



II-079 - INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE UNA PLANTA POTABILIZADORA EN BOLIVIA, PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS COM PRESENCIA DE SULFUROS

Danilo Ríos⁽¹⁾

Ingeniero Civil Op. Hidráulica y Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay. Sub Gerente de Producción de Obras Sanitarias del Estado (OSE). Profesor Adjunto del Instituto de Mecánica de Los Fluidos e Ingeniería Ambiental (FI-UROU).

Saúl Garat

Ingeniero Químico de la Universidad de la República Oriental del Uruguay. Consultor privado en tratamiento de aguas para consumo humano. Ingeniero de Obras Sanitarias del Estado (OSE).

FOTOGRAFIA
NÃO
DISPONÍVEL

Dirección⁽¹⁾: Av. 19 de Abril 1278 - Montevideo - Uruguay - Tel: (02) 336-3668 - e-mail: drrios@fing.edu.uy

RESUMEN

El 22 de mayo de 1998, la localidad de Aiquile ubicada en el Dpto. de Cochabamba (Bolivia), fue ferozmente arrasada por un terremoto, que además de destruir más del 80% de su infraestructura física, afectó seriamente a los servicios públicos, entre ellos el agua potable.

La Administración de las Obras Sanitarias del Estado (OSE), dando continuidad a las campañas de solidaridad iniciadas en Centroamérica con los países afectados por el Huracán Mitch, decide donar una unidad potabilizadora, y en consecuencia enviar técnicos para la instalación y puesta en marcha de la planta.

El agua a tratar provenía de una perforación, y resultó presentar dificultades extremas para su potabilización por métodos tradicionales, presentando elevado contenido de sulfuros, que otorgaban al agua sabor y olor muy desagradables.

El presente trabajo trata sobre la metodología empleada para la eliminación de sulfuros mediante la combinación de procesos de air-stripping y oxidación, con la cual se logró reducir el contenido de sulfuros a límites no detectables.

PALABRAS CLAVE: Air-stripping, Oxidación, Aireación por Bandejas.

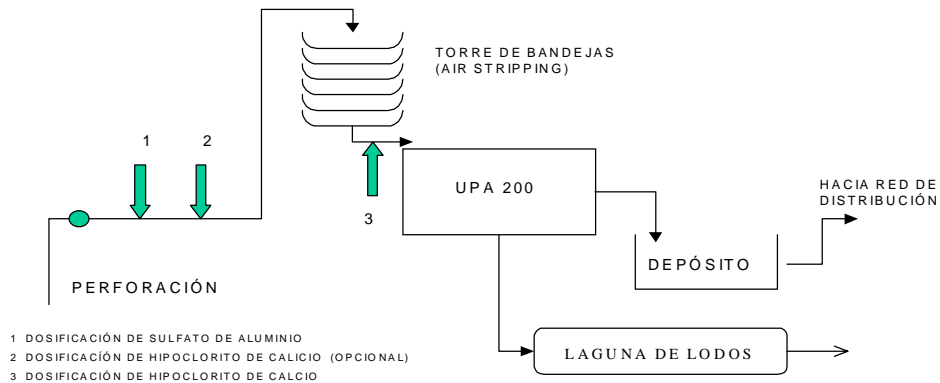
INTRODUCCIÓN

El trabajo consiste en un análisis técnico de los procedimientos que llevaron a adaptar una unidad potabilizadora convencional, para el tratamiento de aguas con presencia de sulfuros, que se instaló en la localidad de AIQUILE, Dpto. de Cochabamba, Bolivia, con el objetivo de suministrar agua potable en situación de "desastre", al haber sido afectada dicha localidad por un terremoto que afectó los sistemas públicos de suministro de agua potable. El agua proveniente de una perforación presentaba concentraciones de sulfuros por encima de 5 mg/l y en consecuencia era inadecuada para su potabilización por medios convencionales, pero debía encontrarse una solución al problema en forma urgente, dado que la citada perforación representaba más del 70 % del total de agua con que se disponía para el abastecimiento a la localidad.



DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

En el siguiente esquema se observa la disposición de las instalaciones definitivas del sistema:



Como se observa, se consideraron puntos de dosificación sobre la propia tubería de impulsión hacia la torre de bandejas, y en la cámara de mezcla de la UPA, quedando como alternativa un punto adicional de aplicación de cloro en la tubería de salida del agua filtrada hacia el depósito, dependiendo de la concentración de cloro residual que resulte en el agua filtrada luego de los procesos de oxidación.

Sobre esta base que quedara establecida durante la primera misión de OSE, se ensayarían las distintas alternativas posibles para el tratamiento del agua de la perforación.

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A TRATAR

Las principales características del agua a tratar se indican en la tabla siguiente:

Figura 1: Características del agua de la perforación.

Parámetro	Unidad	Concentración
Turbiedad	NTU	42
Color verdadero	Unid. Pt-Co	25
Alcalinidad total	mg/l CaCO ₃	198
Sólidos totales	mg/l	300
Bicarbonatos	mg/l CaCO ₃	198
PH	-	6,95
Conductividad	µm ho/cm	444
Calcio	mg/l Ca	17,06
Cloruros	mg/l Cl	8,17
Dureza total	mg/l CaCO ₃	91,1
Hierro	mg/l Fe	4,10
Manganeso	mg/l Mn	0,09
Plomo	mg/l Pb	0,02
Sulfatos	mg/l SO ₄	21
Sodio	mg/l Na	63,5
Sulfuros	mg/l S ⁼	> 5



ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

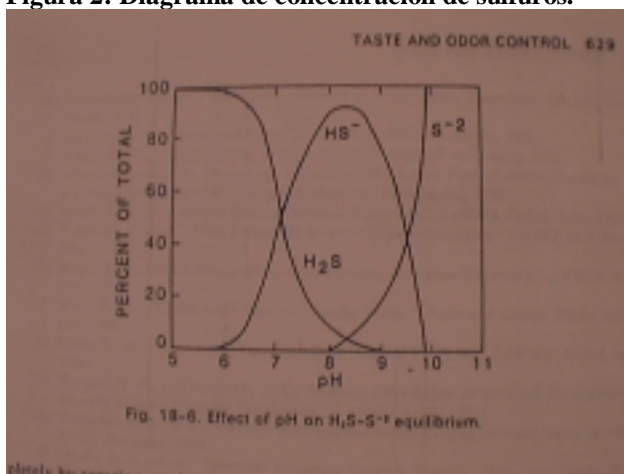
Se instaló un sistema de aireación por bandejas previo al ingreso del agua a la planta potabilizadora, permitiendo así una posibilidad muy grande de metodologías de tratamiento. Mediante la utilización de distintos productos químicos y variando puntos de aplicación, se plantearon variadas alternativas técnicamente viables para la eliminación de los sulfuros presentes.

1. Air Stripping

La limitación de este procedimiento es el valor elevado del pH del agua bruta, totalmente inadecuado para la remoción de sulfuros, que es más eficiente a pH cercano a 6 unidades.

Recordemos que el sulfuro se presenta en el agua de acuerdo al siguiente diagrama, dependiente del pH:

Figura 2: Diagrama de concentración de sulfuros.



La porción de sulfuros eliminable por air stripping es la que se encuentra bajo la forma de H_2S , que a los valores de pH del agua de la perforación ($pH \cong 8$), es inferior al 20 %.

En cambio el sulfuro ácido (HS^-) es soluble en agua, y por lo tanto no es removido por este procedimiento.

Otro inconveniente es que la aireación remueve también la porción no soluble de dióxido de carbono que pudiera estar presente en el agua, provocando aumento del pH y afectando el proceso.

Se previó en consecuencia en la tubería de ingreso de agua al sistema de bandejas, dosificar ácido para alcanzar los valores de pH requeridos.

2. Oxidación

Otro procedimiento de eliminación de sulfuros es la oxidación a la forma de sulfatos, mediante la utilización de un agente oxidante.

Los oxidantes disponibles para la puesta en marcha de la planta eran permanganato de potasio y cloro (hipoclorito de calcio), orientándonos a este último por su mayor disponibilidad en el lugar y menor costo.

Al dosificar cloro a un agua que contiene sulfuros, tienen lugar las siguientes reacciones:

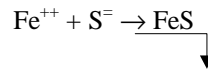


Según estequiometría de la reacción, para eliminar 1 ppm de sulfuro se necesitan 8,9 ppm de cloro.



3. Precipitación

Mediante la dosificación de sulfato ferroso en aguas que contienen sulfuros, se produce la precipitación de sulfuro ferroso, de acuerdo a la siguiente reacción:



El procedimiento se complementa por la coagulación con sulfato de aluminio o cloruro férrico, aunque los ensayos realizados con este último coagulante producían un sobrenadante con cierto contenido de hierro.

Se requieren dosis elevadas de sulfato de aluminio.

SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO

En primera instancia, para la eliminación de sulfuros, principal contaminante dado su efecto directo sobre el olor de gran intensidad que presentaba el agua, las alternativas 2 y 3 se descartaron por su elevado costo, aunque técnicamente eran válidas de acuerdo a los ensayos previos realizados.

Para el tratamiento de los sulfuros mediante la alternativa 1, es necesario como se indicó la corrección de pH a valores adecuados, lo cual no fue posible dado la imposibilidad de conseguir ácido en Bolivia producto de su relación directa con el procesamiento de drogas.

Por lo tanto, la torre de aireación por bandejas, no tendría la eficiencia esperada y se debió complementar el tratamiento por oxidación.

En definitiva, para la remoción de sulfuros se debió optar por un sistema combinado de air stripping y oxidación, que permitió obtener excelentes resultados.

La aplicación de sulfato de aluminio contribuyó a la eliminación de partículas presentes en el agua, y en primera instancia su aplicación obedeció también a que podría tener un efecto favorable sobre el arrastre de sulfuros en la torre, provocando un descenso de pH. En la práctica se observó que tal efecto no fue del todo favorable cual era lo esperado, pues el efecto de descenso de pH al dosificar sulfato de aluminio, no llegaba a compensar el aumento provocado por el desprendimiento de CO₂ tal cual se mencionó anteriormente.

RESULTADOS

Se destacan a continuación los resultados obtenidos en cuanto a la efectividad de la metodología empleada para el tratamiento de sulfuros, y el rango de dosis de productos químicos utilizados durante el período de operación de la planta:

Figura 3: Dosificación de productos químicos.

PRODUCTO	DOSIS MÍN. (mg/l)	DOSIS MÁX. (mg/l)
Sulfato de aluminio	10	100
Hipoc. De calcio (mg/l de Cloro)	5	20

El sulfato de aluminio se dosificó en la tubería previo al ingreso a la torre de bandejas, mientras que el hipoclorito de calcio se aplicó directamente en la cámara de mezcla de la planta.

**Figura 4: Características del agua tratada medidas in-situ.**

PARÁMETRO	MINIMO (mg/l)	MÁXIMO (mg/l)
Turbiedad (ntu)	0,04	0,84
Color ap. (Unid Pt-Co)	<5	<5
Alcalinidad (ppm CaCO ₃)	148	210
PH	7,1	7,5
Hierro	0,00	0,00
Sulfuros S ⁼	0,00	0,00
Olor	ausente	ausente
Plomo	0	0

CONCLUSIONES

La metodología de tratamiento planificada resultó tener muy buenos resultados, especialmente en cuanto a la eliminación de sulfuros que era el contaminante más perjudicial por conferir al agua un fuerte olor desagradable.

La combinación de la unidad potabilizadora con el sistema de bandejas, otorgó al sistema una gran versatilidad, que permitió considerar distintas opciones válidas para realizar el tratamiento.

Las principales conclusiones técnicas se detallan a continuación:

- El procedimiento de air-stripping no es eficiente para remoción de sulfuros, si no existe corrección previa de pH
- A pesar de dosificar sulfato de aluminio antes de la torre de aireación, en la misma se produce un ascenso de pH, al eliminarse la porción no soluble de CO₂ por air-stripping
- El mecanismo de oxidación con cloro resultó ser muy eficiente en la remoción de sulfuros
- Si bien la estequiometría de la reacción indica que se necesitan 8,9 ppm de cloro para oxidar 1 ppm de sulfuros, en la práctica se consumieron entre 3 y 4 ppm.
- La explicación a este fenómeno radica en que:
 - parte de los sulfuros son oxidados en la torre, el proceso de air-stripping incrementa el oxígeno disuelto del agua, proporcionando oxígeno adicional para la oxidación de los sulfuros
 - otra porción se elimina por air-stripping.
- **Concentraciones de sulfuros por debajo de 0,1 mg/l pueden ser detectadas por los consumidores**
- El hierro es oxidado totalmente en la torre. El cloro se dosificó a la salida de la misma, no habiendo en consecuencia consumo de cloro para la oxidación del hierro.
- Otro motivo para aplicar el cloro a la salida de la torre, es aprovechar el efecto favorable de las bacterias filamentosas que oxidan sulfuros
- El tiempo de reacción de la oxidación de los sulfuros fue inferior a 15 minutos. La presencia de Pb y Fe actúan como catalizadores del proceso
- El control del proceso se limita a la medición de cloro residual a la salida de la planta, siendo en consecuencia de muy fácil operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MICHAEL J. DELL' ORCO, PAUL A. CHADIK, GABRIEL BRITTON, R.P. NEUMANN. Sulfide oxidizing bacteria: their role during air-stripping - JOURNAL AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION . pp 107-115. Volumen 90, N° 10, Octubre 1998
2. STEVEN J. DURANCEAU, ROBERT K. ANDERSON, ROBERT D. TEEGARDEN. Comparison of mineral acid pretreatment for sulfide removal - JOURNAL AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION . pp 85-96. Volumen 91, N° 5, Mayo 1999
3. WILLIAM F. Mc CAIN, RICHARD J. JOHNSON, BRADFORD H. O'KEEFE. Snuffing out H₂S in water and air. JOURNA UPFLOW, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, Vol. 25, N° 8, August 1999.