d) Se obtiene un agua de calidad muy uniforme.

e) Etc., etc.

I-2 Fierro y Manganeso.

Otros componentess del agua que pueden causar obstrucciones en las tuberías son el fierro y el manganeso, los cuales fomentan el desarrollo de ciertos microorganismos como las bacterias incluídas en los nombres genéricos "Crenothrix" y Gallionella", que usan para su propio metabolismo la energía liberada en el proceso de oxidación del ion ferroso a la forma férrica. Estas bacterias son esencialmente aerobias y pueden vivir en la luz o en ausencia de ellas. Se ha encontrado que estas bacterias precipitan un volumen de hidróxido férrico hasta 500 veces mayor que su propio volumen; de ahi que los depósitos de fierro en tuberías lleguen a ser tan abundantes y causen serias restricciones al flujo. Se han hecho observaciones similares en el caso del Manganeso.

REMOCION DE FIERRO Y MANGANESO: El fierro en el agua generalmente existe en una o varias de las seis

formas siguientes:

1) Bicarbonato Ferroso.
2) Hidróxido Ferroso.
3) Sulfato Ferroso.
4) Fierro Orgánico (Quelato)
5) Carbonato Ferroso.
6) Hidróxido Férrico.

El Bicarbonato Ferroso es la forma más común en que el Fierro se encuentra en las aguas crudas. Los procesos más típicos para la remoción del Bicarbonato Ferroso son:

(1) Aereación, Sedimentación y Filtración.
(2) Suavización por Intercambio Iónico con Resinas catiónicas en ciclo sódico.
(3) Descationización por columna catiónica en ciclo ácido.
(4) Suavización por proceso cal-soda y precipitación.
(5) Suavización de dos pasos: Cal en Caliente-intercambio catiónico ciclo sódico.
(6) Proceso Zeolita-Manganeso.

CAPILLA ALFONSINA
UANL

Como los procesos (2) al (5) fueron explicados en el tema IX, solamente describiré en forma breve los procesos (1) y (6).

(1) El proceso: Aereación-Sedimentación-Filtración, parte del hecho que las formas oxidadas del fierro son infinitamente menos solubles que las ferrosas a un mismo pH y que al poner el oxígeno del aire en contacto íntimo con el agua que contiene fierro soluble, éste último se oxida y al mismo tiempo se precipita ya que al aerear el agua bicarbonatada, se pierde gas carbónico, subiendo automáticamente el pH.

La reacción de oxidación se realiza a una velocidad que es función del pH, habiéndose encontrado que a un pH arriba de 7.5 en un tiempo de retención mínimo de 15 minutos, se logra una reducción total (hasta ± 0.1 ppm.) de fierro.

La reacción es como sigue:

$$2\ Fe(HCO_3)_2 + 1/2\ O_2 + H_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 4CO_2$$

$$110 + 16$$

De la Estequiometría de la reacción se observa que 1 ppm. de Oxígeno Disuelto elimina aproximadamente 7 ppm. de Fierro como Fe. Como el agua a 25°C tiene una solubilidad aproximada de 10 ppm., con tener un buen contacto aire-agua, un pH conveniente y el tiempo de retención necesario, no habrá problema en reducir el contenido de fierro a límites despreciables (0.1 ppm.).

Para lograr una aereación efectiva se usan charolas de coke circulares o rectangulares con tres o cuatro charolas sobrepuestas y se hace caer el agua por gravedad en cascada, poniéndose ésta en contacto con el aire.

Las charolas descargan el agua a una fosa o tanque donde se retiene el agua por un tiempo determinado hasta obtener la precipitación del hidróxido férrico. Si es necesaria la adición de un alcali al agua, se deposita en esta fosa.

Si la fosa actúa como sedimentador, será necesario instalar un sistema para la remoción periódica de lodos.

CAPILLA ALFONSINA
U.A.N.L.

Si se desea un efluente final libre de turbidez y color, es necesario filtrar el agua por filtros convencionales de arena gravitacionales ó de presión.

(6) Remoción de Fierro por el proceso de Zeolita de Manganeso. La Zeolita de Manganeso se prepara in-situ usando las zeolitas naturales tipo arena-verde, pasando por ellas en forma alternada una solución de sulfato de Manganeso y permanganato de Potasio. Como resultado se obtiene una zeolita de Manganeso que es un material granular con las siguientes características:

Color	- Negro
Tamaño	- 16 - 50 Mallas
Peso por Litro	- 1.56 kilos
Capacidad para Fe ó M	- 1.4 g/lt.
$KMnO_4$ por regeneración	- 3.0 g./lt.
Flujo máximo de operación	- 3 gpm./ft.^{2}
Flujo mínimo de retrolavado	- 8 gpm./ft.^{2}

Debido al alto costo de los regenerantes, especialmente el permanganato, el uso de este proceso sólo se limita a empresas pequeñas o instalaciones domésticas. En

este caso, no se obtiene una suavización del agua, sino que al pasar ésta por el lecho de zeolita, son oxidados el fierro y el manganeso precipitándose directamente sobre dicha zeolita y siendo retenidos por ella.

Los procesos de eliminación del bicarbonato de Manganeso son idénticos a los del Fierro con la excepción de que se requiere pH más elevado (superior a 10.3), para lograr la precipitación de los óxidos superiores del Manganeso. Esto puede modificarse manteniendo una concentración de óxidos precipitados en contacto con el agua nueva; se encontró que 1,000 ppm. de estos óxidos en contacto con agua de 10.0 ppm. de Manganeso redujeron el pH de precipitación a 8.5 con un tiempo de retención mínimo de 15 minutos.

I-3 Agentes Anti-Incrustantes.

Del campo de la físico-química han surgido una serie de substancias orgánicas e inorgánicas que tienen la propiedad de inhibir la formación de incrustaciones y lodos provenientes de la supersaturación del Carbonato de Calcio y de Oxidos de Fierro y Manganeso.

CAPILLA ALFONSINA
U.A.N.L.

El producto pionero en este campo fue un Metafosfato de Sodio molecularmente deshidratado (6 y 7) al que se le ha asignado el nombre convencional de "Hexametafosfato de Sodio", debido a que consiste de una serie de agregados moleculares representando por la fórmula empírica $(NaPO_3)_x$, donde "X" tiene un valor aproximado de 6.0.

Se ha encontrado que el hexametafosfato y otros polifosfatos de sodio evitan la depositación del Carbonato de Calcio y de los Oxidos de Fierro y Manganeso sobre las superficies de los tubos que hacen contacto con el agua. Lo sorprendente de ésto, es que las dosis de estos productos requeridas para lograr tal finalidad son muy pequeñas en comparación con las concentraciones de las substancias incrustantes ($Ca(HCO_3)_2$), por lo cual se llama a esto un "tratamiento marginal" ("Threshold Treatment").

La dosis aproximada de Hexametafosfato necesaria para inhibir la deposición del Carbonato de Calcio es de 2.0 ppm. como valor promedio (Gráfica No. 1). La dosis exacta dependerá de la mayor o menor tendencia incrustante del agua (pH y Temp), así como del tiempo de retención del

agua en el sistema. A valores altos de estas variables corresponden mayores dosis de Metafosfatos y viceversa.

Para estabilizar fierro y/o Manganeso en aguas Municipales, por un período de 24 horas y cuando el contenido total de ambos combinados no excede a 3.0 ppm., se requiere 3 ó 4 veces dicho valor en forma de Polifosfato. Esta dosis es adicional a la de estabilización de Carbonato de Calcio (8).

El mecanismo de inhibición se sugiere como la resultante de una estabilización de condiciones de sobresaturación con respecto al $CaCO_3$. El fosfato se adsorbe sobre los nucleos de cristalización ya presentes o recién formados distorsionándolos, con lo que pierden la propiedad de aceptar nuevas capas de Carbonato de Calcio (9).

La estabilidad de los polifosfatos disminuye a pH bajo y con altos contenidos de Calcio y altas temperaturas . En presencia de estas variables, los polifosfatos se hidratan absorbiendo algo de alcalinidad del agua, pasando a Ortofosfatos, los cuales carecen de las propiedades antes descritas.

CAPILLA ALFONSINA
U.A.N.L.

Por último, sólo hare mención de un grupo de productos orgánicos que también poseen propiedades de anti-nucleación (10):

1) Derivados de Lignosulfonatos.

2) Taninos Modificados.

3) Carboxi-Metil-Celuloca (C.M.C.)

4) Agentes Tenso-Activos y Humectantes.

5) Dextrinas y Almidones.

Estos productos por lo general se usan para complementar la acción de los polifosfatos, pero su uso está restringido a aguas de uso industrial por problemas de potabilidad y de costo.

CAPILLA ALFONSINA

T E M A X

B).- Remoción de la Incrustación Mediante Substancias Químicas.

El lavado químico ha evolucionado a través de los siglos desde las épocas primitivas en que se usaban las cenizas de la madera y los alcalis naturales para la -- limpieza personal y doméstica, hasta los modernos solvente que varían desde ácidos inorgánicos hasta complejos compuestos orgánicos.

Pasaron muchos siglos en la vida del hombre sobre la tierra hasta que éste tuvo que enfrentarse con los problemas del mantenimiento de plantas industriales. En la época actual la limpieza química está adquiriendo mayor importancia conforme aumenta la complejidad de los equipos de proceso. Los diseñadores no pueden ya sacrificar el aspecto práctico ni el económico en función de la simplicidad de -- forma requerida para la accesibilidad que es indispensable para la limpieza puramente mecánica.

Una de las industrias pioneras en la limpieza química fue la del Petróleo pues los depósitos en la fo

U.A.N.L.