

Resumen

La presencia de hierro y manganeso en las aguas subterráneas por lixiviación de las rocas puede dar problemas en el agua de distribución. La oxidación de estos metales da lugar a precipitados modifican la calidad del agua (turbiedad y mal sabor) y que pueden llegar a atascar las tuberías de abastecimiento.

El siguiente trabajo presenta una solución para la eliminación de este problema de las conducciones del municipio sevillano de Cantillana. La limpieza de las tuberías con una mezcla H_2O_2 +Agua permite transformar las características de las deposiciones, floculantes y adsorbentes, en arenosas, siendo arrastradas por la presión hidráulica. Una vez realizada la limpieza, un mínimo mantenimiento permitirá evitar la formación de nuevas deposiciones.

Así, este trabajo presenta una solución relativamente sencilla y económica para la recuperación de la calidad del agua, además de una alternativa a la complicada sustitución de toda la red.

Abstract

Eliminating incrustated solids in drinking water conduits in Cantillana, Seville, Spain.

The presence of iron and manganese in underground water due to rock leaching may cause problems in drinking water. The oxidation of these metals produces precipitates which alter water quality (by making it cloudy and bad tasting) and may even block supply pipes.

This article presents a way eliminating this problem which was tried out in the conduits of Cantillana, a municipality in the province of Seville, Spain. Cleaning the pipes with a mixture of H_2O_2 + water changes the characteristics of the deposits from flocculant and absorbent to sandy following which they are washed away by the pressure of the water. Once the pipes have been cleaned, a minimal amount of maintenance will prevent the formation of new deposits.

This article thus a relatively simple and economical solution for recovering water quality as an alternative to the complicated replacement of the whole network.

Eliminación de los sólidos incrustados en las conducciones de agua potable de Cantillana (Sevilla)

Por: **Isabel García Martínez de Simón.** Ingeniero en Ciencias y Tecnologías del Agua.

Francisco García García. Ingeniero Técnico Electrónico*.

Encarnación Escot Toledo. Ingeniero Técnico Químico.

Julián Lebrato Martínez. Doctor en Ciencias Químicas.

Grupo de Tratamiento de Aguas Residuales. Dpto. Ing. Química y Ambiental. Escuela Universitaria Politécnica. Universidad de Sevilla.

C/ Virgen de África, 7 - 41011 Sevilla. Tel. 95-4552848. Fax: 95-4282777

Email:lebrato@cica.es

* Aguas y Servicios del Huesna A.I.E.

Av. de la Innovación s/n. Ed. Renta Sevilla - 41020 Sevilla.

Tel. 95-4998900. Fax: 95-4998921

1. Introducción

La presencia de hierro y manganeso en el agua es indeseable, debido fundamentalmente a que la precipitación de estos metales modifica el aspecto del agua, a la que comunica un color turbio y un sabor metálico. La deposición de estos precipitados provoca la formación de manchas en las instalaciones de fontanería y en la ropa lavada, con el consiguiente rechazo de los consumidores.

La existencia de hierro y manganeso puede dar lugar también a problemas en el sistema de distribución de agua, debido al desarrollo de microorganismos como *Clonothrix* y *Crenothrix*. La acumulación de éstos puede provocar atascamientos en las tuberías de distribución, además de mal olor y sabor (1). Frecuentemente, las deposiciones de los precipitados de hierro y manganeso pasan de nuevo al estado de suspensión al aumentar los caudales, con la consiguiente formación de turbiedades muy acusadas (2).

2. El hierro y el manganeso en las aguas naturales

La presencia del hierro y manganeso en las aguas subterráneas suele atribuirse a la disolución de rocas y minerales, principalmente a los óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos que contienen estos metales. El hierro se encuentra principalmente en los minerales de silicato de las rocas ígneas y en forma de diversos óxidos, tales como la magnetita (Fe_3O_4), hematita (Fe_2O_3) y limonita ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$). Los minerales sulfurados y carbonatados, como la piritita (FeS_2) y la siderita ($FeCO_3$), también son fuentes importantes de hierro.

El manganeso se encuentra en mayores proporciones en las rocas metamórficas y sedimentarias. Los óxidos de manganeso, tales como la manganita ($MnOOH$), pirolusita (MnO_2) y hausmanita (Mn_3O_4), se acumulan en los suelos a medida que los constituyentes más solubles se separan por lixiviación de las rocas expuestas a la intemperie (2).

Tabla 1

Modelo de condiciones para la disolución de minerales de Fe y Mn (2).	
ATMÓSFERA:	
78% N ₂	
21% O ₂	
0,03% CO ₂	
SUPERFICIE DEL SUELO:	
Cubierta por depósitos de materia orgánica, hierba, hojas, lignina	
SUELO POROSO:	
Lixiviación del material orgánico de la capa superior del suelo	
Oxidación bacteriana de dicho material	
Materia orgánica (CH ₂ O) + O ₂ → CO ₂ + H ₂ O	
AGUA DEL SUBSUELO:	
Agotamiento total del O ₂ disuelto por respiración bacteriana	
Disolución de los minerales carbonatados	
FeCO _{3(s)} + CO ₂ + H ₂ O → Fe ⁺⁺ + 2HCO ₃ ⁻	
MnCO _{2(s)} + CO ₂ + H ₂ O → Mn ⁺⁺ + 2HCO ₃ ⁻	

3. Disolución del hierro y manganeso

Cuando en los suelos se establecen condiciones reductoras, el hierro y el manganeso pasan del estado insoluble de valencia más alta, al estado soluble divalente. Esto tiene lugar en la naturaleza por descomposición bacteriana de la materia orgánica extraída del suelo por lixiviación. El consumo de oxígeno por

estas bacterias da lugar a condiciones reductoras, liberándose dióxido de carbono que se disuelve formando ácido carbónico. Se obtiene así una disminución del pH y la disolución de los minerales presentes en el suelo (3).

La **Tabla 1** es un ejemplo que pone de manifiesto las condiciones que pueden desembocar en la disolución del hierro y del manganeso

Tabla 2

Composición fundamental de los residuos analizados.	
PARÁMETRO	RESULTADO
Color	Negruczo
Turbidez	Apreciable
Olor	Apreciable
pH	7,1
MnO ₂ (% materia seca)	80
Fe ₂ O ₃ (% materia seca)	15
Cloruros (mg/l)	Trazas
Sulfuros (mg/l)	Trazas
Sulfatos (mg/l)	Trazas

*En época estival
eran numerosas
las quejas de los
consumidores*

en las aguas subterráneas. Este esquema es una simplificación excesiva, ya que prescinde del hecho de que Fe y Mn no suelen encontrarse en los estados de oxidación +II sino, más bien, en forma de sus óxidos superiores.

La disminución a niveles admisibles del Fe y del Mn es esencial para un correcto tratamiento del agua. La legislación española vigente limita las concentraciones máximas en aguas de consumo a 0,20 mg/l para Fe y 0,05 mg/l para Mn (4).

4. El municipio de Cantillana: problemática

Tradicionalmente el abastecimiento de aguas en el municipio sevillano de Cantillana se ha venido realizando a partir de los tres pozos de El Viar, a las afueras de dicho municipio. En el año 1994, la empresa Aguas y Servicios del Huesna A.I.E. al hacerse cargo de la gestión del agua, se encontró con un problema en el sistema de abastecimiento. En época estival eran numerosas las quejas de los consumidores debido a la mala calidad del agua, turbia y con sabor metálico, y a la formación de manchas en la ropa lavada.

Ante este problema, la empresa inició los estudios correspondientes con el fin de encontrar una solución. Para ello, se procedió a la realización de diversas catas en la red, encontrándose con la existencia de una capa de depósitos de varios mi-

límetros de espesor en las paredes internas de las tuberías. Tras la realización de los análisis necesarios para la caracterización de estas deposiciones, se llegó a la conclusión de que la composición fundamental de estos residuos estaba formada por óxidos de hierro (Fe_2O_3 15%) y de manganeso (MnO_2 80%). (Tabla 2).

Se plantearon entonces dos cuestiones:

1. El carácter temporal del problema.
2. El restablecimiento de la calidad del agua de distribución.

4.1. Carácter temporal del problema

El empeoramiento de la calidad del agua de distribución en época estival, teniendo en cuenta la composición de la muestra aportada por Aguas y Servicios del Huesna A.I.E., hizo pensar en una relación entre el nivel del agua en los pozos y el potencial de oxidación-reducción del Fe y Mn.

En la Figura 1 se representa esquemáticamente la situación de estos pozos en época húmeda y en época seca.

Durante la época húmeda el nivel del agua en los pozos es considerablemente más alto, por lo que el potencial en la mayor parte del medio se caracteriza por sus condiciones reductoras. Los iones de hierro y manganeso que puedan oxidarse en forma de MnO_2 y Fe_2O_3 en la zona más alta del pozo, precipitan y entran en la zona reductora donde tiene lugar su redisolución. Así, la columna de agua se caracteriza por una zona alta en la cual hay ausencia de Mn^{2+} y de Fe^{2+} (oxidados y precipitados), y una zona media-baja con una concentración importante de estos iones.

Si la toma se realiza en la parte inferior del pozo, el agua a distribuir contiene Mn^{2+} y Fe^{2+} . Al bombear y clorar el agua para suministro, se produce la oxidación de estos iones que, debido al carácter floculante y adsorbente del MnO_2 , quedan adheridos a las paredes de las tuberías de abastecimiento, formando una capa

de limo que puede alcanzar varios milímetros de espesor.

Por el contrario, si este bombeo se realiza en la parte superior del pozo, la ausencia de iones Mn^{2+} y Fe^{2+} hace que no haya posibilidad alguna de precipitación en forma de óxidos.

Durante la época seca el nivel del agua en los pozos es mucho más bajo, siendo necesario realizar el bombeo de agua en la zona inferior. La profundidad da lugar a un potencial reductor en el medio, por lo que el agua a distribuir presenta concentraciones considerables de iones de Mn^{2+} y Fe^{2+} . El bombeo y la cloración para el abastecimiento provocan la precipitación de estos iones, dando lugar a problemas de turbidez y malos sabores en el agua suministrada a la población, con las correspondientes quejas de los consumidores.

4.2. Restablecimiento de la calidad del agua de distribución

4.2.1. Ensayos de laboratorio

Con el fin de restablecer la calidad del agua de distribución en el municipio de Cantillana, se realizaron dos tipos de ensayos en laboratorio:

- Tratamiento químico del agua para la eliminación de los iones Fe^{2+} y Mn^{2+}
- Desincrustación y arrastre de las deposiciones en la tubería

El tratamiento químico consistió en una serie de ensayos en "Jar-Test" con tres tipos de oxidantes, de forma individual y combinados entre ellos, obteniendo los resultados que se detallan en la Tabla 3.

La mezcla $\text{MnO}_4\text{K} + \text{H}_2\text{O}_2$ fue utilizada posteriormente para el ensayo de eliminación de las deposiciones. Para ello, se realizó un montaje con un tubo de vidrio untado con fango problema y conectado a la red de suministro. Se observó que al hacer circular el agua, ésta tomaba una cierta

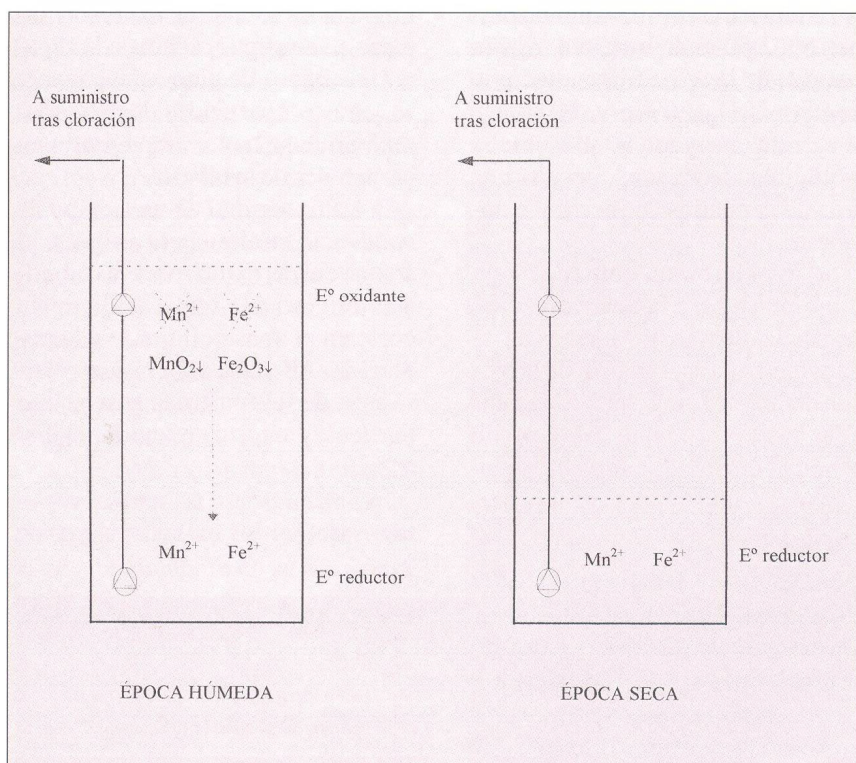


Figura 1. Representación de los pozos en época húmeda y época seca.

Tabla 3

Resultados de los ensayos en "Jar-Test".	
REACTIVOS	RESULTADO
Permanganato	Agua ligeramente coloreada
Peróxido de Hidrógeno	Agua ligeramente turbia
Hipoclorito	Agua ligeramente turbia
Permanganato + Peróxido	Agua clara
Permanganato + Hipoclorito	Agua coloreada
Hipoclorito + Peróxido	Agua ligeramente turbia

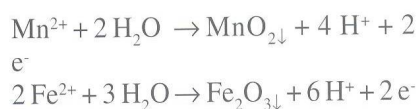
turbidez, mientras que parte del fango permanecía pegado a las paredes.

Tras la adición de los oxidantes, el efecto de la reacción dio lugar a un gran aumento de presión por lo que para evitar este problema, además de las posibles consecuencias del MnO₂ remanente del permanganato, se realizaron de nuevo los ensayos utilizando H₂O₂.

La reacción producida por el peróxido dio lugar a la oxidación de los depósitos de Mn y Fe que, al pasar de unas características floculantes a unas arenosas, pudo ser arrastrado con la presión hidráulica del agua en la conducción.

4.a. Conclusiones

● La composición fundamental de los residuos depositados en las conducciones consiste en óxidos de hierro y manganeso, producidos a partir de condiciones oxidantes en el medio (5).



● La limpieza ha de realizarse con H₂O₂. La adición de MnO₄K en

muy pequeñas dosis mejora el ataque, pero no se justifica debido a los problemas de aumento de presión y de necesidad de suministrarlos separadamente.

● Una vez abierto el paso de agua, éste deberá hacerse de una forma rápida y vaciando los depósitos para asegurar la presión hidráulica suficiente que permita el arrastre de los sólidos inertes.

4.2.2. Ensayos de campo

Una vez realizados los ensayos de laboratorio, se procedió a la realización de un segundo ensayo con un trozo de tubería de 100 mm de diámetro y 2,60 m de longitud, recién extraída de la red, utilizando como reactivo H₂O₂ (30% p/v, 110 vol.). El carrete ensayado no presentaba problemas de atascos, pero sí una capa de depósitos de hierro y manganeso.

Se instalaron un contador y un cronómetro para la determinación del caudal de trabajo, además de un manómetro para el control de la presión dentro de la tubería. Se hizo circular agua procedente del depósito principal de distribución, recogién-dola a la salida en una arqueta preparada para tal efecto.

El carrete ensayado

no presentaba

problemas

de atascos

Las pruebas realizadas mostraron la necesidad de un cierto tiempo de retención para permitir la acción del oxidante dentro de la tubería. En la **Tabla 4** se muestran los valores límites obtenidos.

Durante los ensayos, no se observó en el manómetro ningún aumento considerable de presión. La limpieza fue realmente efectiva, obteniendo un agua de salida con gran cantidad de sólidos en suspensión.

4.b. Conclusiones

● Se observa que la turbidez del agua desaparece tras el proceso de limpieza de la tubería. Con esta limpieza se consigue, además de separar los óxidos de hierro y manganeso, arrastrar partículas de mayor tamaño que se hayan depositado en las paredes de la tubería.

● La necesidad de un tiempo de residencia mínimo para asegurar el ataque del peróxido sobre las tuberías, obligará a la realización de un corte en el abastecimiento a la población. Además, deberá controlarse a pie de suministro la ausencia de partículas antes de reanudar la distribución.

● Se demuestra así que los resultados obtenidos en los ensayos de

Tabla 4

Valores límites del ensayo de campo		
CAUDAL DE AGUA	DOSIS DE H ₂ O ₂	TIEMPO DE RETENCIÓN
0,06 l/s	1:25.000	22,2 min

Tabla 5

Resultados de la limpieza de la tubería c/ Picasso

V H ₂ O ₂ (m ³)	ST (kg)	ST (kg/m)
1,2	100	0,12

V H₂O₂ (m³): Volumen total de peróxido empleado en la limpieza de la tubería.
 ST (kg): masa de Sólidos Totales obtenidos a raíz de la limpieza.
 ST (kg/m): masa de Sólidos Totales obtenidos por metro lineal de tubería limpiada.

Tabla 6

Resultados de la limpieza de la tubería La Soledad

V H ₂ O ₂ (m ³)	ST (kg)	ST (kg/m)
1,8	150	0,12

V H₂O₂ (m³): Volumen total de peróxido empleado en la limpieza de la tubería.
 ST (kg): masa de Sólidos Totales obtenidos a raíz de la limpieza.
 ST (kg/m): masa de Sólidos Totales obtenidos por metro lineal de tubería limpiada.

laboratorio son extrapolables a la realidad.

4.2.3. Limpieza de la red de distribución

Una vez demostrada la aplicabilidad en la red, se realizó la limpieza de los dos tramos de tuberías que conectan los pozos de agua de El Viar con los dos depósitos de abastecimiento de c/ Picasso y La Soledad. El agua se conduce desde estos pozos hasta los depósitos generales a través de dos tuberías de fibrocemento de 150 mm y 175 mm de diámetro respectivamente, y longitudes de 850 m y 1.250 m.

Para poder realizar este trabajo, fue necesario:

- cortar el suministro de agua a la población durante la jornada de realización de la limpieza,
- disponer de un depósito de 32 m³ para la mezcla 1:50(v) de H₂O₂ (30% p/v y 110 vol.) y agua, provisto de una aireación en su base para facilitar la homogeneización.

a. Tubería c/ Picasso

Se realizaron cuatro limpiezas llenando la tubería con la dilución 1:50 de H₂O₂+agua. El tiempo de re-

tención fue disminuyendo de 90 minutos en la primera limpieza hasta 15 minutos en la última.

Como consecuencia de la aplicación del agua oxigenada, los dos primeros vaciados dieron un agua negra, con un alto contenido de sólidos en suspensión. La turbidez se redujo ligeramente en el tercer vaciado y considerablemente en el cuarto. Finalmente se realizó una limpieza con agua potable, observando en corto espacio de tiempo

la desaparición de la turbidez a la salida. Los resultados se muestran en la **Tabla 5**.

b. Tubería La Soledad

En esta ocasión se realizaron tres limpiezas en las mismas condiciones que para el caso anterior. El tiempo de retención fue disminuyendo de 60 minutos en la primera limpieza hasta 30 minutos en la última. Los resultados se muestran en la **Tabla 6**.

4.c. Conclusiones

- El agua de salida de las limpiezas presenta un alto contenido de sólidos en suspensión. En ambos casos se ha obtenido una cantidad aproximada de 0,12 kg de sólidos secos por metro lineal de tubería.

- La cantidad de peróxido de hidrógeno que se precisa es aproximadamente de 1,4 l H₂O₂/m de tubería. Tras la realización de la limpieza, desaparece por completo la turbidez del agua.

- La duración del tratamiento es de aproximadamente 4 horas, por lo que el suministro a la población puede reanudarse en la misma jornada.



Foto 1. Agua de salida durante la limpieza de la tubería c/ Picasso.

5. Conclusiones finales

El empleo del peróxido de hidrógeno, como tratamiento para la recuperación de la calidad de aguas de distribución con problemas de hierro y manganeso, se revela como una solución adecuada y eficaz. Su aplicación es relativamente sencilla y económica, pudiéndose realizar en una jornada de trabajo. Se presenta así como una clara alternativa a la posible sustitución de toda la red de abastecimiento, solución que además de conllevar unos costes excesivos, provocaría graves molestias a los consumidores.

Además, este método permite tanto la eliminación de las deposiciones acumuladas en las tuberías a lo largo de los años, como la disminución de las concentraciones de hierro y manganeso en el agua de distribución. El agua recupera su calidad, desapareciendo los problemas de malos sabores y olores y de la turbidez causante de manchas en la ropa lavada.

Así, para la futura limpieza del conjunto de la red serán necesarias:

1. la realización de un estudio previo de los puntos de toma de agua que se puedan encontrar a lo largo de la red,
2. una correcta información a los usuarios sobre el corte en el su-

ministro, así como los riesgos que pueda conllevar la posible utilización del agua durante el período de limpieza.

El resto del procedimiento será el mismo que el empleado en la primera fase.

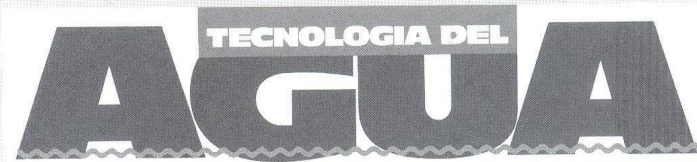
Una vez realizada la limpieza, será necesario evitar la formación de nuevas deposiciones. Para ello, la toma de agua deberá hacerse en la zona superior de la columna de agua, caracterizada por la ausencia de iones Mn^{2+} y Fe^{2+} . En el caso de que ello no sea posible, una oxidación previa del agua permitirá la precipitación de estos iones que podrán ser retenidos por filtración, manteniendo así las buenas condiciones en la red de abastecimiento.

Agradecimientos

Deseamos mostrar nuestro agradecimiento a Aguas y Servicios del Huesna A.I.E. y a su director general D. Manuel Caballos Piñero, por la confianza depositada en nosotros. Al Consorcio del Huesna, la Diputación de Sevilla y el Ayuntamiento de Cantillana por el apoyo para la realización de este trabajo. Y a todos los antiguos miembros del Grupo TAR que colaboraron en la solución de un problema tan complicado como éste.

Bibliografía

1. WONG J. M. "Chlorination-filtration for iron and manganese removal". Journal AWWA-Research and Technology. January 1984. (76-79).
2. AWWA Inc. "Control de calidad y tratamiento del agua". Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid, 1975. (425-445).
3. CARUS CHEMICAL Co. "Potassium permanganate: use in potable water treatment". W(SW. Reference Number - 1972.
4. MARÍN GALVÍN R. "Procesos redox en aguas naturales: relaciones prácticas entre contenidos en Fe, Mn, NH_3 y P_2O_5 , y oxigenación y pH en un embalse del sur de España". Tecnología de Agua, nº115. Octubre 1993. (16).
5. SIENKO M. J., PLANE R. A. "Química-física inorgánica". Reverté S.A. Barcelona, 1970. (136-137).
6. APHA-AWWA-WPCF. "Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales". Díaz de Santos. Madrid, 1992. (3.112-3.120, 3.130-3.134).
7. INDUSTRIAL QUÍMICA DEL NALÓN, S.A. "Permanganato potásico aquox en el tratamiento del agua potable". Informe técnico.



CAPTACION, TRATAMIENTO, DISTRIBUCION
Y DEPURACION DEL AGUA Y SU IMPACTO
MEDIOAMBIENTAL