

Procedimiento práctico para la valoración y seguimiento de sistemas de aireación de difusores de membrana de burbuja fina en procesos de fangos activos



Autor: Emilio Serrano - SURCIS, S.L.

Email: eserrano@surcis.com

www.surcis.com

Palabras Clave: Respirimetría, DQO biodegradable, Nitrificación, Desnitrificación, Requerimiento actual de oxígeno actual, Eficiencia de la transferencia de oxígeno en proceso, Factor de uso,

Key words: Respirometry, biodegradable COD, Nitrification, Denitrification, Actual oxygen requirement, Oxygen transfer efficiency in process, Fouling factor

RESUMEN

En general el capítulo de la optimización energética en una planta depuradora siempre tiene una especial relevancia. Con ello, la combinación del ahorro energético con la calidad del efluente en muchos casos significa todo un reto al que los jefes de planta deben enfrentarse a menudo.

Es bien sabido que la mayor parte del consumo energético proviene de la aireación y que el criterio más utilizado para su valoración es el nivel de oxígeno disuelto y/o calidad del efluente con que el proceso está normalmente operando en contraste con el caudal de aire que el sistema está suministrando. Este criterio sigue siendo válido. Sin embargo, en muchas plantas no se consigue analizar, con la efectividad que el caso requiere, la suficiencia del sistema de aireación así como de disponer de parámetros representativos con los que llevar a cabo un seguimiento que nos indiquen el momento más adecuado para realizar un mantenimiento del sistema o cambio de elementos.

El presente artículo presenta un modelo matemático práctico especialmente dirigido a los sistemas de aireación por difusores con membrana de burbuja fina en donde de forma relativamente sencilla y efectiva se obtienen parámetros de valoración y seguimiento en el marco de un procedimiento práctico que permite resolver este tipo de necesidades.

ABSTRACT

In general, the chapter on energy optimization in a treatment plant will always have special relevance, and even more so now with the notable increase in the price of electricity that we are experiencing. With this, the combination of energy savings with the quality of the effluent in many cases means a challenge that plant managers often have to face.

It is well known that most of the energy consumption comes from aeration and that the most used criterion for its evaluation is the level of dissolved oxygen and/or quality of the effluent with which the process is normally operating in contrast to the air flow that the system is supplying. This criterion is still valid. However, many plants can get some difficulties in analyzing the assessment of the aeration sufficiency as well as having at hand some representative parameters with which to carry out a follow-up the appropriate time for maintenance or elements replacement.

To do this, the present paper presents a mathematical model especially aimed at aeration systems of fine bubble membrane diffusers where a solution to these needs can be provided in a relatively simple and effective way.

1. INTRODUCCIÓN

Una de la formas de llevar a cabo la valoración del sistema de aireación es mediante un modelo matemático que se base en la relación entre requerimiento de oxígeno medio, derivado de la carga de entrada a biológico (AOR), y el caudal de oxígeno medio que se está suministrando (Q_{O_2}). Y Este principio fundamental es con el se basa el desarrollo de un sencillo procedimiento que se expondrá con detalle en el presente artículo.

La ventaja potencial que puede ofrecer este procedimiento frente a otros métodos es que se valora el proceso de forma global en lugar de referirse a puntos selectivos del reactor biológico.

Para este tipo de procedimiento, merece especial importancia la fiabilidad de cálculo del requerimiento de oxígeno, ya que el resultado o estimación incorrecta de este parámetro puede conducir a conclusiones y actuaciones inapropiadas.

Con ello, se pone de relieve cómo, partiendo de unos ensayos de respirometría podemos calcular el requerimiento actual de oxígeno de la materia orgánica mediante el uso de la DQO biodegradable como dato fundamental en este cálculo. Desde aquí, se da paso al modelo matemático que arranca con relación entre el requerimiento de oxígeno global del proceso y el requerimiento en condiciones estándar (AOR/SOR) que se compara con un valor de referencia debidamente validado.

Con el parámetro AOR/SOR sería ya suficiente para una valoración cualitativa y seguimiento de la suficiencia y estado del sistema de aireación. No obstante, con el fin de abrir el abanico de posibilidades del procedimiento, el procedimiento se extiende al cálculo simplificado de la eficiencia de la transferencia de oxígeno en proceso (O_{TE_f}), a la estimación del factor de uso (F) como indicativo del estado de los difusores en cuanto a suciedad o envejecimiento y al cálculo de la posible optimización energética (OE) que puede suponer el cambio membranas o limpieza de difusores.

Finalmente se expone un caso real de estudio de una EDAR municipal cuya explotación corre a cargo del Grupo DAM, al que Surcis agradece su estrecha colaboración en los ensayos de Respirometría BM aportados desde su laboratorio y datos del proceso.

2. PARÁMETROS

Los parámetros utilizados en el procedimiento aquí descrito están orientados a sistemas de aireación con membranas de burbuja fina. No obstante, muchos de ellos, también se pueden utilizar en otros sistemas de aireación.

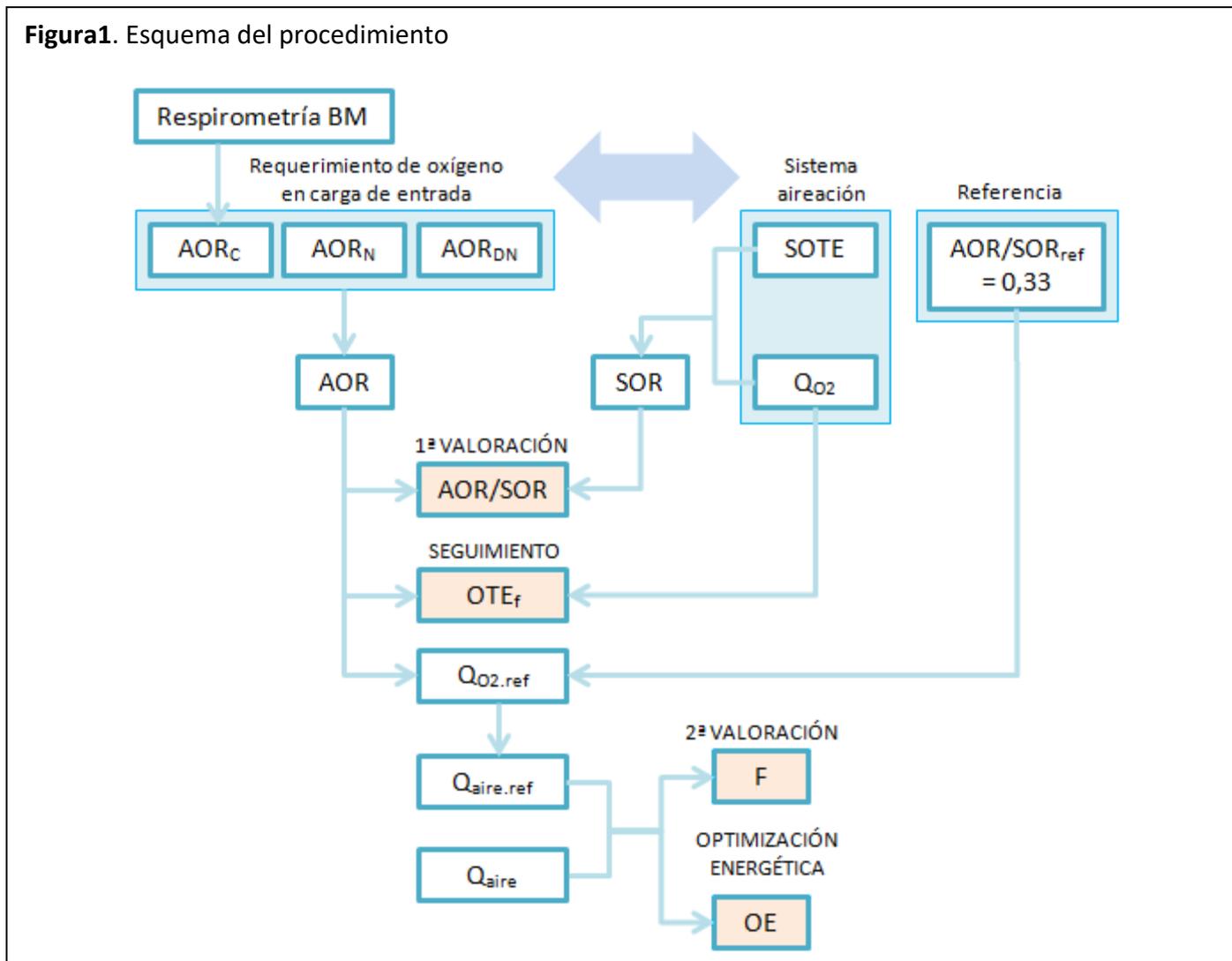
Se trata de un primer grupo de parámetros derivados de los resultados de una serie de ensayos de respirometría BM; y otro que se obtiene por medio de sencillas ecuaciones en donde intervienen parámetros del primer grupo, datos del proceso actual, del sistema de aireación y valores de referencia.

Tabla 1. Parámetros utilizados en la valoración y seguimiento del sistema de aireación

Parámetro	Descripción
Parámetros derivados de resultados de ensayos de respirometría BM	
SOUR (mg/g/h)	Tasa específica de la respiración endógena
Y_{H,O_2} (O ₂ /DQO)	Coefficiente estequiométrico de producción de biomasa heterótrofa
$Y_{H,obs}$ (SSV/DQO)	Y_H observada, referida a la edad del fango
DQOb (mg/L)	Fracción biodegradable de la DQO
DQOnb (mg/L)	Fracción no-biodegradable de la DQO
DQObe (mg/L)	DQOb eliminada en el proceso
Parámetros calculados desde datos del proceso, de la aireación y de respirometría	
AOR (kg O ₂ /d)	Requerimiento actual de oxígeno
SOR (kg O ₂ /d)	Requerimiento actual de oxígeno en condiciones estándar
OTE (%)	Eficiencia actual de transferencia de oxígeno
SOTE (%)	Eficiencia de transferencia de oxígeno en condiciones estándar
AOR/SOR	Relación entre el requerimiento actual de oxígeno (AOR) y el requerimiento de oxígeno en condiciones estándar (SOR)
$Q_{O_2,ref}$ (kg O ₂ /d)	Caudal de oxígeno de referencia
$Q_{aire,ref}$ (Nm ³ /h)	Caudal de aire de referencia
OTE _{ref} (%)	Eficiencia actual de transferencia de oxígeno de referencia
F	Factor de uso: suciedad & envejecimiento
OE (%)	Optimización energética estimada por limpieza o cambio de membranas (en caso de que utilice membranas de burbuja fina)

3. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO

En este esquema se presentan los pasos a seguir en el procedimiento para la valoración y seguimiento del sistema de aireación.



4. RESPIRÓMETRO BM

La tecnología de la Respirometría BM se basa en un sistema único, basado en la respirometría tipo LFS + LSS modificada, desarrollado por la empresa Surcis S.L. que se incluye en una serie de distintos modelos de respirómetros BM.

Esta tecnología permite que, en la programación previa del ensayo, e incluso durante la ejecución del mismo, lo podamos adaptar a distintas condiciones de pH, Temperatura, Oxígeno y relación muestra / fango. También permite la posibilidad de introducción de determinados datos que pueden participar en los cálculos automáticos de parámetros fundamentales en procesos de depuración.

Las aplicaciones más habituales que se realizan con la Respirometría BM son los siguientes: Tomar el pulso al proceso para una rápida valoración, fracciones de la DQO, Biodegradabilidad al fango, Toxicidad, Tasa de nitrificación (AUR), Tasa de desnitrificación (NUR), Valoración y seguimiento del sistema de aireación, entre muchas otras.

Opcionalmente, mediante un reactor especial (bio-carrier), los respirómetros BM pueden llevar a cabo ensayos de respirometría con lechos bacterianos para procesos tipo MBBR y de biomasa granular.

Figura 2. Respirómetro BM y medidas automáticas que realiza el software



BM-EVO

MEDIDAS AUTOMÁTICAS EN LA RESPIROMETRÍA BM

Modo OUR y OUR cíclico

OUR: Tasa de consumo de oxígeno (mg O₂/L.h)

SOUR: OUR específico (mg O₂/g SS.h)

Modo R - dinámico

Rs: Tasa de respiración exógena dinámica (mg O₂/L.h)

Rsp: Rs específica mg O₂/g SS.d)

DQOb: DQO biodegradable (mg/L)

DQOrb: DQO soluble rápidamente biodegradable (mg/L)

U: Tasa de eliminación de la DQO (mg DQO/L.h)

q: U específica (mg DQO/mg SSV.d)

5. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS

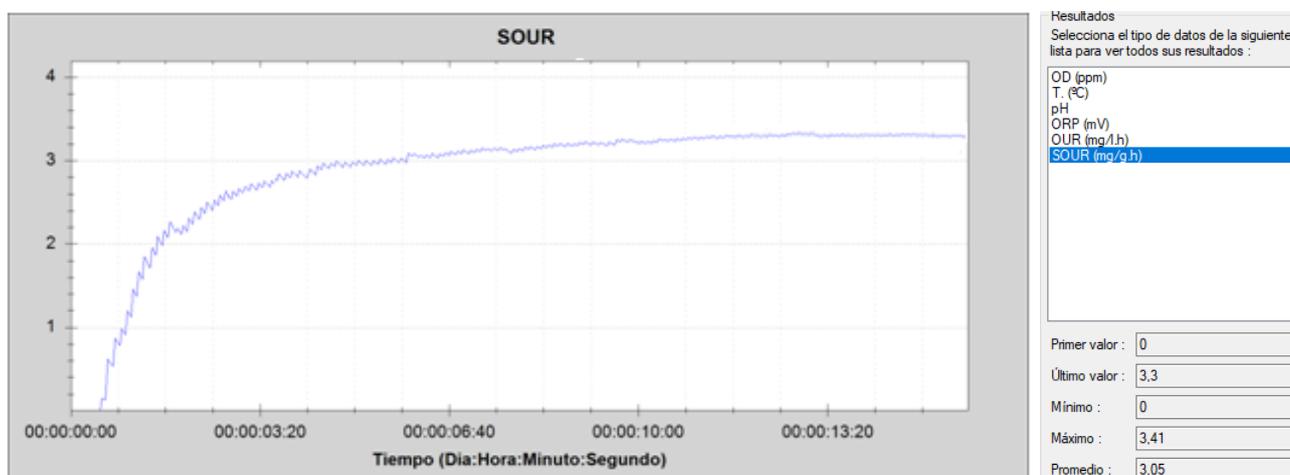
5.1. Parámetros derivados de ensayos de respirometría

Se refiere a los parámetros obtenidos a partir de ensayos de respirometría, bien calculados directamente de forma automática por el software o matemáticamente a partir de los resultados de ensayos realizados con el sistema de respirometría.

5.1.1. SOUR_{end}: Tasa específica de la respiración endógena (mg O₂/g/h)

Es la tasa de consumo de oxígeno específica en curso del fango en fase de respiración endógena. Introduciendo el valor de la concentración SSVLM, un respirómetro BM calcula automáticamente este parámetro dividiendo el valor del OUR entre la concentración de SSVLM previamente introducida en la configuración del ensayo..

Figura 3. Respirograma y resultado de un ensayo de respirometría BM (Surcis) para el SOUR_{end}



El $SOUR_{end}$ interviene el calculo del coeficiente K_d (ecuación 1) - con unidades de $kg O_2/kg/d$ -.

5.1.2. K_d : Coeficiente de descomposición de biomasa en fase de respiración endógena (d^{-1})

Este coeficiente tiene en cuenta la pérdida de masa celular debida a la oxidación de los productos de almacenamiento interno de energía para el mantenimiento de la célula en fase de respiración endógena.

$$K_d = \frac{SOUR_{end}}{1,42} \quad (1)$$

5.1.3. Y_H : Coeficiente estequiométrico de producción de biomasa heterótrofa (O_2/DQO), (SSV/DQO)

Este coeficiente representa la parte de DQO biodegradable que se utiliza en la reproducción de biomasa heterótrofa.

Este coeficiente referido al oxígeno ($mg O_2/mg DQO$) se calcula a partir del valor del oxígeno consumido (ecuación 2) de un sustrato estándar de DQO conocida y que se obtiene de forma automática (figura 4) con un respirómetro BM para formar parte de la configuración del ensayo respirométrico de la DQO biodegradable (punto 5.1.5. - figura 5)

$$Y_{H.O_2} = 1 - \frac{OC}{DQO_{ac}} \quad (2)$$

En donde:

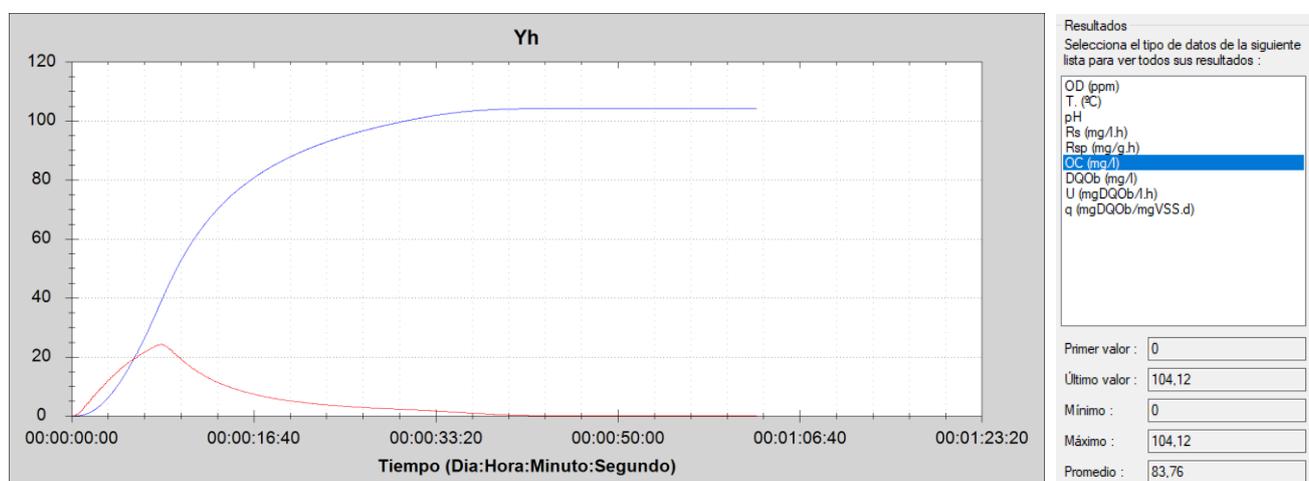
OC: Oxígeno consumido (mg/L), calculado a partir de la integración del conjunto de valores R_s (figura 5)

DQO_{ac} : DQO del sustrato de referencia utilizado en el ensayo de respirometría (mg/L)

El coeficiente pasa a relacionarse con la concentración de biomasa ($mg SSV/mg DQO$) con la siguiente ecuación:

$$Y_{H.SSV} = \frac{Y_{H.O_2}}{1,42} \quad (3)$$

Figura 4. Respirograma y resultado de un ensayo de respirometría BM del OC para la determinación del coeficiente Y_H



5.1.4. Y_{obs} : Coeficiente estequiométrico de producción de biomasa observado (SSV/ DQO)

Este coeficiente representa la relación de la acumulación neta de biomasa (rendimiento de biomasa observado, Y_{obs}) que corresponde a la cantidad de fango excedente. Se relaciona con la K_d y edad del fango contabilizando, de este modo, la lisis (muerte) de las células bacterianas y la depredación de las bacterias por otros microorganismos.

$$Y_{obs} = \frac{Y_{H,SSV}}{1 + K_d * TRC} \quad (4)$$

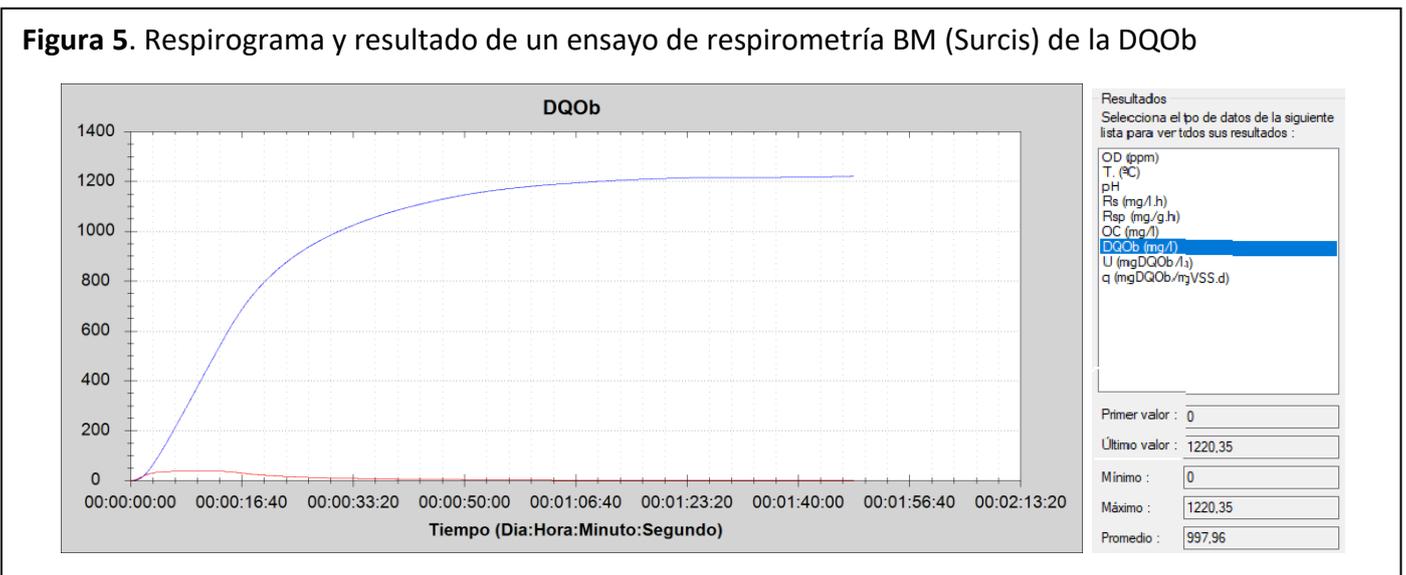
En donde:

Edad del fango: TRC (d)

5.1.5. $DQOb$: DQO biodegradable (mg/L)

Es la fracción biodegradable en la DQO total.

La $DQOb$ es un parámetro clave en el cálculo del requerimiento de oxígeno del proceso. Se puede calcular automáticamente por medio de un respirómetro BM (Surcis) desde una muestra compuesta representativa del influente al reactor biológico (figura 6)



Es la DQO inerte que actualmente no es degradable biológicamente en el proceso de fangos activos.

$$DQOnb = DQO - DQOb \quad (5)$$

5.1.6. $DQOb_e$: DQO biodegradable eliminada (mg/L)

Es la DQO biodegradable a eliminar en el proceso.

$$DQOb_e = DQOb_{entrada} - DQO_{salida} - DQOnb \quad (6)$$

Cuando $DQOnb \approx DQO_{salida}$, entonces $DQOb_{salida} = 0$ y $DQOb_e \approx DQO$ eliminada.

Con ello, se asume que toda la $DQOb$ se ha eliminado biológicamente en el reactor.

5.2. Parámetros calculados desde datos del proceso y respirometría

Denominamos así a los parámetros que conducen directamente a las ecuaciones clave en la valoración del sistema de aireación.

5.2.1. P_X : Producción de fango (kg SSV/d)

Este parámetro representa el crecimiento neto de la biomasa expresado en sólidos volátiles en suspensión. Su fórmula matemática es la siguiente :

$$P_X = Y_{obs} * Q * DQO_e \quad (7)$$

En donde:

Q : Caudal de entrada (m^3/d)

5.2.2. AOR: Requerimiento actual de oxígeno (kg O_2/d)

Es la demanda de oxígeno requerida en el proceso de depuración biológica.

Se compone de tres requerimiento parciales :

- Requerimiento por materia orgánica: $AOR_C = Q * DQO_{be} / 1000 - 1,42 * P_X$
- Requerimiento por nitrificación: $AOR_N = 4,57 * Q * N_n / 1000$
- Requerimiento por desnitrificación: $AOR_{DN} = 2,28 * Q * N-NO_3 / 1000$
(Metcalf & Eddy – 2003, Henze, et al 2008)

En donde:

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

$N-NO_3$: Nitrato a desnitrificar (mg $N-NO_3/L$)

El requerimiento por desnitrificación, llevándose a cabo en condiciones anóxicas, se presenta como crédito en el oxígeno global requerido.

$$AOR = AOR_C + AOR_N - AOR_{DN} \quad (8)$$

A tener en cuenta en el cálculo del AOR

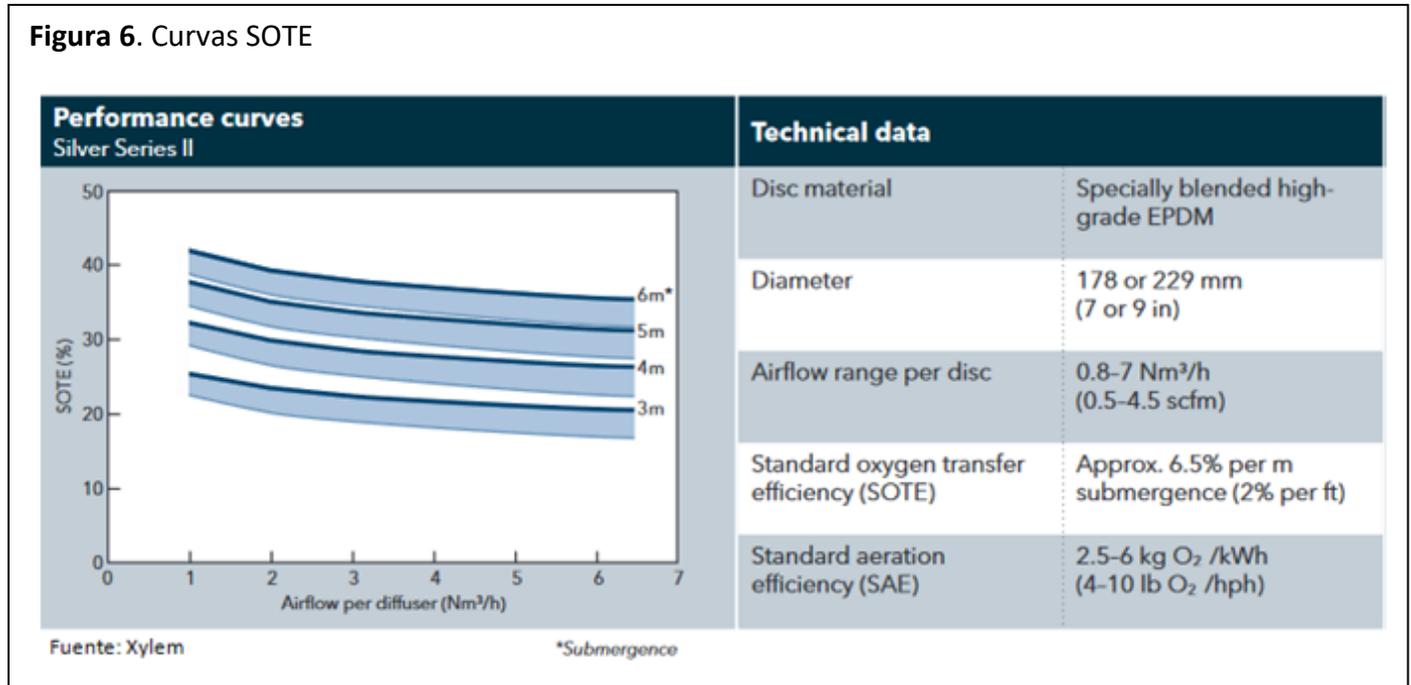
Merece especial importancia la recomendación de calcular el requerimiento de la materia orgánica (AOR_C) en base a la DQO biodegradable eliminada (Metcalf & Eddy, 2003, Henze, et al 2008), a ser posible por medio de la Respirometría. La razón de ello está en que si se utiliza la DBO5, cuando existe un porcentaje significativo de la fracción lentamente biodegradable de la DQO (DQO_{lb}) de muy baja actividad, podría no ser capaz de detectar este tipo de demanda de oxígeno. Con ello, aunque se apliquen valores estimados de requerimiento de oxígeno por unidad de carga DBO5 no sería representativa de una demanda de oxígeno global de la materia orgánica y se correría el riesgo de que se calcule un requerimiento de oxígeno inferior al que realmente necesita el proceso (ver caso de estudio)

5.2.3. 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) a pleno rendimiento y 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 (Figura 7) El valor, así obtenido, proporciona una base de cálculo para obtener parámetros de referencia.

Figura 6. Curvas SOTE



5.2.4. Requerimiento estándar de oxígeno: SOR (kg O₂/d)

El SOR está relacionado con la cantidad de oxígeno que debe transferirse para cumplir con el AOR después de ajustar las condiciones del reactor biológico. Es por esta razón que normalmente se utiliza conjuntamente con el AOR en la relación AOR/SOR. Con ello, es uno de los parámetros que sirve para valorar la suficiencia de oxígeno para el proceso y también para comparar diferentes sistemas de aireación.

La tasa de transferencia estándar de oxígeno (SOTR) debe ser igual al SOR en un proceso en funcionamiento. Por esta razón el SOR se calcula con la misma fórmula matemática que la del SOTR referida al caudal de oxígeno (WEF, SVU Report-2019 23)

$$SOR = Q_{O_2} * SOTE \quad (9)$$

En donde:

Q_{O₂} : Caudal medio de oxígeno suministrado al proceso (kg O₂/d)

5.2.5. Relación entre el requerimiento actual y requerimiento en condiciones estándar de oxígeno de referencia: AOR/SOR

La relación AOR/SOR se puede utilizar como parámetro primario de valoración. De hecho muchos fabricantes proponen esta relación para valorar y calcular el caudal de oxígeno.

En realidad, esta relación no hace otra cosa que sujetarse al principio básico por el que se relaciona el requerimiento de oxígeno medio con el caudal de oxígeno que se está suministrando. Por esta razón, el parámetro AOR/SOR se puede tomar como parámetro de primera valoración de inicio del procedimiento para la valoración y seguimiento del sistema de aireación.

La relación AOR/SOR suele tener un rango de normalidad de entre 0,3 y 0,5.

Para los sistemas de aireación de burbuja fina, el valor habitual de referencia del AOR/SOR es de 0,33 (CED Engineering, Harlan H. Bengtson – 2017, Sanitaire, University of Idaho, Environmental Engineering, CVE – 2021, otros)

Este valor de 0,33 se tomará como base para el cálculo de otros parámetros de referencia. Con ello, la primera evaluación del sistema de aireación puede provenir precisamente de la relación AOR/SOR. Por lo que, por ejemplo, valores por debajo de 0,3 supone una aireación deficiente y ello significaría que se está suministrando un caudal anormalmente elevado para el requerimiento de oxígeno actual.

5.2.6. Cálculo simplificado de la eficiencia de la transferencia de oxígeno actual del proceso: OTE_f (%)

La eficiencia de transferencia de oxígeno del proceso es uno de los parámetros más importantes en los sistemas de aireación. Cuanto mayor sea la OTE_f , menos aire debe suministrarse a un reactor para garantizar la cantidad necesaria en el proceso.

La determinación del OTE_f permiten a las plantas evaluar los costes de funcionamiento a largo plazo de sus sistemas de aireación y confirmar que se dispone de la capacidad suficiente para satisfacer el requerimiento de oxígeno exigido por la carga de entrada al proceso. Por ello, es un parámetro que se puede considerar como fundamental para el seguimiento del sistema de aireación..

Con el rendimiento actual y condiciones de proceso, la forma simplificada y dinámica de calcular el OTE_f es por la relación entre el requerimiento de oxígeno de la carga de entrada y el caudal actual de oxígeno que se suministra (Lee E. Ferrell, P.E., BCEE, CEM, LEED Green Assoc.- 2010; Viktor Larsson – 2011, entre otros)

$$OTE_f = 100 * \frac{AOR}{Q_{O_2}} \quad (10)$$

5.2.7. Caudal de oxígeno de referencia: $Q_{O_2.ref}$ (kg O_2 /d)

En base al valor de referencia del AOR/SOR = 0,33, se puede obtener la ecuación para el cálculo del caudal de referencia (ecuación 10)

El caudal de referencia ($Q_{O_2.ref}$) correspondería al caudal estimado que se necesitaría, para una mismo requerimiento AOR, después de un mantenimiento efectivo de los difusores (limpieza o cambio)

$$Q_{O_2.ref} = \frac{AOR}{(0,33 * SOTE)} \quad (11)$$

El caudal de aire correspondiente ($Q_{aire.ref}$) se obtendrá aplicando el factor de conversión de kg O_2 /d a Nm^3/h (ecuación 12)

$$Q_{\text{aire.ref}} = \frac{0,285}{24} * Q_{O_2.ref} \quad (12)$$

5.2.8. Estimación del factor F

Se trata del factor que valora el estado actual de los difusores en cuanto a suciedad o envejecimiento..

El factor de uso (ensuciamiento & envejecimiento) F se define como la relación entre la eficiencia de transferencia de oxígeno estándar del difusor en cualquier momento (αFSOTE) y la eficiencia de transferencia de oxígeno estándar óptimo (αSOTE)

Con ello, puesto que la relación $\alpha\text{FSOTE}/\alpha\text{SOTE}$ es proporcional a $[AOR/Q_{O_2}]/ [AOR/Q_{O_2.ref}]$, en modo simplificado podemos estimar que el factor F se calcula por la división entre el caudal de referencia y el caudal actual de oxígeno o de aire (ecuación 12)

$$F = \frac{Q_{\text{aire.ref}}}{Q_{\text{aire}}} \quad (13)$$

El rango habitual del factor F se encuentra entre 0,7 y 0,9.

El factor F, en los difusores de poros finos, va disminuyendo con el tiempo debido al envejecimiento, el ensuciamiento, las incrustaciones inorgánicas o los cambios como resultado de la calidad de las aguas residuales, las características de los lodos y las condiciones de funcionamiento.

Cuando el valor F se sitúa a un nivel muy cercano o por debajo de 0,7 indicará que existe una reducida transferencia de oxígeno, la cual puede ser debida al ensuciamiento y/o envejecimiento de las membranas de los difusores por lo que, se podría ir pensando en una nueva limpieza o un cambio de membranas.

Las membranas difusoras y acoplamiento suelen tener una vida útil de entre 8 y 10 años. Por lo que, a partir de los 8 años, en caso de una notable deficiencia de aireación y con un factor inferior o cercano a 0,7, se podría ir pensando en el cambio de membranas cuando ello pueda representar una importante optimización energética (ecuación 14)

5.2.9. Optimización energética estimada: OE (%)

Representa la optimización estimada que puede suponer un mantenimiento efectivo en un sistema de aireación de burbuja fina por limpieza o cambio de membranas (en el caso de que los difusores ya tengan una edad suficiente para su cambio)

Para ello, se calcula el porcentaje teórico de optimización desde la diferencia entre el caudal actual y el de referencia respecto al actual.

$$OE \approx 100 * \frac{Q_{O_2} - Q_{O_2.ref}}{Q_{O_2}} \quad (14)$$

6. CONCLUSIÓN

Aquí se ha presentado un procedimiento compuesto por dos grupos de sencillas ecuaciones con el claro objetivo de seguir el principio básico de relacionar el requerimiento de oxígeno medio de la carga de entrada con el oxígeno que se está suministrando. A esta relación se la vincula con una referencia contrastada con el fin de obtener una valoración de los parámetros obtenidos. De este modo, este procedimiento permite valorar y hacer un seguimiento periódico del sistema de aireación por difusores de membrana de burbuja fina y tomar las decisiones oportunas.

En todo ello, es importante tener en cuenta la potente herramienta que puede significar la relación AOR/SOR y que en muchos casos podría ser suficiente como parámetro de valoración, sin tener que ir más lejos. Para ello, es fundamental el correcto cálculo del AOR.

El procedimiento no pretende ser científicamente preciso, pero para una EDAR es suficiente para tener perfectamente claro la suficiencia del sistema de aireación y para obtener un parámetro que nos indique la conveniencia de una limpieza o cambio de membranas. Por otro lado es evidente que ofrece la importante ventaja de valorar y seguir el estado del proceso de aireación de forma global.

El conjunto de las sencillas ecuaciones presentadas son de fácil acomodación a cualquier hoja de cálculo. Pero, en cualquier caso, la empresa Surcis, además de su capacidad de asesoramiento permanente, está desarrollando un programa en donde con la simple introducción de datos será capaz de generar automáticamente los parámetros de valoración y seguimiento: AOR/SOR, OTE, F y OE.

Es importante añadir que, el valor de referencia de 0,33 en la relación AOR/SOR, no solamente se puede utilizar para valorar el sistema de aireación sino además como herramienta de diseño, principalmente para calcular el caudal de oxígeno necesario para un determinado requerimiento de oxígeno.

El conjunto de parámetros del el modelo matemático expuesto en este escrito pueden dar paso al cálculo de otros parámetros, tales como el kLa_f , OTE_{ref} , factor α estimado, que se pueden añadir al paquete de los ya calculados para incrementar el criterio de valoración y seguimiento si ello fuera necesario.

7. CASO DE ESTUDIO PARA LA VALORACIÓN DEL SISTEMA DE AIREACIÓN DE UNA EDAR MUNICIPAL

Como ejemplo de aplicación del procedimiento descrito, se ha llevado a cabo un estudio del sistema de aireación de una EDAR municipal cuya explotación corre a cargo de la empresa DAM a la que, unavez más, agradecemos su importante colaboración tanto en la aportación de los datos del proceso actual como en los ensayos de Respirimetría BM realizados en su laboratorio.

7.1. Datos del proceso

Tabla 2. Ficha técnica de datos y condiciones del proceso de depuración de la EDAR

Parámetro / Tipo	Descripción	Valor
Tipo proceso	Aireación prolongada	-
Tipo de difusores	Difusores de membrana de burbuja fina	-
h	Profundidad de los difusores	4,235 m
Edad sistema	Edad de los difusores	> 8 años
Limpieza difusores	Última limpieza	Hace 4 meses
T	Temperatura media	20 °C
Q	Caudal de entrada	3.145 m ³ /d
Q _{aire}	Caudal total medio de aire	5.800 Nm ³ /h
Q _{O₂}	Caudal medio de oxígeno	39.672 kg O ₂ /d
Q _{aire/difusor}	Caudal aire por difusor	3,7 Nm ³ /h
OD	Oxígeno disuelto medio en zona aerobia	0,7 mg/L
DBO _{in}	DBO5 de entrada	366 mg/L
DBO _{ef}	DBO5 de salida	4 mg/L
DBO _e	DBO media eliminada	362 mg/L
DQO _{in}	DQO de entrada	1.055 mg/L
DQO _{ef}	DQO salida	35 mg/L
DQO _e	DQO eliminada	1020 mg/L
DQO _{b_e}	DQO biodegradable media eliminada (En este caso específico: DQO _{b_e} = DQO _e)	1020 mg/L
NTK _{in}	NTK entrada	101 mg N/L
NTK _{ef}	NTK salida	5 mg N/L
Nn	NTK eliminado	96 mg N/L

7.2. Resumen de resultados

Tabla 3. Resultados del estudio de la valoración del sistema de aireación en una EDAR de la empresa DAM

Parámetro	Descripción	Resultado
AOR	Requerimiento actual de oxígeno.	2.525 kg O ₂ /d
SOR	Requerimiento de oxígeno en condiciones estándar	10.910 kg O ₂ /d
AOR/SOR	Relación requerimiento actual / Requerimiento estándar oxígeno	0,23
SOTE	Eficiencia de la transferencia de oxígeno en condiciones estándar	27,5 %
OTE _f	Eficiencia actual de la transferencia de oxígeno del proceso	6,3 %
Q _{O₂.ref}	Caudal de oxígeno de referencia	28.055 kg O ₂ /d
Q _{aire.ref}	Caudal de referencia estimado de aire obtenido desde Q _{O₂.ref}	4.101 Nm ³ /h
F	Factor de uso (ensuciamiento & envejecimiento)	0,7
OE	Optimización energética teórica, para un mismo AOR y condiciones, en caso de cambio de membranas.	29 %

7.3. Análisis de los resultados obtenidos

1. En esta depuradora se da el caso de que la relación DBO/DQO es de 0,34. Lo cual, en principio parece suponer que se trata de un agua residual de baja biodegradabilidad. Sin embargo, con el ensayo de respirometría para la obtención de la DQO biodegradable (DQOb) con un analizador BM de Surcis, se pone en evidencia que no es así, sino todo lo contrario: la realidad es que el agua residual tiene una biodegradabilidad del 96 %. La razón de esta discrepancia está en que existe un importante porcentaje de DQO lentamente biodegradable de muy escasa actividad que la DBO5 parece no ser capaz de detectar. Por otro lado, este elevado grado de biodegradabilidad detectado por respirometría justifica el alto rendimiento obtenido en la eliminación de la DQO.
2. La relación AOR/SOR de 0,23, al situarse por debajo de 0,3, da una valoración primaria de clara deficiencia del sistema de aireación.
3. El factor F de 0,7, aun situándose en el rango bajo de normalidad, al tomar en consideración el valor del AOR/SOR de 0,23 que se sitúa por debajo del valor de referencia, debe valorarse como crítico. Por lo cual, teniendo en cuenta que los difusores tienen más de 8 años de funcionamiento, se puede deducir que son los responsables de la deficiencia de la transferencia de oxígeno.
4. Aunque la limpieza de difusores se hizo aproximadamente hace cuatro meses, el rendimiento de la aireación sigue siendo relativamente bajo y el cambio de membranas puede suponer una importante optimización energética (29 %) al obtener una reducción teórica del caudal de aire al pasar de 5.800 Nm³/h a 4.101 Nm³/h para un mismo requerimiento medio de oxígeno.

REFERENCIAS

Rumana Riffat - FUNDAMENTALS OF WASTEWATER TREATMENT AND ENGINEERING (2013) – IWA.

H. Johannes Pöpel (2002). AERATION: Principles and Practice.

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

Catarina Silva ; Maria João Rosa (2022)- Urban Water Division, Hydraulics and Environment Department, National Civil Engineering Laboratory. A Comprehensive Derivation and Application of Reference Values for Benchmarking the Energy Performance of Activated Sludge Wastewater Treatment.

Felipe Andrés Proschle; Javier Nannig (2017). Universidad de Chile – Dpt. Ingeniería Civil. Cálculo del consumo máximo de oxígeno diario del reactor biológico de un sistema de tratamiento de lodos activados.

American Society of Civil Engineers – ASCE (1984, 1991, 2007). Measurement of Oxygen Transfer. American Society of Civil Engineers, New York, ASCE 2 – 91.

5b Sutari-Activated Sludge - SWIM-H2020 – Oxygen Requirements.

Diego Rosso 1 ; Lu-Man Jiang 2 ; Paul Pitt, P.E. 3 ; Charles S. Hocking, P.E. 4 ; Michael K. Stenstrom, P.E., F.ASCE 5 ; Sudhir Murthy, P.E. 6 ; David M. Hayden 7 ; Joseph Zhong 8 ; Daniel H. Coller 9 ; Andrew Y. Kim 10 ; and Haomin Xu. (2013). Methodology for In Situ Column Testing to Improve Accuracy during Design and Specification of Aeration Systems. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING © ASCE / APRIL 2013 / 531

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.