., los flujos relativos, deben ajustarse de una manera que a cada tres volúmenes de agua tratada completamente, debe mezclarse un volumen de agua cruda.

Las unidades ablandadoras, pueden ser de tipo de presión ó de gravedad; el primero es el más usado. Cualquiera de los tipos que se usen, consta de una capa de resina intercambiadora (Zeolita) de iones, soportada por un lecho de grava y arena graduada. La cantidad de resina intercambiadora, varía con la dureza del agua, el tipo de resina y el ciclo a que se opere cada unidad; la altura del lecho debe ser de 40 cm..

Para ablandar el agua por este procedimiento, lo que se tiene que hacer, es pasar el agua por el lecho de resina. Cuando el agua dura se pone en contacto con la resina, cede sus cationes de calcio y de magnesio, que son retenidos por la resina, tomando en su lugar una cantidad equivalente de iones sodio. Al final, la unidad se pone fuera de servicio y se regenera.

La regeneración consiste en tres etapas, conocidas como: retrolavado, regeneración y lavado. El retrolavado se efectúa pasando una potente corriente de

agua en sentido inverso al flujo normal, generalmente hacia arriba para aflojar la cama de resina y lavarla hidráulicamente. La regeneración, se lleva a cabo pasando una determinada cantidad de sal en solución (cloruro de sodio) a través del ablandador. Cuando la solución de sal se pone en contacto con la resina, remueve la cantidad de iones de calcio y de magnesio que habían sido retenidos por la resina en forma de sus cloruros solubles, al mismo tiempo, restituye al intercambiador a su forma sódica. El lavado consiste en eliminar los cloruros de calcio y de magnesio, además el exceso de sal, pasando por el ablandador una cantidad de agua tratada. Después de estas operaciones, el ablandador, se pone en operación de nuevo.

En la práctica municipal, la sal se compra generalmente por carro entero y se almacena bajo agua, en depósitos húmedos. En ciudades localizadas en playas ó cerca del mar, en lugar de usar salmuera, se puede usar previamente clorinada y filtrada para regenerar las unidades de intercambio catiónico. También en los sitios en los que se cuenta con depósitos de salmuera naturales, de composición adecuada, se puede usar para regenerar plantas de ablandamiento.

Por este método, (Intercambiador Catiónico, Ci-

clo Sódico) también se eliminan el fierro y el manganeso simultáneamente cuando se encuentran como sus bicarbonatos solubles.

3.- Proceso de Ablandamiento en Dos Pasos, Cal en Frío e Intercambio Catiónico en Ciclo Sódico. En este proceso, ya sea la dureza total de bicarbonatos ó la dureza de bicarbonatos catiónicos, se reduce por tratamiento con cal hidratada y coagulación, asentamiento y filtración en el primer paso. Si es necesario se le añade una pequeña cantidad de ácido ó se carbonata antes de la filtración. Luego, en el segundo vaso, parte de este efluente, se ablanda completamente, pasando a través de intercambiadores catiónicos en ciclo sódico y mezclando luego los dos efluentes para producir la calidad del agua deseada.

Los costos de operación, para eliminar la dureza de no carbonatos, por el proceso de intercambio catiónico son mucho menores que los costos de operación para eliminarlos con el procedimiento de cal en frío. Por otra parte, la eliminación de dureza de bicarbonatos (especialmente cálcica), por el proceso de cal en frío, cuesta algo menos que eliminar con intercambiadores catiónicos.

De aquí, que con agua que contenga su dureza alta en carbonatos y no carbonatos, este proceso de dos pasos, cal sodada e intercambio catiónico, es el más económico. También se logra una reducción en el contenido de sólidos totales correspondiente a la reducción de dureza de bicarbonatos en el proceso de cal en frío.

La documentación para el desarrollo de este capítulo, se encuentra localizada en las referencias (2), (3), (4), (6), (7) y (8).