



UNIVERSIDAD DE SONORA

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

"Estudio Químico y Sugerencias para el tratamiento del Agua de varios pozos de la Cd. de Tijuana, B. Cfa. para consumo Municipal".

TRABAJO PROFESIONAL



QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

QUIMICO INDUSTRIAL

PRESENTA

Natalia Dávila de Carlos

Hermosillo, Sonora, México

1972

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE LA ESCUELA DE
CIENCIAS QUIMICAS

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CONTENIDO

INTRODUCCION	Página
GENERALIDADES.....	1
A.- Antecedentes.....	1
B.- Clasificación del Agua.....	2
C.- Tratamientos de Agua.....	7
DESARROLLO DEL TRABAJO.....	20
A.- Selección de Análisis y Métodos.....	20
B.- Muestreo y Análisis de los Pozos.....	20
C.- Selección de Tratamientos.....	25
D.- Resultados.....	29
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
BIBLIOGRAFIA.....	41

I INTRODUCCION

RESUMEN

En la ciudad de Tijuana, Baja California, existe escasez de agua, debido a la falta de lluvias y sobre todo al acelerado crecimiento demográfico; a esto se debe que estudios hechos anteriormente, para proporcionar agua a todos los habitantes de la ciudad, no se hayan podido llevar a cabo.

Este servicio se encuentra ahora en manos de una comisión, que se formó hace algunos años, llamada "COMISION ESTATAL DE SERVICIOS PUBLICOS"; cuentan a la fecha con las siguientes fuentes de abastecimiento: Varios pozos que se encuentran localizados dentro de la ciudad y algunos de mayor capacidad, a algunos kilómetros al sur de ella; el agua de lluvia, que se recoge en la presa Abelardo L. Rodríguez que se localiza a la entrada de la ciudad, además cuenta con una Planta Desaladora, siendo su fuente de abastecimiento el agua de mar, ésta, se encuentra a unos kilómetros al sur de la ciudad.

La calidad del agua, de los pozos, es muy variable y

en general no es aceptable para cualquier uso. El agua de la Presa, lógicamente es de buena calidad, solamente habrá que eliminar lo que contiene de color, olor y sólidos en suspensión. El agua obtenida de la Planta Desaladora, es prácticamente destilada, la cual es mezclada con el agua de varios pozos, resultando una agua de buena calidad. Esta se distribuye en solo una parte de la ciudad, por lo que el resto, recibe agua de mala calidad.

Queriendo uniformizar y mejorar la calidad del agua, para que sea apta para el consumo municipal, se han elaborado proyectos, dentro de los cuales se encuentra "El estudio y control Químico de las diferentes fuentes de abastecimiento de esta ciudad", que es a lo que se refiere el presente estudio.

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 esté 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 carbo

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 travez 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 abreciablemente.

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 bracas.

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 amoliamente 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 el 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-
ces esta operación, presediendo a la coagulación, asenta-
miento 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. -
También 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 Aluminato de Sodio. Además y especialmente con aguas duras
altas en color y de poca turbidez, se puede necesitar el --
concurso 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 -
comercio. Cuando se usa 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 amolmente 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 travez de la región inferior. Al efectuarse ésto, se filtra en su movimiento ascendente a travez 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 travez 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:



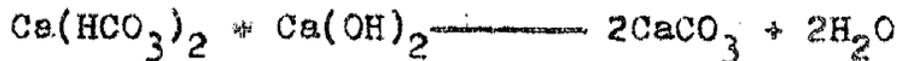
El uso de cal viva, en vez de cal apagada en los tratamientos de agua, acarrea economías, pero es necesario disponer de un buen apagador, para que esto suceda, debe evitarse que el óxido de calcio entre en contacto con el agua, debido a la gran cantidad de calor que se desprende en la reacción.

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.



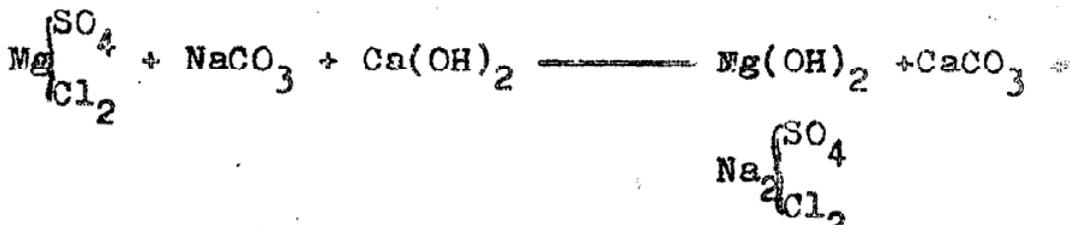
b).- Un equivalente de alcalinidad de magnesio, requiere dos equivalentes de cal hidratada.



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 a 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; adé-- más 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 mane ra que el efluente de el, llegue al desgasificador ó a 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 a gita, 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--

pos 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 aereador de cualquier tipo que sea, de tipo forzado ó natural, se coloca sobre el reactor de manera que se alimenta éste 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

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 travez 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 habian 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 simultaneamente 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 paso, parte de este efluente, se ablanda completamente, pasandolo a travez 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 bien 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), (5), (7) y (8).

II DESARROLLO DEL TRABAJO

A.- SELECCION DE ANALISIS Y METODOS. El agua problema que se va a tratar en este estudio, para que pueda ser apta para el consumo municipal, es necesario bajar el contenido de dureza total, los sólidos en suspensión y en solución (además del contenido Bacteriológico, que no corresponde a este estudio). Lo anterior implica una serie de análisis para poder llevar a cabo el tratamiento que se va a aplicar, de acuerdo a las condiciones del lugar y económicas.

En este estudio se seleccionaron los siguientes análisis: dureza total, dureza de calcio, dureza de magnesio, alcalinidad total, sólidos totales, acidez, turbidez, color y pH. Estos fueron tomados de los estipulados por la FEDERATION OF SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTES ASSOCIATION, ya que son métodos estandars y los más recomendados en la actualidad por su exactitud y sencillez.

B.- MUESTREO Y ANALISIS DE LOS POZOS. Se tomaron muestras de un litro de agua de cada pozo, durante tres meses,

por espacios de quince días y se llevaron a cabo los análisis anteriormente mencionados. En los análisis realizados, se tomaron muestras de cincuenta y cien mililitros de agua.

El agua muestra variaciones de un día para otro en el pH, por lo que fué necesario efectuar los análisis el mismo día de la toma.

La tabla No. 1 muestra el promedio de los resultados obtenidos durante el tiempo mencionado.

C.- SELECCION DE TRATAMIENTOS. Como se observa en la tabla No. 1, existe mucha variación entre una y otra muestra y además se observa la mala calidad de algunos de ellos.

La selección del tratamiento, se hizo individual, debido a varios factores: 1º puede existir la posibilidad de que a cada pozo se le acondicione el equipo necesario para su tratamiento y 2º en caso de que exista un grupo de pozos de los cuales se mezcle su agua para su tratamiento, alguna vez se tendrá que tratar a un solo pozo, por problemas en el equipo de los demás, por agotamiento de alguno, etcétera. Por lo pronto, los pozos denominados con los números 2, 4, 5 y 7 de la Misión, por su cercanía entre sí, se ha mezclado.

PROPEDIOS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MUES
TRAS DE AGUA SIN TRATAR.

No. del pozo	2 La Misión	4 La Misión	5 La Misión	7 La Misión
Acidez (ppm.)	20	8	8	28
Color (unidades)	5	5	5	5
Turbidez (ppm.)	5	5	5	5
Sólidos totales (ppm)	1,768	882	1,121	772
Alcalinidad total (ppm)	192	84	112	244
Dureza total (ppm)	660	204	384	328
Dureza de Ca (ppm)	408	132	200	184
Dureza de Mg (ppm)	252	72	184	144
pH	7.7	7.2	7.0	7.6

TABLA No. 1

PROVEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS WOBS
 TRAS DE AGUA SIN TRATAR.

No. del pozo	1 S. R. H.	4 S. R. H.	29	30
Acidez (ppm)	24	100	10	20
Color (unidades)	10	5	5	5
Turbidez (ppm)	20	15	15	5
Sólidos totales (ppm)	1979	2,696	3,099	2,042
Alcalinidad total (ppm)	256	356	352	308
Dureza total (ppm)	952	1,272	1,028	968
Dureza de Ca (ppm)	625	1,160	620	540
Dureza de Mg (ppm)	337	112	408	428
pH	7.1	6.8	8.0	8.0

TABLA No. 1
 (continuación)

PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MUESTRAS
 TRAS DE AGUA SIN TRATAR.

No. del pozo	31	32	Mezcla de los pozos de La Misión
Acidez (ppm)	16	16	30
Color (unidades)	5	5	5
Turbidez (ppm)	5	5	5
Sólidos totales (ppm)	2,505	2,984	900
Alcalinidad total (ppm)	480	610	160
Dureza total (ppm)	1,168	840	280
Dureza de Ca (ppm)	684	764	170
Dureza de Mg (ppm)	464	76	110
pH	7.9	8.1	7.3

TABLA No. 1
 (continuación)

do su flujo de agua para tratarse así. El agua de los demás pozos, se encuentra hasta este momento independiente, ó sea que se consume su agua directamente de él.

Para la selección del tratamiento, se tomó en cuenta la dureza total, dureza de Ca, dureza de Mg, y su alcalinidad, ya que con ésto disminuirían los resultados de las demás determinaciones. Según las descripciones anteriores, sobre los posibles tratamientos para las muestras problema, se han seleccionado los métodos de tratamiento "CAL EN FRIO" con hidróxido de calcio solamente, con hidróxido de calcio y carbonato de sodio juntos, debido al alto contenido de dureza total y de calcio de algunos pozos y además al costo del tratamiento; aunque el segundo no es costeable como el primero, se hicieron pruebas para cuando se crea necesario obtener una calidad de agua mejor.

Los pozos 2 y 4 de la Misión, 29, 30 y 31, son los pozos que se sometieron al tratamiento con la cal hidratada y soda-ash.

Equipo y Reactivos utilizados para el tratamiento de las muestras.-

Un sistema de agitación con regulador de velocidad en

R.P.M. y 6 agitadores.

6 jarras con capacidad de 2 litros aproximadamente

pipetas y matraces volumétricos

buretas y probetas calibradas

solución valorada de Alumbre, $Al_2(SO_4)_3$.

solución valorada de Hidróxido de Calcio, $Ca(OH)_2$.

solución valorada de Carbonato de Sodio, Na_2CO_3 .

Determinación de las cantidades adecuadas de los reactivos usados.- Se tomaron muestras de 25 litros de agua de cada pozo, de los cuales en cada intento se trabajó en series de seis jarras con un litro de agua cada una. Primeramente se tomó una serie y se le agregaron cantidades variadas de hidróxido de calcio a cada una de las jarras, después, se sometió a la agitación en un tiempo determinado y a una velocidad también determinada, luego, se hicieron análisis, se probó nuevamente con las mismas cantidades de hidróxido de calcio y a la misma velocidad de agitación pero con diferente tiempo de agitación, se volvieron a hacer análisis, comparandose con el primero. De esta manera, se estuvieron haciendo variaciones con las variantes de este caso, (cantidades de hidróxido de calcio, tiempo de agitación y velocidad de agitación), hasta obtener las condiciones adecuadas para que la dureza total sea la mínima posible usando

do el mínimo tiempo y obteniendo el más bajo costo. Los resultados fueron obtenidos después de un asentamiento y una filtración.

A las muestras que se trataron con la solución valorada de carbonato de sodio, después de haberse encontrado la cantidad adecuada de hidróxido de calcio, se les agregaron cantidades variadas de la solución primeramente mencionada a las jarras de una serie, con la misma cantidad de hidróxido de calcio encontrada anteriormente. Se hicieron pruebas agregando el hidróxido, se hizo la operación encontrada, y después se le agregó la solución de carbonato en cantidades variadas, también se trató el agua agregando las dos soluciones juntas, probándose de esta manera el tiempo y la velocidad de agitación como en el caso anterior. Como se explicó en el capítulo anterior, en estos métodos es necesario agregar una pequeña cantidad de floculante, el floculante que se seleccionó fue el Alumbre, $Al_2(SO_4)_3$, debido a su economía y a que el agua, no contiene nada que pueda interferir en su efecto, ya que existen otros floculantes especiales para las características del agua.

El floculante fue usado después de haberse encontrado los valores del hidróxido de calcio y de carbonato de sodio

de la siguiente forma: debido a que las partículas en suspensión que quedan después del tratamiento, son muy pequeñas y poco pesadas, es necesario de hacer uso de un material que aumente el tamaño de las partículas haciéndolas más pesadas. El floculante es agregado en cantidades variables para cada muestra hasta encontrar que en el mínimo tiempo de agitación se forme el flóculo pesado deseado, con la menor cantidad de floculante posible. En estas pruebas, también se consideraron las variantes tiempo y velocidad de agitación, ya que determinan el tamaño del flóculo.

En la muestra del pozo denominado con el No. 4 de la S.R.H. no se le agregó coagulante, debido a que el contenido de sólidos totales es muy alto, conteniendo gran cantidad de ellos en suspensión y esto sirve para asentar más rápidamente los compuestos formados después del tratamiento.

Todo el trabajo anterior, fué necesario llevarlo a cabo y no agregar solamente una cantidad equivalente de las soluciones valoradas seleccionadas, como se describió en el capítulo anterior, debido a que influyen varios factores, además de la dureza misma, como son la temperatura del agua, pH y la alcalinidad, por lo que se llevaron a cabo las pruebas, a la temperatura del Laboratorio, procurando que fue-

ron hechas siempre a la misma, 21°C.

D.- RESULTADOS. En la tabla No. 2, se encuentran los valores obtenidos de los reactivos empleados para el tratamiento de las muestras de cada pozo. Además de las condiciones en que se emplearon.

En la tabla No. 3, se observan las características resultantes en cada una de las muestras después del tratamiento empleado. Y en la tabla No. 4, la variación que hubo entre el agua cruda y el agua tratada.

La documentación para el desarrollo de este capítulo, se encuentra localizada en las referencias (1), (2), (5) y (6).

TABLA No. 2

CANTIDAD DE REACTIVOS USADOS PARA EL TRATAMIENTO

No. del Pozo	2 La Misión	4 La Misión	5 La Misión	7 La Misión
Ca(OH) ₂ (ppm)	300	50	100	175
Velocidad (R.P.M.)	70	70	70	70
Flóculo	-	-	-	-
Tiempo de a- gitación min.	10	10	10	10
Tiempo de se- dimentación	-	-	-	-
Na ₂ CO ₃ (ppm)	75	125	-	-
Velocidad (R.P.M.)	70	70	-	-
Flóculo	-	-	-	-
Tiempo de a- gitación min.	10	20	-	-
Tiempo de se- dimentación.	-	-	-	-
Al ₂ (SO ₄) ₃ (ppm)	30	30	4	20
Velocidad (R.P.M.)	50	50	50	50
Flóculo	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Tiempo de a- gitación min.	5	10	10	5
Tiempo de se- dimentación min.	2	3	3	3

TABLA No. 2
(continuación)

CANTIDAD DE REACTIVOS USADOS PARA EL TRATAMIENTO

No. del Pozo	1 S.R.H.	4 S.R.H.	29	30
Ca(OH) ₂ (ppm)	350	400	400	350
Velocidad (R.P.M.)	70	70	70	70
Flóculo	-	Bueno	-	-
Tiempo de a- gitación min.	10	18	10	10
Tiempo de se- dimentación min.	-	3	-	-
Na ₂ CO ₃ (ppm)	-	-	500	300
Velocidad (R.P.M.)	-	-	70	70
Flóculo	-	-	-	-
Tiempo de a- gitación min.	-	-	10	15
Tiempo de se- dimentación min.	-	-	-	-
Al ₂ (SO ₄) ₃ (ppm)	10	-	20	30
Velocidad (R.P.M.)	50	-	50	50
Flóculo	Bueno	-	Bueno	Bueno
Tiempo de a- gitación min.	5	-	5	10
Tiempo de se- dimentación min.	3	-	2	3

TABLA No. 2
(continuación)

CANTIDAD DE REACTIVOS USADOS PARA EL TRATAMIENTO

No. del Pozo	31	32	Mezcla de los pozos de la Misión
Ca(OH) ₂ (ppm)	450	450	125
Velocidad (R.P.M.)	70	70	70
Flóculo	-	-	-
Tiempo de agitación min.	10	10	10
Tiempo de sedimentación min.	-	-	-
Na ₂ CO ₃ (ppm)	300	-	-
Velocidad (R.P.M.)	70	-	-
Flóculo	-	-	-
Tiempo de agitación min.	10	-	-
Tiempo de sedimentación min.	-	-	-
Al ₂ (SO ₄) ₃ (ppm)	30	20	20
Velocidad (R.P.M.)	50	50	50
Flóculo	Bueno	Bueno	Bueno
Tiempo de agitación min.	5	5	10
Tiempo de sedimentación min.	2	3	3

CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS DESPUES DEL TRATAMIENTO

No. del pezo	2 La Misión	4 La Misión	5 La Misión	7 La Misión
Dureza to- tal (ppm)	350	100	260	190
Dureza de Ca (ppm)	150	25	80	50
Dureza de Mg (ppm)	200	75	180	140
Alcalinidad total (ppm)	300	128	210	300
Sólidos to- tales (ppm)	1,200	728	983	600
Turbidez (ppm)	0	0	0	0
Color (unidades)	0	0	0	0
Acidez (ppm)	10	8	5	50
pH	8.0	8.0	7.5	8.5

TABLA No. 3

CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS DESPUES DEL TRATAMIENTO

No. del pozo	1 S.R.H.	4 S.R.H.	29	30
Dureza total (ppm)	700	910	250	370
Dureza de Ca (ppm)	400	820	152	215
Dureza de Mg (ppm)	300	90	98	155
Alcalinidad total (ppm)	290	400	350	450
Sólidos totales (ppm)	1,500	2,100	2,210	1,500
Turbidez (ppm)	0	0	0	0
Color (unidades)	0	0	0	0
Acidez (ppm.)	10	14	6	10
pH	7.9	8.2	8.0	8.2

TABLA No. 3
(continuación).

CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS DESPUES DEL TRATAMIENTO

No. del pozo	31	32	Mezcla de los pozos de La Misión
Dureza total (ppm)	450	420	200
Dureza de Ca (ppm)	241	400	115
Dureza de Mg (ppm)	209	20	85
Alcalinidad total (ppm)	415	350	200
Sólidos totales (ppm)	1,800	2,300	728
Turbidez (ppm)	0	0	0
Color (unidades)	0	0	0
Acidez (ppm)	-	-	10
pH	8.0	8.2	7.8

TABLA No. 3
(continuación).

SKY ~~DOMO~~

DIFERENCIA OBTENIDA DE LAS TABLAS 1 Y 3.

(ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO)

No. del pozo	2 La Misión	4 La Misión	5 La Misión	7 La Misión
Duerza total (ppm)	310	104	124	138
Dureza de Ca (ppm)	258	104	120	134
Dureza de Mg (ppm)	52	0	4	4
Alcalinidad total (ppm)	108	44	102	56
Sólidos totales (ppm)	568	154	134	172
Turbidez (ppm)	5	5	5	5
Color (unidades)	5	5	5	10
Acidez (ppm.)	10	0	3	22
pH	0.3	0.8	0.5	0.9

TABLA No. 4

-37-

DIFERENCIA OBTENIDA DE LAS TABLAS 1 Y 3.

(ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO).

No. del pozo	1 S.R.H.	4 S.R.H.	29	30
Dureza total (ppm)	252	362	778	598
Dureza de Ca (ppm)	225	340	468	325
Dureza de Mg (ppm)	37	22	310	273
Alcalinidad total (ppm)	34	44	2	142
Sólidos totales (ppm)	479	596	889	542
Turbidez (ppm.)	20	15	15	5
Color (unidades)	10	5	5	5
Acidez (ppm.)	14	94	4	10
pH	0.8	1.4	0	0.2

TABLA No.4
(continuación)

DIFERENCIA OBTENIDA DE LAS TABLAS 1 Y 2.

(ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO).

No. del pozo	31	32	Mezcla de los pozos de La Misión.
Duerza total (ppm.)	718	420	80
Dureza de Ca (ppm.)	443	364	55
Dureza de Mg (ppm.)	255	56	25
Alcalinidad total (ppm)	65	260	40
Sólidos totales (ppm)	705	684	172
Turbidez (ppm)	5	5	5
Color (unidades)	5	5	5
Acidez (ppm.)	16	16	20
pH	0.1	0.1	0.5

TABLA No. 4

(continuación).

IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- 1.- Lo principal de este trabajo, es dejar un antecedente para pruebas similares posteriores, ya que es la primera vez que se hace este tipo de trabajo en el Laboratorio de la mencionada Comisión.
- 2.- Los métodos empleados para el tratamiento, son los más económicos para las condiciones obtenidas.
- 3.- Las cantidades de reactivos usadas para el tratamiento, no producen un resultado ideal para el agua, pero en la actualidad no se podría usar más reactivo ya que resultaría incosteable, por la capacidad de los pozos y el alto contenido de dureza.
- 4.- Las velocidades y tiempos de agitación, empleadas en la mayoría de las muestras, resultaron iguales.
- 5.- En la práctica se ha observado que los resultados obtenidos en el Laboratorio resultan un poco más alto -

que los reales, ya que para tratamientos de agua municipales, se emplean volúmenes muy grandes. De aquí -- que existe un ligero ahorro en el suministro de reactivos, ó bien, resultarían las variaciones de la tabla IV más altas.

6.- Debido a los cambios de volúmenes que sufren las fuentes de suministro de agua, (que en este caso son pozos) en las diferentes temporadas del año, se ha observado que sus características cambian cuando menos dos veces al año, por lo que es necesario hacer pruebas para corregir la dosificación de los reactivos.

7.- En vista de que la dureza del agua es muy alta, para obtener un agua de 85 ppm., que sería lo ideal, tendría un costo elevado y además por los sedimentos formados, se tendría más problema, ante esta situación -- y viendo que el mar está a poca distancia, podría pensarse en la posibilidad de usar el método catiónico -- con Zeolita Sódica, regenerándose la Zeolita con el agua de mar, en lugar de los empleados en esta trabajo.

IV BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Amer Public Health Assoc., Amer Water Works Assoc. and Federation of Sewage and Ind. Wastes Assoc. "Standard - Methods for the Examination of Water and Wastewater". 11th Edition Publication Office, Amer Public Health -- Assoc.. New York. 1960.
- 2.- Eskel Nordell "Modern Municipal Water Softening Practices". Public Works. (marzo, 1958).
- 3.- Eskel Nordell. "Tratamiento de Agua para la Industria - y otros Usos". Segunda Edición. Compañía Editorial Continental S. A. 1963.
- 4.- Eskel Nordell. "Water-Whath is Contains" and "Water-How it is Treated", Chem. Eng. (Septiembre, Octubre, 1955).
- 5.- "Manual de Tratamiento de Agua" Departamento de Sanidad de Nueva York. 1970.
- 6.- Public Health Service Drinking Water Standards, 1946 -- Reprint No. 2697 (Reissued March, 1956), U. S. Govt. --

Printing Office, Washington, N.C.

7.-- Sheppard T. Powell. "Acondicionamiento de Aguas para la Industria", Primera Reimpresión. Editorial Limusa-Wiley S. A. 1970.

8.-- Wolman, Abel, "Characteristics and Problems of Industrial Water Supply", J. Am. Water Works Assoc., 1951.