

Detección y control de vertidos en EDAR mediante un respirómetro en línea

Aguirre, P.¹, Abad, E.¹, García, M.², Estany, R.³, Roca, F.⁴, Barajas, MG.⁵

¹TRANSPARENTA | www.transparenta.cat • ²FACSA | www.facsa.com • ³CONSORCI BESÒS TORDERA | www.besos-tordera.cat
⁴ESBAAT. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA | www.esbaat.upc.edu/es

La presencia de compuestos tóxicos en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) constituye una problemática frecuente que puede comprometer seriamente la eficacia del proceso de depuración biológica. Estos tóxicos, que suelen tener su origen en vertidos industriales, afectan especialmente a aquellas EDAR urbanas que reciben aguas residuales mixtas -urbanas e industriales-, situación habitual en municipios con un tejido industrial relevante. La entrada de sustancias tóxicas puede inhibir o incluso destruir la actividad de los microorganismos responsables de la degradación de materia orgánica y nutrientes, provocando una disminución significativa en la eficiencia del tratamiento y, en casos extremos, la alteración total del proceso biológico (Metcalf & Eddy, 2014). Diversos estudios han documentado que la presencia de metales pesados, disolventes orgánicos o compuestos

fenólicos en concentraciones superiores a los umbrales de toxicidad puede reducir la eliminación de DQO y nutrientes en más de un 30% (Quiroga et al., 2025). Por ello, la detección y control de estos vertidos industriales es fundamental para garantizar el correcto funcionamiento de las EDAR y la protección del medio receptor.

La asociación temporal de empresas formada por FACSA y Transparenta (UTE) es actualmente la responsable de la explotación de la EDAR de Granollers, una localidad cuya instalación de depuración está gestionada por el Consorci Besòs Tordera. La planta está diseñada para tratar 30.000 m³/día y consta de un sistema robusto y completo formado por un pozo de gruesos, 2 líneas de pretratamiento (desbastes, desarenador y grasas), 2 decantadores primarios, 2 reactores tipos *Bardenpho* modificados, 2 reactores de flujo pís-

ton usados como tanques tormentas o pulmón y 4 decantadores secundarios. La UTE propuso como mejora de control de proceso, la instalación de un respirómetro online con el fin de detectar posibles vertidos en tiempo real, a fin de desviarlos y/o tomar medidas preventivas.

Los respirómetros son dispositivos empleados para medir la velocidad de consumo de oxígeno (OUR, *oxygen uptake rate*) por parte de los microorganismos presentes en el lodo activado, lo que permite evaluar la actividad biológica y el estado de salud de la biomasa (Mainardis et al., 2021). Esta técnica resulta fundamental para controlar, optimizar y proteger el proceso de depuración, ya que permite detectar antes de que lleguen a los reactores biológicos, la presencia de vertidos industriales con sustancias tóxicas o inhibidoras (Neunteufel et al., 2024). De este modo, se facilita la prevención de daños sobre la biomasa y se minimizan

los efectos negativos en la eficiencia del tratamiento.

El objetivo de este artículo es compartir la experiencia acumulada en la puesta en marcha, operación y mantenimiento de un respirómetro a escala real, en la EDAR de Granollers, incluyendo la gestión del lazo de control óptimo para la detección y prevención de vertidos tóxicos. A través de esta experiencia práctica, se pretende ofrecer una guía útil y realista para otras instalaciones que consideren la implementación de esta tecnología, facilitando la toma de decisiones informadas y evitando errores comunes no documentados en la literatura técnica.



Figura 2. Interior del equipo de respirometría (Sensara, 2023)

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El respirómetro instalado en la EDAR de Granollers es un equipo de última generación, modelo SN8 de Sensara. El respirómetro funciona de forma continua y está conectado directamente al sistema de automatización de la planta (SCADA). Una descripción general del sistema incluye (Sensara, 2025):

a. Armario técnico de protección IP65 (Figura 1), tipo industrial. Este armario

contiene la parte electrónica y la hidráulica del sistema, así como, todos los instrumentos necesarios para realizar los ensayos y transmitir los resultados de forma automática.

b. Cámara de respirometría, fabricada con acero inoxidable.

c. Sistema de bombeo y válvulas automáticas, que permite el llenado, vaciado y limpieza de la cámara.

En la Figura 2, se presentan las partes del interior del armario de protección.

Las partes que se observan en la imagen son: (1) bombas de aspiración de muestras (Figura 3, puntos A y B), (2) bomba de recirculación, (3) aireador, (4) bombas peristálticas de dosificación de los reactivos, (5) válvula de vaciado, (6) válvula de limpieza, (7) cámara respirométrica y sondas (Oxígeno, pH y ORP/Redox), (8) controlador de sondas, (9) PLC Schneider, (10) relés, (11) PC, (12) controlador de la aireación débil, (13) fuentes de alimentación, y, por último, (14) bornas (alimentación cuadro y bombas muestra).

El equipo puede ser controlado en campo mediante un ordenador incorporado o controlado a distancia mediante software.

Una de las partes más importantes del respirómetro es su cámara de respirometría que está ubicada dentro del armario de protección (Figura 1). La muestra de licor mezclado entra en la cámara y se somete a condiciones de mezcla completa (CSRT) con oxígeno y agitación, simulando las condiciones del reactor biológico real. Dentro de la cámara se pueden realizar mediciones de varios parámetros, entre ellos: oxígeno disuelto (OD), pH, potencial redox (ORP), temperatura (Sensara, 2025).



Figura 1. Armario de protección (exterior del equipo de respirometría).

La medición de estos parámetros permite obtener diferentes tipos de tasas: la OUR (Tasa de Consumo de Oxígeno), SOUR (Tasa Específica de Consumo de Oxígeno), AUR (Tasa de Nitrificación) y NUR (Tasa de Desnitrificación), entre otras. Al comparar las tasas obtenidas con las esperadas, el sistema puede detectar inhibiciones o toxicidades en el proceso biológico (Aguasresiduales.info, 2020).

A continuación, se describen las diferentes fases del proceso de puesta en marcha, operación y gestión del lazo de control del respirómetro SN8 de Sensara, en la EDAR de Granollers.

Fase 1. Instalación del sistema de respirometría

En la EDAR de Granollers (Figura 3), el respirómetro se instaló el 6 de julio del 2023 con el objetivo de proporcionar datos clave, como la tasa de toxicidad y la tasa de nitrificación, que permitieran activar un lazo de control automático del sistema.

En su fase inicial, se llevó a cabo la instalación del equipo, tanto a nivel mecánico como hidráulico, y se procedió a ajustar y configurar los ensayos que se ejecutarían. Entre las acciones clave que se realizaron en la fase de instalación del equipo, están las siguientes:

- Una conexión precisa para la toma de muestras del licor mezcla, asegurando un flujo representativo y constante hacia la cámara respirométrica
- La programación de las pruebas de respirometría global (OUR/SOUR) y de nitrificación (RN/AUR), esenciales para evaluar la actividad biológica y detectar posibles inhibiciones.
- La integración del SN8 con el sistema de control de la planta para permitir una supervisión en tiempo real.
- Durante un mes el sistema operó en modo piloto para ajustar los parámetros de las pruebas y las consignas del algoritmo, con el fin de asegurar una detección precisa de los episodios de toxicidad.

El respirómetro se instaló en la entrada de los reactores biológicos, justo a la salida del proceso de decantación primaria (Figura 3, punto C). El equipo puede operarse localmente a través del ordenador integrado, o de forma remota mediante un software de control específico.

La toma de muestras para los ensayos en la cámara respirométrica se realiza desde dos ubicaciones principales: el licor mezcla del reactor biológico (Figura 3, punto B) y el agua tratada a la salida del pretratamiento (Figura 3, punto A).

Fase 2. Puesta en Marcha y Verificación de Parámetros Operativos

Una vez finalizada la instalación física del equipo, se procedió a su puesta en marcha. Al inicio de esta fase, el respirómetro comenzó a realizar los ensayos de toxicidad y nitrificación, permitiendo así la obtención de resultados representativos de las condiciones reales de nuestra instalación.

Durante este período, se verificó el funcionamiento del equipo, así como la estabilidad y fiabilidad de las mediciones obtenidas. Los datos registrados comenzaron a reflejar el comportamiento del sistema biológico, y se validó la capacidad del equipo para detectar variaciones en la actividad respiratoria de los microorganismos.



Figura 3. Partes de la EDAR de Granollers involucradas en la respirometría

Fase 3. Ensayos de toxicidad y optimización del procedimiento

El respirómetro SN8 está diseñado para realizar las pruebas de toxicidad en dos etapas:

- Primero, mide la tasa de nitrificación añadiendo cloruro de amonio (NH_4Cl) al licor mezcla de la EDAR. De esta parte se obtiene una tasa de respiración máxima de referencia (RNO).
- Después, repite la prueba añadiendo al licor mezcla una muestra representativa del afluente de entrada al reactor (en nuestro caso del efluente del pretratamiento). De esta segunda parte se obtiene una tasa de respiración máxima (RN).

De este modo, comparando las tasas de nitrificación de las dos etapas a y b, el respirómetro puede calcular la tasa de toxicidad y detectar de forma anticipada si el afluente contiene sustancias inhibidoras o tóxicas que afectarían a la biomasa del reactor biológico.

Entonces la tasa de toxicidad sería: Tasa toxicidad = $(\text{RN}_a - \text{RN})/\text{RN}_a \cdot 100$

A principios de 2025, el funcionamiento del respirómetro SN8 en la EDAR de Granollers, se basaba en la ejecución secuencial de estas dos pruebas descritas. Esta secuencia completa tenía una duración total de 2 horas y 45 minutos. Sin embargo, el 28 de marzo de 2025, se produjo un vertido de corta duración que permitió

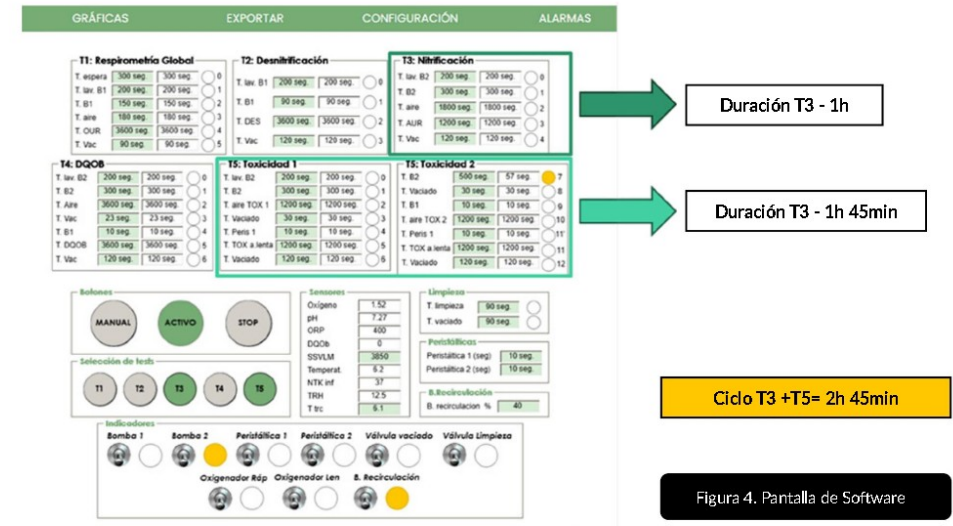


Figura 4. Pantalla de Software

identificar un área susceptible de optimización en la detección de vertidos de corta duración. A continuación, se describe el episodio ocurrido y la solución adoptada.

El vertido ocurrido fue captado por una sonda de pH en el pozo de entrada de la EDAR, mostrando un pico hasta 8,9 en tan solo 30 minutos, lo cual tuvo efectos inmediatos sobre la biomasa nitrificante en el reactor; se observó un aumento del amonio, síntoma claro de inhibición. No obstante, la prueba de toxicidad antes descrita no llegó a detectar ese episodio, ya que el vertido pasó por el punto de muestreo fuera del intervalo de análisis programado.

A raíz de esta experiencia, el personal técnico de la EDAR realizó una optimización estratégica del funcionamiento del respirómetro, orientada a aumentar la frecuencia de análisis y reducir al máximo los tiempos muertos entre pruebas. Se tomaron dos medidas clave:

- La eliminación de la prueba de nitrificación como prueba independien-

te (Figura 4, prueba 3), integrando su funcionalidad dentro de la prueba de toxicidad (Figura 4, prueba 5), ya que compartían una etapa inicial común. Esto permitió evitar redundancias y reducir significativamente la duración del ciclo.

- Optimización del tiempo de ensayo, en especial recordando a la mitad el tiempo de aireación para la obtención de la tasa de respiración máxima, tras verificar que los valores alcanzaban un máximo estable en 10 minutos, sin necesidad de prolongar hasta los 20 minutos anteriores.

Gracias a estas acciones, el tiempo total de cada prueba de toxicidad se redujo de 2 h 45 min a 45 minutos, lo que representa un salto cualitativo en la capacidad de detección de vertidos tóxicos breves.

Hoy, el respirómetro funciona de forma optimizada, sin etapas redundantes, con mayor frecuencia de análisis y con un incremento controlado del consumo de reactivo (NH_4Cl), que se ha previsto mediante la mejora de la logística de reposición.

Esta optimización realizada en Granollers evidencia la importancia de revisar y adaptar los sistemas automáticos de control en función del comportamiento real del proceso, aplicando criterios técnicos sólidos y una actitud proactiva. La experiencia de Granollers puede servir como ejemplo de buena praxis operativa en la mejora de la vigilancia de vertidos tóxicos, especialmente aquellos de duración breve que podrían pasar inadvertidos con sistemas convencionales.

Fase 4. Establecimiento del lazo de control

Un lazo de control es un sistema automático que regula un proceso a partir de la lectura continua de una o varias variables clave. Este sistema compara los valores medidos con valores de referencia o umbrales establecidos, y en función de esa comparación, toma decisiones para mantener el proceso dentro de parámetros operativos seguros y eficientes (Surcis, 2019). En entornos industriales y de tratamien-



Figura 5. Tasa de nitrificación en mg N-NH₄/(g SSLVM-h), noviembre de 2023. (Respirómetro SN8)

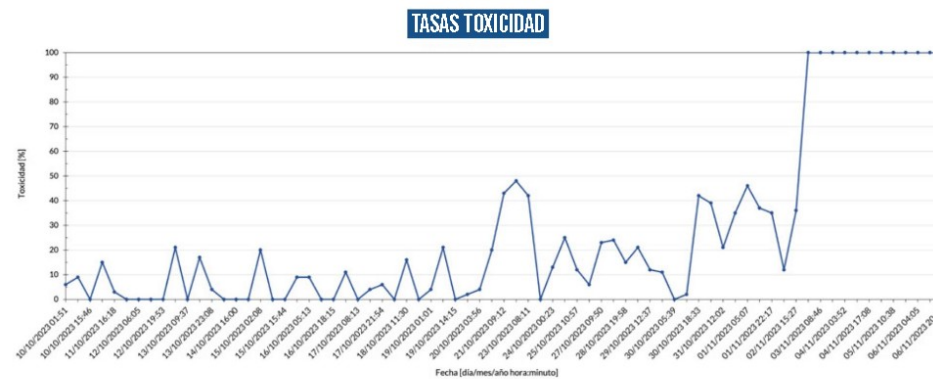


Figura 6. Tasa de toxicidad en porcentaje, noviembre de 2023 (Respirómetro SN8)

to de aguas, los lazos de control permiten actuar de forma inmediata ante desviaciones que puedan comprometer la calidad del proceso o el cumplimiento normativo.

En la EDAR de Granollers, el respirómetro SN8 proporciona datos clave como la tasa de nitrificación y la tasa de toxicidad, que son utilizados para alimentar un lazo de control automatizado. Este lazo tiene como objetivo detectar la presencia de vertidos inhibitorios en el afluente y, cuando se

supera un umbral crítico de toxicidad (en este caso, más de un 50%), activar la derivación del caudal a un tanque de tormentas (Figura 3, punto D), evitando así que el vertido afecte el funcionamiento del reactor biológico (Sensara, 2025).

DESCRIPCIÓN DE UN EVENTO REGISTRADO

Después de este tiempo de operación el respirómetro ha detectado en

varias ocasiones vertidos industriales que han terminado afectando al proceso de nitrificación que se produce en los reactores biológicos. Un ejemplo de estas detecciones fue el vertido que se produjo a principios de noviembre de 2023, pudimos observar un aumento en la toxicidad y una caída en la tasa de nitrificación (Figuras 5 y 6). A continuación, se muestran las gráficas del respirómetro correspondientes a este episodio en concreto.

MANTENIMIENTO DEL RESPIRÓMETRO Y RECOMENDACIONES

El respirómetro SN8 ha sido diseñado con elementos que favorecen su limpieza automática durante el funcionamiento normal, como la geometría específica de la cámara respirométrica y las fases programadas de autolimpieza integradas en cada ciclo de análisis (Sensara, 2025). No obstante, se recomienda realizar tareas de mantenimiento manual periódicas para asegurar un rendimiento óptimo y una mayor durabilidad de los componentes.

En concreto, una vez al mes se deben extraer y limpiar los electrodos de pH, oxígeno disuelto y potencial redox (ORP), instalados en el interior de la cámara respirométrica.

En caso necesario, estos sensores pueden calibrarse in situ. También de forma mensual, es importante verificar que el desagüe de la cámara no esté obstruido, y comprobar el correcto funcionamiento del sistema de aireación, la bomba de recirculación y las bombas peristálticas responsables de la dosificación del reactivo.

Asimismo, se debe extraer y revisar mensualmente el estado del difusor de aire para confirmar que no presenta obstrucciones ni daños. El tubo interno de la bomba de recirculación, por su parte, debe sustituirse cada 3 o 4 semanas, ya que su uso casi continuo durante 24 horas al día provoca un desgaste acelerado que puede desembocar en roturas.

Cada tres meses, las bombas sumergidas ubicadas en los puntos de toma de muestra (Figura 3, puntos A y B) deben retirarse para realizar las tareas de mantenimiento correspondientes. Además, estas bombas sumergibles se encuentran dentro de unas estructuras metálicas con agujeros que tienen como objetivo evitar que a las

bombas lleguen sólidos o fibras, que puedan impedir su funcionamiento o disminuir su vida útil.

Dada la actual configuración de los ensayos realizados en el respirómetro, este únicamente consume una disolución acuosa de cloruro de amonio con una concentración de 15 g/L. Con el objetivo de garantizar el suministro de dicho reactivo, se ha instalado un depósito de 30 L que se rellena de forma continua.

CONCLUSIONES

La entrada de compuestos tóxicos en EDAR urbanas con carga industrial, como la de Granollers, representa un riesgo significativo para el correcto funcionamiento del tratamiento biológico, pudiendo provocar inhibiciones severas.

La instalación del respirómetro SN8 ha permitido disponer de un sistema robusto de detección temprana de toxicidad, basado en parámetros objetivos como la tasa de nitrificación y la tasa de consumo de oxígeno.

En este trabajo se detectó un área de mejora en el diseño del procedimiento de ensayo para la detección de vertidos cortos. Esta área de mejora incluye el rediseño del protocolo de pruebas, integrando etapas redundantes y reduciendo significativamente el tiempo de cada ensayo (de 2 h 45 min a 45 min), esto mejora sustancialmente la capacidad de detección de episodios breves de toxicidad.

Si bien la implantación de la respirometría en línea representa una herramienta útil y robusta para el control y la monitorización de los procesos biológicos en estaciones depuradoras, es importante señalar que su capacidad de detección está limitada a aquellos vertidos que afectan directamente a la actividad metabólica de los microorganismos, en particular mediante una disminución de la tasa de nitrificación

o de respiración. Por tanto, existen vertidos que, al no interferir significativamente en estos procesos biológicos, pueden no ser detectados mediante esta técnica.

La experiencia de la EDAR de Granollers constituye un ejemplo de buena praxis replicable en otras instalaciones, destacando la importancia de adaptar la tecnología a las condiciones reales de operación y de mantener una actitud proactiva en la mejora continua del control de procesos.

REFERENCIAS

- Aguasresiduales.info. (2020). *SENSARA instala 2 nuevos respirómetros on-line SN8 en EDAR Urbanas españolas*.
- Mainardis, M., Buttazzoni, M., Cottes, M., Moretti, A., & Goi, D. (2021). Respirometry tests in wastewater treatment: Why and how? A critical review. *Science of The Total Environment*, 793, 148607. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148607>
- Metcalf & Eddy. (2014). *ewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. (5th Edition). McGraw-Hill, New York.
- Neunteufel, B., Gruber, G., & Muschalla, D. (2024). Determination of Toxicity Using the Activated Sludge Respiration Inhibition Test and Identification of Sensitive Boundary Conditions. *Water*, 16(23), 3464. <https://doi.org/10.3390/w16233464>
- Quiroga-Flores, R., Alwmark, C., Hatti-Kaul, R., Önnby, L., & Tykesson, E. (2025). Cadmium and lead impact on biological phosphorus removal: metal partition and adsorption evaluation in wastewater treatment processes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(4), 2243-2256. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05776-5>
- Sensara, S. L. (2023). *Manual SN8 (Versión 9)*. info@sensaratech.com
- Sensara. (2025). *Respirometría para el Tratamiento de Aguas Residuales*. Optimización Energética y Control de Toxicidad.
- Surcis. (2019). *Respirometry: A Valuable Tool in Wastewater Treatment*. ●