

# Aplicaciones esenciales de Respirometría para un proceso de fangos activos con eliminación de nitrógeno en el marco de la optimización energética



**Autor:** Emilio Serrano - SURCIS, S.L.

Email: [eserrano@surcis.com](mailto:eserrano@surcis.com)

[www.surcis.com](http://www.surcis.com)

**Palabras Clave:** Respirometría, Biodegradable, Tasa de respiración, Fracciones de la DQO, Nitrificación, Desnitrificación, Edad del fango, Requerimiento actual de oxígeno actual, Eficiencia de la transferencia de oxígeno en proceso, Factor de uso,

**Key words:** Respirometry, Biodegradable, Respiration rate, COD fractions, Nitrification, Denitrification, Sludge age, Actual oxygen requirement, Oxygen transfer efficiency in process, Fouling factor

## Resumen

La lenta dinámica del proceso de fangos activos es uno de los inconvenientes principales a la hora de tomar decisiones.

Sea cual sea la medida que se decida tomar, sus efectos sobre el proceso no se observarán de forma clara hasta pasados unos días. Este hecho hace que sea especialmente relevante, por un lado, detectar los problemas lo antes posible y, por otro lado, tomar las decisiones correctas desde el primer momento. Por esta razón, se necesita una herramienta que sea capaz de realizar todas estas funciones de forma sencilla, práctica y relativamente rápida, y todo ello se consigue con la Respirometría BM de la empresa Surcis S.L.

Es importante tener en cuenta que el fango activo de una estación depuradora es un proceso vivo y con respiración propia; por lo tanto, una falta de información suficientemente rápida sobre este aspecto puede causar serias confusiones en el seguimiento y control de un proceso de depuración por fangos activos repercutiendo en la calidad del efluente y en el consumo de energía.

## **Abstract**

The slow dynamics of the activated sludge process is one of the main drawbacks when making decisions. Whatever measure is decided to be taken, its effects on the process will not be clearly observed until a few days have passed.

This fact makes it particularly important, on the one hand, to detect problems as early as possible and, on the other hand, to make the right decisions from the very first moment. For this reason, a tool is needed that is capable of performing all these functions in a simple, practical and relatively fast way, and all this is achieved with the BM Respirometry developed by the company Surcis S.L.

It is important to bear in mind that the active sludge of a treatment plant is a living process with its own respiration; Therefore, a lack of sufficiently rapid information on this aspect can cause serious confusion in the monitoring and control of an activated sludge treatment process, affecting the quality of the effluent and energy consumption.

## **1. Introducción**

La [Respirometría BM](#) de la empresa [Surgis, S.L.](#) condensa la respirometría tradicional, basada en el consumo de oxígeno de la propia biomasa de los fangos. con una tecnología exclusiva de Surgis en donde se incluye un avanzado software que permite la medida y cálculo automático de parámetros biológicos decisivos para procesos de depuración biológica de aguas residuales por fangos activos con eliminación de nitrógeno de forma relativamente rápida.

Así mismo, esta tecnología, además de ser una herramienta fundamental en el control y protección de los procesos de fangos activos, se presenta como una importante vía hacia la realización de estudios y actividades de I+D en los distintos tipos de procesos de depuración.

En este artículo vamos a describir de forma resumida y esquemática, las aplicaciones más importantes que permiten justificar de forma clara la utilización de la Respirometría BM, por medio de los distintos modelos de respirómetros (sistemas de Respirometría BM) de Surgis para el control y protección de un proceso biológico de fangos activos en una estación depuradora de aguas residuales.

## **2. Respirómetro BM**

Este tipo de Respirometría se basa en un sistema único, basado en la respirometría tipo LFS + LSS modificada, desarrollado por la empresa Surgis 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.

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 1. Sistema de Respirometría BM – Modelo BM-Advance**

1. Control automático del pH
2. Sensor de pH
3. Sensor de oxígeno disuelto
4. Motor de agitación
5. Bomba peristáltica de homogeneización
6. Reactor de doble cámara
7. Sistema de atemperamiento automático
8. Leds para el control de dispositivos
9. Controlador de oxígeno y temperatura
10. Controlador de pH
11. Software PC + BM



**Tabla 1. Modos de trabajo y parámetros automáticos en el software BM**

Modos de trabajo OUR & OUR Cíclico	<p><b>OUR:</b> Tasa de Respiración - Oxygen Uptake Rate (mg O<sub>2</sub>/l.h) Mide la tasa de consumo de oxígeno en una sola medida (modo OUR) o una serie de medidas encadenadas (modo OUR cíclico)</p> <p><b>SOUR:</b> OUR específico - Specific OUR (mg O<sub>2</sub>/g VSS.h) OUR relacionado con la concentración de SSVLM.      <math>SOUR = OUR / MLVSS</math></p>
Modo de trabajo R	<p><b>Rs:</b> Tasa de Respiración exógena dinámica (mg O<sub>2</sub>/l.h) Mide una serie cointinuada de valores de Rs que un determinado sustrato provoca en el fango durante su metabolización.</p> <p><b>Rsp:</b> Rs específica (mg O<sub>2</sub>/g VSS.h) Rs relacionada con la concentración de SSVLM.      <math>Rsp = Rs / MLVSS</math></p> <p><b>DQOb:</b> DQO biodegradable (mg O<sub>2</sub>/l) DQO biodegradable o rápidamente biodegradable – cuando la muestra es soluble Se calcula a partir de la integración de la serie de valores Rs.</p> <p><b>U:</b> Tasa de eliminación de la DQO (mg DQO/l,h) Mide la velocidad con que la DQO se está eliminando.</p> <p><b>q:</b> Tasa específica de eliminación de la DQO (mg DQO/ mg SSV.d) Mide la U relacionada con la concentración de SSVLM.</p>

### 3. Aplicaciones de Respirometría que pueden justificar la utilización de un Respirómetro BM

Las aplicaciones resumidas que vamos a describir son las siguiente:

1. Pulso rápido al proceso de depuración.
2. Causas de un bajo rendimiento de la DBO o DQO.
3. Tasa de nitrificación - Encontrar las posibles causas del bajo rendimiento de la nitrificación.
4. Optimización energética por oxígeno mínimo en la nitrificación

5. Tasa de desnitrificación - Encontrar las posibles causas de un bajo rendimiento de la desnitrificación.
6. Edad del fango y Carga másica óptimas en el marco de la optimización energética.
7. Requerimiento de oxígeno (AOR) del proceso para la edad del fango y oxígeno disuelto actuales.
8. Evaluación del sistema de aireación por difusores
9. Toxicidad.

### 3.1. Tomar un pulso rápido al proceso de depuración

Denominamos factor de carga (FC) a la relación entre los ensayos OUR del inicio (FED OUR) y final (UNFED OUR) del proceso de depuración biológica

$$FC = \text{FED OUR} / \text{UNFED OUR} \quad (1)$$

**Tabla 2. Rango de valores de la FC**

FC	Diagnóstico
FC < 1	Carga inhibitoria o tóxica
1 < FC < 2	Bajo Rendimiento (1) o Baja Carga
2 < FC < 5	Carga aceptable
FC > 5	Posible sobrecarga

Fuente: Ron Sharman - Water and Wastewater Technology, LBCC.

Esta aplicación puede tener una duración de menos de una hora, incluyendo la preparación de muestras.

### 3.2. Encontrar la causa del bajo rendimiento de la DBO o la DQO.

Además de una posible inhibición o toxicidad (Tabla 2) - que también se detecta por respirometría -, las causas muy probables de un bajo rendimiento en la eliminación de la materia orgánica son las siguientes:

1. Baja concentración de biomasa activa
2. DQO inerte (no biodegradable) elevada o DQO lentamente biodegradable elevada

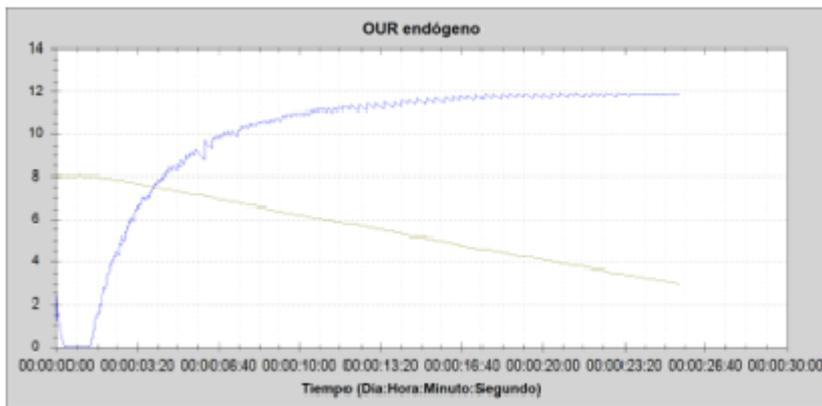
- Baja concentración de biomasa activa (X)

La tasa de respiración endógena ( $OUR_{end}$ ) es la que se obtiene desde el fango activo en ausencia de cualquier tipo de sustrato. Por ello, al depender exclusivamente de los microorganismos, es directamente proporcional a la concentración de biomasa activa (X)

Por ello, cuando el  $OUR_{end}$  se sitúa por debajo del rango de normalidad nos indicará que la concentración de biomasa es excesivamente baja.

Las causas de una baja concentración de biomasa activa pueden venir por falta de nutrientes, condiciones del proceso fuera de rango y presencia reciente de algún toxico.

**Tabla 3. Rangos de valoración del OUR<sub>end</sub>**



SSVLM (mg/l)	Rango normal OUR <sub>end</sub> (mg/L/h)
1500	3 - 5
2000	4 - 7
2500	5 - 8.5
3000	6 - 10
3500	7 - 12
4000	8 - 13.5
4500	9 - 15.5

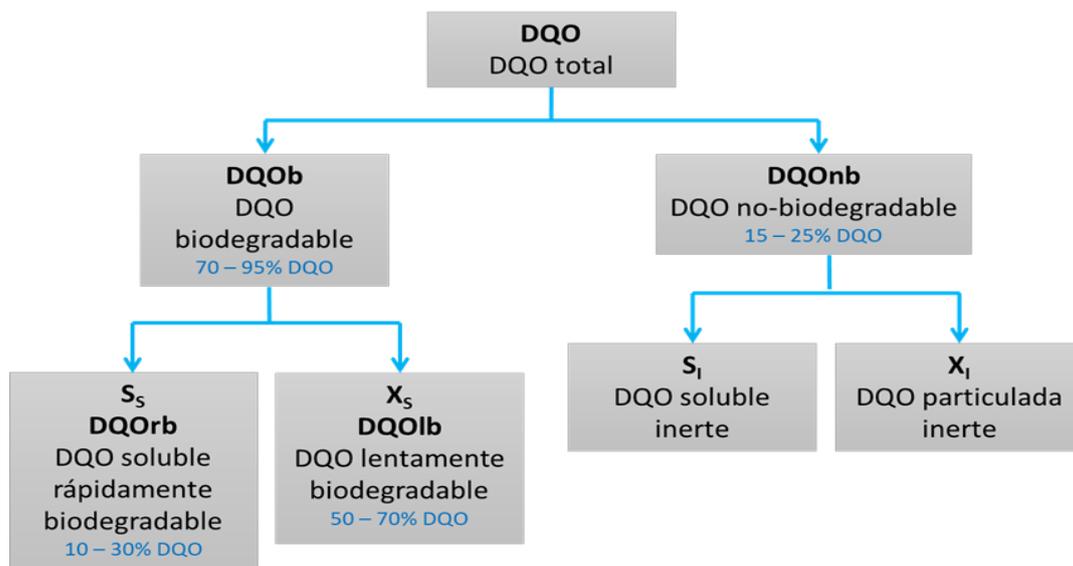
- DQO inerte o DQO lentamente biodegradable elevadas.

La presencia de una elevada carga de DQO lentamente biodegradable o DQO inerte puede dar paso a un bajo rendimiento en la eliminación de la materia orgánica y además puede provocar una deficiencia del carbono orgánico como nutriente del desarrollo de la biomasa activa.

En el modo R de trabajo de la Respirometría BM se encuentran las medidas automáticas de la DQO biodegradable total (DQOb) y DQO rápidamente biodegradable (DQOrb, X<sub>s</sub>)

Con el resultado de estas fracciones y la DQO total se tienen los datos suficientes para la determinación de las fracciones más esenciales en la DQO en donde se encuentran la DQO inerte / refractaria y la DQO lentamente biodegradable.

**Figura 2. Principales fracciones de la DQO y su rango habitual en una EDAR**



### 3.3. Tasa de nitrificación – Posibles causas de un bajo rendimiento en el proceso de la nitrificación.

#### 3.3.1. Tasa de nitrificación

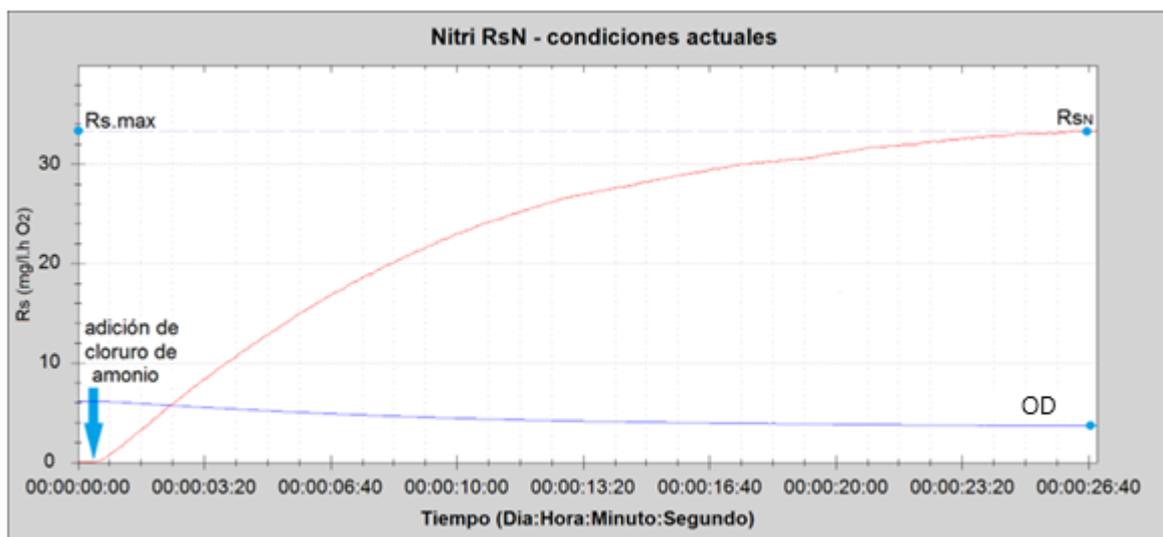
Un bajo rendimiento de la nitrificación puede ser debido a la baja temperatura, Oxígeno disuelto o baja concentración de biomasa nitrificante. Y por medio de la Respirimetría BM se pueden detectar todos estos parámetros.

El parámetro clave de la nitrificación es la tasa de respiración por nitrificación ( $R_{SN}$ )

Desde la  $R_{SN}$  se calcula la tasa de nitrificación (AUR) y tasa específica de la nitrificación (SAUR) a la temperatura y pH actuales. El software BM tiene la capacidad de modificar tanto la temperatura como el pH y comprobar los distintos valores de la  $R_{SN}$  a distintas condiciones.

Con estos parámetros se mide la velocidad de eliminación del nitrógeno nitrificable y la actividad nitrificante por unidad de sólidos volátiles.

**Figura 3.** Respirograma de ensayo R para la tasa de respiración por nitrificación ( $R_{SN}$ )



Desde la  $R_{SN}$ , los valores que se pueden obtener son los siguientes:

$$AUR = (R_{SN} / 4,57) * F_{OD} \quad (2)$$

En donde:

AUR: Tasa de nitrificación (mg N/L(h))

4,57: mg  $O_2$  por cada mg de amonio a nitrificar

Factor de corrección por oxígeno disuelto:  $F_{OD} = OD / (0,5 + OD)$

Oxígeno disuelto (mg/L): OD

Constante de semisaturación de oxígeno: 0,5 – Valor habitualmente utilizado (ASM3)

$$SAUR = 24 * AUR / SSVLM \quad (3)$$

En donde:

SAUR: Tasa específica de la nitrificación (g N/g SSV/d)

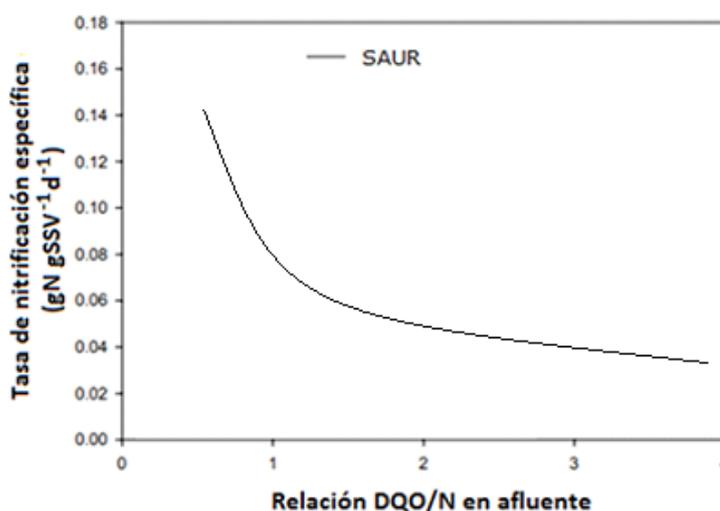
Como se puede ver, el valor del AUR depende del oxígeno disuelto (OD); por lo que podemos calcular este parámetro para un rango de valores de OD y dar paso a distintos valores del AUR y SAUR.

### 3.3.2. Posibles causas de un bajo rendimiento en la nitrificación

En la gráfica de referencia (Figura 4.) se pueden ver los valores habituales del SAUR para distintos valores de la relación DQO/N.

Con ello, además de la temperatura, en el caso de que el valor SAUR se sitúe por debajo de la referencia se puede confirmar si la tasa de nitrificación por unidad de sólidos volátiles es normal (igual o mayor que la referencia) o, por el contrario, es baja (sensiblemente inferior a la referencia)

Figura 4. Gráfica de referencia del SAUR



Fuente: Dr. Julian Carrera - 2004

- Bajo rendimiento por deficiencia de oxígeno

Para el criterio del OD, se utilizará la fórmula del AUR en cuanto a la influencia del OD en el factor  $F_{OD}$ . Ya que un valor excesivamente pequeño del  $F_{OD}$  - debido a una deficiencia de oxígeno - provocará una reducción de la tasa de nitrificación.

- Bajo rendimiento por relación DQO/N excesiva

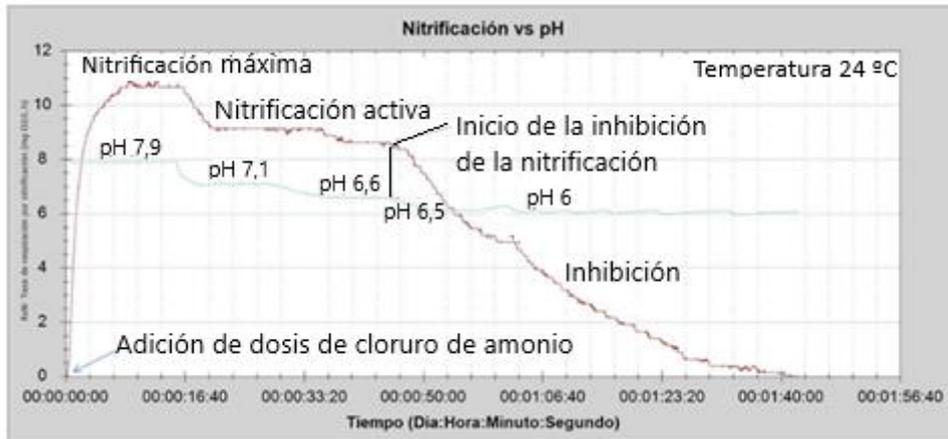
Para analizar la posibilidad de una baja concentración de biomasa nitrificante se utiliza normalmente el criterio de la relación  $DQO/N > 4$  (Ver Figura 6.) Con ello, un valor superior a este nivel impediría el crecimiento de la biomasa nitrificante. Y, como consecuencia de ello, la concentración de biomasa nitrificante será excesivamente baja.

- Bajo rendimiento por excesivamente bajo

El pH es un parámetro fundamental en el proceso de la nitrificación por lo que la reducción del pH respecto a los valores de un rango normal de trabajo (normalmente entre 7 y 8,5) provocará automáticamente el descenso de la tasa de nitrificación, pudiendo incluso llegar a una inhibición del proceso.

Para detectar la influencia del pH en la tasa de respiración por nitrificación ( $R_{sN}$ ), se puede llevar a cabo un ensayo R con fango endógeno al que se le añade una dosis de cloruro de amonio con una concentración de nitrógeno amoniacal equivalente. De este modo, por medio del software BM (modelo BM-Advance), de forma automática, se puede ir variando el valor del pH y obtener los distintos valores de  $R_{sN}$ , para luego calcular los valores de las tasas de nitrificación correspondientes (Figura 5.).

**Figura 5. Respirograma de un ensayo R para analizar el efecto del pH en la  $R_{sN}$**



### 3.4. Optimización energética operando con el oxígeno mínimo en la nitrificación

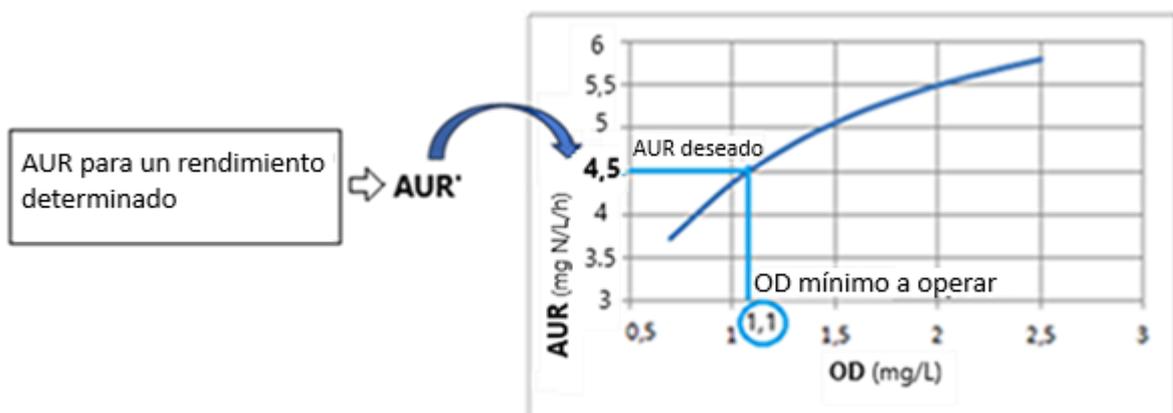
El rendimiento de la nitrificación es directamente proporcional al valor de la tasa de nitrificación. Por lo tanto, el rendimiento actual será directamente proporcional al AUR actual.

Con ello, el rendimiento deseado será proporcional a un determinado valor AUR que dependerá del valor OD (conservando el TRC)

$$AUR' = \text{Rendimiento deseado} * AUR \text{ actual} / \text{Rendimiento actual} \quad (4)$$

Desde la fórmula del AUR, al aplicar el factor  $OD / (0,5 + OD)$  se puede obtener una gráfica de distintos valores del AUR con el fin de obtener el valor que corresponde al rendimiento deseado (Figura 6.)

**Figura 6. Gráficas del AUR vs OD para determinar el OD óptimo para un rendimiento deseado**



Del mismo modo, en el reactor del respirómetro BM, se puede ir variando la concentración de SSVLM y encontrar el valor óptimo y la edad del fango correspondiente (ver [Manual de Aplicaciones de la Respirometría BM](#))

### 3.5. Tasa de desnitrificación – Posibles causas de un bajo rendimiento en la desnitrificación

#### 3.5.1. Tasa de desnitrificación

En el proceso de desnitrificación anóxica, la eliminación del nitrato es proporcional a la eliminación la DQOb de la materia orgánica como fuente de carbono orgánico. Por ello, en términos prácticos, también es proporcional a la tasa de respiración ( $OUR_{DN}$ ) de la biomasa heterótrófica del licor-mixto del inicio del proceso anóxico (\*).

(\*) Habiendo previamente inhibida la demanda de oxígeno por nitrificación (normalmente con una dosis de Alil-Tiourea)

$$OUR_{DN} = OUR - OUR_{end} \quad (5)$$

En donde:

$OUR_D$ :  $OUR$  correspondiente a la biomasa heterótrófica del proceso de desnitrificación ( $mg\ O_2/L/h$ )

$OUR$ :  $OUR$  total ( $mg\ O_2/L/h$ )

$OUR_{end}$ :  $OUR$  del fango en fase de respiración endógena ( $mg\ O_2/L/h$ )

Una vez obtenido el  $OUR_D$  ya podemos calcular la tasa de desnitrificación correspondiente:

$$NUR = (OUR_{DN} / 2,86) * * 0,2 / (0,2 + OD_{DN}) \quad (6)$$

Fuentes: Basado en los principios de E.CHOI and R.DAEHWAN. 2000. Korea University - W.W. Eckenfekder – 1995

$$SNUR = 24 * NUR / SSV \quad (7)$$

En donde:

$NUR$ : Tasa de desnitrificación ( $mg\ NO_3/L./h$ )

0,2: Coeficiente de corrección por presencia de oxígeno disuelto en zona anóxica

$OD_{DN}$ : Oxígeno disuelto en zona anóxica de desnitrificación ( $mg/L$ )

$SNUR$ : Tasa específica de desnitrificación [ $mg\ N-NO_3 / (mg\ VSS.d)$ ] –  $SNUR$  también denominado  $SDNR$  –

$SSV$ :  $SSVLMVSS$  ( $mg/L$ )

EL valor del  $SNUR$  ( $SDNR$ ) se puede evaluar por medido de una tabla de referencia vs temperatura.

**Tabla 4. Valores de referencia del parámetro NUR**

*Estimated Specific Denitrification Rates*

Temp ° C	Estimated SDNR	Temp ° C	Estimated SDNR
10	0.035	18	0.076
12	0.042	20	0.091
14	0.052	22	0.110
16	0.063	24	0.132

Fuente: Long Island Sound Training – Nitrogen Removal - 2003 (EPA)

### 3.5.2. Causas de un bajo rendimiento en la desnitrificación

En cualquier caso, podemos utilizar una tabla de referencia a modo de guía:

Además de una posible toxicidad global o baja temperatura, las causas más probables de un bajo rendimiento en la desnitrificación pueden ser las siguientes

- Desnitrificación parcial por tiempo de retención hidráulica corto

El tiempo de retención hidráulica necesario para la eliminación del nitrato ( $TRH_D$ ) se calcula así:

$$TRH_D = S_{NO_3} / NUR \quad (8)$$

En donde:

$TRH_D$ : Tiempo de retención hidráulica necesario para la desnitrificación (h)

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

Con ello, un bajo rendimiento puede venir como consecuencia de que el tiempo de retención hidráulica actual de la zona anóxica sea inferior al  $TRH_D$ .

- Presencia de oxígeno disuelto elevado en el proceso anóxico de desnitrificación.

La presencia de un oxígeno disuelto mayor de 0,2 (mg/L) en la zona anóxica de desnitrificación reduce la tasa de desnitrificación debido al factor  $0,2 / (0,2 + OD_D)$  que se aplica a la fórmula del NUR.

Con ello el tiempo de retención hidráulica que necesita este proceso se incrementa de forma proporcional con lo que se abre la posibilidad de que se produzca una desnitrificación parcial.

- Falta de DQO biodegradable.

La relación entre el oxígeno que se consume ( $OC_D$ ) por DQO rápidamente biodegradable utilizada y el nitrato eliminado es de 2,86:

$$OC_D = S_{NO_3} * 2,86 \quad (9)$$

Fuente: Henri Spanjers, Peter A. Vanrolleghem – 2004

La DQO rápidamente biodegradable necesaria para la desnitrificación se calcula del siguiente modo:

$$DQOrb_{DN} = OC_D / (1 - Y_{HD}) \quad (10)$$

Fuente: Müller et al., 2003

En donde:

$DQOrb_{DN}$ : DQO rápidamente biodegradable necesaria en la desnitrificación (mg/L)

$Y_{HD}$ : Coeficiente del rendimiento para producción de biomasa en la desnitrificación  $\approx 0,55$  ( $O_2/DQO$ )

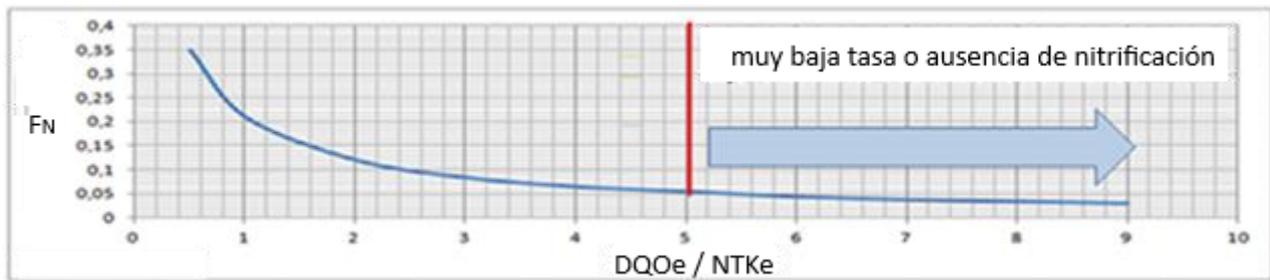
Con ello se realizará un ensayo R con una muestra de agua residual de entrada a proceso anóxico para la determinación automática de la  $DQOrb$ . Y se comparará el valor calculado con el valor de la  $DQOrb$  actual.

Lógicamente, la condición debe ser que la  $DQO_{rb}$  actual debe ser igual o mayor a la  $DQO_{rb_{DN}}$ . Y en el caso de que  $DQO_{rb} < DQO_{rb_{DN}}$  Podemos confirmar que el proceso necesita DQO rápidamente biodegradable adicional (normalmente metanol)

### 3.6. Edad del fango y carga másica óptimas en el marco de la optimización energética

El primer paso será la estimación del valor de la biomasa nitrificante, que se puede llevar a cabo a partir de una gráfica basada en la relación  $DQO_e / NTK_e$ .

**Figura 7. Gráfica del valor  $F_N$  vs  $DQO_e / NTK_e$**



Fuente : Metcalf & Eddy – EPA 2006

En donde:

$DQO_e$ : DQO eliminada (mg/L)

$NTK_e$ : NTK eliminado (mg N/L) – para un determinado rendimiento -

$F_N$ : Porción de biomasa nitrificante en el total de SSVLM

La concentración de biomasa nitrificante se calcula del siguiente modo:

$$X_A = F_N * SSVLM \quad (11)$$

En donde:

$X_A$ : Concentración de biomasa nitrificante autótrofa (mg/L)

$F_N$ : Porción de biomasa nitrificante en SSVLM

SSVLM: Concentración actual de sólidos volátiles en el licor-mezcla (mg/L)

Una vez conocido el valor  $X_A$ , ya se puede calcular el valor de la edad del fango optima a partir del valor del AUR obtenido desde el oxígeno mínimo para un determinado rendimiento del proceso de la nitrificación (ver punto 4.)

$$TRC = X_A / (2,4 * AUR') \quad (12)$$

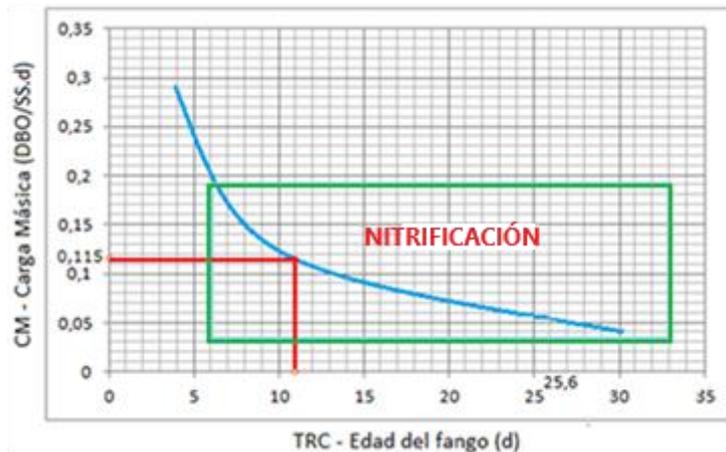
En donde:

TRC: Edad del fango mínima para un determinado rendimiento (d)

$AUR'$ : AUR correspondiente al oxígeno mínimo calculado a partir del AUR deseado (mg N/L(h) – Ver punto 4–

Una vez conocida la edad del fango, se operará con la carga másica (CM) correspondiente:

**Figura 8. Gráfica del valor F/M vs TRC**



Fuente: E. Ronzano & J.L. Dape

### 3.7. Requerimiento de oxígeno (AOR) del proceso para la edad del fango y oxígeno disuelto actuales.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Requerimiento de oxígeno por eliminación de materia orgánica

$$AOR_C = (24 * OUR_C / 1000) * V \quad (13)$$

En donde:

AOR<sub>C</sub>: Requerimiento actual de oxígeno por materia orgánica (kg O<sub>2</sub>/d)

OUR<sub>C</sub>: Tasa de respiración de la biomasa heterótrofa con fango del inicio del proceso (mg O<sub>2</sub>/L/h) (\*)

V: Volumen del reactor biológico aerobio (m<sup>3</sup>)

(\*) La OUR<sub>C</sub> se determina de forma automática con el fango activo del inicio del proceso después de haber inhibido la posible nitrificación, normalmente con una dosis de alitiourea (ATU): 2 a 3 mg ATU/g SSV.

2. Requerimiento de oxígeno por nitrificación

$$AOR_N = (24 * R_{SN} / 1000) * (OD / (0,5 + OD)) * V_N \quad (14)$$

En donde:

AOR<sub>N</sub>: Requerimiento actual de oxígeno por nitrificación (kg O<sub>2</sub>/d)

R<sub>SN</sub>: Tasa de respiración por nitrificación (mg O<sub>2</sub>/L) - Ver punto 3.3.1. -

OD: Oxígeno disuelto necesario para conseguir el rendimiento establecido (mg/L) – Ver punto 3.4. -

V<sub>N</sub>: Volumen del reactor biológico aerobio dedicado a la nitrificación (m<sup>3</sup>)

3. Requerimiento de oxígeno por desnitrificación

$$AOR_{DN} = 2.28 * Q * S_{NO3} / 1000 \quad (15)$$

En donde:

AOR<sub>DN</sub>: Requerimiento actual de oxígeno por desnitrificación (kg O<sub>2</sub>/d)

2,28: mg O<sub>2</sub> que necesita cada mg de nitrato a desnitrificar.

Q: Caudal en el proceso de desnitrificación (m<sup>3</sup>/d)

SNO<sub>3</sub>: Nitrato a desnitrificar (mg N-NO<sub>3</sub>/L)

#### 4. Requerimiento actual de oxígeno global

En el cálculo del requerimiento de oxígeno global, el AOR<sub>DN</sub> actúa como crédito de oxígeno y por lo tanto entra con el signo menos.

$$AOR = AOR_C + AOR_N - AOR_{DN} \quad (16)$$

En donde:

AOR: Requerimiento actual de oxígeno global (kg O<sub>2</sub>/d)

### 3.8. Evaluación del Sistema de aireación por difusores

Para esta evaluación se han de tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Transferencia de oxígeno en condiciones estándar: SOTE (%)

Es un parámetro que normalmente puede ser proporcionado por el fabricante.

Pero si no fuera este el caso, se aplicará el siguiente cálculo: 6,5 % para difusores de burbuja fina y 2,46 % para difusores de burbuja gruesa por cada metro de profundidad en el tanque de aireación.

Fuente: Harlan H. Bengtson-2017

- Requerimiento de oxígeno en condiciones estándar: SOR (kg O<sub>2</sub>/d)

(Condiciones estándar: (1 atmósfera, 20 °C, 0 mg/L de OD)

$$SOR = Q_{O_2} * SOTE \quad (17)$$

En donde:

Q<sub>O<sub>2</sub></sub>: Caudal medio de oxígeno diario proporcionado al proceso (kg O<sub>2</sub>/d)

Q<sub>O<sub>2</sub></sub> = 0,285 \* Q<sub>aire</sub>

Q<sub>aire</sub>: Caudal medio diario de aire proporcionado el proceso (m<sup>3</sup>/d)

- Relación AOR/SOR

La relación AOR/SOR es uno de los parámetros fundamentales en la evaluación de los sistemas de aireación por difusores.

Para ello se tendrá en cuenta el valor AOR/SOR de referencia;

AOR/SOR<sub>ref</sub> para difusores de burbuja fina: entre 0,3 y 0,4 (Valor típico = 0,33)

AOR/SOR<sub>ref</sub> para difusores de burbuja gruesa: entre 0,4 y 0,6 (Valor típico = 0,5)

Fuente: "Sanitaire - Diffused aeration design guide", University of Idaho, Civil Engineering, 2003

- Evaluación del Sistema de aireación por el factor de uso: F (fouling factor)

$$F = (AOR / SOR) / (AOR / SOR_{ref}) \quad (18)$$

El rango normal del factor F se sitúa entre 0,7 y 0,9. Valores inferiores a 0,7 indicarían desgaste o falta de mantenimiento de los difusores.

El factor F, especialmente en los difusores de poro fino, disminuye con el tiempo debido al envejecimiento, las incrustaciones, las incrustaciones inorgánicas o los cambios debidos a la calidad de las aguas residuales, las características de los lodos y las condiciones de funcionamiento.

- Seguimiento del rendimiento de la aireación por medio de la eficiencia de transferencia de oxígeno en proceso:  $OTE_f$  (%)

$$OTE_f = 100 * (AOR / Q_{O_2}) \quad (19)$$

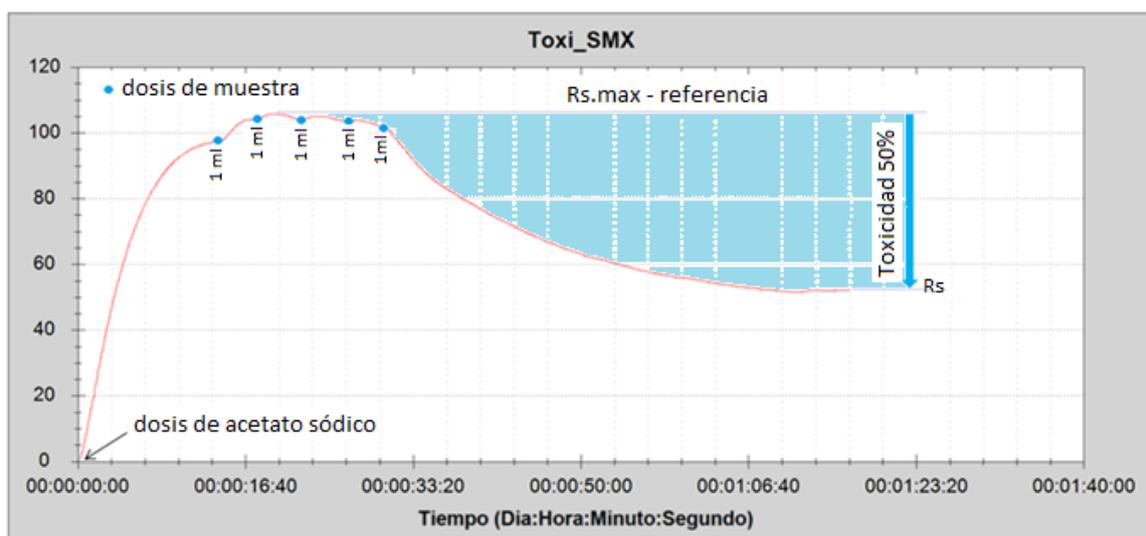
La determinación de la  $OTE_f$  permite a los operadores evaluar los costes de funcionamiento a largo plazo de sus sistemas de aireación; y garantizar que se dispone de capacidad suficiente para satisfacer la demanda de la carga afluente. Por lo tanto, se trata de un parámetro que puede considerarse esencial para la evaluación y supervisión de los sistemas de aireación.

### 3.9. Toxicidad

- Análisis de toxicidad de efecto por dosis de muestra acumulada

El objetivo es analizar un efecto tóxico que se pudiera producir en el fango activo mediante la adición progresiva de dosis de muestra de agua residual sobre un fango activo que se encuentra bajo los efectos de una tasa de respiración máxima provocada por la adición de un sustrato de referencia (acetato sódico, cloruro de amonio, o ambos)

**Figura 9. Respirigrama del análisis de toxicidad por adición progresiva de dosis de muestra.**



$$\text{Toxicidad (\%)} = 100 * (R_{S_{max}} - R_s) / R_{S_{max}} \quad (20)$$

De este modo, se puede además calcular la cantidad de muestra acumula que se necesita para iniciar una toxicidad en el fango activo.

Con ello, utilizando 1 litro de fango activo, la relación muestra acumulada hasta inicio de toxicidad / fango en respiración máxima sería la siguiente:

$$M/F = \sum \text{mg dosis muestra} / 1000 \text{ mg fango} \quad (21)$$

- Existen otros medios de analizar la toxicidad (ver Manual de Aplicaciones de Surcis) -

#### 4. Conclusión

En este artículo se han presentado una serie de aplicaciones de Respirimetría BM que pueden ser esenciales en cualquier proceso de fangos activos con eliminación de nitrógeno.

Sin embargo, esto no quiere decir en absoluto que el número de aplicaciones es limitado, ya que la Respirimetría BM es un sistema abierto programable en donde, además de los cálculos y aplicaciones que se exponen aquí y en el Manual de Aplicaciones de Surcis, el propio usuario puede confeccionar otras aplicaciones específicas a sus necesidades (con el soporte técnico de Surcis)



**Enlace de interés:** <https://youtu.be/NpdRf6s2mTM>

#### Referencias / Autores

- Manual de Aplicaciones de Surcis, 2024
- Water and Wastewater Technology - Ron Sharman
- Activated Sludge Treatment of Industrial Wastewater - W.W. Eckenfekder & J.L. Musterman, 1995
- Nitrification - Metcalf & Eddy – EPA, 2006
- Long Island Sound Training – Nitrogen Removal, 2003 (EPA)
- Respirimetry principles - Henri Spanjers, Peter A. Vanrolleghem, 2004
- Denitrification rate - Müller et al., 2003
- Sanitaire - Diffused aeration design guide, University of Idaho, Civil Engineering, 2003
- Diffused aeration systems - Harlan H. Bengtson, 2017