

Evaluación de los problemas de olores en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales: causas, efectos y soluciones.

Serra Bigas, Elvira, Pujadas Alcala Eloi*, Munte Pujol Joaquim***

**AudingIntraesa S.A*

*** Agencia Catalana de l'Aigua*

ebigas@audingintraesa.com

1 Introducción

Controlar la generación y la emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en los colectores y plantas de tratamiento de aguas residuales, es actualmente uno de los principales objetivos a conseguir en este tipo de instalaciones, para reducir y prevenir los posibles problemas relacionados con la seguridad de los operadores de las depuradoras y minimizar la percepción social negativa que los problemas de olores pueden generar. No obstante, la evaluación de los problemas de olores en las plantas de tratamiento de aguas residuales, es una actividad compleja, porque hay que considerar al mismo tiempo, muchas variables, ej. composición del agua residual, tipo de unidades de tratamiento, condiciones de operación, proximidad a zonas habitadas, etc....

El estudio y análisis de diferentes estaciones de bombeo y de tratamiento de aguas residuales, ha permitido desarrollar un procedimiento sistemático para controlar los problemas de olores en estas instalaciones.

El procedimiento desarrollador consta de distintas etapas. En primer lugar, se identifican y analizan las distintas fuentes de olores, ej. puntos de generación de sulfuro de hidrógeno (H_2S). A continuación, se estudian las instalaciones y áreas adyacentes, evaluando los inconvenientes generados por estas fuentes al personal de planta y a los vecinos. Finalmente, cuando se ha identificado la fuente de olor, y el problema potencial caracterizado, se sugiere para cada caso una propuesta de actuación, maximizando la seguridad del personal de planta y minimizando el impacto social que estos problemas pueden tener.

El estudio ha permitido detectar la existencia de tres tipos de problemas de olores: 1) problemas relacionados con los colectores y estaciones de bombeo, 2) problemas relacionados con la gestión de algunas unidades que forman parte de la estación de tratamiento de aguas residuales y finalmente 3) problemas relacionados con la estructura de las instalaciones, ej. sistemas de ventilación, torres de desodorización.

Todos los problemas de olores detectados en las distintas instalaciones de tratamiento de aguas residuales analizadas se han podido resolver utilizando las tecnologías disponibles, como la adición de un reactivo químico, y optimización de los sistemas de ventilación y desodorización; mientras que en otros casos únicamente se ha establecido la gestión de algunas unidades de la instalación.

De forma particular se ha podido determinar que la adición de reactivos químicos, tales como nitrato cálcico y cloruro férrico, en las estaciones de bombeo es un mecanismo efectivo para minimizar los problemas de olores relacionados con la generación y emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en los colectores y estaciones de bombeo.

El método desarrollado para calcular el tiempo de residencia del agua dentro de las estaciones de bombeo ha permitido predecir qué estaciones de bombeo tendrán problemas de generación y emisión de olores. En este sentido existen básicamente tres causas que provocan que los tiempos de residencia en las estaciones de bombeo sean demasiado elevados: 1) altura de parada de la bomba demasiado elevada, 2) dimensionamiento del pozo y 3) bombas demasiado grandes que funcionan pocas horas al día.

En el estudio que se presenta, también se han analizado los problemas de olores relacionados con la ingeniería de las instalaciones de ventilación y desodorización, lo que ha permitido detectar que los sistemas de ventilación tienden a ser deficientes, en algunos casos debidos a su diseño y en otros a su instalación, mientras que las torres de desodorización presentan también una serie de deficiencias en su diseño: 1) torres proyectadas para un caudal de aire demasiado pequeño, 2) diámetros de torre demasiado elevados, y 3) estimación incorrecta de la concentración de sulfuro de hidrógeno (H_2S) a eliminar.

2 Procedimiento sistemático para controlar los problemas de olores en las instalaciones de tratamiento de agua residual

El procedimiento desarrollado para evaluar los problemas de olores en las plantas depuradoras, y que se puede aplicar en cualquier estación de tratamiento de aguas residuales, está compuesto por tres etapas diferenciadas.

2.1 Identificación de las principales fuentes de emisión y generación de olores

El objetivo de esta primera etapa de evaluación es identificar cuáles son los principales puntos de generación y emisión de olores en una planta de tratamiento de aguas residuales. Para poder identificar las fuentes de olores, en primer lugar es necesario realizar un esquema completo de la planta depuradora, indicando todas las unidades que conforman la instalación e identificar si son un punto de generación o emisión de olores, o ambas cosas.

Esta primera etapa de identificación de las fuentes de olores permite determinar que, de forma general, los principales puntos de generación y emisión de olores en las estaciones de tratamiento de aguas residuales son los mismos.

2.1.1 Puntos de generación de olores

Los puntos de generación de olores detectados en las depuradoras de tratamiento de aguas residuales analizadas, están directamente relacionados con la unidad donde se pueden dar fácilmente condiciones de anaerobiosis, las cuáles favorecen el desarrollo de las bacterias sulfato reductoras que utilizan los sulfatos presentes en el sistema y los reducen a sulfuro de hidrógeno (H_2S). Los principales puntos de olores detectados son:

- Colectores y estaciones de bombeo: la generación de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en estas unidades tiene lugar principalmente en la capa de materia orgánica depositada sobre la pared de la tubería, o en los residuos que puedan quedar acumulados en el pozo de bombeo. Los colectores en los que el agua residual circula a contrapendiente y de largo recorrido se caracterizan por generar una mayor cantidad de sulfuro de hidrógeno (H_2S), ya que el tiempo de retención del agua en este tipo de colector es elevado, favoreciendo las condiciones de anaerobiosis. Lo mismo sucede en el caso de las estaciones de bombeo, cuando más elevado es el tiempo de permanencia del agua en el pozo de bombeo, más elevado el grado de generación de sulfuro de hidrógeno (H_2S).
- Decantador primario: los decantadores primarios pueden ser una fuente muy importante de generación de olores, especialmente si el agua residual de entrada tiene una concentración elevada de sulfuro de hidrógeno (H_2S) disuelto. Si se mantiene una capa de lodo adecuada, se puede reducir significativamente la generación de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en el fango sedimentado.
- Espesador de fangos: la generación de olores en el espesador, no únicamente se debe a los sólidos que sedimentan en el espesador sino también a las grasas y espumas que se pueden acumular en su superficie. La minimización del volumen de fangos para prevenir la formación de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en el fango sedimentado, y la limpieza frecuente de la capa superficial puede ayudar a reducir los olores en esta unidad.

2.1.2 Puntos de emisión de olores

La emisión de olores está relacionada con distintos factores: 1) solubilidad del gas, 2) concentración del compuesto en fase líquida, 3) coeficiente de transferencia de masa, relacionado con la turbulencia del agua, 4) temperatura, al aumentar la temperatura disminuye la solubilidad del gas y por tanto aumenta la emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S) y 5) pH, los pH bajos favorecen la emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S). La combinación de estos factores favorece la emisión de olores, siendo el grado de turbulencia o agitación del agua residual, el factor que provoca una mayor emisión de olores.

Los puntos de emisión de olores detectados en las plantas de tratamiento de aguas residuales analizadas están directamente relacionados con zonas donde hay cierta turbulencia.

- Arqueta o pozo de llegada del agua residual: el agua residual que llega por gravedad o impulsada desde una estación de bombeo puede tener una concentración elevada de sulfuro de hidrógeno (H_2S) disuelto en agua, si la entrada de esta agua en la arqueta o pozo de llegada se produce a una cierta altura, se puede producir la emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S) que estaba disuelto en el agua. En algunos casos la emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en esta unidad, se incrementa al recogerse en este punto los retornos de la depuradora. Los retornos de planta generalmente incluyen los drenajes de las centrífugas y los sobrenadantes del espesador, corrientes que se caracterizan por tener elevadas concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) disuelto.
- Desarenador – desgrasador: para el correcto funcionamiento del desarenador – desgrasador es necesario inyectar cierta cantidad de aire, la inyección de este aire produce una gran turbulencia en esta unidad que favorece la emisión de olores.
- Decantador primario: tal y como se ha comentado anteriormente, esta unidad es una fuente importante de generación de olores. El sulfuro de hidrógeno (H_2S) generado en esta unidad, se puede desprender fácilmente a la atmósfera debido a la elevada área superficial disponible en el decantador. Otro punto de emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en los decantadores primarios, es la salida del agua clarificada por los deflectores dentados, como consecuencia de la turbulencia que se crea en esta zona.
- Arqueta de drenajes del espesador y la centrífuga: la emisión de olores en estos dos puntos, está relacionado directamente con la generación de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en el espesador. Los drenajes que provienen del espesador contienen una cierta cantidad de sulfuro de hidrógeno (H_2S) disuelto que al caer dentro de la arqueta de drenajes del espesador se desprenden en forma de sulfuro de hidrógeno (H_2S) gas. En el caso de los drenajes de la centrífuga, el fango que proviene del espesador contiene cierta cantidad de sulfuro de hidrógeno (H_2S), al deshidratar el fango, el sulfuro de hidrógeno (H_2S) se mantiene disuelto en los drenajes, el cual se desprende en forma de sulfuro de hidrógeno (H_2S) gas, debido a la turbulencia que se produce al recogerse los drenajes en la arqueta correspondiente.

2.2 Evaluación de las afectaciones a los trabajadores y los vecinos

La segunda etapa del procedimiento sistemático desarrollado, consiste en estudiar las diferentes instalaciones y áreas adyacentes para evaluar las afectaciones que pueden tener los olores sobre los trabajadores y la población vecina.

2.2.1 Evaluación de las afectaciones a los trabajadores

Para evaluar las afectaciones que pueden tener la generación y emisión de olores sobre los trabajadores se toma como referencia los límites de exposición profesional por agentes químicos adoptados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo (INSHT). Estos límites de exposición permiten evaluar y controlar los riesgos inherentes a la exposición, principalmente por inhalación, a los agentes químicos presentes en el lugar de trabajo, y por tanto, proteger la salud de los trabajadores.

Partiendo de los límites de exposición establecidas por la ley para el sulfuro de hidrógeno (H_2S) se realizan medidas de concentración de este gas, en las distintas zonas de trabajo de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Este procedimiento permite identificar las zonas de trabajo donde las concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) medidas podrían suponer un peligro para la salud de los trabajadores.

En esta etapa de evaluación de las afectaciones que pueden tener las distintas fuentes de generación y emisión de olores sobre la seguridad y salud de los trabajadores, se ha determinado que es la sala de deshidratación, la zona de las depuradoras donde se originan atmósferas con una concentración de sulfuro de hidrógeno (H_2S) más elevada, y por tanto donde los trabajadores pueden estar expuestos a concentraciones de este gas superiores a las permitidas por la ley.

Se ha detectado también, que la zona de entrada de agua residual, y el pretratamiento, cuando se encuentran ubicados en el interior de un edificio, puede suponer un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores ya que en el interior de este edificio se pueden acumular concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) elevadas.

2.2.2 Evaluación de las afectaciones a los vecinos

Para evaluar las afectaciones que pueden tener las posibles fuentes de generación y emisión de olores sobre las zonas habitadas que se encuentran cerca de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, se analizan los puntos de emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S) que no disponen de ningún tipo de sistema de captación o tratamiento, favoreciendo la emisión de los olores que pueden salir a la atmósfera exterior. También se toman

medidas de concentración de sulfuro de hidrógeno (H_2S) a la salida de aire de todas las instalaciones de tratamiento de aire: torres de desodorización y biofiltros. Este control sobre las instalaciones de tratamiento de aire permite detectar cualquier problema de funcionamiento de estos equipos. Esta etapa de evaluación, ha permitido determinar que, existen dos causas principales de afectaciones por olores a los vecinos.

- Unidades de tratamiento de aire que no funcionan correctamente, generalmente debido a problemas de mantenimiento de algunos elementos que las conforman, y en otras ocasiones por un problema de dimensionamiento de las instalaciones, con extracciones insuficientes.
- Unidades de las instalaciones de tratamiento de agua residual que no disponen de ningún tipo de sistema de captación y tratamiento de aire y que, al no ser gestionadas correctamente son fuentes de olores, ej: espesador, decantadores primarios.

2.3 Propuesta de actuación para intentar solucionar el problema

La última de las tres etapas del procedimiento para evaluar los problemas de olores, es la propuesta de actuación para intentar solucionar los problemas de olores detectados en las dos etapas anteriores. Se han identificado tres tipos diferentes problemas de olores en función de su origen: 1) problemas relacionados con los colectores y las estaciones de bombeo, 2) problemas relacionados con la gestión de algunas unidades que conforman las plantas de tratamiento de aguas residuales, 3) problemas relacionados con la ingeniería de las instalaciones: velocidad de ventilación, torres de desodorización, biofiltros.

2.3.1 Problemas de olores relacionados con los colectores y las estaciones de bombeo

Las condiciones de septicidad que se pueden dar en algunos colectores favorecen la actividad anaerobia de las bacterias en ausencia de oxígeno y nitratos, favoreciendo la formación de sulfuro de hidrógeno (H_2S). Este hecho provoca problemas de emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en las estaciones de bombeo o en la zona de entrada de agua residual de la depuradora. Para resolver este problema el método utilizado es la adición de reactivos químicos; siendo los dos reactivos más utilizados para resolver los problemas de olores en los colectores y las estaciones de bombeo, el nitrato cálcico ($Ca(NO_3)_2$) y el cloruro férrico ($FeCl_3$). Se considera la adición de nitrato cálcico un método preventivo ya que la reducción anaeróbica del sulfato por las bacterias sulfato reductoras no se produce si el agua residual contiene oxígeno disuelto o algún aceptor de electrones termodinámicamente más favorable que el sulfato, como por ejemplo el nitrato (NO_3^-), mientras que la adición de cloruro férrico se trata de un método correctivo, ya que la adición de este reactivo no prevé la formación del sulfuro de hidrógeno (H_2S) sino que elimina el sulfuro de hidrógeno (H_2S) una vez formado, el hierro se combina químicamente con el sulfuro disuelto en el agua residual formando un precipitado soluble. Las sales de hierro actúan rápidamente y al no reaccionar con la materia orgánica presente en el agua residual pueden aplicarse en dosis elevadas pudiendo tratar colectores de varios kilómetros de longitud, sin perder su efectividad.

Los resultados del estudio realizado en las 70 depuradoras analizadas han permitido detectar que un 10% de las instalaciones presentan problemas de olores relacionados con los colectores y las estaciones de bombeo. La totalidad de estas depuradoras utilizan la adición de reactivos químicos como método para eliminar los problemas relacionados con la generación y emisión de ácido sulfúrico, cuatro de ellas utilizan la adición de nitrato cálcico para prevenir la formación de olores, dos utilizan la adición de cloruro férrico para precipitar en forma de sulfato el sulfuro de hidrógeno (H_2S) formado, y la restante utiliza los dos reactivos.

El estudio realizado ha permitido determinar que la adición de reactivos químicos es un mecanismo efectivo para minimizar los problemas de olores que presentan las plantas de tratamiento de aguas residuales, principalmente en las zonas de entrada de agua residual y pretratamiento.

La implantación y elección del reactivo químico a adicionar ha requerido un conocimiento y un análisis previo de la instalación donde se producían problemas de olores. Durante la realización del estudio se han detectado únicamente dos incidencias en las depuradoras de aguas residuales relacionadas con la adición de reactivos químicos en la misma planta depuradora. En dos ocasiones se detectaron concentraciones elevadas de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en la zona de entrada de agua residual y del pretratamiento, el aumento de la dosificación de cloruro férrico en las estaciones de bombeo donde se adicionaba este reactivo químico permitió reducir las concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en la entrada de la depuradora, y por tanto minimizar los problemas de olores.

Es importante destacar, que en la depuradora donde se registraron más incidencias relacionadas con los problemas de olores durante los dos años que duró el estudio, no presentó ningún tipo de incidencia relacionada

con la dosificación de reactivos químicos pero, esto no ha impedido que esta planta presentara problemas de olores en la zona de pretratamiento. En el estudio de los distintos puntos de generación y emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en la depuradora se detecta que uno de los principales puntos de emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S) se encuentra en la zona de desbaste. La dosificación de nitrato cálcico en dos de las estaciones de bombeo del sistema, así como la dosificación de $FeCl_3$ en otra estación de bombeo permitían eliminar la aportación de sulfuro de hidrógeno (H_2S) procedente de las estaciones de bombeo pero, en el pozo de entrada de la depuradora se continuaban detectando concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) elevadas, provocadas por el elevado contenido de sulfuro de hidrógeno (H_2S) de los drenajes de las centrífugas y de los espesadores. Para reducir esta aportación de sulfuro de hidrógeno (H_2S) se tuvieron que adoptar otras medidas basadas en la mejora de la gestión de los espesadores.

El resto de depuradoras analizadas que disponían de instalaciones de dosificación de reactivos químicos en las estaciones de bombeo, no presentaron ningún tipo de incidencia relacionada con estos equipos, y en todos los casos la dosificación de nitrato cálcico o cloruro férrico, ha permitido minimizar la generación y emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S), evitando los problemas de olores en la zona de entrada de agua y pretratamiento de las depuradoras.

Para intentar minimizar los problemas de olores en las estaciones de bombeo y reducir el consumo de reactivos químicos, se analizó la posibilidad de minimizar el tiempo de residencia del agua residual en las estaciones de bombeo ya que, de todos los factores que intervienen en la formación de sulfuro de hidrógeno (H_2S) a lo largo del recorrido de las aguas residuales hasta la depuradora, es el único modificable. Los otros factores: características del agua, pendiente de los colectores, velocidades de impulsión, y temperatura del agua, vienen impuestos.

El método de cálculo utilizado para determinar el tiempo de retención no es preciso debido a los numerosos factores que afectan a este parámetro pero, permite obtener una aproximación de este valor y predecir que estaciones de bombeo tendrán problemas de generación y emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S), a partir de estos valores se ha determinado que las estaciones de bombeo con valores de tiempo de retención superiores a los 20 minutos durante los meses de verano se consideraban problemáticas y en los bombeos posteriores a esta estación o en la entrada de agua residual en la depuradora pueden aparecer problemas de olores. El análisis de la forma de operar de estas estaciones de bombeo, ha permitido determinar que los valores elevados de tiempo de retención eran debido a tres motivos principales:

- Altura de parada de bomba demasiado elevada. Un parámetro clave que afecta al tiempo de residencia es la altura del agua en el pozo en el momento de parar las bombas. Por lo que deben ajustarse al máximo este valor, respetando al mismo tiempo la altura mínima de refrigeración de las bombas, establecida por el fabricante, así como el número máximo de arrancadas por hora.
- Dimensionado del nivel del pozo. Los pozos de gran superficie son en los que más se debe ajustar el nivel de la sonda o las boyas, ya que pequeñas variaciones de altura corresponden a volúmenes grandes de agua a desalojar. Aun así, se han detectado algunas estaciones de bombeo donde, debido a la dimensión del pozo, la única opción para evitar la formación de olores es la dosificación de reactivos.
- Bombas demasiado grandes que funcionan pocas horas al día. Las estaciones de bombeo medianas o pequeñas que disponen de bombas grandes sin variador de frecuencia se detecta que acostumbraban a presentar problemas de olores, ya que las bombas trabajan muy pocas horas al día, y entre arrancada y arrancada, el agua permanece demasiado tiempo en el pozo.

2.3.2 Problemas de olores relacionados con la gestión de algunas unidades de la depuradora

El segundo de los tipos de problemas de olores detectados en el estudio realizado, son los relacionados con la gestión de algunas de las unidades que conforman las plantas de tratamiento de aguas residuales, concretamente problemas de gestión del espesador, problemas provocados por instalaciones de desodorización no operativas, y errores puntuales de gestión que provocaron algún problema de olores. A continuación se describen los detalles de cada uno de ellos:

- Problemas de gestión del espesador. Al analizar en detalle la gestión del espesador, se comprobó que en ningún momento se controlaba la altura de la capa de fango en el espesador, y que el tiempo de retención del lodo en el espesador se gestionaba mediante la programación de las purgas de fangos y la arrancada diaria de una o dos centrífugas en función de la cantidad de fango purgada el día anterior. El nulo control sobre la altura de la capa de fangos provocaba que el tiempo de retención del fango en el espesador fuera más elevado de lo necesario, lo que favorecía la formación en el espesador de condiciones de anaerobiosis, responsables de la generación de sulfuro de hidrógeno (H_2S). Tampoco no se controlaba la dosis de cloruro férrico aplicada, ya que en un principio la instalación de dosificación

de este reactivo se ideó como una instalación provisional, sin ningún tipo de sistema de evaluación y seguimiento de su efectividad.

- Problemas provocados por instalaciones de desodorización y de dosificación de reactivos no operativas. Durante el periodo de estudio se detectaron un total de 50 incidencias relacionadas con las instalaciones de desodorización, acumulándose la mayor parte de ellas en una de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales con mayor número de equipos de desodorización.
- Errores puntuales de gestión que provocaron algún episodio de olores. Los errores detectados estaban directamente relacionados o bien con una deficiencia en el sistema de aireación del reactor biológico, que se solucionaron aumentando el aporte de oxígeno, y en uno de los casos se adicionó de forma suplementaria cloruro férrico a la salida del reactor biológico para disminuir los problemas de olores en la línea de fangos; o bien con un error al poner en funcionamiento los decantadores primarios sin que el sistema de dosificación de reactivo químico en el espesador estuviera operativo.

2.3.3. Problemas relacionados con la ingeniería de las instalaciones de ventilación.

Las instalaciones de ventilación de los sistemas de saneamiento presentan dos grandes diferencias en función de si las instalaciones están a la intemperie o en edificios cerrados. En el primer caso, el objetivo es evitar cualquier emisión odorífera que afecte al entorno, y en el segundo caso, se añade también la necesidad de garantizar condiciones de seguridad laboral. En este sentido, las instalaciones de aire están compuestas de dos etapas: en la primera, el aire contaminado de la sala es aspirado y transportado, bien hacia el exterior o bien si el sistema contempla la eliminación de compuestos contaminantes del aire, es transportado en una segunda etapa, a una unidad de desodorización. En las instalaciones en que no hay sistemas de desodorización, se capta el aire contaminado de la sala y se extrae a la atmósfera sin tratar, con el inconveniente de posibles molestias a los vecinos dependiendo de su proximidad. En las instalaciones que contemplan el tratamiento del aire después de su captación, el objetivo es eliminar los gases contaminantes para evacuar el aire a la atmósfera lo más limpio posible. Las unidades de tratamiento son torres de desodorización de lavado químico, torres de carbón activo, o bien torres absorbentes de alúmina activada impregnada químicamente con permanganato potásico.

Para evaluar los problemas de olores relacionados con la ingeniería de las instalaciones de ventilación y sistemas de tratamiento de aire, se analizaron las instalaciones de ventilación de 29 depuradoras, las cuales en algún momento se había producido algún problema de olores. Existen dos tipos de sistemas de ventilación en las salas: ventilación ambiental, que se puede llevar a cabo mediante un ventilador mural o con un ventilador con tuberías y rejillas; y ventilación localizada que permite captar el aire contaminado en el mismo foco de emisión, evitando que se esparza por toda la sala. De las 29 instalaciones analizadas se detectó que el 45% tenían instalado un sistema de ventilación ambiental con tuberías y rejillas, el 31% tenían ventilación localizada, y el 24% restante tenían ventilación ambiental con ventilador manual. La metodología desarrollada para analizar los sistemas de ventilación, permitió detectar toda una serie de deficiencias en los sistemas de ventilación las cuales afectaban a un 24% de los sistemas analizados y que se clasifican a continuación en función de si afectan al aporte de aire limpio del exterior o bien a la captación de contaminantes.

- Deficiencias que afectan la introducción de aire limpio del exterior. Al analizar las instalaciones se detectaron instalaciones donde no se había previsto una aportación de aire para substituir el aire contaminado a evacuar. Consecuentemente la ventilación era nula o deficiente, con el agravio que el ventilador, al trabajar en vacío, incrementa su nivel de ruido. Esta deficiencia se encontró en algunas salas de bombas de cámara seca, situadas a un nivel inferior del suelo. En otras instalaciones se detectó que las entradas de aire respecto a las salidas estaban ubicadas incorrectamente, si las entradas de aire exterior no están bien ubicadas, bien porque están demasiado elevadas o bien demasiado próximas a las salidas, se crea un circuito preferente del aire limpio que dificulta la evacuación del aire contaminado de las zonas muertas. La mayor parte de estos problemas se solucionan modificando los elementos de entrada del aire exterior para provocar un buen barrido del aire dentro de la sala.
- Deficiencias que afectan a la captación y extracción del aire contaminado. Al analizar las instalaciones se detectaron sistemas de ventilación con excesivas pérdidas de carga, que se producen por efectos de fricción a lo largo de todo el sistema de aire, disminuyendo la energía del aire con la dirección del flujo. Las pérdidas de fricción son de dos tipos: de fricción contra la superficie de las tuberías, y de turbulencias por la variación de la sección de los conductos o por cambios en la dirección del flujo. Un factor importante para el dimensionamiento de los conductos en relación a las pérdidas de carga es la velocidad del transporte de aire. En los sistemas donde el aire es aspirado y transportado por una única tubería que recorre las distintas salas, se ha detectado que las rejillas más próximas al ventilador aspiran del orden del 70-100% del caudal del ventilador, debido a las pérdidas de carga en la tubería, por lo que las zonas más alejadas del ventilador, que acostumbra a ser los pretratamientos, hay una carencia de ventilación. En las instalaciones donde las rejillas son graduables, se han solucionado los problemas de

pérdida de carga cerrando gran parte de las rejillas más próximas al ventilador y provocando que se aspire más de las zonas más alejadas. En algunos casos se ha pasado de no aspirar nada a aspirar un 15% del caudal del ventilador. En las instalaciones formadas por diversas tuberías en paralelo y un único ventilador para captar el aire de distintas salas se acostumbra a detectar que el ramal más cercano al ventilador es el que más aspira, circunstancia que no siempre es deseable si existen zonas problemáticas alejadas del ventilador. Este fenómeno se puede corregir con un correcto dimensionamiento de los diámetros de las tuberías, de forma que las tuberías más cercanas al ventilador tengan un diámetro inferior a las tuberías de más largo recorrido. La instalación de válvulas y de rejillas graduables también son elementos correctores en este sentido.

En algunas instalaciones también se ha detectado la falta de rejillas de aspiración, generalmente en salas grandes, donde hay recintos a niveles más bajos (sala de bombas, sala de desbaste....) y donde se procura instalar tuberías bajantes hasta el nivel inferior. En los casos estudiados, se detectan concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) de entre 10-20 ppm en estas salas, al ser insuficiente el sistema de ventilación.

La deficiencia más repetida en los sistemas de ventilación analizados es la poca capacidad del ventilador desde el punto de vista de su potencia o del caudal. Este hecho se ha detectado en aquellas instalaciones de tratamiento de aguas residuales donde la distribución de los equipos y de las salas a ventilar provoca que haya una gran distancia entre el ventilador y la zona a aspirar. En estos casos, si no se instala un ventilador con suficiente potencia para superar las pérdidas de carga de los tramos de tubería, la ventilación en la sala no es satisfactoria. En los sistemas que presentan este problema se ha optado por la instalación de ventiladores intermedios y el cierre gradual de las válvulas de las tuberías en paralelo. En referencia a la insuficiencia de caudal se han detectado algunas depuradoras donde se instaló un ventilador con un caudal de diseño insuficiente para garantizar las renovaciones/hora recomendables, generalmente se corresponde con salas de gran superficie con ventiladores murales de poco caudal. Es importante destacar que en ninguna instalación se han determinado ventilaciones que puedan garantizar más de 30 renovaciones/hora, siendo lo recomendado por los fabricantes de 50 a 80 renovaciones/hora. En salas pequeñas con un extractor mural, se puede optar para solucionar este problema con instalar un ventilador de mayor capacidad; en salas grandes con extractor mural, se debería substituir, siempre que sea posible, el extractor mural por una ventilación localizada.

2.3.4. Problemas relacionados con la ingeniería de las torres de desodorización.

Uno de los métodos más extendido de tratamiento de los gases procedentes de las depuradoras es el lavado químico, en la que la eliminación de los olores se produce por la reacción química de los compuestos olorosos en una disolución reactiva. Los gases que pueden ser eliminados son: aminas y derivados nitrogenados, sulfuro de hidrógeno (H_2S), mercaptanos y derivados del azufre, y otros compuestos de carácter orgánico como aldehídos, cetonas y fenoles.

El objetivo básico de diseño de los equipos de lavado por vía química es garantizar un tiempo de contacto con el aire a tratar y la solución química de lavado, para favorecer la oxidación o tratamiento de los compuestos olorosos. El correcto diseño de estos equipos es un cálculo complicado, en el que intervienen muchos parámetros, algunos de ellos de difícil estimación o medida. En primer lugar se calcula el caudal de aire partiendo del volumen de las salas a aspirar y las renovaciones/horas recomendadas, una vez determinado este caudal, se fija la velocidad del aire en la entrada de la torre, siendo los valores recomendados de 1,5 -2,5 m/s (WEF, 2004). De la división entre el caudal y la velocidad se determina el diámetro de la torre, mientras que mediante la concentración de sulfuro de hidrógeno (H_2S) a eliminar, y la dosificación de reactivos se determina la altura del relleno, que se recomienda que sea de entre 1,8 a 3,7 m (WEF; 2004). Una vez determinado el diámetro de la torre y la altura de relleno, se calcula la altura total del equipo.

Debido a su inversión inicial, a su coste de mantenimiento elevado y al consumo de reactivos químicos, las torres de lavado químico no son un sistema muy implementado en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. De las 70 instalaciones analizadas, únicamente 4 instalaciones disponían de torres de lavado químico, las cuales han sido objeto de análisis para determinar su capacidad de eliminación de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en función de su dimensionado. Este análisis ha permitido determinar una serie de deficiencias en los proyectos de diseño de las torres de lavado químico.

Algunas torres se han dimensionado estimando una concentración de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en las salas inferiores a la reales, por lo el rendimiento de la torre resulta insuficiente. Esta deficiencia se ha detectado en dos proyectos, en los cuales las torres fueron diseñadas para tratar concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) de 7 y 6 ppm, respectivamente, cuando en la realidad tratan concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) de 50 y

25 ppm. En otro proyecto se detectó que el cálculo del caudal de aire a tratar se había realizado con un número de renovaciones por hora demasiado pequeño. En este caso se determinó que el caudal que tendrían que tratar las torres para conseguir un número de renovaciones por hora adecuado tendría que ser tres veces superior al del diseño. Finalmente, se detectó en tres de los proyectos de diseño de torres de desodorización analizados que, la velocidad de entrada utilizada para el diseño de las torres era inferior a 1,5 m/s.

Al analizar el dimensionamiento de las torres de desodorización, también se evaluó la capacidad para eliminar sulfuro de hidrógeno (H_2S) de las torres de lavado, partiendo del caudal de diseño del ventilador, y calculando para distintas concentraciones de entrada de sulfuro de hidrógeno (H_2S) cuáles serían las concentraciones de salida de las torres de lavado. Este análisis permitió detectar que cuando la concentración de entrada no supera los 10 ppm, todas las torres de lavado químico de las 4 instalaciones de tratamiento de aguas residuales evaluadas pueden emitir una corriente de salida con una concentración de sulfuro de hidrógeno (H_2S) inferior a 1 ppm.

2.3.5. Problemas relacionados con el diseño de los biofiltros

El biofiltro es la instalación de desodorización más utilizada en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales objeto del estudio, en las cuales se analizaron los tres parámetros utilizados comúnmente para el diseño de estas instalaciones.

El primero de los parámetros analizados es la altura del lecho filtrante, determinándose que las alturas del lecho de los biofiltros analizados oscila entre 1 y 1,5 metros de profundidad, valores que se consideran correctos. Con mayor profundidad es difícil mantener homogéneamente humedecida la superficie del biofiltro y a menor profundidad se reduce la capacidad de tratamiento de los gases contaminantes.

El tiempo de retención es el segundo de los parámetros analizados. En el diseño de los biofiltros el objetivo es conseguir tiempos de retención altos. En referencia a las plantas de tratamiento de aguas residuales analizadas, únicamente en 3 de las 26 que disponen de un sistema de desodorización con biofiltro, no se consiguen tiempos de retención de 15 segundos, valor mínimo necesario para el tratamiento del aire. Los tiempos de retención calculados confirman las medidas de concentración de sulfuro de hidrógeno (H_2S) tomadas a la salida de los 23 biofiltros, donde se detectan concentraciones de 0 ppm, en condiciones normales de funcionamiento. En la eliminación de olores producidos por compuestos orgánicos, se puede garantizar que el 50% de los biofiltros estudiados tienen tiempos de retención superiores al tiempo mínimo recomendado para la eliminación de este tipo de compuestos, que es de 30 segundos.

El último de los parámetros analizados es el ratio de carga contaminante, el cual se considera que para un correcto diseño del biofiltro tiene que ser bajo. De los 26 biofiltros analizados, 22 tienen ratios de carga inferiores al máximo recomendable, que es de $216 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, y por tanto garantizan un elevado índice de eficiencia en la eliminación de olores. Las cuatro instalaciones que superan este valor máximo recomendado, pueden producirse problemas de saturación del lecho filtrante, lo que supondrá una menor eficiencia en la eliminación de olores y una reducción de la vida útil del medio filtrante.

3 Conclusiones

Los resultados obtenidos al analizar los problemas de olores en las estaciones de tratamiento de aguas residuales han permitido extraer una serie de conclusiones generales y una serie de conclusiones particulares para cada uno de los tipos de problemas de olores detectados.

- El procedimiento desarrollado para evaluar los problemas de olores en las estaciones de tratamiento de aguas residuales, conjuntamente con los mecanismos de control establecidos para realizar el seguimiento de los problemas de olores son aplicables para analizar los problemas de olores en cualquier tipo de depuradora.
- La gran variedad de problemas de olores detectados se pueden clasificar en tres grandes grupos en función del origen: 1) problemas de olores relacionados con los colectores y estaciones de bombeo, 2) problemas relacionados con la gestión de algunas unidades de la depuradora y 3) problemas de olores relacionados con la ingeniería de las instalaciones.
- Todos los problemas de olores detectados en las distintas depuradoras analizadas se han podido solucionar utilizando los mecanismos disponibles actualmente: adición de reactivos químicos y

optimización de los sistemas de ventilación y desodorización, en otros casos únicamente mejorando la gestión de algunas unidades de la depuradora se han conseguido minimizar los problemas de olores.

- La adición de reactivos químicos, tales como nitrato cálcico y cloruro férrico, en las estaciones de bombeo ha demostrado ser un mecanismo efectivo para minimizar los problemas de olores relacionados con la generación y emisión de sulfuro de hidrógeno (H₂S) en los colectores y estaciones de bombeo.
- El método desarrollado para calcular el tiempo de residencia del agua dentro de las estaciones de bombeo permite predecir que estaciones de bombeo tendrán problemas de generación y emisión de olores. En este sentido son tres las causas que provocan que el tiempo de residencia en las estaciones de bombeo sea demasiado elevado: 1) altura parada de bomba demasiado elevada, 2) dimensionamiento del pozo, y 3) bombas demasiado grandes que funcionan pocas horas al día.
- Los sistemas de ventilación de las depuradoras acostumbran a ser deficientes, en algunos casos debido al diseño, y otros a su instalación. Un 76% de los sistemas estudiados presentan algún tipo de deficiencia. Cortocircuitos del aire limpio o pérdidas de carga en las tuberías que provocan que sea habitual detectar zonas con más sulfuro de hidrógeno (H₂S) dentro de las salas. La insuficiente capacidad del ventilador es otro factor extendido en el diseño de las instalaciones y los ratios de renovaciones por hora, no acostumbran a ser los recomendados por la literatura.
- Las torres de desodorización estudiadas presentan un conjunto de deficiencias en su diseño: 1) se proyectaron para un caudal de aire pequeño, 2) el diámetro de la torre es demasiado grande y la velocidad de aire es baja, y 3) no se estimó correctamente la concentración de sulfuro de hidrógeno (H₂S) a eliminar. Estas deficiencias afectan al rendimiento de la torre, siendo inferior al proyectado, y consecuentemente no pueden asumir en su totalidad la entrada de altas concentraciones, con la correspondiente emisión de olores.
- Los biofiltros, en general están bien dimensionados. Los tiempos de retención y ratios de carga contaminante en la mayoría de los casos estudiados se ajustan a los recomendados en la literatura. La medida de concentraciones bajas de sulfuro de hidrógeno (H₂S) a la salida de los biofiltros confirman su buen diseño.

4. BIBLIOGRAFIA

CEDEX (2006). XXIV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. Tomo nº2. Ministerio de Fomento. Madrid.

EPA (1985). Odor and corrosion control in Sanitary Sewerage Systems and Treatment Plants. Office of Research and Development. Cincinnati (USA). EPA/625/1-85/018.

EPA (1991). Sewer System Infrastructure Analysis and Rehabilitation. Office of Research and Development. Cincinnati (USA). EPA/625/6-91/030.

Joseph Gerald T. and Beachler David S. (1998). Scrubber System Operation Review. APTI Course SI:412C. Second Edition. North Carolina State University.

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

WEF (2004). Control of Odors and Emissions from Wastewater Treatment Plants. Manual of Practice nº 25. Water Environment Federation, Alexandria (USA).

www.ecotec.es

www.epa.gov

www.mtas.es/insht

www.soler-palau.com

www.plastoquimica.com