Buscando soluciones sostenibles para la precipitación de sales en la red de abastecimiento

En lugares donde las aguas empleadas para abastecimiento son incrustantes, la precipitación de sales en la red genera un impacto considerable. En el marco de este estudio, se ha caracterizado la composición y variabilidad fisicoquímica del agua suministrada en Torremolinos (Málaga), la cual se encuadra dentro de facies bicarbonatadas cálcico-magnésicas. También se han analizado los precipitados de algunos tramos de red y se ha determinado que la fracción mineral mayoritaria es calcita. Por último, se ha testeado a escala piloto la aplicación de un tratamiento de bajo coste con el fin de inhibir la formación de dichos precipitados y reducir así la presencia de incrustaciones en las redes de abastecimiento. El tratamiento seleccionado consiste en la dosificación de ácido clorhídrico para mantener el pH del agua en equilibrio y así reducir el potencial de la precipitación de sales.

Palabras clave

Incrustación, redes de abastecimiento, calidad del agua, calcita.

TOWARDS SUSTAINABLE SOLUTIONS FOR SALT PRECIPITATION IN THE WATER SUPPLY NETWORK

In places where the water used for supply is fouling, the precipitation of salts in the network generates an important impact. The composition and physicochemical variability of the water supplied in Torremolinos (Málaga, Spain) has been characterised in this study. This water is assessed as calcium-magnesium bicarbonate facies. The precipitates of some pipe sections of the water network have also been analysed and it has been determined that the majority mineral fraction is calcite. Finally, the application of a treatment to inhibit the formation of these precipitates and to reduce the presence of incrustations in the supply networks was tested on a pilot scale. The selected treatment consists of dosing hydrochloric acid to maintain the pH of the water in equilibrium and thus reduce salt precipitation reactions.

Keywords

Salt scaling, water supply networks, water quality, calcite.

Miguel Ángel Díaz Hurtado
project manager de Cetaqua Andalucía

Susana González Blanco
responsable técnica del Área Gestión de Infraestructuras Críticas y Resiliencia de Cetaqua

Andrés Turullols Alcántara
responsable de operaciones de redes de distribución de Aguas de Torremolinos

1. INTRODUCCIÓN: EL LITORAL MEDITERRÁNEO, CASO DE ESTUDIO

El litoral mediterráneo presenta la particularidad de que, debido al alto contenido en sales minerales disueltas, las aguas empleadas para abastecimiento son muy duras. La precipitación de sales en la red de abastecimiento genera un impacto económico y social. El impacto económico se debe al coste asociado a la sustitución de tramos de tubería colmatados y al subcontaje que experimentan los contadores al producirse precipitación en su mecanismo. El social, en cambio, se debe a las posibles interrupciones del servicio causada por la colmatación de la red.

En el caso concreto de la zona de estudio, en el municipio malagueño de Torremolinos, el agua de abastecimiento tiene un origen subterráneo, más concretamente del acuífero kárstico de Sierra de Mijas. Por tanto, dada su naturaleza, cabe esperar que en la composición química del agua predominen los iones bicarbonato (HCO_3-) y calcio (Ca^{2+}) o magnesio (Mg^{2+}).

Se han evaluado varios tramos de tubería de diferentes rangos de diámetros y de los materiales más comunes en la red de abastecimiento, así como de distintas profundidades de instalación. Se ha detectado una mayor probabilidad de formación de precipitados en tuberías con diámetros entre 63 y 90 mm en los tramos de red más superficiales (1-1,5 m de profundidad), apareciendo con mayor frecuencia en tuberías de polietileno.

2. SOLUCIÓN SOSTENIBLE PARA EVITAR LA PRECIPITACIÓN

Este estudio surge del interés en la caracterización de los precipitados y de aplicar un tratamiento de bajo coste con el objetivo de inhibir la precipitación de las sales en redes de abastecimiento.

Para empezar, se ha llevado a cabo el levantamiento de varios tramos y acometidas de un sector de la red de Torremolinos con el fin de identificar la composición mineralógica de los precipitados. En los Servicios Centrales de Apoyo a la Investigación (SCAI) de la Universidad de Málaga se han analizado las incrustaciones encontradas mediante difracción de Rayos X de polvo, usando radiación CuK1,2 con un difractómetro de PANalytical, modelo X´Pert PRO MPD, que consta de cargador de muestras automático y portamuestras giratorio. El sistema de detección consiste en un X´Celerator, con la longitud activa al máximo.

Se ha examinado la variación composicional e iónica del agua suministrada en la red durante los últimos cinco años. Posteriormente, entre las diferentes opciones posibles, se ha evaluado y determinado el tratamiento que mejor se ajusta a las condiciones del caso de estudio.

El tratamiento seleccionado, por su bajo coste y facilidad de aplicación, consiste en la adición de ácido clorhídrico (HCl) para modificar el pH del agua hasta el equilibrio y tratar de minimizar que se den reacciones de formación de precipitados. Para determinar el pH de equilibrio de las aguas del municipio de Torremolinos, se ha utilizado el *software* Calcograph (Método Degremont). Este método se deriva del concepto de Hallopeau & Dubin donde el agua se muestra en un diagrama de pH = f (M-alk.), pero con escalas lineales, con el que se ha logrado simular la cantidad de ácido a añadir para conseguir alcanzar el pH de equilibrio.

Esta herramienta permite la variación de los diversos pK de acuerdo con la temperatura y la concentración iónica del agua, siendo posible identificar el punto teórico y la curva de estado de equilibrio calco-carbónico, donde el pH del agua analizada es igual al pHs (pH de saturación).

Por último, se ha construido un circuito piloto (**Figura 1**) con tres ramales para poder someter al agua y materiales a diferentes condiciones

FIGURA 1. Imagen del piloto de recirculación de agua y aplicación de tratamiento de adicción de HCl diluido.

FIGURA 2. Curva de equilibrio del agua promedio con la fase calcita (A: para Tmedia de invierno de 17 ºC; B: para Tmedia de verano de 25 ºC; y C: para Tmedia global de 23 ºC.

de pH y temperatura (Tª). Los materiales empleados para construir el piloto han sido: fundición dúctil (FD), polietileno (PE) y cobre (CU), además de algunas juntas y otros elementos de latón.

El periodo de pilotaje se ha dividido en dos fases:

- La primera, cuyo objetivo ha sido determinar las condiciones más favorables para la formación de precipitados a escala piloto, donde no se ha aplicado ningún tratamiento.
- La segunda, donde se ha aplicado el tratamiento de adicción de ácido clorhídrico (HCl) para tratar de evitar la formación de incrustaciones de sales en el circuito y evaluar su efectividad.

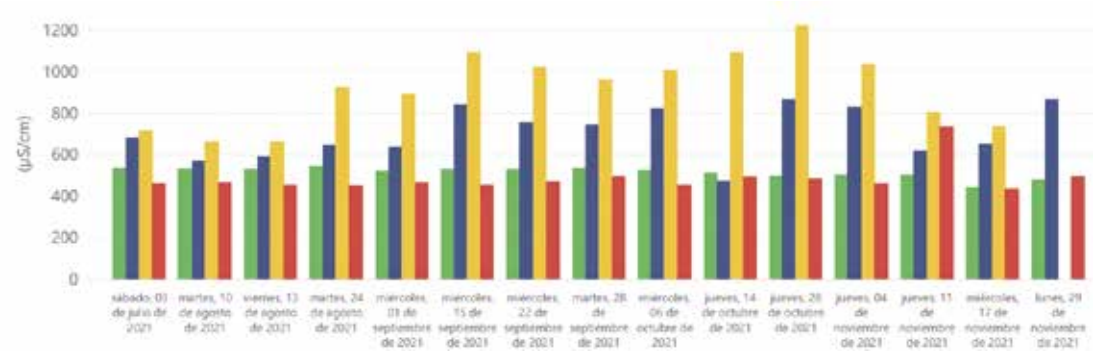
Para ayudar a comprender los procesos fisicoquímicos que tienen lugar durante el pilotaje, se han instalado sensores de medición en continuo de pH y temperatura en cada circuito. Las series de datos generadas se han analizado junto con medidas tomadas *in situ* de los parámetros fisicoquímicos (conductividad eléctrica, pH, potencial redox (ORP) y temperatura en cada uno de los circuitos después de cada purga. Además, se han tomado muestras periódicas del agua de cada circuito y del agua del depósito (agua de origen) con el fin de analizar en laboratorio los parámetros fisicoquímicos, iones mayoritarios y metales del agua de recirculación.

3. RESULTADOS

De los análisis de precipitados mediante difracción de rayos X de las muestras extraídas de la red de Torremolinos se concluye que la fracción mayoritaria es calcita ($CaCO_3$), aunque también se han identificado otras fases minerales tales como óxidos de hierro, dolomita, anfíboles, cuarzo o fosfato potásico.

Una vez conocida la composición de fracción mineral mayoritaria de precipitados, se ha hecho un estudio de caracterización fisicoquímica del agua con las analíticas de los cinco últimos años proporcionadas por Aguas de Torremolinos y también la temperatura ambiental, donde se observa que apenas existe variación en la composición iónica a lo largo del tiempo. El agua de origen de suministro se caracteriza como facies bicarbonatadas cálcico/magnésicas, con un índice de saturación Langelier (IL) ligeramente superior al rango de equilibrio. Como particularidad, cabe destacar que existe una gran variación de temperatura a lo largo del año, con registros en invierno de una media de 17 °C y de 25 °C en verano.

FIGURA 3. Evolución de la conductividad eléctrica en el piloto durante la fase II. Donde: verde= agua de origen; azul = ramal 1; amarillo = ramal 2; y rojo = ramal de referencia.



El tratamiento seleccionado para testear, posteriormente, en el piloto consiste en la adicción controlada de ácido clorhídrico (HCl) diluido para llevar el pH del agua a su equilibrio químico, con lo que se evitaría la saturación mineralógica del agua, inhibiendo así la formación de precipitados. Se ha optado por este tipo de tratamiento por su bajo coste y sencillez de aplicación. El pH de equilibrio del agua promedio con la fase de calcita se ha estimado mediante Calcograph (**Figura 2**) para cubrir las distintas condiciones de temperatura que pueden darse a lo largo del año en Torremolinos. Para una temperatura media de 17 ºC (invierno) el pH estimado es de 7,55; para una temperatura media de 25 ºC (verano) el pH de equilibrio sería 7,40; y para temperatura media global (23 ºC) el pH es de 7,44.

Para determinar las condiciones más favorables para la formación de precipitados en el piloto se forzaron diferentes condiciones de contorno. Inicialmente, en la fase I, se puso a recircular en el piloto agua del depósito a baja presión, temperatura ambiental y con purgas semanales. Tras 10 meses de testeo, en el análisis de difracción de rayos X no se detectaron incrustaciones significativas. Dado que en condiciones naturales de red no se consiguieron resultados de precipitación concluyentes, se procedió a modificar las condiciones de contorno, de tal modo que de las variables modificables de la ecuación de IL, donde:

IL= pH + temperatura + dureza cálcica + alcalinidad - 12,5

Se modificó la temperatura con ayuda de la instalación de calentadores para forzar así un valor de IL más alto. En concreto, se elevó la temperatura a una media de 30 ºC (IL = 0,8) en el ramal 1 y a 40 ºC (IL = 0,9) en los ramales 2 y 3. Además, se programaron periodos de paros y arranques diarios con los que favorecer la deposición mineral y dar lugar a la precipitación de calcita. El resultado bajo estas condiciones fue una formación de precipitados significativa y en menor tiempo (5 meses), localizando las incrustaciones de mayor tamaño en los ramales donde se han registrado las temperaturas más altas. Los resultados de laboratorio de difracción de rayos X revelan que las fases minerales más abundantes en las muestras son carbonatos de calcio y magnesio.

En la fase II se mantuvieron las condiciones de temperatura elevada (media de 40 ºC) y la secuencia de paros y arranques para la precipitación de sales y se comenzó a dosificar HCl para mantener los pH de equilibrio. El ramal 1 se aplicó una consigna de pH 7,5 (pH de equilibrio teórico para la química del agua de origen), en cambio, en el ramal 2 se asignó un pH más ácido, pH = 7,15. Por último, en el ramal 3 no se aplicó dosificación para mantenerlo como referencia.

En el seguimiento del testeo del tratamiento se observa que la conductividad eléctrica aumenta hasta un 50% en los ramales 1 y 2, producto de la dosificación del HCl (**Figura 3**). Después de cada semana de recirculación en la purga se detectan

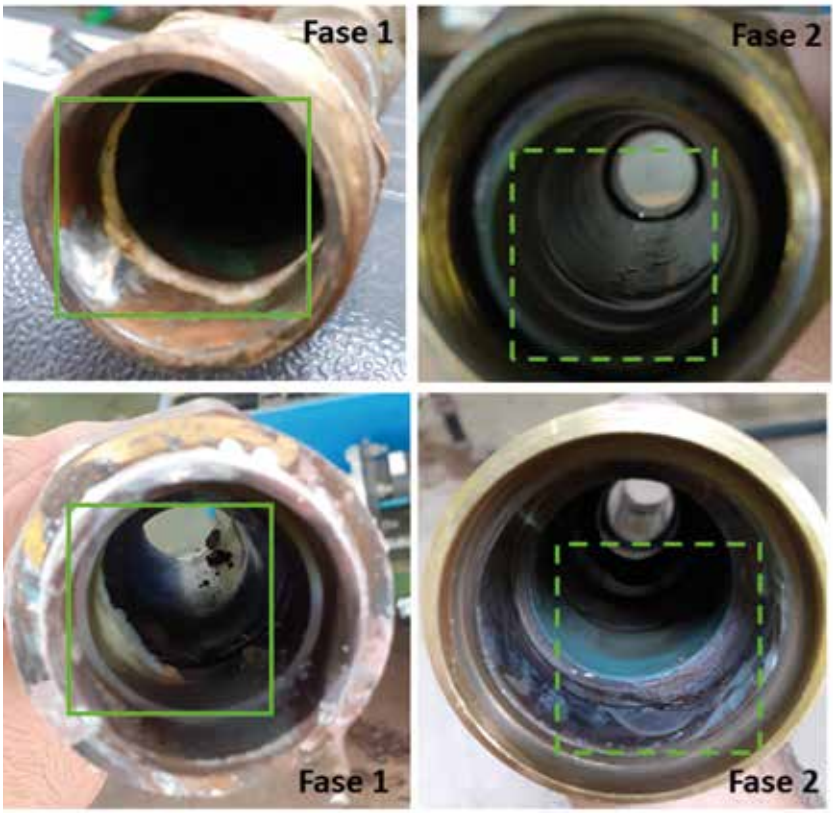
» De este estudio, validado a escala piloto, se concluye que, bajo las características fisicoquímicas del agua de origen, las condiciones más favorables para la formación de la calcita se dan con temperaturas extremas (superiores a 40 ºC) y con paros y arranques nocturnos

» Los puntos más susceptibles para la formación de calcita en las redes de abastecimiento son aquellos tramos de tubería de la red secundaria, más superficiales, y en aquellas zonas donde la superficie es asfalto u otro material que recibe insolación, haciendo así que aumente la temperatura de las tuberías por encima de los 40 °C y, por consiguiente, del agua que circula a través de estas

aguas rojas, especialmente en el ramal 2, siendo este donde se aplicó una dosificación de HCl para mantener el pH más ácido (pH = 7,15).

Tras los 5 meses de aplicación del tratamiento inhibidor, se aprecia que en aquellos carretes de muestras en los que ya existían precipitados no han aumentado de tamaño y en aquellos que fueron sustituidos por otros nuevos al comienzo de la fase II no se formaron nuevas incrustaciones (**Figura 4**).

FIGURA 4. Imágenes de detalle del interior de algunos de los carretes de cobre (superior) y PE (inferior) al finalizar la fase I (izquierda) y al finalizar la fase 2 (derecha) de pilotaje.



4. CONCLUSIONES

De este estudio, validado a escala piloto, se concluye que, bajo las características fisicoquímicas del agua de origen, las condiciones más favorables para la formación de la calcita se dan con temperaturas extremas (superiores a 40 °C) y con paros y arranques nocturnos. No obstante, el tiempo también juega un papel importante en la formación y crecimiento de los precipitados en las tuberías.

Por tanto, los puntos más susceptibles de las redes de abastecimiento son aquellos tramos de tubería de la red secundaria, más superficiales y en aquellas zonas donde la superficie es asfalto u otro material que recibe insolación, haciendo así que aumente la temperatura de las tuberías por encima de los 40 °C y, por consiguiente, del agua que circula a través de estas.

Así pues, se corrobora la teoría de que es más probable que se dé precipitación de sales en aquellos tramos a 1-1,5 m de profundidad localizados sobre asfalto y en situaciones climáticas excepcionales. Otros puntos críticos son aquellos en los que se produce una pérdida de presión, lo que conlleva la liberación de CO_2. Esto provoca que, en aguas sobresaturadas para alcanzar el equilibrio químico, comiencen a precipitar algunas fases minerales.

Se ha determinado que el tratamiento óptimo para inhibir la formación de sales en redes es la adicción de HCl para mantener el pH del agua a 7,5, ya que bajar a pH = 7,15 puede conllevar problemas asociados de procesos de disolución.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen al personal de Aguas de Torremolinos por su colaboración en la construcción del circuito piloto y en las labores de seguimiento.