

Olores en aguas residuales: ¿Cómo controlarlos de manera eficiente por el gestor?

EDUARDO ZARCA DÍAZ DE LA ESPINA (*) y CLEMENTE PALACIOS MORENO (**)

RESUMEN Descripción, análisis y recomendaciones fruto de la investigación y experiencia de los autores en la Empresa Municipal. Con el formato “10 reglas básicas” se hace un repaso de los distintos aspectos, desde una perspectiva teórica y práctica, a considerar en la gestión de los olores de una EDAR.

ODORS IN WASTEWATER: HOW TO CONTROL THEM EFFICIENTLY BY THE MANAGER?

ABSTRACT *Description, analysis and recommendations based on experience and research of the authors in the Municipal Water Utility. With “10 rules” gives an overview of the different aspects, theoretical and practical, to be considered in the management of odors in wastewater treatment.*

Palabras clave: Control de olores, Tratamiento de agua residual, H₂S, Sulfhídrico, Olfatometría.

Keywords: Odour control, Waste water, Sewage treatment, H₂S, Hydrogen sulphide, Olfactometry.

1. LOS 10 MANDAMIENTOS DEL GESTOR

La puesta en marcha de la EDAR Guadalhorce en Málaga, hace ahora más de 12 años, generó un grave impacto por olor en el entorno. En ésta primera etapa se juntaron los problemas propios de la puesta en marcha de una infraestructura de estas características con otros externos como son, la elevada temperatura del agua (hasta 29°C en verano), las amplias redes de saneamiento y estaciones de bombeo, y la propia climatología que favorece los fenómenos de inversión térmica que limitan los mecanismos de dispersión de los compuestos malolientes. Una vez resueltos los aspectos técnicos propios de la planta, evitando la acumulación de fangos en el sistema, arrancando la digestión, se seguía generando una molestia importante. En aquel tiempo la presión vecinal y de los medios de comunicación era permanente.

Por este motivo se decidió hacer un esfuerzo especial para estudiar pormenorizadamente los mecanismos que intervenían, buscar las estrategias adecuadas e implementar las medidas necesarias y los métodos de gestión para minimizar el mal olor.

En nuestro caso la solución ha pasado por un acondicionamiento del agua residual y la implementación de procedi-

mientos que controlan el nivel de sulfuros en el agua, la emisión de los sistemas de desodorización, y la inmisión en distintos puntos de la planta y su entorno.

En este artículo pretendemos trasladar, sin entrar en muchas particularidades, en las reflexiones que consideramos más interesantes a tener en cuenta para enfrentarse a este problema.

1.1. LO QUE NO SE MIDE NO SE PUEDE CONTROLAR Y MEJORAR; LA MEDIDA ES COMPLICADA PERO POSIBLE

Esta forma de trabajar ha ido evolucionando desde su aplicación meramente como herramienta de calidad a incluirse dentro de los valores clave de las empresas, como parte de su filosofía de actuación. Como si de una cuestión abstracta se tratara, es esencial plantearse las siguientes cuestiones en orden: ¿Qué?, ¿Por qué? y ¿Cómo?. Tomarse el tiempo necesario para analizar no es un tiempo perdido nunca. El problema bien analizado es ya un problema medio resuelto.

En las EDAR se puede distinguir claramente tres tipos de fuentes: conducidas, superficies (calma y aireadas), y difusas (edificios y fugitivas). Según el objeto pueden ser mediciones de emisiones y de inmisiones. Atendiendo a la duración del muestreo podemos considerar la medida como puntual, promediada, o continua.

En estas medidas es necesario verificar el estado del muestreador y la elección correcta del equipo de medida en cada fuente de emisión. Los fabricantes proporcionan instrucciones para el mantenimiento que deben seguirse (los sensores tienen una vida limitada y deben calibrarse con asiduidad).

(*) Dr. Ingeniero Industrial. Responsable Gestión de Riesgos. Empresa Municipal Aguas de Málaga (EMASA). E-mail: ezde@emasa.es

(**) Ingeniero Químico e Ingeniero Técnico Industrial. Director Depuración. Empresa Municipal Aguas de Málaga (EMASA). E-mail: cpm@emasa.es

El valor a medir siempre está afectado por un error. El error general de origen técnico está asociado a todo el instrumental utilizado, el método de medida, e incluso el software. La forma de cuantificarlo es mediante la estimación de un límite de confianza que es el intervalo entre el que se encuentra con una probabilidad elevada la medida (generalmente 95%). En la fase de toma de muestras en fuentes superficiales y volumétricas es muy difícil su cuantificación pues no está normalizado ni existe proyecto de hacerlo.

1.2. LA MEDICIÓN DEL H₂S ES LA FORMA MAS EFICIENTE DE TENER BAJO SUPERVISIÓN EL PROBLEMA

Se puede medir antes, durante y después.

A la hora de elegir la medida de gases malolientes se puede hacer de la concentración de los compuestos químicos o de la medición sensorial olfativa que producen estos. Nuestra recomendación de medición química del H₂S si bien no es excluyente, está basada en los siguientes argumentos:

- Presenta un valor de reconocimiento muy bajo. El límite de detección del H₂S es cercano a 0,5 ppb.
- Es generalmente el predominante en el agua residual y presente en la mayoría de los casos durante todo el proceso de tratamiento, en mayor o menor medida.

- La concentración de gas puede relacionarse con la del líquido mediante modelos matemáticos.
- Puede ser medido sin dificultad con monitores de continuo a un coste cada vez más bajo.
- Es fácil de correlacionar con la medida de olor. (Gostelow, P. *et. al.* 2001).
- Da permanentemente otros problemas que son muy importantes: corrosión, seguridad personal y proceso.

En la sensorial, el método normalizado es la olfatometría de dilución dinámica (ODD). Una muestra de gas maloliente es cogida y llevada a un ambiente controlado, donde mezclándola con aire libre de olor se produce una corriente diluida. Ésta es presentada a un panel de “catadores”, de forma que no lleguen a detectarlo, midiendo las diluciones que han sido necesarias. Comparativamente, los análisis con monitores de continuo de H₂S pueden realizarse incluso en alta resolución (ppb), frente a la falta de repetibilidad (especialmente en bajas concentraciones) y altos costes que conlleva realizar olfatometrías.

La técnica de muestreo del gas para su captura y posterior traslado a un laboratorio es compleja. Esto conlleva diferentes procedimientos según sea el foco (por ejemplo, no es lo mismo la zona aireada de un desarenador que el resto del tanque en calma), lo que determinará el caudal en µg/m² que se emite. Deben ser fijadas las condiciones de trabajo, equipo de mues-

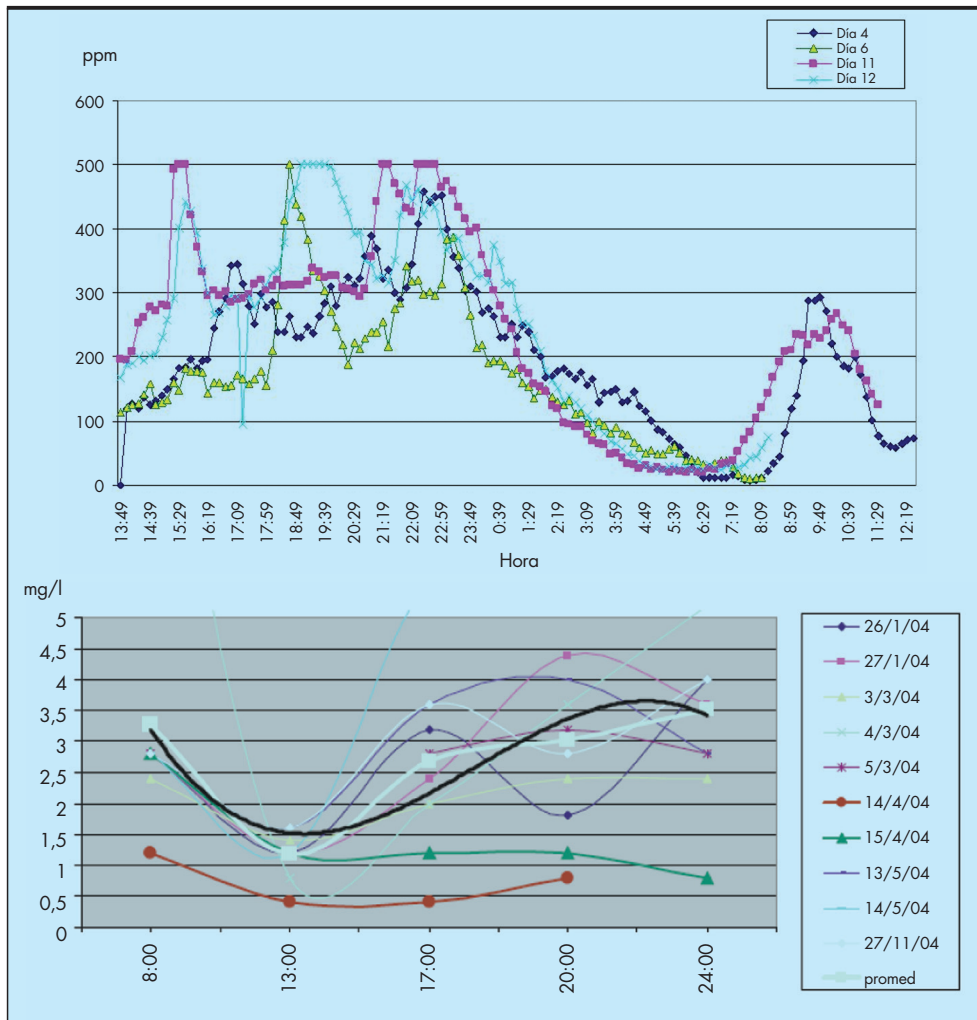


FIGURA 1. Variabilidad en días del compuesto H₂S en emisiones y en estado líquido.

treo, bolsa de muestreo, implementación de la toma de muestra, predilución, tiempo de muestreo, el número de muestras, su almacenamiento y el transporte hasta el lugar de análisis (proyecto VDI 3880).

Conocido el valor según foco en g/s de H₂S o en UO_p/s, se introducen junto a otros datos en un modelo matemático de dispersión. Algunos dan imprecisiones al considerar que el ratio de emisión es constante en una hora o, asumir que el viento tiene una dirección constante o poco variable en una hora. Para bajas velocidades del aire (<0,5 m/s) es menos exacto el modelo gaussiano frente a los de Lagrange (puff), aunque éstos requieren más y mejores datos. En general la modelización genera sobrestimación por lo que es más interesante para conocer los impactos máximos que para la gestión ordinaria de la planta.

En el año 2004 se adquirió un medidor de sulfhídrico de alta sensibilidad (ppb) con el que se estudió las distintas fuentes de emisión y se hicieron mapas de isoconcentración que ponían de manifiesto claramente los focos más importantes de una forma cuantitativa. La ventaja de hacerlo así fue la repetibilidad de las mediciones en las distintas condiciones, posibilitando hacer seguimientos para evaluar la bondad de las acciones tomadas.

Dentro del plan de análisis anual de las EDAR está incluida la medición diaria de los sulfuros disueltos en las distintas fuentes de alimentación, de cara a identificar los problemas de acondicionamiento del agua residual.

1.3. EL PROBLEMA NO PUEDE SER TRATADO DE FORMA ESTÁTICA

Las emisiones están sometidas a la variabilidad de las condiciones internas y de contorno. En general. Las emisiones poseen una variabilidad en el tiempo (Figura 1) que es constante en largos periodos y variable en un día con un perfil determinado. Además, las condiciones meteorológicas están en continuo cambio, jugando un papel predominante en la molestia generada.

El método de medida de gases mediante instrumentos directos tiene ventajas frente al de toma de muestras, análisis y modelización, principalmente por la rapidez de las determinaciones y la economía de la medición. Lo ideal es tener una vigilancia en continuo de la emisión e inmisión, o al menos rea-

lizar mapas de medidas de ésta última de forma periódica (existe el proyecto de norma europea CEN/TC 264/WG 27, basada en la norma VDI 3940 sobre evaluación de la inmisión de olor a través de inspecciones de campo, lo que podría también utilizarse para compuestos químicos). Las medidas directas también sirven para calibrar los modelos de dispersión, utilizándose por tanto para realizar simulaciones del impacto en el entorno a los cambios en planta que se quieran efectuar.

Dentro de nuestro sistema de gestión tenemos incorporado:

- Medición diaria de sulfuros disueltos de las distintas aportaciones incorporadas a la planta. Las condiciones de operación y temperatura varían y por ello hay que tener un seguimiento combinado con estos parámetros.
- “Instrucciones de Calidad y Medioambiente” para el seguimiento de los sistemas de depuración de la emisión, en los que utilizamos un medidor de sulfhídrico portátil de sensibilidad 0,1 ppm, suficiente para estas fuentes.
- “Instrucción de Calidad y Medioambiente” para el control de la inmisión en distintos puntos definidos en el interior y entorno de la EDAR. Para esto, se emplea un olfatómetro de campo. El equipo permite crear una serie calibrada de diluciones discretas mediante la mezcla de aire con olor ambiental y aire libre de olor (que se ha hecho pasar por un filtro), que pueden ser evaluadas por un operador “calibrado” (Figura 2).

Esto se complementa con mediciones específicas del medidor de alta resolución de sulfhídrico para la identificación de problemas que se detecten en la medición de inmisión.

1.4. HAY ASPECTOS INCONTROLABLES O LIMITANTES, COMO SON LAS CONDICIONES AMBIENTALES O LOS LÍMITES PREVENTIVOS

Otros no, es por tanto necesario una vez asumida la emisión, captar, tratar y dispersar el aire depurado.

En España disfrutamos de un clima de elevadas temperaturas durante gran parte del año. Las depuradoras generalmente se sitúan alejadas de los núcleos urbanos, donde los terrenos son más baratos y se evitan las molestias a la población. Los sistemas de saneamiento han de sobredimensionarse para la capacidad punta de la población estacio-



FIGURA 2. Mediciones de inmisiones en EDAR Guadalhorce.

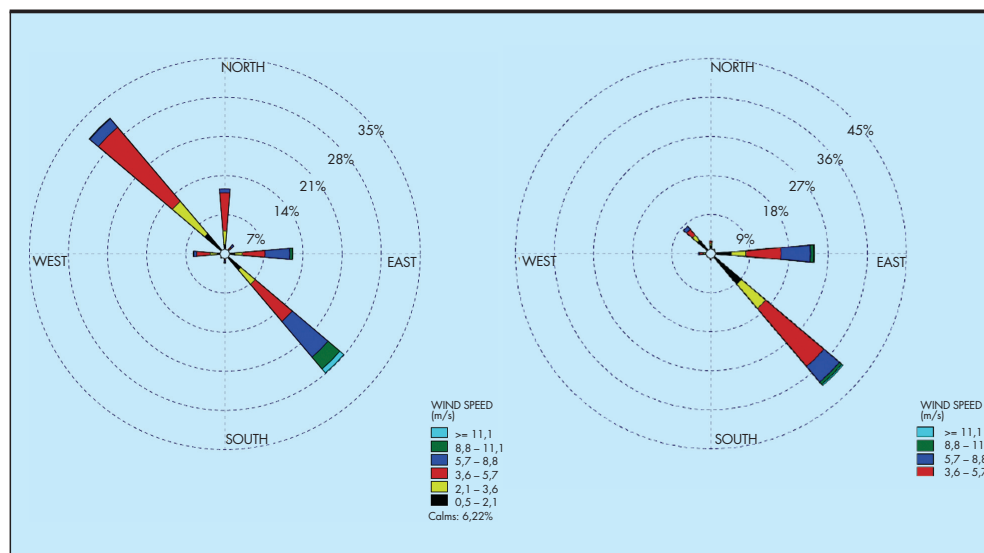


FIGURA 3. Rosa de los vientos predominantes EDAR Guadalhorce día/noche.

nal que nos visita en verano y los colectores han de encadenar sucesivos bombeos para llevar el agua residual a su tratamiento, después de un largo tiempo de recorrido. El calor y el tiempo de retención, crean las condiciones idóneas para que se generen los compuestos malolientes.

Las medidas de prevención tienen sus limitaciones en la fase líquida, siendo difícil lograr efectos de reducción del orden de 2 mg/l de H₂S con eficiencia (función/coste) en la actualidad por un único sistema de dosificación.

Las condiciones ambientales son clave para la detección de la molestia ocasionada. Por un lado, las temperaturas bajas de la noche estratifican el aire contaminado por la inversión de temperatura a poca altura del suelo ("cubierta atmosférica"). En la mezcla de olores, al diluirse debido a la dispersión atmosférica, los olores fuertes decrecen y aparecen otros.

En el año 2010 hicimos un estudio (Kiyota, Erika 2010) sobre estabilidad atmosférica en el entorno de la EDAR Guadalhorce, en el que obtuvimos datos muy significativos. La atmósfera es muy estable (lo que dificulta la dispersión de contaminantes) por la noche, con más del 80% de las noches del mes de Agosto en estabilidad F según la clasificación Pasquill-Gifford. Con objeto de cuantificar la incidencia de dicha estabilidad según simulador, la concentración de contaminantes a una distancia de 1000m de la EDAR puede ser 15 veces superior en el caso de una dispersión F (estable) frente a una estabilidad A (muy inestable) para una misma dirección de viento (Figura 3).

1.5. LAS EXIGENCIAS EXTERNAS SE HACEN CADA VEZ MÁS RESTRICTIVAS

Legales de medio ambiente, de seguridad e higiene, internas, de ahorro energético, etc.

Dos nuevas normas se suman este año a las ya existentes en la materia. Los nuevos límites TLV TWA/STEL adoptados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) para el H₂S en el año 2012, valor límite umbral de media ponderada (8/40 horas semana laboral) en el tiempo y de límite de exposición de corta duración (en 15 minutos), que han disminuido 5ppm pasando a 5 y 10ppm respectivamente. En Andalucía, el Reglamento de Calidad del Medio Ambiente Atmosférico (Decreto 239/2011) que considera a los malos olores como un agente de contaminación atmosférica (Anexo III). Establece como método de referencia para estas emisiones la

norma UNE-EN 13725 (olfatometría dinámica), no fija valores límite de emisión ni de inmisión, ni tampoco relaciona las actividades susceptibles de generar contaminación por olores. Afecta a las EDARs con tratamiento de residuos no peligrosos de capacidad superior a 50 t/día (reglamento IPPC). Es habitual establecer un Valor Límite en Inmisión (VLI) de olores, siendo el habitual de 3-5 UO_E más de 175 horas al año. En el resto de los casos las limitaciones vienen dadas por los valores de emisión e inmisión para el H₂S y NH₃ que determine la legislación vigente en cada momento.

EMASA en la actualidad incorpora impulsiones de aire limpio a las zonas de trabajo dentro de salas, en la observancia de ser la mejor forma de garantizar las condiciones de concentración, dado que el aire impulsado tiene un efecto de barrido amplio ya que mantiene la velocidad, a diferencia de los sistemas de aspiración en la que ésta cae drásticamente a muy poca distancia del punto de aspiración.

1.6. LA PREVENCIÓN ES LO PRIMERO

El tratamiento previo en la red de colectores, las buenas prácticas del ciudadano y el entorno industrial.

Se pueden tomar medidas de prevención. La adición de dosificantes es la de mayor repercusión. Se pueden aportar fuentes de oxígeno (oxígeno puro o nitratos), sales metálicas, principalmente de hierro, agentes oxidantes fuertes y ataques biológicos. Existe un sinfín de productos patentados con este objeto, sin embargo en la mayoría de los casos presentan limitaciones que vienen dadas por la seguridad personal, de las instalaciones o del proceso.

Existen datos teóricos conocidos de eficiencia mg/l de dosificante por mg/l de H₂S eliminado o prevenido. Se pueden hacer cálculos para conocer el H₂S generado (Pomeroy and Boon 1992). De tablas se obtiene una demanda media de oxígeno (respiración) (13-15 mg/l/h del agua y 700-780 mg/m²/h de capa biofilm). Esta cantidad, contrastable mediante ensayos de respirometría en el laboratorio (Robert P. G. et. al. 1985), sirve para conocer inicialmente las necesidades de este dosificante en colector forzado: $\text{demanda O}_2 \text{ (mg/h)} = \text{RatioO}_2\text{Agua} \left[\left(\frac{D2}{4} \right) L + \right] D L \text{ RatioO}_2\text{Biofilm}$.

La estrategia actual en EMASA es la adición de nitrato cálcico en las Estaciones de Bombeo y de sales de hierro a la entrada de la EDAR. Anteriormente estuvimos dosificando oxígeno puro en la impulsión del bombeo situado a 8 Km de la

planta, pero la acumulación de bolsas de gas en la conducción dificultaba la operación desde un punto de vista hidráulico.

Nuestra recomendación general es estudiar las condiciones particulares en cada caso para buscar la solución óptima.

1.7. EL DISEÑO, LA INTEGRACIÓN Y LA REINGENIERÍA ES FUNDAMENTAL PARA LOGRAR LA MÁXIMA EFICIENCIA DEL CONTROL

Las adiciones de dosificantes se calculan para la generación de H₂S en el colector forzado. Sin embargo a éste llega y vierten en su tanque de entrada del bombeo otras aguas que suponen un determinado nivel a la entrada de planta. Se eliminará con una aportación adicional o combinada, se hará previamente, o se asumirá cierto nivel de H₂S en la entrada a planta que tiene que ser tratado o asumido.

Con independencia de la posibilidad de regular en continuo las dosificaciones, se realizan controles avanzados basados en sistemas expertos, utilizando tablas generadas de históricos o programas de muestreos previos. Se puede conseguir una amplia variabilidad de casos de diferentes set-point para cada día.

Asumida la presencia de estos compuestos en el agua, el diseño de las plantas e instalaciones, y la captación y tratamiento que se le dé al gas, son claves en la minimización del impacto. Los aspectos más importantes a la hora del diseño de la ventilación serán: determinar el caudal de dilución teniendo en cuenta los flujos de emisión y los caudales internos o externos aportados al sistema, conseguir circulaciones de aire unidireccionales que eviten concentraciones estancas (la velocidad de atracción decrece inversamente proporcional al cuadrado distancia y el alcance de impulsión es 30 veces el de extracción), y mantener en los recintos presión negativa, evitando que se produzca una salida incontrolada por rendijas, puertas y paredes.

Lo aconsejable es disponer de una estrategia de movimiento del aire para el caso de tener que ventilar una nave o en general una zona cubierta. Se pueden plantear cuatro: pistón, estratificación, zonificación y mezcla. La solución de cubrimiento idónea es la creación de doble confinamientos, generando depresiones y llevando el aire a tratamiento. Los pequeños caudales de gran concentración a sistemas de tratamiento eficientes como los biofiltros percolador, y el de la nave, de mayor caudal y menor concentración, a un físico químico, carbón activado, combinación de ambos o incluso vertiendo directamente a la atmósfera.

En tecnología de tratamiento se están planteando ya con regularidad y eficacia soluciones de tratamiento mixtas, como varios scrubber o bioscrubber seguidos por etapas de purificación de filtro biológico o carbono activo. Se puede asimismo, encontrar estas etapas combinadas o multicapa en un solo tanque de forma que se reduzca al máximo el espacio a ocupar. Estos sistemas suponen en la mayoría de los casos mayor inversión, pero menor mantenimiento.

En la actualidad la dosificación del nitrato cálcico la hacemos basada en el caudal y la temperatura. En el caso de bombeos que no dispongan de caudalímetro estimamos por el número de bombas puestas en marcha.

Como estrategia general en nuevas instalaciones se plantea una configuración de confinamiento a primer nivel en tanques y equipos dispuestos con su sistema de extracción, albergados en una sala que disponga de zonas de aire limpio impulsado en las zonas de paso y trabajo y una extracción general que garantice la depresión de la sala respecto al entorno. Todo ello debe dotarse de los sistemas de control adecuados para minimizar el consumo energético para los sistemas de aire limpio y ventilación de sala: medidores de vacío, medidores de velocidad en tubería, medidores de sulfhídrico en sala, temporizaciones o sistemas de detección de personas.

1.8. SIEMPRE LA MENTE ABIERTA AL ESTUDIO, LA DOCUMENTACIÓN, LA FORMACIÓN, LA INICIATIVA Y LA INNOVACIÓN

Esta es la filosofía de trabajo moderna que permite a la empresa alcanzar cualquier objetivo que se proponga.

En la materia existen en la actualidad 4 laboratorios acreditados por ENAC para olfatometría, el portal olores.org, un grupo de consultoras en materia de olor, empresas comercializadoras de equipos de medición, dosificación, ventilación, higiene industrial, depuración de gas, etc. El CEDEX organiza este año la trigésima edición del Curso sobre Tratamientos de Aguas Residuales y Depuración donde la materia de olor tiene una importante dedicación. Existen interesantes fuentes de información tecnológicas en la materia, como los organismos de gestión de patentes americanas (USPTO) y europeas (ESPAENET), congresos sobre olores, y alguno dedicado al sector como el americano WEF.

Como línea de trabajo actual, al margen de las posibilidades de mejora en los sistemas de control de los sistemas de desodorización, que cada vez suponen un consumo energético mayor, cabe la posibilidad de transformar filtros de carbón activo o scrubbers de humidificación de biofiltros en bioscrubbers con pequeñas modificaciones. Recientemente hemos actuado reconvirtiendo un filtro de carbón en un bioscrubber con óptimos resultados

1.9. EL GESTOR TOMARÁ EN CONSIDERACIÓN ESTA MATERIA COMO UNA MÁS DENTRO DE SU PROGRAMA DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL

La medida y modelización de emisión de olor es lo mejor para caracterizar una instalación compleja y delimitar el impacto que ocasiona, pero al final el gestor necesita actuar de forma rápida y a un coste razonable. Por esta razón lo ideal es llevar un programa de monitorización no basado en la medición de emisiones, sino en la de inmisiones y medidas de control.

El programa medioambiental requiere prácticas que incluyan la monitorización continua, la optimización de las instalaciones y las buenas prácticas. Las operaciones de mantenimiento deben incluir esta materia como una más, inspeccionando visualmente y midiendo de forma periódica las inmisiones. Se debe realizar un análisis de potenciales problemas y de las medidas a adoptar para mitigar el mal olor.

Es interesante la recogida de señales en los sistemas SCADA de medidas como depresiones de sistemas de colectores, medidas ambientales en baja (interior nave y alcantarillas) y alta resolución de H₂S (exterior planta), medidas de monitorización de dosificación, caudales de aire, meteorológicas, etc.

Disponemos de distintas tecnologías de desodorización: sistemas químicos de doble etapa, biofiltros de distintos tipos, bioscrubber y filtros de carbón activo.

En el marco del sistema de calidad y medioambiente integrado ISO 9000-14000 se han incorporado las siguientes instrucciones:

- I-7-08-01 Control de Olores Línea Agua EDAR Guadalhorce.
- I-7-08-02 Control de Olores Línea Fangos EDAR Guadalhorce.
- I-7-08-03 Control de Olores Secado Térmico EDAR Guadalhorce.
- I-7-08-04 Control de Olores EDAR Peñón del Cuervo.
- I-7-08-06 Control de Inmisión de Olores Mediante Olfatometría en las Instalaciones de Depuración.



FIGURA 4. Análisis y mejora del sistema de gestión.

Básicamente se controlan los rendimientos de los distintos sistemas de desodorización y los parámetros más importantes, en función de las características tecnológicas de cada uno y sus particularidades. Se anotan los datos obtenidos en registros como seguimiento que nos permite observar las tendencias, lo que da lugar a actuaciones prematuras y a la detección de problemas existentes (Figura 4).

1.10. LA BUENA PRÁCTICA DE GESTIÓN SE RESUME EN APLICAR EL SENTIDO COMÚN CONOCIENDO LA BASE CIENTÍFICA DE LA GENERACIÓN DE OLORES

En el agua residual, los compuestos causantes del mal olor son producidos durante su transporte y tratamiento. Al objeto de soportar energéticamente a los microorganismos existentes (bacterias), se produce la degradación de la materia orgánica por oxidación (“respiración”), además de otras reacciones de fermentación. El oxígeno, los nitratos y en último término los sulfatos van aceptando electrones sucesivamente, para generar este último H₂S de forma predominante, así como en menor medida otros compuestos reducidos de azufre y, aminoras, aldehídos y ácidos orgánicos grasos entre otros gases.

De todos los factores que pueden influir en la molestia, se pueden destacar tres principalmente, temperatura, energía y mezcla. La temperatura, es el factor principal en la generación del H₂S en la fase líquida. Se estima que puede doblarse el ratio de producción cada 10°C. La agitación y la turbulencia del agua, consideradas como una pérdida de energía en la fase líquida, facilitan mucho la emisión de los compuestos volátiles como el H₂S. El conocimiento de las condiciones meteorológicas y del entorno determinará también el modo de actuar en cada caso.

Es evidente que no existe una receta universal y que en cada caso hay que estudiar la problemática que afecta a una instalación o sistema. Desde las características del agua potable, la temperatura del agua, las condiciones de la red de colectores, la industrial conectada, la composición del agua residual, las condiciones climáticas y el régimen de estabilidad atmosférica, el diseño de los bombeos y las EDAR, la presión del entorno, etc. condicionaran las posibilidades de resolver el problema.

Un amplio conocimiento de los mecanismos y condiciones de producción de los compuestos malolientes y de las solucio-

nes técnicas para combatirlos tanto en fase acuosa como en gaseosa, así como la incorporación en la gestión diaria de los parámetros más importantes que afectan a la generación de compuestos malolientes nos permite una minimización de dicho impacto diseñando una estrategia adecuada para cada caso.

2. BIBLIOGRAFÍA

City and County of San Francisco. 2009. TASK 600 Technical Memorandum No. 05 Odor control for treatment facilities. San Francisco Public Utilities Commission. Disponible en [pw://Carollo/Documents/Client/CA/SFPUC/7240A00/Final Draft PM-TM/600 System Configurations/Task600TM605_OdorControl-TreatmentPlants \(1\) \(Final Draft\)](http://www.sfpuc.org/Carollo/Documents/Client/CA/SFPUC/7240A00/Final Draft PM-TM/600 System Configurations/Task600TM605_OdorControl-TreatmentPlants (1) (Final Draft) [accedido 4 septiembre 2012].) [accedido 4 septiembre 2012].

Gostelow P., Parsons S.A. y Stuetz R.M. (2001). Odour measurements for sewage treatment works. *Water Research*. Vol 35 (3), pp 579-597.

Kiyota Beltrán, Erika. 2010. Estudio de la estabilidad atmosférica en el entorno de la EDAR de Guadalhorce (Málaga) y su influencia en la dispersión de olores. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga (inédito).

LAI-Schriftenreihe. TA. 2003. Determination and assessment of odour in ambient air (Guideline on odour in ambient air / GOAA) - 13th May, 1998, issued 7th May, 1999 and Translation March 2003. Comité de Control de Inmisión de los Länder (LAI). <http://www.lanuv.nrw.de/luft/gerueche/pdf/GOAA10Sept08.pdf> [accedido 4 septiembre 2012].

Pomeroy and Boon 1992. The problem of hydrogen sulphide in sewers. Disponible http://www.mullalyengineering.com.au/images/product/file/Problem_of_Hydrogen_Sulphide_in_Sewers.pdf [accedido 4 septiembre 2012].

Robert P. G. et. al. 1985. Design manual: odor and corrosion in sanitary sewerage systems and treatment plants. USA EPA. Disponible: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=300045C6.txt> [accedido 4 septiembre 2012].

Zarca Díaz de la Espina, Eduardo. 2013. Control de olores en depuración de aguas residuales. Ediciones Díaz de Santos (en prensa).