



# Uso de nitrato cálcico para minimizar la producción de H<sub>2</sub>S en la red de saneamiento de Peñíscola

**Marina Carrero Planes** licenciada en Ciencias Químicas, Grupo Aguas de Valencia

**Vicente Fajardo Montaña** licenciado en Farmacia, Grupo Aguas de Valencia

**Fernando Andrés Tomás** licenciado en Ciencias Biológicas, Grupo Aguas de Valencia

**José Antonio Basiero** ingeniero técnico industrial, Entitat de Sanejament d'Aigües de la Comunitat Valenciana (EPSAR)

Las estaciones de bombeo de aguas residuales (EBAR) en ocasiones se convierten en focos de emisión de malos olores y compuestos contaminantes que pueden influir en la salud del trabajador, el estado de los equipos e instalaciones y en la percepción que tiene la población sobre esta actividad. El sistema de saneamiento y depuración de Peñíscola cuenta con largos colectores donde, como consecuencia de las condiciones anaerobias del agua residual, se forman gases nocivos como el sulfuro de hidrógeno. En las numerosas EBAR que posee el sistema se produce la acumulación de estos gases, agravado por el reducido tamaño y deficiente ventilación con que cuentan estas instalaciones. La dosificación de nitrato cálcico líquido, conocido como Nutriox, inhibe la formación de sulfuros disueltos y sulfuro de hidrógeno, por la intervención de las bacterias desnitrificantes que inhiben la aparición de bacterias anaerobias y sulfatoreductoras, permitiendo mantener las tuberías de impulsión del sistema de saneamiento en un estado anóxico.

## Palabras clave

Estación de bombeo de aguas residuales (EBAR), estación de pretratamiento de aguas residuales (EPAR), sulfuro de hidrógeno, nitrato cálcico.

## *Use of liquid calcium nitrate to minimize H<sub>2</sub>S emissions in the Peñíscola sanitation system*

*Wastewater pumping stations sometimes become sources of emission of odours and polluting compounds that can influence on the staff health, the equipment and facilities state and the perception of general public about this activity. The Peñíscola sanitation system consists of large sewers lines where as a result of anaerobic wastewater conditions harmful gases such as hydrogen sulfide form. In the system pumping stations these gases can accumulate, what is aggravated because of the small size and poor ventilation of these facilities. The dosage of calcium nitrate liquid, known as Nutriox, prevent the formation of dissolved sulfide and hydrogen sulfide by action of denitrifying bacteria that inhibit the development of anaerobic and sulfate-reducing bacteria, thereby maintaining the sanitation system sewers in an anoxic state.*

## **Keywords**

*Pumping station of waste water, waste water pretreatment plant, hydrogen sulfide, calcium nitrate.*



## 1. Introducción

En condiciones anaerobias, los microorganismos presentes en las aguas residuales no disponen de oxígeno disuelto para su metabolismo, favoreciendo el desarrollo de las bacterias sulfatoreductoras. Estas bacterias utilizan el ion del sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), abundante en la mayoría de las aguas, como agente oxidante para su crecimiento, generando sulfhídrico como subproducto (CEDEX, 2013). Uno de los principales problemas asociados a la formación de sulfhídrico es la elevada toxicidad que presenta en los seres vivos, siendo el responsable de un gran número de accidentes laborales en espacios confinados. Además, el mal olor acarrea molestias y quejas vecinales, generando una publicidad negativa sobre esta actividad, así como el deterioro de las instalaciones de saneamiento por la acción corrosiva del sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) que ataca el hormigón al oxidarse a ácido sulfúrico, llegando a dejar expuesta la armadura de acero.

El H<sub>2</sub>S es el compuesto odorífero predominante en el agua residual, y ha sido ampliamente estudiado por su olor, toxicidad y poder de corrosión. Su presencia proviene de dos fuentes: por un lado, la reducción del sulfato, siendo esta la principal fuente y, por otro lado, la desulfuración de los compuestos orgánicos de azufre. Conforme a la siguiente reacción, este puede disociarse en:



A pH 7, está disociado aproximadamente al 50% y a pH 6 el H<sub>2</sub>S supone el 90% frente al 10% que corresponde al HS<sup>-</sup>, por lo que en condiciones ácidas hay más capacidad de generar emisión.

Las aguas residuales de origen doméstico contienen habitualmente

sulfuros orgánicos (3-6 mg/L), derivados principalmente de la materia proteínica y de los sulfonatos de los detergentes (4-8 mg/L). La presencia de sulfuros inorgánicos, en forma de sulfatos (30-160 mg/L), depende principalmente de las infiltraciones o vertidos industriales y en menor medida, de la hidrólisis de algunos aminoácidos (WEF, 1994; WEF, 2004).

Pomeroy (1990) estudió los efectos de varios parámetros en la generación de sulfuros. Sus investigaciones indican que en conducciones que funcionan por gravedad, los sulfuros son generados por la capa de biofilm de la superficie sumergida y los depósitos, no generándose en el cuerpo principal del flujo ya que son destruidos por el oxígeno absorbido desde la superficie.

Por su parte, Frechen (2001) identifica algunos de los factores que influyen en la formación de sulfuros:

- Temperatura: al aumentar en un grado centígrado la temperatura del agua, se genera un 7% más de sulfuros.

- Velocidad: a mayores velocidades de impulsión menor producción de sulfhídrico. En impulsiones con una velocidad entre 0,8 y 1 m/s, la capa de biofilm es muy pequeña (100-300 micras), reduciéndose las condiciones de anaerobiosis.

- Tiempo de residencia: elevados tiempos de residencia del agua residual en los colectores favorecen la formación de sulfhídrico. En colectores de impulsión, con tiempo de residencia superior a 2 horas se evidencian problemas derivados de la producción de sulfuros.

- Concentración de materia orgánica y nutrientes: al aumentar la materia orgánica biodegradable se ve incrementada la generación de sulfuros por la acción de las bacterias sulfatoreductoras.

- pH: los valores de pH ácidos favorecen el crecimiento de las bacterias sulfatoreductoras.

- Sulfatos: la concentración inicial de sulfatos condiciona la formación de sulfuros y con mayor incidencia en los casos en que se produzca acumulación de sedimentos en los colectores.

- Concentración de compuestos de azufre: la presencia de tiosulfato, sulfitos y proteínas con derivados de azufre en los residuos urbanos, dan lugar a incrementos de sulfuros.

Son varios, por tanto, los factores que intervienen en la formación de sulfuros y todos ellos deben ser considerados a la hora de plantear una estrategia para evitar la formación de este gas, a fin de proporcionar un buen mantenimiento de las instalaciones y mejorar las condiciones ambientales de los lugares de trabajo.

En lo que a instalaciones industriales se refiere, el control de la corrosión es un factor fundamental para lograr una buena conservación, ya que representa uno de los principales costes de operación y mantenimiento en sistemas de almacenamiento y transporte del agua residual. Se estima que el 40% de toda la corrosión producida por el agua residual puede ser atribuida a la causada por las bacterias sulfatoreductoras. El sulfuro de hidrógeno es un gas ácido altamente corrosivo y soluble en agua, que precipita al combinarse con metales pesados y forma, en el caso del hierro, una película negra de sulfuro de hierro (FeS), capaz de producir taponamientos y pérdidas localizadas de metal denominadas picados (del inglés *pitting*) (EPA, 1991).

Así mismo, en lo que a seguridad se refiere, según el Real Decreto 486/97, la exposición a las condi-

**Tabla 1.** Comparativa de nitrato cálcico frente a otros tratamientos.

Tipo	Método	Uso	Efectividad	Equipamiento	Peligrosidad	Costes
Balance de oxígeno	Buenas prácticas	*	*	**	***	**
	Inyección de aire	**	*	*	**	*
	Inyección de oxígeno	***	**	**	***	***
	Nitrato cálcico	****	***	***	***	**
Oxidación química de H <sub>2</sub> S	Adición de cloro gas	**	**	***	*	***
	Adición de hipoclorito sódico	***	***	**	*	**
	Adición de peróxido de hidrógeno	*	***	***	*	*
	Adición de permanganato potásico	*	***	***	*	*
Precipitación de sulfuros	Sulfuro férrico o cloruro férrico	**	**	***	*	***
	Salez de zinc	*	**	***	*	**
Daño biológico	Choque alcalino	*	*	***	*	*
Otras adiciones	Añadir bacterias	No evaluado				

ciones ambientales de los lugares de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores. En este sentido, este gas tiene un comportamiento diferente según los niveles de sulfhídrico que haya en el ambiente. Generalmente se puede detectar el olor del H<sub>2</sub>S a concentraciones muy bajas en el aire (entre 0,0005 y 0,3 ppm). Sin embargo, a concentraciones más altas, por encima de 50 ppm, se puede perder la capacidad de olerlo, haciéndolo por ello extremadamente peligroso. Así pues, en función de la concentración presente en el ambiente, puede detectarse un ligero olor o puede provocar la muerte después de un minuto de exposición. Por ello, este compuesto está catalogado como 'muy tóxico' según el Real Decreto 363/1995.

Los valores de referencia para la exposición diaria (VLA-ED) y exposición de corta duración (VLA-EC) son 5 y 10 ppm respectivamente, indicados en los Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos adoptados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo para el año 2012.

Existen diferentes alternativas para prevenir la formación de sulfhídrico, que están relacionadas con los factores que favorecen su generación. Así pues, la mayoría de actuaciones que reduzcan la anaerobiosis del agua residual redundará en la reducción de este compuesto. La dosificación de nitrato cálcico líquido, conocido como Nutriox, que elimina las condiciones de anaerobiosis, inhibe la formación de sulfuros disueltos y H<sub>2</sub>S, ya que introduce una fuente de oxígeno en forma de nitrato. Así, las bacterias desnitrificantes utilizan el nitrato como aceptor de electrones e impiden la aparición de bacterias anaerobias y sulfatoreductoras, permitiendo mantener de este modo las conducciones en estado anóxico.

El nitrato cálcico ha sido ampliamente utilizado en lagunas anaerobias y facultativas para el control de olores. Las bacterias anaerobias y facultativas, responsables de los olores y de la producción del sulfuro, tienen preferencia por el nitrato como fuente de oxígeno sobre el sulfato, dando lugar a la producción de nitrógeno gas y otros compuestos nitrogenados. Se ha visto incluso

que el nitrato no solo impide la formación de sulfuro, sino que también puede reducir el sulfuro existente.

Las principales ventajas que presenta el nitrato frente a otros aditivos que proporcionan oxígeno, son:

- Es extremadamente soluble y no se libera a la atmósfera.
- Es consumido más lentamente por las bacterias que el oxígeno disuelto.
- Los equipos de alimentación son simples de diseñar, fáciles de mantener y operar.
- No es inflamable ni peligroso y tiene una baja reactividad.
- Puede eliminar el sulfuro completamente bajo la mayoría de las circunstancias.
- No produce precipitados químicos que incrementen la producción de fangos en las plantas de tratamiento. La efectividad del nitrato es óptima cuando se añade en largas conducciones de impulsión o colectores de gravedad de baja velocidad con tiempos de retención mayores de 12 horas, que es precisamente cuando más se favorece la producción del H<sub>2</sub>S.



El uso del nitrato cálcico posee importantes ventajas frente a otros sistemas para el tratamiento en la producción de H<sub>2</sub>S, que se resumen en la **Tabla 1**. Puede observarse que la dosificación de nitrato cálcico supone un excelente método para la eliminación de ácido sulfhídrico, ya que posee: una alta eficiencia, ocupa un pequeño volumen de la instalación y es efectivo frente a elevados niveles de H<sub>2</sub>S. Como inconvenientes se encuentra el peligro por subdosificación y la propia adición de nitrógeno, inconvenientes que pueden ser solucionados mediante una correcta dosificación fruto de un estudio riguroso.

## 2. Material y métodos

El sistema de saneamiento y depuración de aguas residuales de Peñíscola cuenta con 5 EBAR (Rincón del Moro, Felipe II, Acuzul, Peñismar y La Volta), previas a la EPAR de Peñíscola. Esta EPAR cuenta con un sistema de desbaste de gruesos, bombeo a tamizado de finos, desodorización y bombeo a emisario submarino.

Inicialmente el sistema de desodorización contó con un filtro horizontal de placas de carbón activo y un ventilador, capaz de tratar un caudal de 6.800 m<sup>3</sup>/h. Este sistema estaba equipado adicionalmente con un ventilador para mejorar el flujo de salida y una red de tuberías de polipropileno para la focalización de la desodorización y chimenea de salida de aire tratado.

El equipo estuvo en contacto con altas concentraciones de sulfhídrico existentes en la instalación debido a los elevados niveles de sulfatos y de los largos recorridos que realiza el agua residual desde su origen hasta que alcanzar la EPAR. La corrosión ocasionada por el sulfhídrico afectó a todo el equipo, tanto las paredes de la cabina como las bandejas de



carbón activo, a las guías y al resto de componentes (**Figuras 1 y 2**).

La EPAR también cuenta con un equipo compacto neutralizante (**Figura 3**) de olores, Odorcontrol, compuesto por una soplante vaporizador del reactivo y cabina externa, capaces de vaporizar el reactivo neutralizante sobre la zona del bombeo de elevación, reja de gruesos y tamizado de finos.

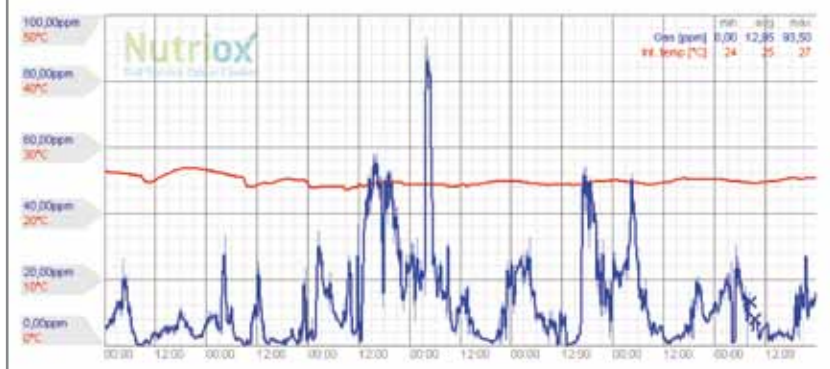
Este sistema neutralizante de olores tiene la ventaja de mitigar el olor y, por tanto, disminuir las molestias, con el inconveniente de no eliminar la causa del olor del H<sub>2</sub>S, por lo que su utilización puede estar contraindicada para instalaciones con concentraciones de gas superiores a VLA-ED y VLA-EC, ya que la ausencia de olor impide que sea detectado por

los trabajadores y, por tanto, incrementa el riesgo a ser expuesto a elevadas concentraciones con el peligro que ello conlleva.

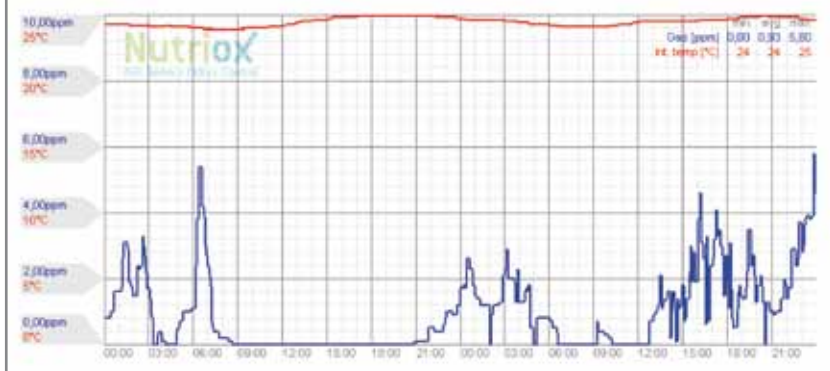
Debido a la deficitaria desodorización existente en la EPAR de Peñíscola y a la escasa garantía que aportaba la neutralización de los olores, se buscó una alternativa que limitara o redujera la producción de sulfhídrico en la instalación. Se optó por la dosificación de nitrato cálcico, se identificaron las zonas donde se aplicaba el neutralizante como la ubicación idónea para realizar las pruebas de dosificación del nitrato cálcico.

Su dosificación se realizó durante el periodo estival en la EBAR Rincón del Moro y Peñismar, las dos EBAR más distantes de la EPAR. Al finalizar la prueba, se compararon resultados

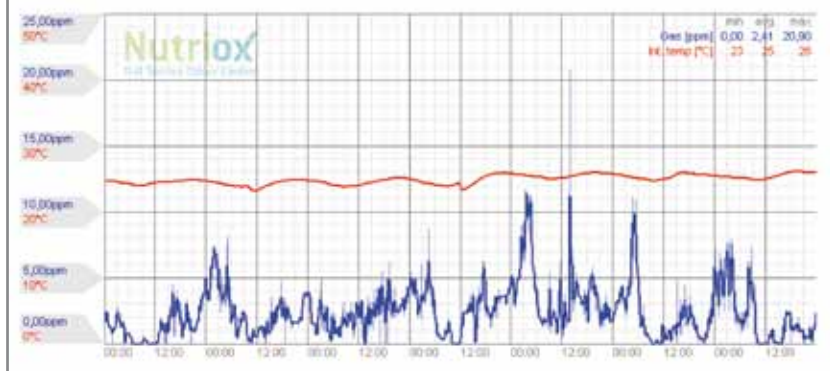
**Figura 4.** Concentración de H<sub>2</sub>S en la barandilla pozo.



**Figura 5.** Concentración de H<sub>2</sub>S en la sala CCM.



**Figura 6.** Concentración de H<sub>2</sub>S en la sala pretratamiento.



y gastos derivados del tratamiento con los del reactivo neutralizante utilizado el año anterior. En ambas instalaciones se dispusieron depósitos provisionales para almacenar el reactivo y una bomba para su dosificación. La impulsión de estas bombas se canalizó mediante una tubería de silicona hacia el bombeo aprovechando la canalización eléctrica existente en cada uno de ellos.

La concentración de nitrato cálcico de trabajo fue del 8% y se instaló un medidor de H<sub>2</sub>S en continuo para establecer los niveles y perfiles horarios de detección de problemas, y las bombas dosificadoras de reactivo para cada uno de los puntos de dosificación elegidos. La dosis de reactivo se realizó según el *feedback* proporcionado por las lecturas del medidor de H<sub>2</sub>S.

Por las características de la instalación, se consideró medir el sulfhídrico en diversas zonas de la EPAR para tener información de los niveles de concentración del gas a lo largo del día.

### 3. Resultados y discusión

Se determinaron los posibles puntos de mayor generación y emisión de H<sub>2</sub>S:

- Barandilla pozo reja de gruesos. En la **Figura 4** se observa que en la mayor parte de los periodos estudiados se sobrepasa el valor límite de exposición diaria de H<sub>2</sub>S (VLA-ED) y el valor límite de exposición de corta duración (VLA-EC) establecido en 5 ppm y 10 ppm respectivamente. También se observa que el VLA-EC en muchos casos superan los 40 ppm llegando incluso a superar los 90 ppm.

- Sala CCM (cuadro control de motores) EPAR. Esta sala es un lugar habitual de trabajo, pues allí se ubican todos los cuadros de control de mando y caudalímetros. En la **Figura 5** se muestra cómo se supera ocasionalmente el valor límite de exposición diaria (VLA-ED) durante algunas franjas horarias. Estas emisiones se filtran a través de la canalización del cableado y aberturas del suelo.

- Sala pretratamiento (zona trabajo personal). El lugar donde se instaló el medidor de H<sub>2</sub>S en continuo, corresponde a la zona de trabajo del personal de planta (limpieza de reja, mantenimiento reja, zona de paso hacia el tamiz). En la **Figura 6** se observa cómo se supera la concentración límite VLA-ED en un gran número de intervalos de tiempo, mientras que el VLA-EC, establecido en 10 ppm, se supera puntualmente. La máxima concentración de H<sub>2</sub>S se obtiene entre las 0:00 y las 5:00 horas. Se debe tener en cuenta

**Tabla 2.** Variación de la carga contaminante durante el transcurso del año 2014.

Fecha	pH (uds)	Conductividad (μS/cm)	SS (kg)	DBO <sub>5</sub> (kg)	DQO (kg)	Nt (kg)	Pt (kg)
Enero	7,30	3.476	1.310	9.710	21.040	2.949	347
Febrero	7,24	4.032	7.845	7.497	14.645	2.813	336
Marzo	7,12	3.674	25.175	20.672	40.321	4.578	528
Abril	7,26	4.985	35.780	32.527	65.646	7.286	934
Mayo	7,31	5.554	25.071	27.517	58.091	6.368	733
Junio	7,29	3.854	43.890	70.481	104.120	13.833	1.480
Julio	7,07	6.873	43.649	55.631	95.429	8.960	1.181
Agosto	7,30	5.366	63.630	87.988	160.069	21.698	2.291
Septiembre	7,34	3.974	53.736	43.463	77.048	11.703	1.331
Octubre	7,38	4.031	25.888	21.336	40.965	5.231	642
Noviembre	7,19	4.642	60.694	68.344	128.018	5.832	938
Diciembre	7,30	6.568	11.193	17.084	25.920	4.223	639

que los operarios tienen guardias de 24 horas, por lo que pueden atender alarmas que se produzcan en la EPAR en esta franja horaria.

En la **Tabla 2** se presenta la variación promedio de los parámetros de pH, conductividad, sólidos suspendidos (SS), demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (Nt) y fósforo total (Pt) determinados durante el año 2014. En los meses de verano se observa un importante incremento de la carga contaminante. Este hecho, junto al incremento de temperatura, provoca una mayor producción de H<sub>2</sub>S durante este periodo. Esta consideración debería tenerse presente para futuros ensayos donde el control de la emisión de H<sub>2</sub>S debería comprender todo un año natural.

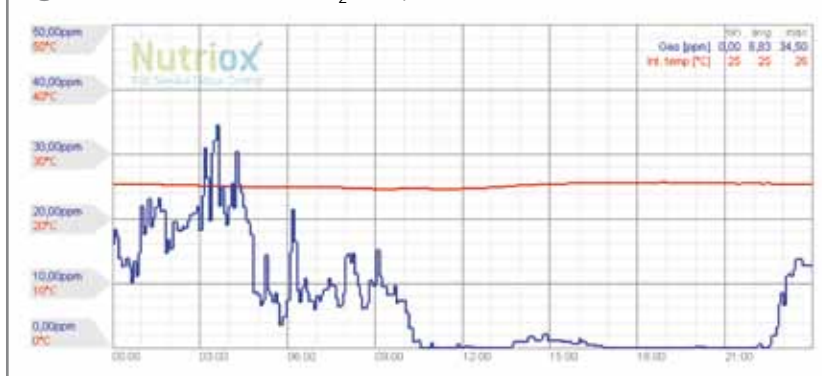
Una vez determinados los puntos y los periodos de mayor generación y emisión de H<sub>2</sub>S, se procedió al estudio de la dosificación de nitrato cálcico. Considerando que a través del colector Norte llega el 85% del caudal que se recibe en la EPAR y por el colector Sur el 15% restante, se

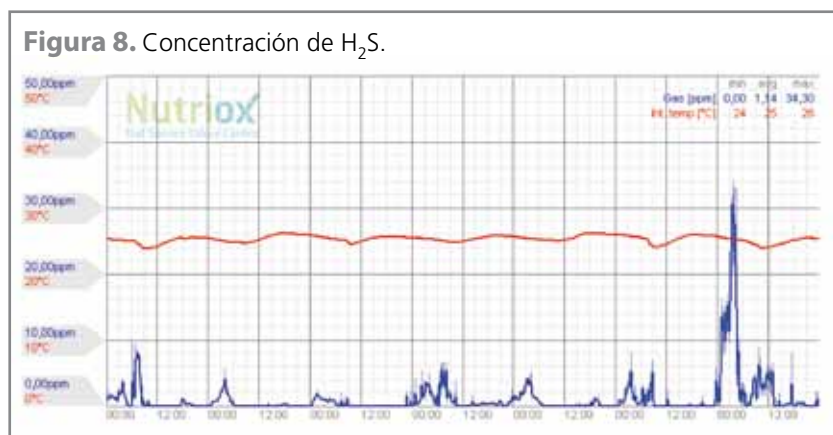
propuso una dosificación inicial de 7,7 L/h en la EBAR de Peñismar y 3,8 L/h en la de Rincón del Moro, obteniéndose los resultados indicados en la **Figura 7**.

En ella se observa que, entre las 10:30 y las 22:30 horas, la concentración de H<sub>2</sub>S es prácticamente 0 ppm. Esto supone que durante la franja horaria de trabajo del personal se ha minimizado mucho la exposición al gas. Dado que no se podía mantener la dosificación estudiada durante el periodo nocturno en la EBAR Peñismar, puesto que el depósito existente tenía únicamente una autonomía de 8 horas para la dosis propuesta, se decidió variar

esta dosis a 3,8 L/h a partir de las 21:00 horas, obteniéndose resultados muy similares a los anteriores.

A la vista de los resultados se procedió a variar las dosis de reactivo en ambas estaciones de bombeo comprobando su eficacia en la reducción de la emisión de H<sub>2</sub>S. Se probaron un total de 11 combinaciones en las dosis empleadas en ambas estaciones de bombeo con diferente fraccionamiento horario, observándose que, aunque se dosifique reactivo por la noche, la franja horaria comprendida entre las 0:00 y las 6:00 horas siempre presenta una concentración de gas muy superior al del resto.

**Figura 7.** Concentración de H<sub>2</sub>S después de la dosificación de nitrato cálcico.



**Tabla 3.** Comparativa de costes de reactivos.

Número de días	Reactivo	Caudal (m <sup>3</sup> )	Total (kg)	Dosis (ppm)	Coste (€)
56	ProSweet 0C2533	773.604	26	0,03	2.881
56	Nitrato cálcico	836.380	7.269	8,69	3.053

Finalmente, se determinó que añadiendo durante las noches una dosis mínima (1,4 L/h) en ambas estaciones de bombeo y durante el día una dosis correspondiente a la mitad de la dosis de partida (3,8 L/h en la estación de Peñismar y 1,4 L/h en la de Rincón del Moro), los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios, minimizando la concentración de H<sub>2</sub>S emitido incluso en la franja horaria de 0:00 a 6:00 horas (**Figura 8**).

En la última parte del estudio se realizó una comparativa entre los dos reactivos considerados para paliar los efectos de la producción del ácido sulfhídrico, el utilizado en la actualidad (neutralizante) y el reactivo objeto de estudio (Nutriox), así como el coste asociado a su consumo. Dado que la cantidad de nitrato cálcico consumida se puede optimizar automatizando su dosificación en función de la medida en continuo del H<sub>2</sub>S emitido, se puede considerar que tanto la dosis de reactivo como el coste que supone su uso se pueden reducir en un futuro (**Tabla 3**).

Finalizados los estudios con el nitrato cálcico se procedió a la sustitución del sistema de desodorización (**Figura 9**) en la EPAR de Peñíscola, actuación financiada por la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales (EPSAR), con objeto de garantizar la seguridad de los trabajadores atendiendo al Real Decreto 486/97 sobre lugares de trabajo.

**Figura 9.** Nuevo sistema de desodorización.



#### 4. Conclusiones

El presente estudio tenía como objetivo valorar diferentes alternativas para evitar los riesgos ocasionados por la producción de H<sub>2</sub>S en el tratamiento de las aguas residuales del sistema de saneamiento y depuración del municipio de Peñíscola. Para ello se estudió el uso de nitrato cálcico con el fin de evitar la producción de este gas, realizándose finalmente un estudio comparativo entre este reactivo propuesto y el reactivo neutralizante (ProSweet 0C2533). Se observa que el coste de ambos reactivos es muy similar durante la época estival.

La dosificación del nitrato cálcico presenta como valor añadido la eliminación del sulfhídrico, responsable de los problemas tóxicos y corrosivos, mientras que el reactivo neutralizante únicamente enmascara el olor de este gas permitiendo que persista en el ambiente. Durante el año de estudio, la dosificación del nitrato cálcico minimizó la concentración de ácido sulfhídrico dentro de la EPAR obteniéndose las siguientes conclusiones:



- El nitrato cálcico no neutraliza el olor producido por el H<sub>2</sub>S, sino que lo elimina en su origen.

- Se minimiza el riesgo de exposición al gas por parte de los trabajadores, cumpliéndose con la normativa vigente en materia de seguridad y salud en los lugares de trabajo (Real Decreto 486/97).

- El nitrato cálcico no es tóxico ni corrosivo.

- El nitrato cálcico es un reactivo más eficaz y económico que el utilizado hasta ahora.

- El nitrato cálcico disminuye considerablemente la emisión de malos olores en las EBAR y en la EPAR, evitando así las quejas del vecindario y comercios próximos.

- La dosificación de nitrato cálcico puede ser optimizada automatizando las bombas en función de la concentración de H<sub>2</sub>S existente en el punto de muestreo.

- Aunque este estudio no se ha contemplado para el colector procedente del casco histórico, queda pendiente la dosificación del reactivo en algún punto de dicho colector con el fin de comprobar si se elimina la totalidad del H<sub>2</sub>S que llega a la EPAR.

### 5. Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración y asistencia técnica de la empresa Yara Iberian y a la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales (EPSAR).

### Bibliografía

[1] CEDEX (2013). XXX Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. Ministerio de Fomento, Madrid

[2] EPA (1991). Sewer system infrastructure analysis and rehabilitation. Office of Research and Development, Cincinnati (USA). EPA/625/6-91/030.


[3] Frechen, F.B. (2001). Prediction of odorous emissions in odours in wastewater treatment. Ed. By R. Stuetz and F-B. Frechen. IWA Publishing London, págs. 201-213.

[4] Metcalf & Eddy, Inc. (1995). Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Mc Graw Hill, 3ª ed., New York

[5] Pomeroy (1990). The problem of hydrogen sulphide in sewers. Clay Pipe Development Association.

[6] Prokop, W. (1991). Measurement of odor emissions from municipal sewage sources in recent development and current practices in odor regulations, controls and technology. Ed. D. Derenzo and Gnyyp, Air and Waste Management Association, págs. 305-324.

[7] WEF (1994). Odor control in wastewater treatment plants. Manual of Practice nº 22. Water Environment Federation.

[8] WEF (2004). Control of odors and emissions from wastewater treatment plants. Manual of Practice nº 25. Water Environment Federation. 

# DESCUBRA MÁS ARTÍCULOS TÉCNICOS, REPORTAJES Y ENTREVISTAS EN:

## WWW.TECNOCAQUA.ES

# Y

## @TECNOAQUA