

# Tecnología en Breve

PUBLISHED BY THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICES CENTER

## Retiro del Hierro y Manganeso

### Resumen

El hierro y el manganeso se presentan comúnmente en las fuentes de agua subterráneas usadas por varios sistemas pequeños de agua. El exceder los niveles máximos sugeridos de contaminación (NMC) resulta usualmente en agua descolorida, problemas con lavabos y en tuberías. Esto resulta en el reclamo de los consumidores e insatisfacción general en la utilización del agua.

Existen una serie de estándares secundarios para hierro y manganeso, pero estos no están relacionados con la salud y no son regulados. Los NMC secundarios (estéticos) para el hierro y el manganeso son 0.3 miligramos por litro (mg/l) y 0.05 mg/l, respectivamente.

Las plantas pequeñas de agua pueden elegir entre separar o retirar el hierro y el manganeso. La separación sólo trabaja con concentraciones mayores a 1.0 mg/l y sólo en los casos donde el tratamiento no es permanente. La separación usualmente es alcanzada a través del intercambio de iones u oxidación/filtración. Existen un gran número de oxidantes químicos y medios del filtro disponibles que pueden ser usados en varias combinaciones.

### ¿Qué Problemas son causados por el Hierro y el Manganeso?

Pequeñas cantidades de hierro, se encuentran a menudo en el agua debido a la gran cantidad de hierro presente en el suelo y a que el agua corrosiva puede recoger el hierro de las tuberías. La ropa lavada en agua que contiene excesivo hierro puede mancharse de un color parduzco. El sabor de las bebidas como té o café, pueden también ser afectadas por el hierro. El manganeso produce un color parduzco en la ropa lavada, deja partículas negras en las cañerías, y así como el hierro, afecta el sabor de las bebidas, incluyendo café y té.

El agua de buena calidad del grifo es usualmente clara e incolora. Sin embargo, cuando el agua es incolora, el hierro disuelto puede quedarse en utensilios para cocinar o estar en contacto con tinas de baño o lavaderos, el hierro se combina con el oxígeno del aire para formar partículas marrón-rojizas (comúnmente llamadas óxido). El manganeso forma partículas negroparduzcas. Estas impurezas pueden dar un sabor a metal al agua o a los alimentos.

El óxido o manchas en los accesorios de plomería, telas, vajilla y utensilios no pueden ser

retirados por jabones o detergentes. Los blanqueadores o productos alcalinos (a menudo fosfato de sodio), pueden hacer que las manchas se pongan peor. Con el tiempo, los depósitos de hierro pueden formarse en los tanques a presión, calentadores de agua y tuberías; y pueden reducir la cantidad y presión del agua abastecida.

El hierro y/o manganeso en el agua crean problemas comunes en muchos sistemas de abastecimiento de agua. Cuando ambos se encuentran presentes más allá de los niveles recomendados, se debe prestar especial atención al problema. La manera como el hierro y el manganeso son retirados, depende del tipo y concentración, lo cual ayuda a determinar el mejor procedimiento y (posible) equipo a usar.

### ¿Cuál es la química del hierro y del manganeso en sistemas de agua?

Hierro (Fe) y manganeso (Mn) pueden presentarse en el agua en una de las tres formas básicas:

1. Disuelto: ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ )
2. En partículas: estados férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y mangánico ( $\text{Mn}^{4+}$ )
3. Coloidal: partículas muy pequeñas (difíciles de asentar y filtrar)

El predominio de una forma sobre otra depende del pH, Eh (potencial redox), y la temperatura del agua. El conocimiento de las formas o estados del hierro y manganeso pueden afinar la práctica del tratamiento dado para estos metales.

### ¿Cuáles son los procesos de tratamiento más comunes?

La mayoría de los sistemas de tratamiento de hierro y manganeso emplean el proceso de oxidación/filtración. El oxidante químico oxida el hierro o manganeso (formando una partícula), y mata la bacteria del hierro y alguna otra bacteria causante de enfermedad que pueda estar presente. Luego el filtro retira las partículas de hierro o manganeso.

La oxidación seguida de la filtración es un proceso relativamente simple. La fuente de agua debe ser monitoreada para determinar la dosificación apropiada de oxidante; el agua tratada también debe ser monitoreada para determinar si el proceso de oxidación fue exitoso.

### Oxidación

Antes de que el hierro y el manganeso puedan ser filtrados, necesitan ser oxidados al estado en el cual puedan formar complejos insolubles. La oxidación comprende la transferencia de electrones del hierro, manganeso y otros químicos tratados por el agente oxidante. El hierro ferroso ( $Fe^{2+}$ ) es oxidado a óxido férrico ( $Fe^{3+}$ ), el cual forma fácilmente el complejo insoluble hidróxido de hierro  $Fe(OH)_3$ . El Manganeso reducido ( $Mn^{2+}$ ) es oxidado a ( $Mn^{4+}$ ), el cual forma ( $MnO_2$ ) insoluble.

Los químicos oxidantes más comunes en el tratamiento de agua son: cloro, dióxido de cloro, permanganato de potasio y ozono. La oxidación que usa cloro o permanganato de potasio es frecuentemente aplicada en pequeños sistemas de agua subterránea. La dosificación es relativamente fácil, requiere equipo simple y es de bajo costo.

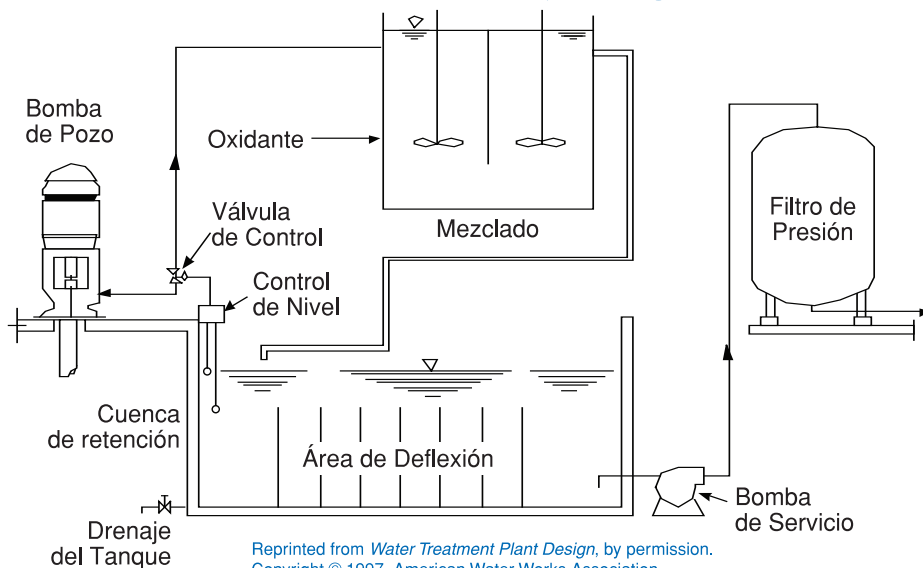
La cloración es extensamente usada para la oxidación bivalente del hierro y del manganeso. Sin embargo, la formación de trihalometanos (THMs) en aguas de elevado colorido puede ser un problema. La dosis de alimentación de cloro y los tiempos de contacto pueden ser determinados con una simple prueba de mezclado en un recipiente pequeño.

Como oxidante, el permanganato de potasio ( $KmnO_4$ ) es normalmente más costoso que el cloro y el ozono, pero para el retiro de hierro y manganeso, se ha encontrado que es eficiente y requiere de menos equipo e inversión de capital. La dosis de permanganato de potasio, sin embargo, debe ser controlada cuidadosamente. Muy poco permanganato no oxidaría todo el hierro y manganeso y demasiado puede permitir al permanganato entrar al sistema de distribución y causar un color rosado. El permanganato, incluso, puede formar precipitados que causan formaciones de partículas de lodo en los filtros. Estos son difíciles de retirar y comprometen el funcionamiento del filtro.

El ozono puede ser utilizado para la oxidación del hierro y el manganeso. El ozono puede ser no efectivo para la oxidación en presencia de materiales húmicos y fulvicos. Si no se dosifica cuidadosamente, el ozono puede oxidar el manganeso reducido a permanganato y resultar también en formación de agua rosada. Las partículas de dióxido de manganeso, formadas también por oxidación del manganeso reducido, deben ser coaguladas cuidadosamente para asegurar su retiro.

Un método de bajo costo que provee oxidación es el uso del oxígeno en el aire como el agente oxidante en el aerador de bandeja. El agua es simplemente llevada hacia una serie de bandejas porosas para proporcionar el contacto entre aire y agua. No se requiere una dosificación química, lo cual permite una operación no atendida. Este método no es efectivo para agua en la cual el hierro es complejo por materiales de humo u otras moléculas grandes

**Tabla 1: Cloración, Detención y Filtración (separación del hierro y manganeso)**



Reprinted from *Water Treatment Plant Design*, by permission. Copyright © 1997, American Water Works Association.

orgánicas. El oxígeno no es un agente oxidante lo suficientemente fuerte para romper los fuertes complejos formados entre el hierro y el manganeso y moléculas orgánicas grandes. Además, el nivel de reacción entre el oxígeno y el manganeso se encuentra por debajo de los valores de pH de 9.5.

La presencia de otras especies oxidables en agua obstaculiza la oxidación de los componentes reducidos deseados. Los químicos orgánicos volátiles, otros componentes orgánicos, o componentes causantes de olor y sabor, pueden resultar en una demanda oxidante. Esta demanda oxidante adicional debe ser contabilizada en el momento de la dosificación del oxidante. El consumo de la operación se deriva, en la mayoría de los casos, de la utilización del químico y por consiguiente, se relaciona directamente con la calidad de la fuente de agua.

### **Filtración**

En general, la oxidación del manganeso presenta mayor dificultad que la oxidación del hierro, debido a que el nivel de reacción es más lento. Un tiempo de detención más largo (10 a 30 minutos) luego de la adición química es necesaria previa a la filtración para permitir que se dé lugar a la reacción.

Existen diferentes medios del filtro para el retiro del hierro y manganeso, incluyendo arena de manganeso verde (greensand), arena anthra o tierra de hierro (ironman sand), medio eléctrico y cerámica.

La arena verde de manganeso es en gran medida, el medio de uso más común para el retiro del hierro y manganeso a través de la filtración a presión. La arena verde es un material procesado, consistente en granos nodulares del mineral zeolita – glauconita. El material es revestido con óxido de manganeso. Las propiedades del intercambio de iones de la glauconita, facilita la unión con el revestimiento. Este tratamiento proporciona al medio un efecto catalítico en la reacción de oxidación/reducción necesaria para el retiro del hierro y el manganeso. Esta capa se mantiene, a través de una alimentación constante o intermitente de permanganato de potasio.

Anthra / arena (también llamada tierra de hierro), son otros tipos de medios disponibles para el retiro del hierro y manganeso. Estos medios consisten en seleccionar antracita y arena con manganeso químicamente consolidado con una capa de óxido. Distinto a la arena verde de manganeso, este medio se condiciona en el filtro luego de su instalación.

El medio eléctrico proporciona una opción ligeramente distinta del medio de óxido de manganeso cubierto. Esta es una formulación multimedia que utiliza zeolita que se encuentra naturalmente y no requiere de la regeneración del permanganato de potasio.

Finalmente, la macrolita a diferencia de otros medios discutidos anteriormente, no es un material que se encuentra en forma natural y que después pasa por un proceso para propósitos de retirar el hierro y el manganeso. Es un material manufacturado de cerámica de forma esférica y con una superficie texturada y áspera. El principal mecanismo de retiro es filtrando físicamente más que por oxidación por contacto o adsorción.

Cada medio tiene sus ventajas y desventajas. La selección del medio y el oxidante, debe ser basada en una prueba piloto, en la cual todos los criterios necesarios de diseño puedan ser determinados. Los fabricantes de sistemas de filtración a presión que ofrecen el medio indicado, ofrecen incluso, sistemas totalmente automatizados.

### **¿Existen tratamientos alternativos?**

#### **Secuestración**

Secuestración, es la adición de químicos a las aguas subterráneas dirigidos a controlar los problemas causados por el hierro y manganeso sin retirarlos. Estos químicos son adicionados al agua del subsuelo en la entrada del pozo o en la entrada de la bomba antes que el agua tenga oportunidad de entrar en contacto con el aire o el cloro. Esto asegura que el hierro y manganeso permanezcan en forma soluble.

Si el agua contiene menos de 1.0 mg/L de hierro y menos de 0.3 mg/L de manganeso, usar polifosfatos seguidos de una clorinación puede ser un método efectivo y barato para mitigar los problemas de hierro y manganeso. En este método no se genera lodo. Por debajo de estas concentraciones, los polifosfatos se combinan con el hierro y el manganeso, previniéndolos de ser oxidados. Cualquiera de los tres polifosfatos, (pirofosfato, tripolifosfato o matafosfato) pueden ser utilizados.

Para determinar el mejor polifosfato a usar y la dosificación correcta se deben preparar una serie de muestras a diferentes concentraciones. El cloro es adicionado y las muestras son observadas diariamente contra un fondo de color blanco. La dosis correcta de polifosfato es la dosis más baja que no decolora perceptiblemente las muestras de agua por cuatro días.

La aplicación de silicato de sodio y cloro simultáneamente ha sido usada para secuestrar el hierro y manganeso. Sin embargo, mientras esta técnica es confiable en el caso del tratamiento del hierro, no ha sido encontrada efectiva en el control de manganeso.

### Intercambio de Iones

El intercambio de iones puede ser considerado solo para el retiro de pequeñas cantidades de hierro y manganeso debido a que existe un riesgo de taponamiento. El intercambio de iones implica el uso de resinas sintéticas, donde un ion pre saturado en fase sólida (el adsorbente, usualmente es sodio), es intercambiado por los iones no deseados en el agua (ver Intercambio de Iones y desmineralización, revisión técnica #DWBLPE56). Una de las mayores dificultades en usar este método para controlar el hierro y manganeso es si ocurre alguna oxidación durante el proceso, el precipitado resultante puede recubrir y ensuciar el medio. Podría entonces requerirse una limpieza usando ácido o bisulfato de sodio.

### Otros

Los sistemas que tienen planta suavizadora de ceniza de cal de soda, no necesitan una planta de separación de hierro y manganeso. El elevado pH durante el ablandamiento permite una rápida oxidación y precipitación del hierro y manganeso, así como una incorporación de los precipitados de calcio y magnesio.

En forma similar, las plantas de tratamiento de agua superficial que utilizan coagulación, floculación, sedimentación y filtración, retirarán, incluso el hierro y el manganeso mientras se aseguren de que el hierro y el manganeso sean oxidados. La oxidación a veces es un problema debido a la presencia de materia orgánica.

Finalmente, los métodos de tratamiento biológicos están siendo probados con pruebas piloto en diferentes lugares. Los métodos de tratamiento biológico son usados extensamente en los países europeos como los Países Bajos, Francia y Alemania; y son primordialmente ventajosos cuando el agua contiene simultáneamente hierro, manganeso y amoníaco.

### ¿Cómo pueden ser minimizados los problemas de hierro y manganeso en las redes de distribución?

Los problemas relacionados al hierro y manganeso en las redes principales de distribución, pueden ser minimizados por:

- Una separación previa por un tratamiento adecuado,
- Protegiendo las redes principales de hierro o acero con un revestimiento bituminoso o usando materiales no corrosivos,
- Evitando tuberías con punto muerto,
- Evitando disturbios en el fluido del agua, y
- Drenándolas periódicamente.

### ¿Dónde puedo encontrar mayor información?

La información comprendida en el presente boletín fue obtenida principalmente de las siguientes fuentes:

1. American Water Works Association. 1998. *Water Treatment Plant Design*. Third Edition.
2. American Water Works Association. 1990. *Water Quality 2nd Treatment*. Fourth Edition.
3. Metcalf, B. M. 1998. "Pressure Filtration for Iron & Manganese Removal," Proceedings of the New England Water Works Association Conference and Exhibition. Marlborough, MA.
4. National Research Council. 1997. *Safe Water From Every Tap: Improving Water Service to Small Communities*. National Academy Press. Washington DC.
5. Robinson, R. B. 1998. "State-of-the-Art: Iron and Manganese Control," Proceedings of the New England Water Works Association Conference and Exhibition. Marlborough, MA.
6. U.S. Environmental Protection Agency. 1991. *Manual of Small Public Water Supply Systems*. EPA 570/9-91-003. Office of Water, Washington, DC.
7. Vigneswaran, S., Visvanathan, C. 1995. *Water Treatment Processes: Simple Options*. CRC Press. New York, NY.

