

Evaluación y seguimiento del estado de los difusores del sistema de aireación en procesos de fangos activos



- **Autor:** Emilio Serrano - SURCIS, S.L.
- **Email:** eserrano@surcis.com
- **Web :** www.surcis.com

Palabras Clave: Respirimetría BM, Consumo de oxígeno de la DQO biodegradable, Nitrificación, Desnitrificación, Requerimiento actual de oxígeno actual, Requerimiento estándar de oxígeno, Caudal de oxígeno.

Key words: BM Respirometry, Consumed oxygen in the biodegradable COD, Nitrification, Denitrification, Actual oxygen requirement, Standard oxygen requirement, Oxygen flow.

RESUMEN

El reactor biológico aerobio es la fase que consume más energía en el tratamiento de aguas residuales. Según datos estadísticos, el sistema de aireación se sitúa en un rango que va desde el 25 % al 60 % de la energía total utilizada en una EDAR.

Con ello, existe un gran potencial de ahorro energético y económico cuando se garantiza que el sistema funcione de la forma más eficiente posible.

Sin embargo, en los sistemas de aireación por difusión la suciedad y las incrustaciones tienen un efecto negativo significativo en el rendimiento del difusor a lo largo del tiempo, lo que resulta en un tratamiento menos efectivo y un aumento de los costes energéticos. Y, por esta razón, la limpieza, el mantenimiento periódico o reemplazo de los difusores pueden garantizar un rendimiento óptimo del equipo, un tratamiento eficaz y constante de las aguas residuales y un ahorro energético sustancial.

Todo ello pasaría a generar una situación altamente beneficiosa tanto para el medio ambiente, para el sistema de depuración y para la economía de la explotación de la planta.

ABSTRACT

The aerobic biological reactor is the most energy-intensive phase in wastewater treatment. According to statistical data, the aeration system ranges from 25% to 60% of the total energy used in a WWTP.

With this, there is a great potential for energy and economic savings when ensuring that the system operates as efficiently as possible.

However, in diffused aeration systems, clogging and scale have a significant negative effect on the performance of the diffuser over time, resulting in less effective treatment and increased energy costs. And for this reason, cleaning, regular maintenance or replacement of diffusers can ensure optimal equipment performance, effective and consistent wastewater treatment and substantial energy savings. All this would generate a highly beneficial situation both for the environment, for the treatment system and for the global economy of the plant maintenance.

1. INTRODUCCIÓN

Habiendo quedado claro la necesidad de mantener los difusores limpios para conseguir una optimización energética, merece especial importancia los medios de evaluación de su estado actual.

Existen varios métodos para evaluar el estado de los difusores y, en el presente escrito y según procedimiento que se utilice, se van a clasificar en dos grupos: cualitativos y cuantitativos.

Los métodos cualitativos son bien conocidos y el mismo fabricante normalmente ya se encarga de asesorar a sus clientes en este sentido. Por otro lado, en la literatura sobre esta materia se pueden encontrar varios artículos que describen los procedimientos a seguir.

Sobre los métodos cuantitativos, a grandes rasgos se puede decir que presentan unos parámetros que miden el estado de los difusores y en donde se permite evaluar el grado de mantenimiento que necesitan y/o si puede ser ya necesario el remplazo de los mismos.

En el presente artículo se van a mencionar los métodos o señales de alerta que se suelen utilizar y se va a introducir además un procedimiento basado en ensayos de respirometría que va a permitir evaluar el grado de ensuciamiento o deterioro de los difusores de forma clara y precisa, con la importante ventaja que detecta el estado de los mismos antes de que el proceso y el fango activo puedan sufrir un deterioro significativo por esta razón. Para ello se utilizará el tipo de respirometría desarrollado por la empresa Surcis por medio de sus equipos denominados respirómetros BM.

2. Métodos de evaluación

2.1. Seguimiento del caudal de aire

Este método se basa en el seguimiento del caudal de aire para una misma carga media de entrada con un determinado rendimiento y condiciones.

Con este seguimiento, cuando se detecta que progresivamente se va necesitando mayor caudal de aire para una misma carga, puede ser una señal de que los difusores se están ensuciendo y necesitan una limpieza o remplazamiento.

2.2. Evaluación por la apariencia del licor-mixto

Tabla 1. Evaluación de la aireación estado de los difusores por apariencia del licor-mixto

Funcionamiento	Apariencia del licor-mixto	Comentarios	Corrección
Buena difusión de la aireación en el licor-mixto y soplantes en funcionamiento.	Color marrón chocolate, poca o ausencia de espumas.	Aireación y sólidos adecuados.	Continuar con este modo de operación
Buena difusión de la aireación en el licor-mixto y soplantes en funcionamiento.	Agua jabonosa; pérdida de espuma.	Baja concentración de sólidos; fango joven.	Reducir la entrada de aire en los difusores; subir progresivamente la edad del fango,
Buena difusión de la aireación en el licor-mixto y soplantes en funcionamiento.	Muy oscuro o negro.	Condición séptica: la planta puede estar recibiendo grandes cantidades de aguas residuales sépticas o el soplador no funciona lo suficiente o ambos.	Subir la aireación progresivamente hasta que regrese el color marrón y luego reajustar el sistema. Revisar y limpiar los difusores. Encontrar y corregir posibles áreas muertas.
Buena difusión de la aireación en el licor-mixto y soplantes en funcionamiento.	Rojizo.	Sobreaireación	Reducir el nivel del oxígeno disuelto (OD) al rango de normalidad.
Soplantes en funcionamiento, pero escasa o nula aireación.	Negro.	El sistema se ha vuelto séptico. Es posible que los difusores estén obstruidos o que los soplantes no funcionen lo suficiente.	Revisar y limpiar los difusores. Equilibrar el suministro de aire a todos los difusores y verificar la línea de suministro de aire.
Soplantes en funcionamiento, pero las burbujas de aire solo salen a la superficie en un extremo del tanque.	Color chocolate.	Presencia de áreas muertas (sépticas)	Revisar las válvulas de equilibrado de la línea de aire y/o verificar la posibilidad de obstrucción de los difusores.
Los soplantes no funcionan y no hay burbujas de aire en el tanque de aireación.	Negro	Fallo mecánico	Verificar posible fallo eléctrico y funcionamiento del sistema de suministro de aire comprimido.

2.3. Seguimiento de la contrapresión en los soplantes

La contrapresión sube progresivamente para una misma carga y condiciones.

El sistema de soplantes genera una contrapresión debido a la resistencia del caudal de aire.

El caudal de aire operativo actual se genera desde la combinación del propio caudal y la contrapresión y el nivel óptimo de energía se logra cuando la presión en los cabezales es suficiente para superar la presión estática. Una vez establecido el caudal para una determinada carga y condiciones, si se observa que progresivamente el nivel de contrapresión va subiendo, sería una señal de que los difusores se están obstruyendo por suciedad o deterioro.

2.4. Seguimiento del oxígeno disuelto

Este método se basa en el seguimiento del nivel medio de oxígeno disuelto en el tanque de aireación para una misma carga media de entrada con un determinado rendimiento y condiciones.

Con este seguimiento, cuando se detecta que progresivamente el nivel de oxígeno decae y se va necesitando mayor caudal de aire para mantenerlo, puede ser una señal de que los difusores se están ensuciando y necesitan una limpieza o remplazamiento.

2.5. Seguimiento del consumo de energía

Cuando se observa que hay un aumento interanual en el consumo de energía en el sistema de aireación es posible que ello provenga de un deterioro de los difusores.

2.6. Evaluación y seguimiento por la relación AOR/SOR con participación de la Respirometría

Este procedimiento se basa en el contraste del requerimiento actual de oxígeno (AOR) respecto al oxígeno suministrado en su actual eficiencia y en condiciones estándar (SOR)

Tanto para el requerimiento de oxígeno por materia orgánica como por respiración endógena del fango activo se puede hacer uso de un Respirómetro BM de la empresa Surcis.

Figura 1. Respirómetro BM y medidas automáticas que realiza el software

1. Sistema de control automático del pH
2. Sensor de pH
3. Sensor de oxígeno disuelto
4. Agitador
5. Bomba de homogeneización
6. Reactor
7. Sistema automático de atemperación
8. Leds de control de dispositivos
9. Controlador del oxígeno y temperatura
10. Controlador de pH
11. PC + software



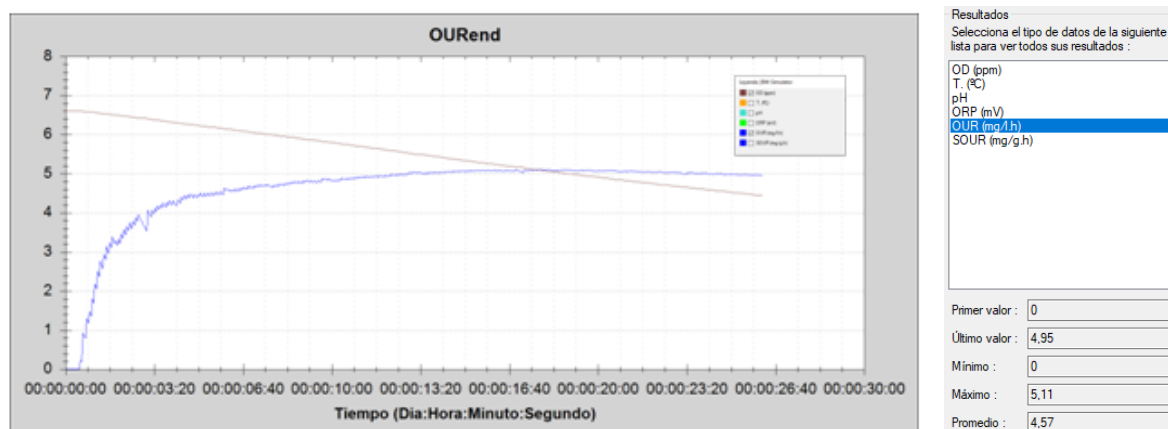
Sistema de Respirometría BM-Advance (nuevo modelo)

Para ello, solamente necesita dos sencillos ensayos de respirometría (OC: Oxígeno consumido por eliminación de DQO y OUR_{end} : Tasa de respiración endógena) que, con la utilización de este tipo de respirómetro, los resultados se obtienen de forma automática en un tiempo relativamente breve. El resto, se limita a simples ecuaciones matemáticas.

2.6.1. Tasa de consumo de oxígeno en fase endógena: OUR_{end} (mg/L.h)

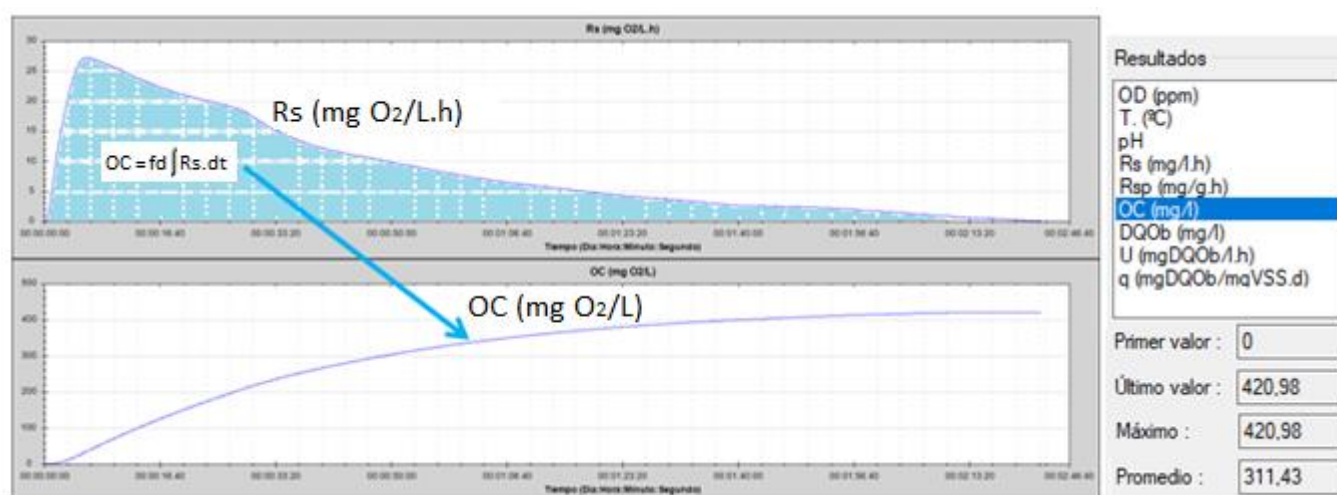
Se refiere al resultado de un ensayo OUR para la tasa de consumo de oxígeno en fase endógena (en donde solo cuenta el consumo de oxígeno de los microorganismos del fango en ausencia de sustrato biodegradable (Figura 2)

Figura 2. Respirograma y resultado del OUR_{end} en un ensayo de respirometría BM (Surcis)



Se refiere exclusivamente al oxígeno neto que se consume en la oxidación del sustrato orgánico eliminado. Con ello, el porcentaje correspondiente a la producción de fango queda excluido.

Figura 3. Respirogramas R_s & OC, y resultado automático en un ensayo de respirometría BM (Surcis)



Este consumo de oxígeno se calcula de forma automática por medio del software de un respirómetro BM de Surcis mediante la integración en el tiempo de la cadena de las tasas de respiración exógena relacionadas con el sustrato orgánico en un ensayo tipo R de respirometría.

2.6.2. Caudal actual de oxígeno: Q_{O_2} (kg O_2 /d)

El caudal medio actual de oxígeno en kg O_2 /d suministrado por el sistema de aireación se obtiene mediante la aplicación de un factor de conversión al caudal de aire Q_{aire} (Nm^3/h)

1 m^3 tiene 0,298 kg O_2

$$Q_{O_2} \text{ (kg } O_2/\text{d)} = 24 * 0,298 * Q_{aire} \text{ (Nm}^3/\text{h)} \quad (1)$$

2.6.3. Eficiencia de la transferencia de oxígeno en condiciones estándar: SOTE (%)

SOTE, es la eficiencia en la transferencia de oxígeno al proceso en condiciones estándar (20 °C, 1 atmósfera y 0 mg/L de oxígeno) en agua limpia.

El fabricante normalmente proporciona una gráfica del valor del SOTE a partir del caudal medio por difusor y profundidad de los difusores en el reactor biológico. El valor, así obtenido, proporciona una base de cálculo para obtener parámetros de referencia.

En cualquier caso, el SOTE, a efectos prácticos, se puede estimar con el siguiente criterio de cálculo:

- Para difusores de burbuja fina : 6.5% por m de profundidad de los difusores.
 - Para difusores de burbuja gruesa : 2.46% por m de profundidad de los difusores.
- (Harlan H. Bengtson, 2017)

2.6.4. AOR/SOR de referencia; $[AOR/SOR]_{ref}$

Se trata del parámetro clave que va a constituir la base de referencia para la evaluación y seguimiento del sistema de aireación actual cuando se contrasta con el AOR/SOR actual

El rango de normalidad del AOR/SOR de referencia está entre 0,3 y 0,6.

Para los sistemas de aireación de burbuja fina, el valor típico es de 0,33 (rango 0,3 a 0,4)
Mientras que en los sistemas de burbuja gruesa la relación AOR/SOR es de 0,5 (rango 0,4 a 0,6)
(Harlan H. Bengtson, 2017 - Sanitaire, University of Idaho, Environmental Engineering, 2021)

2.6.5. Transferencia de oxígeno actual en condiciones estándar: SOR (kg O_2 /d)

El SOR es el requerimiento de oxígeno en condiciones estándar en agua limpia (20°C, 1 atm, 0 mg/l)
Se calcula con la siguiente ecuación:

$$SOR = Q_{O_2} * SOTE \quad (2)$$

(Water Environmanet Federation Fact Sheet, 2017 - Simon Bengtsson, Bengt Carlsson, 2019)

(Simon Bengtsson, Bengt Carlsson, David Gustavsson, 2019 - Sweden Water Research; James A. Mueller, William C. Boyle, H. Johannes Pöpel « Aeration Principles and Practices », 2002)

2.6.6. Cálculo del AOR

El AOR se compone de cuatro requerimientos de oxígeno parciales :

- Requerimiento por materia orgánica (kgO_2/d): $\text{AOR}_C = Q * \text{OC} / 1000$ (4)
- Requerimiento por nitrificación: $\text{AOR}_N (\text{kgO}_2/\text{d}) = 4,57 * Q * \text{Nn} / 1000$ (5)
- Requerimiento por respiración endógena (kgO_2/d): $\text{AOR}_{\text{end}} = \text{Vr} * \text{OUR}_{\text{end}} * 24 / 1000$ (6)
- Requerimiento por desnitrificación: $\text{AOR}_{\text{DN}} (\text{kgO}_2/\text{d}) = 2,28 * Q * \text{N-NO}_3 / 1000$ (7)

En donde:

OC: Oxígeno consumido en la eliminación de la DQO biodegradable (mg/L)

Nn: Nitrógeno nitrificable (mg N/L) $\approx$ NTK eliminado

N-NO₃: Nitrato a desnitrificar ($\text{mg N-NO}_3/\text{L}$)

Vr: Volumen del reactor biológico aerobio (m^3)

Q: Caudal de entrada en el reactor biológico (m^3/d)

El requerimiento por desnitrificación, llevándose a cabo en condiciones anóxicas, se presenta como crédito en el oxígeno global requerido. Por lo tanto, el valor del AOR será la suma del AOR_C con el AOR_N y deduciendo el aporte de oxígeno por parte del AOR_{DN} .

$$\text{AOR} = \text{AOR}_C + \text{AOR}_N + \text{AOR}_{\text{end}} - \text{AOR}_{\text{DN}} \quad (8)$$

5.2.6. AOR/SOR actual: AOR/SOR

Una vez calculados AOR y SOR, se accede al parámetro AOR/SOR por división entre ambos:

$$\text{AOR/SOR} = \frac{\text{AOR}}{Q_{\text{O}_2} * \text{SOTE}} \quad (9)$$

6. Evaluación y seguimiento del sistema de aireación

Manteniendo un determinado rendimiento en el proceso, el criterio general a seguir para una evaluación y seguimiento se basaría en la relación del AOR/SOR actual con el valor típico de referencia $[\text{AOR/SOR}]_{\text{ref}}$

$$F = \frac{\text{AOR/SOR}}{[\text{AOR/SOR}]_{\text{ref}}} \quad (10)$$

En general, cualquier valor del AOR/SOR actual que quedara por debajo del rango de referencia (punto 2.6.4.), indicaría una deficiencia del sistema de aireación que se puede traducir por una falta de mantenimiento o cambio de difusores (cuando la desviación es superior al 20% y los difusores ya llevan un tiempo relativamente elevado desde que se instalaron)

A esta relación la podemos denominar F (factor de uso) al tener una equivalencia con la transferencia de oxígeno entre difusores usados y difusores en estado normal.

En general, para un sistema de aireación por difusores podemos tomar el rango F de 0,7 a 0,9 como moderado / normal. (EPA Design Manual Fine Pore Aeration Systems) y de 0,9 a 1 como óptimo.

6. Conclusión

Aquí se ha presentado unos métodos que se pueden incluir en dos grupos: métodos cualitativos y cuantitativo.

Los métodos cualitativos son los siguientes: caudal de aire, apariencia del fango, contrapresión de los soplantes, oxígeno disuelto y consumo de energía.

El método cuantitativo: Relación AOR/SOR, con la participación de la Respirometría.

Los métodos cualitativos nos pueden dar una indicación de una posible falta de mantenimiento o cambio de los difusores, mientras que el método cuantitativo no da una evaluación precisa de su estado y permite su seguimiento.

Lógicamente la combinación de dos o más de estos métodos nos aportarán una mayor seguridad a la hora de tomar una decisión.

En relación al método cuantitativo AOR/SOR puede ser importante tener en cuenta que no solo puede servir para evaluar el estado actual de los difusores, sino que además puede servir para detectar de forma temprana el riesgo inminente de su deterioro.

También es importante añadir que, los valores de referencia del AOR/SOR, como es lógico, no solamente se puede utilizar para evaluar el sistema de aireación sino además como herramienta de diseño, principalmente para calcular el caudal de oxígeno necesario para un determinado requerimiento de oxígeno.

REFERENCIAS

Sanitaire, University of Idaho, Environmental Engineering, CVE – 2021

Engineering, Harlan H. Bengtson – 2017

Simon Bengtsson, Dan Fujii, Magnus Arnell, Sofia Andersson, Bengt Carlsson, Henrik Held, David Gustavsson (2019). Design, operation, maintenance and procurement of aeration equipment for municipal wastewater treatment plants - WEF, SVU Rapport-2019 -23.

Harlan H. Bengtsson (2017) – Civil Engineering Southern Illinois University Edwardsville - Biological Wastewater Treatment Process Design Calculations.

EPA – Design Manual - Fine Pore Aeration System

METCALF y EDDY. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4° edition.

Lee E. Ferrell, P.E., BCEE, CEM, - LEED Green Assoc (2019) - Aeration Efficiency and Optimization.