

**CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO DE LA
INSTALACIÓN DE CAPTACIÓN Y DESODORIZACIÓN DE
AIRE EN ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS
RESIDUALES (E.D.A.R.)**

Jorge E. Chamorro Alonso
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

ÍNDICE

1.	INTRODUCCION.....	1
2.	GENERACION DE OLORES EN UNA E.D.A.R.	2
2.1.	COMPUESTOS GENERADORES DE OLORES.....	2
2.2.	FORMACIÓN DE OLORES.....	2
2.3.	CANTIDAD DE OLORES.....	3
3.	PARAMETROS DE DISEÑO	4
4.	CLASIFICACION DE ZONAS	5
4.1.	ZONAS ALTAMENTE CONTAMINADAS SIN ACCESO DE PERSONAL.....	5
4.2.	ZONAS CONTAMINADAS CON ACCESO DE PERSONAL	5
4.3.	ZONAS A MANTENER SIN CONTAMINACIÓN	6
5.	METODOLOGIA.....	7
5.1.	DETERMINAR EL CAUDAL DE AIRE A TRATAR	7
5.2.	DETERMINAR EL CAUDAL DE AIRE PARA EVITAR EL EFECTO “LLUVIA”	7
5.3.	DETERMINAR EL NÚMERO DE UNIDADES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AIRE.....	8
5.4.	DETERMINAR LA ALTURA DE LA CHIMENEA.....	9
5.5.	DETERMINAR EL CAUDAL MINIMO DE AIRE A EXTRAER	10
5.6.	REALIZAR UN ANALISIS DE RIESGOS.....	10
6.	EJEMPLO.....	11
6.1.	DETERMINAR EL CAUDAL DE AIRE A TRATAR	11
6.2.	DETERMINAR EL CAUDAL DE AIRE PARA EVITAR EL EFECTO “LLUVIA”	14
6.3.	DETERMINAR EL NÚMERO DE UNIDADES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AIRE.....	14

6.4.	DETERMINAR LA ALTURA DE LA CHIMENEA.....	15
6.5.	DETERMINAR EL CAUDAL MINIMO DE AIRE A EXTRAER	15
6.6.	REALIZAR UN ANALISIS DE RIESGOS.....	15
6.6.1.	Descripción de los fallos del sistema.....	16
6.6.2.	Determinación de daños	16
6.6.3.	Análisis de riesgos	17
7.	CONCLUSIONES	18

1. INTRODUCCION

Una de las mayores afecciones medioambientales de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (E.D.A.R.) son las derivadas de la producción de olores de los diferentes procesos.

Independientemente de que una gestión adecuada de las instalaciones es el mejor sistema para reducir la generación de olores, no cabe duda de que alguna de las instalaciones (por su propia tipología) son poco susceptibles de reducir las emanaciones olorosas (entre las que destaca los contenedores de arenas, residuos sólidos, grasas y sobrenadantes, así como los depósitos de espesamiento por gravedad y depósitos de almacenamiento de fangos) por lo que se debe de disponer de un sistema de tratamiento de olores adecuado.

Hasta ahora, la mayoría de las instalaciones de desodorización de las E.D.A.R. se han diseñado atendiendo exclusivamente a criterios de renovaciones por hora del volumen de aire existente en los recintos, sin tener en cuenta otras consideraciones como la generación de olores, lo que daba lugar a situaciones tan paradójicas como que la capacidad del sistema de desodorización dependía exclusivamente del volumen de un edificio cuando, obviamente, debía de depender de la generación de olores y, por lo tanto, de los umbrales de toxicidad y niveles de percepción.

Las renovaciones por hora (entre 7 y 10) han llevado a sobredimensionar las instalaciones de desodorización lo que se ha traducido en la siguiente problemática:

- 1) Las instalaciones en servicio continuo presentan unos consumos energéticos elevados no justificados con relación a su eficacia
- 2) Dado que el aire a desodorizar no tiene las concentraciones previstas, se produce un arrastre, en los aires tratados en las torres de desodorización, con reactivos químicos agresivos que suelen afectar al entorno, con especial incidencia sobre la flora de las inmediaciones dado su elevado nivel de exposición.
- 3) Algunas instalaciones, para evitar los problemas anteriores, se temporizan y si carecen de sensores, se pueden superar las consignas establecidos para los umbrales de toxicidad y de los niveles de percepción.

Otra de las causas del sobredimensionamiento de las instalaciones de desodorización es la de sumar, de forma indiscriminada, todos los caudales de aire estimados en cada uno de los focos productores de olores sin tener en cuenta que la probabilidad de que se produzcan la máxima capacidad de olores en todas las instalaciones a la vez es muy baja ni que la necesidad de mantener las consignas de los umbrales de toxicidad en todos los recintos sea obligatoria (máxime cuando los márgenes de seguridad adoptados son elevados).

A tenor de lo expuesto anteriormente, se pretende poner de manifiesto la necesidad de adoptar criterios mas representativos que las renovaciones por hora (tan sensibles a los volúmenes de los edificios) y de racionalizar el tamaño de las instalaciones de

desodorización para que, haciéndolas lo mas flexibles posibles, puedan permitir al gestor de las instalaciones alcanzar la mayor efectividad posible al menor coste tanto de inversión como de producción.

2. GENERACION DE OLORES EN UNA E.D.A.R.

2.1. COMPUESTOS GENERADORES DE OLORES

Los principales compuestos que son la causa de malos olores en E.D.A.R. provienen, en general, de cuatro grandes grupos:

- 1) Derivados del Azufre: Sulfuro de hidrógeno (H_2S), mercaptanos (CH_3SH , C_2H_5SH) y sulfuros orgánicos
- 2) Derivados del Nitrógeno: Amoníaco (NH_3) y aminas orgánicas (CH_3-NH_2 , $C_2H_5-NH_2$)
- 3) Derivados Ácidos: Ácidos Grasos Volátiles (AGV) (Acético (CH_3-COOH), Valerico (C_4H_9-COOH) y Butírico (C_3H_7-COOH))
- 4) Derivados de aldehídos, acetonas y esterés

2.2. FORMACIÓN DE OLORES

La formación de los olores es debida a un proceso de fermentación que se desarrollan en un medio reductor:

- 1) Las bacterias sulfatoreductoras reducen los sulfatos y los ácidos sulfónicos (RSO_3H) en sulfuros. Las bacterias responsables (Desulfovibrio y desulfatomaculum) son anaerobias estrictas que se desarrollan en un rango de potencial redox comprendido entre -200 y - 300 mV, observándose, en la práctica, presencia de olores asociados a la presencia de H_2S con potenciales redox inferiores a -50 MV
- 2) Los compuestos asociados al nitrógeno (principalmente amoníaco y aminas) provienen de la urea, de la degradación biológica de proteínas y de ácidos amínicos, y de la hidrólisis de compuestos orgánicos nitrogenados.
- 3) La formación de aldehídos, cetonas y AGV están, en gran parte, originados por la fermentación bacteriana de carbohidratos que son transformados, sucesivamente, en ácidos, alcoholes, aldehídos y cetonas.

Las instalaciones de las E.D.A.R. que son fuente de olores son las obras de llegada (elevación de agua bruta y pretratamiento), los decantadores primarios, las zonas no aireadas de los tratamientos biológicos, los decantadores secundarios (por superficie), los espesadores, el secado mecánico de fangos y el almacenamiento de los mismos.

Los principales compuestos son el sulfuro de hidrógeno y, mayoritariamente, los metil mercaptanos y, en menor medida, los derivados del azufre.

2.3. CANTIDAD DE OLORES

El problema más importante es establecer la cantidad de olores que generan las aguas residuales y los fangos generados en las E.D.A.R. en la etapa de proyecto, cuando las instalaciones aun no están en funcionamiento.

En numerosas publicaciones se exponen las concentraciones de determinados compuestos odoríferos expresadas en mg por m³ de aire, de forma independientemente de los caudales de agua tratados.

Es obvio, que la generación de olores de una cantidad determinada de agua depende directamente de la superficie en contacto con la atmósfera, de su grado de agitación y, por supuesto, de las temperaturas del agua y del aire de su entorno.

De varios estudios olfatométricos realizados en E.D.A.R. de varias zonas de España, se propone, como primera aproximación, las siguientes producciones de olores en función de la superficie de contacto:

	Baja	Media	Elevada
Pozo de Gruesos	100.000	150.000	300.000
Bombeo	100.000	150.000	300.000
Canales de Desbaste	100.000	150.000	300.000
Zona contenedores	300.000	450.000	900.000
Desarenador	12.500	18.750	37.500
Canal de alimentación a decantación	75.000	125.000	275.000
Decantacion primaria	50.000	100.000	250.000
Canal de alimentacion a biológico	5.000	10.000	25.000
Balsas biologicas Zonas no aireadas	5.000	10.000	25.000
Balsas Biológicas Zonas aireadas	2.500	5.000	12.500
Decantador secundario	3.750	7.500	18.750
Canal de agua de salida	2.500	5.000	12.500
Tamices de fangos	300.000	450.000	900.000
Espesadores de gravedad	300.000	450.000	900.000
Espesadores de flotación	2.500	5.000	12.500
Postespesadores	300.000	350.000	450.000
Centrifugadoras	300.000	350.000	450.000
Almacenamiento de fangos	300.000	350.000	450.000

Tabla 1. Producción de olores (UOE/metro cuadrado de superficie en contacto liquido-aire/hora).

Evidentemente, se considera necesario que, una vez puesta en marcha la E.D.A.R. se hagan mediciones periódicas (aconsejable semestralmente, mínimo una vez al año) de la producción de olores para verificar no solo que la producción de olores sea inferior a la prevista, sino que el sistema de tratamiento de aire garantiza que en el entorno se producen las condiciones deseadas.

3. PARAMETROS DE DISEÑO

Para diseñar un sistema de desodorización de una E.D.A.R. se propone partir de los siguientes supuestos:

- 1) Tomar como producción de olores el valor medio de la Tabla 1, salvo que se tengan otros valores contrastados.
- 2) Establecer el nivel de 5 uoE/m³ percentil 98 recomendado en el borrador de la IPPC denominado “Horizontal Guidance for Odour”, publicado por la Agencia de Medio Ambiente de Inglaterra y Gales en colaboración con la Agencia de Protección Medioambiental de Escocia (SEPA) y el Servicio de Medio Ambiente de Irlanda del Norte, como nivel que garantiza que las molestias al entorno no son apreciables.
- 3) Establecer como máxima concentración de olores, a la entrada del sistema de tratamiento, 5.000 UOE/m³.
- 4) Establecer como rendimiento medio del sistema de desodorización el 95 % en la reducción de las unidades olfatómicas
- 5) Establecer la altura de la chimenea para una salida de aire desodorizado con 250 UOE/m³.
- 6) Establecer como máxima concentración de olores en el interior de recintos de la E.D.A.R.:
 - a. Sin presencia de operarios 50.000 UOE/m³
 - b. Con presencia esporádica de operarios 10.000 UOE/m³
 - c. Con presencia continuada de operarios 1.000 UOE/m³.

Con valores de entrada en el sistema de tratamiento del aire próximos a 5.000 UOE/m³ se debe poder garantizar que, el rendimiento del mismo, esté por encima del 95 %.

La altura de la chimenea depende de la cantidad de unidades olfatómicas y de las condiciones climáticas y topográficas de la zona, por lo que son relevantes tanto el caudal de salida como la concentración en UOE/m³.

En zonas sin la presencia de operarios (espesadores de gravedad, postespesadores, etc.) se puede alcanzar concentraciones más elevadas, por debajo de los 50.000 UOE/m³, siempre y cuando cualquier fallo del sistema de desodorización no lleve este aire contaminado a recintos cerrados donde pueda haber presencia de operarios.

Con 1.000 UOE/m³ es posible asegurar que el nivel de confort de los operarios no se verá afectado en cuanto a los olores presentes en la sala y no deberán de adoptar medidas protectoras de ningún tipo.

Con 10.000 UOE/m³ es muy probable que no se superen los umbrales de exposición máximos permitidos por la legislación vigente, expuestos en la Tabla 2, no obstante las condiciones de confort, en cuanto a olores, no serán las más adecuadas posibles y, es muy probable, que se requiera el uso de protecciones individuales para poder entrar en esas zonas.

	mg/m ³	Ppm
Sulfuro de hidrógeno (SH ₂)	14	10
Amoniaco (NH ₃)	18	25
Metilmercaptanos (CH ₃ SH)	1	0,5
Metilaminas (CH ₃ NH ₂)	12	10

Tabla 2. Umbral de exposición (gramos/metro cúbico y ppm)

Independientemente del nivel de olores establecidos para cada zona, se considera necesario disponer de equipos de medida de SH₂ y de ausencia de oxígeno (con alarmas incluidas) en todas aquellas zonas en las que pueda entrar el personal operador máxime si la zona se ha catalogado como espacio confinado.

4. CLASIFICACION DE ZONAS

En las E.D.A.R. es necesario catalogar las zonas con objeto de establecer las condiciones exigibles a las mismas y que sean compatibles con el objeto que se persigue.

Inicialmente las zonas de una E.D.A.R. se clasifican, en función de su nivel de olores, en:

- Zonas altamente contaminadas sin acceso de personal
- Zonas contaminadas con acceso de personal
- Zonas a mantener sin contaminación

4.1. ZONAS ALTAMENTE CONTAMINADAS SIN ACCESO DE PERSONAL

Son aquellas zonas en la que no se prevé la presencia de personal y que presentan un elevado índice de contaminación (por ejemplo las láminas de agua con una cubierta como primera piel) y que, para evitar escapes, se encuentran en depresión con valores del orden de -10 mm.c.a.

Debido a que no hay personal en su interior los caudales a extraer dependerán de otros factores tales como la evaporación producida, admitiéndose valores de hasta 50.000 UOE/m³ salvo en aquellos casos en lo que un fallo en el sistema de extracción de aire, pueda contaminar otras zonas con acceso de personal, en cuyo caso, se recomienda que el nivel de contaminación no supere las 10.000 UOE/m³, si la presencia de los operarios es constante (80 % de la jornada laboral) se recomienda mantener la concentración por debajo de las 1.000 UOE/m³.

Estas zonas requieren que, cuando se realicen operaciones singulares de mantenimiento en las que sea necesaria la presencia de personal dispongan de un sistema de ventilación que garantice las condiciones de seguridad necesarias para la realización de los trabajos.

4.2. ZONAS CONTAMINADAS CON ACCESO DE PERSONAL

Son aquellas zonas en la que se prevé la presencia de personal y que presentan un índice de contaminación alto e inevitable (por ejemplo deshidratación mecánica de fangos,

desarenadores, decantadores circulares, etc.) que también se encuentran en depresión con valores del orden de -5 mm.c.a.

Debido a que hay personal en su interior los caudales a extraer son más exigentes para evitar que se alcancen concentraciones de sustancias que puedan ser perjudiciales para la salud de las personas. Como factor de seguridad, que generalmente garantice la ausencia de sustancias en concentraciones peligrosas, se recomienda que el nivel de contaminación no supere las 1.000 UOE/m³

Además se deberán de adoptar medidas complementarias como la instalación de detectores de SH₂ y de ausencia de oxígeno que pueden poner en automático la máxima capacidad de extracción de la zona, pongan en marcha una alarma sonora y acústica que avise a los trabajadores para evitar que entren en la misma mientras se mantengan las condiciones de peligro.

En este tipo de zonas, especialmente las que tengan lámina de agua, la evaporación puede condicionar los volúmenes de aire a extraer, y, por tanto, a tratar en el sistema de desodorización, recomendándose no superar valores de humedad relativa por encima de 65 % para evitar el efecto “lluvia” en el interior como consecuencia de la temperatura de rocío.

En muchas ocasiones, el volumen de aire necesario para evitar el efecto “lluvia” es tan elevado que es mejor disponer de una Unidad de Tratamiento de Aire (UTA) que acondicione el aire en el interior de la zona y evitar diseñar un sistema de desodorización para caudales tan elevados y con bajas concentraciones de UOE/m³.

4.3. ZONAS A MANTENER SIN CONTAMINACIÓN

Son aquellas zonas en la que, por la presencia de personal administrativo o la existencia de equipamiento eléctrico o electrónico, es recomendable y deseable que se mantengan libres de contaminación, por lo que se mantienen con una sobrepresión (con valores entre 5 y 10 mm.c.a.) para garantizar, en todo momento, que el aire procedente de zonas contaminadas (en depresión) no pueda entrar en las mismas (desarenadores, etc....) que también se encuentran en depresión

Los caudales de ventilación vendrán regulados por la legislación vigente en materia de seguridad laboral y condiciones medioambientales de los centros de trabajo.

5. METODOLOGIA

Para el correcto diseño de un sistema de desodorización se deberán de seguir los siguientes pasos:

- 1) Determinar el caudal de aire a tratar
- 2) Determinar el caudal de aire para evitar el efecto “lluvia”.
- 3) Determinar el sistema de tratamiento de aire
- 4) Determinar la altura de la chimenea de salida de olores
- 5) Determinar el caudal de aire mínimo necesario a extraer
- 6) Realizar un análisis de riesgos

5.1. DETERMINAR EL CAUDAL DE AIRE A TRATAR

Establecer el caudal de aire aconsejable a extraer y, por consiguiente, a tratar de cada una de las zonas mediante la fórmula:

$$\text{Caudal de aire (m}^3\text{/h)} = \frac{\text{Superficie lámina de agua (m}^2\text{)} * \text{Concentración (UOE/m}^2\text{/h)}}{5.000 \text{ (UOE/m}^3\text{)}}$$

En aquellas instalaciones en las que se introduce aire por necesidades del proceso (desarenadores, zonas aireadas, etc.) se debe de verificar que el caudal a tratar debe de ser superior o igual al introducido por las soplantes en las condiciones de máxima necesidad.

Para evitar incrementar los caudales de aire que se envían a tratar, como consecuencia del aire aportado por las soplantes, es aconsejable que el aire de estas zonas se utilice como aire de arrastres de otras zonas mas contaminadas.

Si los caudales de aire a tratar son muy elevados y no pueden tratarse en una sola instalación de aire se puede optar por las siguientes alternativas:

- 1) Disponer de varias instalaciones de desodorización
- 2) Disponer de desodorizaciones locales en determinadas zonas para reducir las unidades olfatómicas y, por consiguiente, los caudales de aire a tratar en la instalación final

5.2. DETERMINAR EL CAUDAL DE AIRE PARA EVITAR EL EFECTO “LLUVIA”

En general, cuando se decide desodorizar una E.D.A.R. lo mejor es disponer de una primera piel lo mas hermética posible para evitar una dispersión de los olores y mejorar el confort de los operarios.

Sin embargo, existen determinadas instalaciones en una E.D.A.R. en las cuales no es posible disponer bien de una primera piel hermética o bien de cualquier tipo de primera piel, fundamentalmente por tener equipos de extracción (rejas, tamices, etc.) o disponer de puentes móviles con rasquetas, caso de los desarenadores y los decantadores.

Para estas instalaciones que carecen de primera piel o esta no es lo suficientemente hermética para garantizar que la evaporación se mezcle con el aire ambiente, es necesario estudiar cuales son los caudales necesarios para evitar el efecto “lluvia”.

Para evitar este fenómeno basta con limitar la humedad relativa por debajo del 65 % y, dependiendo de las condiciones exteriores, el caudal a introducir puede ser mayor que el necesario para limitar las unidades olfatómicas por debajo del umbral de las 10.000.

En numerosas ocasiones, especialmente en invierno, es posible que no baste con introducir aire exterior para mantener la humedad relativa por debajo del 65 %, en cuyo caso se aconseja la instalación de una UTA para el control de la humedad relativa.

Hay que tener en cuenta que la evaporación de la lámina de agua supone, además de un aporte de humedad, una variación de la temperatura, por lo que hay que tener en cuenta otros factores como el aporte de aire exterior, la potencia instalada en la zona, etc. para evaluar los cambios en el ambiente de cada zona o edificio.

Para el cálculo de la evaporación se pueden utilizar varias de las fórmulas existentes en la literatura profesional y que tienen en cuenta tanto la velocidad del aire como la presión de vapor saturado y la presión parcial de vapor en el aire.

5.3. DETERMINAR EL NÚMERO DE UNIDADES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AIRE

Una vez establecido tanto el caudal de aire a tratar como su nivel de contaminación (UOE/m³), es necesario definir el número de unidades y las ubicación del sistema de tratamiento de aire.

No es objeto de este artículo establecer cual de los sistemas de tratamiento de aire existentes en el mercado (vía química húmeda, vía química seca, biológica, aceites vegetales, etc.) es el mejor o mas adecuado, pues depende de numerosos condicionantes que deben de analizarse para cada caso. Lo que si se debe de exigir es que el rendimiento mínimo en la reducción de eliminación de unidades olfatómicas sea igual o superior al 95 %.

Lo ideal sería que el sistema de tratamiento este unificado y que todo el aire tratado se extraiga por una sola chimenea, de tal forma que tanto los reactivos como el control se pueda centralizar lo máximo posible, mediante un número de unidades tal que la capacidad máxima unitaria no sobrepase los 100.000 m³/h.

En muchas ocasiones, el tratamiento unificado exige unos desarrollos de tuberías que lo hacen inviable desde el punto de vista económico de primera inversión, optándose por sistemas zonales que demandan menos desarrollos de tuberías pero que obligan a disponer de Almacenamientos de Productos Químicos (APQ) duplicados (caso de optarse por la vía química húmeda) o tuberías de reactivos químicos con grandes longitudes y dos o mas chimeneas de evacuación del aire desodorizado.

Otra solución, si los caudales de aire a tratar son muy elevados y no pueden tratarse en una sola instalación de aire, es optar por disponer de desodorizaciones locales en determinadas zonas para reducir las unidades olfatómicas y, por consiguiente, los caudales de aire a tratar en la instalación final

5.4. DETERMINAR LA ALTURA DE LA CHIMENEA

Una vez establecidos los caudales de aire a desodorizar y el sistema de tratamiento (unificado, disperso, con desodorizaciones parciales, etc.) es necesario realizar un estudio de propagación de los olores para establecer la altura de la o las chimeneas de evacuación de los aires tratados.

Mediante la aplicación del modelo de dispersión Gaussiano, se puede calcular la concentración de olor resultante en un determinado punto (x,y,z) como consecuencia de las emisiones producidas por una serie de fuentes.

Los coeficientes de dispersión son función de las condiciones atmosféricas, la altura sobre el suelo, la topografía terrestre y la distancia a la fuente. Los modelos existentes en el mercado escogen el coeficiente adecuado basándose en los valores que el usuario introduce en el modelo para los diferentes parámetros.

Además, los modelos informáticos permiten estudiar la evolución de la concentración media de inmisión en un determinado punto a lo largo de períodos amplios de tiempo, siempre que se disponga de datos históricos meteorológicos, frecuencias y distribución de las direcciones de los vientos, velocidades del viento y datos de estabilidad atmosférica (matriz de estabilidad).

Los modelos, de acuerdo con los datos meteorológicos disponibles, dan la concentración media para un punto situado en el suelo a una distancia x en un sector determinado mediante el cálculo considerando todas las concentraciones, en ese sector y a esa distancia, corregidas mediante los valores de estabilidad atmosférica y velocidades de vientos. Tras una interpolación lineal, se conectan los puntos de los diferentes sectores de dirección de vientos para formar las líneas isodoras.

Las concentraciones de inmisión UOE/m³ y los resultados son representados mediante las líneas isodoras formadas por puntos de igual concentración de olor, estableciendo para cada una de ellas el percentil para el que se define sobre un mapa de la planta y su entorno.

La altura de la o las chimeneas será la adecuada para que, con una salida de aires con 250 UOE/m³, se cumpla el requisito de lograr un nivel de 5 UOE/m³ percentil 98 que garantiza que las molestias al entorno no son apreciables.

Para disponer de un mayor nivel de seguridad, sería deseable, si los costes económicos no son significativos, que la altura de la chimenea adoptada permitiese mantener el nivel antes descrito incluso con una salida de 500 UOE/m³

5.5. DETERMINAR EL CAUDAL MINIMO DE AIRE A EXTRAER

En aquellas instalaciones en las que se requiera la presencia de personal operador y estén cubiertas (con o sin primera piel) es necesario disponer de un sistema de extracción de emergencia que garantice que, en caso de accidente (paradas parciales o totales de la desodorización) se pueda mantener una concentración inferior a los 10.000 UOE/m³ los niveles de sustancias contaminantes no representan un peligro para la salud de los trabajadores.

El caudal de aire mínimo aconsejable a extraer para evitar problemas de salud para los trabajadores de cada una de las zonas se establece mediante la fórmula:

$$\text{Caudal de aire (m}^3\text{/h)} = \frac{\text{Superficie lámina de agua (m}^2\text{) * Concentración (UOE/m}^2\text{/h)}}{10.000 \text{ (UOE/m}^3\text{)}}$$

Este aire mínimo es el que hay que garantizar que se extrae de cada zona para garantizar que no existe peligro potencial para la salud de los trabajadores, en el caso de que el sistema de desodorización no funcionase.

5.6. REALIZAR UN ANALISIS DE RIESGOS

El análisis de riesgos es un ejercicio necesario para poder evaluar el nivel de competencia de la instalación y las consecuencias que pueden derivarse de fallos en el sistema que impidan obtener los resultados previstos.

Se realiza con el objetivo no solo de evaluar los riesgos sino para adoptar las medidas adecuadas tendentes a reducir los costes, tanto económicos como medioambientales, de los fallos del sistema.

6. EJEMPLO

En la Tabla 3 se recogen las superficies de las láminas de agua para la E.D.A.R. que nos sirve de ejemplo.

	LAMINA DE AGUA M2
Obra de llegada	100
Desbaste	50
Elevación agua	150
Contenedores	30
Desarenado	460
Decantación primaria	7.200
Biológico zona no aireada	8.000
Biológico zona aireada	10.000
Decantación secundaria	12.200
Edificio espesamiento fangos	50
Espesadores de fango	400
Postespesamiento	300
Edificio secado de fangos	25

Tabla 3. Superficie de lámina de agua en metros cuadrados

6.1. DETERMINAR EL CAUDAL DE AIRE A TRATAR

El caudal de aire aconsejable a extraer y, por consiguiente, a tratar de cada una de las zonas para mantener 5.000 UOE/m³ se recoge en la Tabla 4.

$$\text{Superficie lámina de agua (m}^2\text{)} * \text{Concentración (UOE/m}^2\text{/h)}$$

$$\text{Caudal de aire (m}^3\text{/h)} = \frac{\text{-----}}{5.000 \text{ (UOE/m}^3\text{)}}$$

	UOE/M2/H	LAMINA DE AGUA M2	UOE/H	VALOR ADMISIBLE UOE/H	CAUDAL M3/H
Obra de llegada	150.000	100	15.000.000	5.000	3.000
Desbaste	150.000	50	7.500.000	5.000	1.500
Elevación agua	150.000	150	22.500.000	5.000	4.500
Contenedores	450.000	30	13.500.000	5.000	2.700
Desarenado	18.750	460	8.625.000	5.000	1.725
Decantación primaria	100.000	7.200	720.000.000	5.000	144.000
Biológico zona no aireada	10.000	8.000	80.000.000	5.000	16.000
Biológico zona aireada	5.000	10.000	50.000.000	5.000	10.000
Decantación secundaria	7.500	12.200	91.500.000	5.000	18.300
Edificio espesamiento	450.000	50	22.500.000	5.000	4.500
Espesadores de fango	450.000	400	180.000.000	5.000	36.000
Postespesamiento	350.000	300	105.000.000	5.000	21.000
Edificio secado de fangos	350.000	25	8.750.000	5.000	1.750
				Suma:	264.975

Tabla 4. Caudal de aire para mantener 5.000 UOE/metro cúbico de aire a la entrada del sistema de tratamiento de aire

La lámina de agua en los edificios de fangos se ha establecido en base a 5 m² por equipo instalado en contacto con el fango.

En este cálculo no se ha tenido en cuenta el aire máximo aportado por las soplantes de los desarenadores (4.600 m³/h) ni del tratamiento biológico (60.000 m³/h), que una vez introducidos supondría las modificaciones registradas en la tabla 5.

	LAMINA DE AGUA			VALOR REAL	CAUDAL
	UOE/M2/H	M2	UOE/H	UOE/H	M3/H
Obra de llegada	150.000	100	15.000.000	6.319	2.374
Desbaste	150.000	50	7.500.000	6.319	1.187
Elevación agua	150.000	150	22.500.000	6.319	3.560
Contenedores	450.000	30	13.500.000	6.319	2.136
Desarenado	18.750	460	8.625.000	1.875	4.600
Decantación primaria	100.000	7.200	720.000.000	6.319	113.935
Biológico zona no aireada	10.000	8.000	80.000.000	6.319	12.659
Biológico zona aireada	5.000	10.000	50.000.000	833	60.000
Decantación secundaria	7.500	12.200	91.500.000	6.319	14.479
Edificio espesamiento	450.000	50	22.500.000	6.319	3.560
Espesadores de fango	450.000	400	180.000.000	6.319	28.484
Postespesamiento	350.000	300	105.000.000	6.319	16.615
Edificio secado de fangos	350.000	25	8.750.000	6.319	1.385
				Suma:	264.975

Tabla 5. Caudal de aire para mantener 5.000 UOE/metro cúbico de aire a la entrada del sistema de tratamiento de aire considerando inyectados en los de desarenadores y en la zona óxica del tratamiento biológico

Obsérvese que, para mantener el caudal de aire en 264.975 m³/h ninguna zona alcanza las 10.000 UOE/m³ que se ha puesto como límite de seguridad.

No obstante, esta situación no es la ideal, y bastaría con establecer como zonas confinadas las zonas no aireadas y los espesamientos de fangos por gravedad para que, en la mayoría de las instalaciones el nivel de olor descienda a valores aceptables, tal y como se recoge en la Tabla 6.

Si el aire que se introduce para el proceso biológico procediese de los decantadores secundarios, y en los decantadores primarios se estableciese como limite los 10.000 UOE/m³, se tendría que, en el resto de las zonas estaríamos por debajo de los 1.000 UOE/m³ con un nivel confortable de olores, según la Tabla 7.

	UOE/M2/H	LAMINA DE AGUA M2	UOE/H	VALOR REAL UOE/H	CAUDAL M3/H
Obra de llegada	150.000	100	15.000.000	4.668	3.213
Desbaste	150.000	50	7.500.000	4.668	1.607
Elevación agua	150.000	150	22.500.000	4.668	4.820
Contenedores	450.000	30	13.500.000	4.668	2.892
Desarenado	18.750	460	8.625.000	1.875	4.600
Decantación primaria	100.000	7.200	720.000.000	4.668	154.246
Biológico zona no aireada	10.000	8.000	80.000.000	50.000	1.600
Biológico zona aireada	5.000	10.000	50.000.000	833	60.000
Decantación secundaria	7.500	12.200	91.500.000	4.668	19.602
Edificio espesamiento	450.000	50	22.500.000	4.668	4.820
Espesadores de fango	450.000	400	180.000.000	50.000	3.600
Postespesamiento	350.000	300	105.000.000	50.000	2.100
Edificio secado de fangos	350.000	25	8.750.000	4.668	1.875
Suma:				264.975	

Tabla 6. Caudal de aire para mantener 5.000 UOE/metro cúbico de aire a la entrada del sistema de tratamiento de aire teniendo en cuenta el aire aportado en los procesos y confinando las zonas a las que no tendrá acceso el personal

	UOE/M2/H	LAMINA DE AGUA M2	UOE/H	VALOR REAL UOE/H	CAUDAL M3/H
Obra de llegada	150.000	100	15.000.000	836	17.943
Desbaste	150.000	50	7.500.000	836	8.971
Elevación agua	150.000	150	22.500.000	836	26.914
Contenedores	450.000	30	13.500.000	836	16.149
Desarenado	18.750	460	8.625.000	836	10.317
Decantación primaria	100.000	7.200	720.000.000	9.833	80.000
Biológico zona no aireada	10.000	8.000	80.000.000	50.000	1.600
Biológico zona aireada	5.000	10.000	50.000.000	2.358	60.000
Decantación secundaria	7.500	12.200	91.500.000	1.525	
Edificio espesamiento	450.000	50	22.500.000	836	26.914
Espesadores de fango	450.000	400	180.000.000	50.000	3.600
Postespesamiento	350.000	300	105.000.000	50.000	2.100
Edificio secado de fangos	350.000	25	8.750.000	836	10.467
Suma:				264.975	

Tabla 7. Caudal de aire para mantener 5.000 UOE/metro cúbico de aire a la entrada del sistema de tratamiento de aire teniendo en cuenta el aire aportado en los procesos, confinando las zonas a las que no tendrá acceso el personal y utilizando el aire de zonas contaminadas para aportarlo a los procesos.

Como se puede observar por los cálculos anteriores, una vez fijado el caudal a desodorizar y su concentración, existen numerosas combinaciones que pueden implementarse en cada E.D.A.R. dependiendo de numerosos factores y de la estrategia de desodorización que se pretenda implementar.

6.2. DETERMINAR EL CAUDAL DE AIRE PARA EVITAR EL EFECTO “LLUVIA”

Por estar fuera del alcance general de este artículo, los cálculos para establecer los caudales para evitar el efecto “lluvia” no se han realizado.

6.3. DETERMINAR EL NÚMERO DE UNIDADES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AIRE

El caudal de aire a tratar es de 265.000 m³/h con 5.000 UOE/m³ y son muy numerosas las posibles opciones que se podrían barajar, ya que dependen de numerosos factores que van desde la implantación de los procesos de la E.D.A.R. hasta de la ubicación de los potenciales receptores de los olores generados.

En cualquier caso, es necesario adoptar uno o dos soluciones para poder introducir en el modelo de dispersión, los focos puntuales de emisión de olores con el fin de obtener la altura de las chimeneas que garanticen un nivel de 5 UOE/m³ percentil 98 en las zonas de los receptores.

A continuación se exponen algunas de las posibles soluciones que se podrían aplicar en el ejemplo adoptado:

- 1) Disponer una única instalación ubicada en el mismo sitio y formada por tres unidades de 89.000 m³/h cada una con una sola chimenea de evacuación
- 2) Disponer de dos instalaciones una para las zona denominadas “sucias” (obra de llegada, pretratamiento y línea de fangos) formada por una sola unidad con su correspondiente chimenea con capacidad para 89.000 m³/h y otra instalación para la línea de agua (tratamiento primario y secundario) formada por dos unidades de caudal unitario 89.000 m³/h y una sola chimenea.
- 3) Disponer de cinco unidades de tratamiento de aire distribuidas a lo largo de la E.D.A.R. con sus correspondientes chimeneas de evacuación:
 - a. Una de 40.000 m³/h para obra de llega
 - b. Una de 40.000 m³/h para pretratamiento
 - c. Una de 80.000 m³/h para tratamiento primario
 - d. Una de 60.000 m³/h para tratamiento secundario
 - e. Una de 45.000 m³/h para la línea de fangos
- 4) Disponer de las cinco unidades de tratamiento de aire distribuidas a lo largo de la E.D.A.R. con una única chimenea de evacuación.

Es de destacar que un sistema centralizado permite disponer de una mayor flexibilidad operativa al permitir una variación en los caudales a extraer de cada zona, para lo que es necesario que el sistema de tubería se diseñe con unas velocidades máximas de 10 m/sg y disponer de suficiente potencia en los ventiladores de las zonas para llegar a extrae 1,5 veces el caudal previsto sin mas que elevar la velocidad a 15 m/sg. Por el contrario, un sistema centralizado obliga a desarrollos de tuberías considerables.

6.4. DETERMINAR LA ALTURA DE LA CHIMENEA

El cálculo de las chimeneas de extracción de aire tratado se obtendrá mediante los modelos informáticos disponibles.

Las proyecciones y cálculos de las inodoras se deberá de hacer suponiendo rendimientos del 95 % y del 90 % en el sistema de tratamiento del aire con el fin de determinar si la altura en el caso mas desfavorable no supone unos costes económicos elevados frente a la posibilidad de disponer de un mayor margen de seguridad en el sistema.

6.5. DETERMINAR EL CAUDAL MINIMO DE AIRE A EXTRAER

En aquellas instalaciones en las que se requiera la presencia de personal operador y estén cubiertas (con o sin primera piel) es necesario disponer de un sistema de extracción de emergencia que garantice que, en caso de accidente (paradas parciales o totales de la desodorización) se pueda mantener una concentración inferior a los 10.000 UOE/m³ los niveles de sustancias contaminantes no representan un peligro para la salud de los trabajadores.

El caudal de aire mínimo aconsejable a extraer para evitar problemas de salud para los trabajadores de cada una de las zonas será::

	UOE/M2/H	LAMINA DE AGUA M2	UOE/H	VALOR ADMISIBLE UOE/H (*)	CAUDAL MINIMO M3/H
Obra de llegada	150.000	100	15.000.000	10.000	1.500
Desbaste	150.000	50	7.500.000	10.000	750
Elevacion agua	150.000	150	22.500.000	10.000	2.250
Contenedores	450.000	30	13.500.000	10.000	1.350
Desarenado	18.750	460	8.625.000	10.000	863
Decantacion primaria	100.000	7.200	720.000.000	10.000	72.000
Biologico zona no aireada	10.000	8.000	80.000.000	10.000	8.000
Biologico zona aireada	5.000	10.000	50.000.000	10.000	5.000
Decantación secundaria	7.500	12.200	91.500.000	10.000	9.150
Edificio espesamiento	450.000	50	22.500.000	10.000	2.250
Espesadores de fango	450.000	400	180.000.000	10.000	18.000
Postespesamiento	350.000	300	105.000.000	10.000	10.500
Edificio secado de fangos	350.000	25	8.750.000	10.000	875
				Suma:	132.488

6.6. REALIZAR UN ANALISIS DE RIESGOS

El análisis de riesgos es un ejercicio necesario para poder evaluar el nivel de competencia de la instalación y las consecuencias que pueden derivarse de fallos en el sistema que impidan obtener los resultados previstos.

A continuación se recoge una propuesta para un análisis de riesgos general para una E.D.A.R., bien entendido que, en cada E.D.A.R. es necesario realizar un análisis de riesgos particularizado que tenga en cuenta las individualidades de las instalaciones que la componen.

6.6.1. Descripción de los fallos del sistema

Los fallos que se pueden producir en el sistema de desodorización son:

- 1) Aumento de la concentración de olores en el interior
- 2) Aumento de la concentración de olores en el exterior
- 3) Presencia de contaminantes corrosivos o agresivos
- 4) Invasión por espumas del sistema de desodorización
- 5) Vertido de productos químicos con el aire de desodorización

El aumento de la concentración de olores en el interior puede estar motivada por varias causas:

- 1) Arrastre de olores desde el colector
- 2) Producción mayor de olores de los previstos
- 3) Desequilibrio en la producción de olores con incrementos en unas zonas y decrecimientos en otras.
- 4) Mantenimiento correctivo en extractores

El aumento de la concentración de olores en el exterior puede ser debido a :

- 1) Producción mayor de olores de los previstos
- 2) Fugas incontroladas de olores
- 3) Fallos en la instalación de desodorización debida a :
 - a. Falta de reactivos
 - b. Mantenimiento correctivo

La presencia de componentes corrosivos o agresivos como consecuencia de su presencia en las aguas residuales a depurar podría plantear riesgos para las personas y para los componentes de los diferentes equipos.

La invasión de espumas en el sistema de desodorización se producira en la puesta en marcha de instalaciones con una fuerte aireación, tratamiento biológico, y pueden inutilizar el sistema de desodorización.

Uno de los riesgos asociados a la desodorización por vía química húmeda es que si la concentración de olores es inferior a la prevista o la velocidad en las torres es elevada, se puede producir un arrastre de los compuestos químicos que se añaden y su emisión al exterior con el consiguiente peligro para las personas y la vegetación.

6.6.2. Determinación de daños

Los daños por el aumento de la concentración de olores en el interior pueden ser:

- 1) Peligro para la salud de los trabajadores
- 2) Sobrecargas al sistema de desodorización y salida de olores al exterior

Los daños por el aumento de la concentración de olores en el exterior pueden ser:

- 1) Impacto ambiental
- 2) Sanciones económicas
- 3) Peligro para la salud de terceros

Los daños por la presencia de componentes corrosivos o agresivos pueden ser:

- 1) Peligro para la salud de los trabajadores
- 2) Arrastre al sistema de desodorización y vertidos al exterior
- 3) Reducción de la vida útil de los equipos

Los daños por invasión de espumas en el sistema de desodorización pueden ser:

- 1) Aumento de olores en el interior
- 2) Aumento de olores en el exterior por colapso del sistema de desodorización

6.6.3. Análisis de riesgos

Los daños por el aumento de la concentración de olores en el interior son considerables por lo que sería conveniente disponer de medidas preventivas para que, en el caso de que se produzca, se minimicen los riesgos.

A tenor de los riesgos es aconsejable:

- 1) Realizar revisiones periódicas, aconsejablemente una al semestre, para medir el nivel de olores en las diferentes zonas.
- 2) Disponer de espacio, en todas las zonas, para poder instalar, en el futuro, desodorizaciones puntuales bien por equipos compactos bien por aerosoles.
- 3) Prever la posibilidad de retornar al colector parte de los olores geneados en las zonas de obra de llegada y desarenadores.

Los daños por el aumento de la concentración de olores en el exterior son muy elevados por lo que sería muy aconsejable disponer de una capacidad de respuesta adecuada, como las que se exponen a continuación:

- 1) Realizar revisiones periódicas, aconsejablemente una al semestre, para medir el nivel de olores en la salida de la chimenea.
- 2) Dotar a los extractores y ventiladores principales del sistema de desodorización de variadores de frecuencia
- 3) Dotar a los extractores y ventiladores principales del sistema de suficiente potencia para poder trabajar con velocidades hasta 15 m/s en los conductos.
- 4) Disponer de espacio, en todas las zonas, para poder instalar, en el futuro, desodorizaciones puntuales bien por equipos compactos bien por aerosoles.
- 5) Prever en la chimenea de inyección de productos, como aceites vegetales, captadores de olores.

Los daños por la presencia de componentes corrosivos o agresivos son considerables por lo que sería conveniente disponer de medidas preventivas:

- 1) Establecer un reglamento de vertidos que impida, a los usuarios, verter dichos componentes a las aguas residuales.
- 2) Realizar revisiones periódicas, aconsejablemente una al semestre, para medir el nivel de dichos componentes.
- 3) Instalar detectores específicos por los componentes con un protocolo de acceso en función de los niveles detectados.

- 4) Disponer, si es posible, en todas las zonas de sistemas puntuales captadores de estos componentes.
- 5) Dotar a los operarios de las protecciones colectivas e individuales necesarias para poder trabajar en dicho entorno con las garantías adecuadas.
- 6) Disponer de poder inyectar aire de otras zonas menos contaminadas (biológicos y decantación secundaria) a zonas con mayor contaminación para arrastrar los componentes.
- 7) Disponer, en las torres de desodorización de los reactivos adecuados para inhibir los compuestos presentes.

Los daños por invasión de espumas en el sistema de desodorización pueden llegar a ser considerables si bien la posibilidad de que se produzcan se limita a la puesta en marcha, con lo cual solo es necesario tomar medidas en esa eventualidad: anular las tomas de las balsas biológicas.

7. CONCLUSIONES

Para diseñar adecuadamente un sistema de extracción y tratamiento de aire de una E.D.A.R. se recomienda:

- 1) Realizar un estudio olfatómico si la E.D.A.R. se encuentra en funcionamiento, en caso contrario, adoptar como valores de referencia los expuestos en la tabla 1.
- 2) Establecer el nivel de 5 uoE/m³ percentil 98 para reducir las molestias al entorno.
- 3) Establecer como máxima concentración de olores a la entrada del sistema de tratamiento 5.000 UOE/m³.
- 4) Disponer de un sistema de desodorización con una eficiencia del 95 % en la reducción de las unidades olfatómicas
- 5) Establecer como máxima concentración de olores en el interior de recintos de la E.D.A.R.:
 - a. Sin presencia de operarios 50.000 UOE/m³
 - b. Con presencia esporádica de operarios 10.000 UOE/m³
 - c. Con presencia continuada de operarios 1.000 UOE/m³.
- 6) Establecer cuales son las alternativas mas viables para la ubicación del sistema de tratamiento de aire, y si el mismo es mejor centralizado o distribuido
- 7) Realizar, para cada alternativa del sistema de tratamiento de aire, dos simulaciones, para 250 y 500 UOE/m³, mediante modelos informáticos para establecer tanto la mejor ubicación de los mismos como las alturas de las chimeneas teniendo en cuenta el caudal de aire exhaustado y sus concentración.
- 8) Además, se aconsejable tener en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - a. Dejar el espacio necesario para, en el futuro, poder instalar en todas las zonas desodorizaciones locales bien mediante equipos de desodorización propiamente dichos o mediante la posibilidad de proyectar aerosoles de aceites vegetales.

- b. Prever la posibilidad de retornar al colector de aguas residuales de entrada de parte de los olores generados en las zonas de obra de llegada y desarenadores.
 - c. Diseñar la red de tuberías con velocidades inferiores a los 10 m/sg
 - d. Dotar a los extractores y ventiladores locales (si se dispone de ellos) del sistema de suficiente potencia para poder trabajar con velocidades hasta 15 m/sg en los conductos.
 - e. Prever la posibilidad de, en el futuro, poder enviar aire de zonas menos contaminadas a zonas mas contaminadas.
 - f. Dotar a los extractores y ventiladores principales del sistema de desodorización de variadores de frecuencia
 - g. Dejar el espacio necesario para, en el futuro, poder ampliar los sistemas de tratamiento de aire mediante unidades compactas o con otras tecnologías que sirvan de apoyo.
 - h. Prever en las chimeneas de salida la posibilidad de inyectar productos captadores de olores.
- 9) Una vez puesta en marcha la E.D.A.R. y cuando se encuentre en régimen, se recomienda realizar un estudio olfatométrico y, a tenor de sus resultados realizar las modificaciones oportunas en los sistemas de captación y tratamiento del aire.
- 10) Realizar mediciones periódicas, aconsejable cada año, de la producción de olores con especial atención a la entrada y salida de los sistemas de tratamiento del aire.

RESUMEN

Las afecciones medioambientales de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (E.D.A.R.) son cada día más restrictivas y se les exige que el nivel de olores en su entorno sea despreciable.

No cabe duda que una gestión adecuada de los diferentes procesos y una producción de fangos, acorde con la contaminación de entrada, es la mejor medida para evitar que los fangos generados en una E.D.A.R. sean elevados. Pero no se puede olvidar que los olores se van a producir y es necesario disponer de un sistema de tratamiento de los mismos.

Para diseñar un sistema de captación y tratamiento de olores es recomendable recurrir a los estudios olfatométricos y nos debemos de ir olvidando de diseños basados en tasas de ventilación u otros parámetros menos apropiados.

Lo ideal es disponer de un estudio olfatométrico, pero dado que, cuando se diseña el sistema de captación y tratamiento de olores de una E.D.A.R. esta se encuentra también en la fase de diseño, se recomienda la adopción de unas concentraciones medias de UO/m^3 olores obtenidas de un análisis de diferentes estudios olfatométricos realizados en diferentes E.D.A.R. en España.

Además, se dan unas recomendaciones para el diseño de este tipo de instalaciones.

Palabras Clave

EDAR, olores, UO/m^3 , desodorización, estudio olfatométrico.