

La respirometría para el estudio de la influencia de la temperatura y oxígeno en la nitrificación en un proceso de fangos activos



J. Emilio Serrano Soliveres
Ingeniero T. Industrial - Administrador solidario de Surcis, S.L.
Surcis, S.L. – Encarnació, 123 – 08024 Barcelona
Email: eserrano@surcis.com – Tel. 652 893 255
www.surcis.com

La influencia que el oxígeno y temperatura ejercen en el proceso de la nitrificación es bien conocida y puede llegar a ser especialmente crítica cuando se trata de procesos que no pueden tener un tiempo de residencia hidráulica suficiente. Por ello, cuando uno de estos factores o ambos permanecen en valores relativamente bajos, el rendimiento de la nitrificación se puede ver sensiblemente afectado.

El oxígeno normalmente es controlable, cosa que no ocurre normalmente con la temperatura. Sin embargo es importante conocer la influencia del *tándem* temperatura-oxígeno ya que ambos van directamente ligados a la hora de ejercer sus efectos en la nitrificación.

En este artículo, [haciendo uso de un respirómetro de tecnología avanzada, se analiza esta influencia](#) sobre la tasa de nitrificación y parámetros derivados de la misma, Con ello se da paso a la predicción de los efectos de estos dos factores en la tasa de nitrificación, y a seguir un procedimiento para calibrar el proceso en el marco de la optimización energética.

Para una mejor comprensión, se describe brevemente el tipo de respirometría utilizada, así como los parámetros de la aplicación y un caso de estudio a modo de ejemplo.

BM Respirometry

as a tool for analysis and control

in the oxygen and temperature influence on the nitrification of an activated sludge process

The influence that oxygen and temperature exert in the process of nitrification is well known. This influence comes to be especially critical when for processes that cannot have a sufficient hydraulic residence time. Therefore, when one of these factors or both remain in relatively low values, the nitrification efficiency can be appreciably affected.

Oxygen is normally controllable, which does not normally occur with temperature. However it is important to know the influence of the tandem temperature-oxygen as both are directly linked when exerting its influence on nitrification.

This article [analyzes this influence on the nitrification](#) rate making use of an exclusive respirometer of advanced technology, thus giving way to predicting the effects on the nitrification rate and following a procedure to calibrate the process of nitrification in the framework of energy optimization.

For a better understanding, the respirometry utilized is briefly described, as well as the parameters of the application and a case study as example.

Keywords

Respirometry, Respirometer, Nitrification, Respiration Rate, Respirogram, Nitrification rate, OUR (Oxygen Uptake Rate), AUR (Ammonium Uptake Rate), Nitrification capacity, nitrifier biomass, Hydraulic Residence Time,

1. Introducción

El proceso de nitrificación se fundamenta en fijar unas condiciones que permitan obtener una tasa de nitrificación lo suficientemente elevada como para alcanzar el rendimiento fijado en el marco de la mejor optimización energética posible.

Por lo efectos ya producidos en el proceso y su rendimiento, el jefe de planta suele conocer bien la influencia que produce el tándem temperatura-oxígeno. Sin embargo, aún siendo algo fundamental, normalmente no se conoce el efecto directo que estos parámetros ejercen sobre la tasa de nitrificación.

Para determinar de forma precisa la tasa de nitrificación, se necesita un sistema de medida fiable que pueda realizar los ensayos a las distintas condiciones de temperatura, pH y oxígeno en las que el proceso puede operar, y todo ello se consigue con un respirómetro del tipo BM.

2. Respirometría BM

La tecnología de la Respirometría BM se basa en un sistema único basado en una respirometría tipo LFS modificado. 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 que se desarrollan a lo largo del mismo.

Por otro lado, los respirómetros BM opcionalmente, mediante un reactor especial, pueden desarrollar ensayos de respirometría con lechos bacterianos, para procesos tipo MBBR o de biomasa granular.

2.1. Características del respirómetro BM

Existen varios modelos de respirómetros BM y aquí vamos a describir brevemente el modelo Advance el cual va dotado de sensor de oxígeno disuelto exento de mantenimiento y pH, así como de un sistema automático de atemperación (frio-calor) construido en el propio analizador..

Todo el control del equipo se realiza desde el software cargado en el PC.

Este software se puede actualizar y descargar directamente desde un determinado enlace de Internet.

Los ensayos se programan desde una página común. Esta programación comprende tanto los datos que se necesitan para los cálculos automáticos así como las condiciones de temperatura, pH, nivel de aireación,

Figura 1. Ventana de configuración de un ensayo en un respirómetro BM

The screenshot shows a software window titled "Nuevo Ensayo" (New Test) with the following configuration options:

- Tipo de ensayo:** A list with "OUR" selected and "OUR Cíclico" below it.
- Nombre:** OC - DQOb
- Operador:** sm
- Archivo:** C:\Users\Resp\Documents\Respirometr (with a "Buscar" button)
- Intervalo de datos:** 2 s
- Parameters:**
 - Vf: 1000.00 ml
 - Sólidos: 2.70 g/L
 - OC: 126.05
 - Vm: 50.00 ml
 - Y: 0.67
 - OD Bajo: 2.0
 - fd: Auto 21
 - Lecturas < 0 (checkbox)
 - OD Alto: 6.0
 - Forzar Cb: 0.00
- Propiedades de control de placa durante el ensayo:**
 - Control de temperatura:** 20.00 (with ON/OFF buttons)
 - Control de PH:** 7.6 (with Histéresis: 0.2 and ON/OFF buttons)
 - Bomba peristáltica:** 2 (with ON/OFF buttons)
 - Aireación:** 55 (with ON/OFF buttons)
- Buttons:** Cancelar and Aceptar.

En esta ventana se pueden seleccionar tres modos distintos de trabajo: OUR, OUR Cíclico y R.

El modo OUR se basa en la respirometría tradicional (LSS) y consiste en la ejecución de un ensayo único de respirometría. Las medidas que se obtienen en el modo OUR son las que figuran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de medida del modo OUR y OUR Cíclico

| | |
|---------------------|--|
| OUR | Tasa de respiración (mg O ₂ /L.h) |
| SOUR | OUR específico a VSS (mg O ₂ /gVSS.h) |
| SOUR parcial | SOUR en un tramo del ensayo |
| T | Temperatura (°C) |

Cada una de estas medidas genera un respirograma que se visualiza de forma individual o conjunta.

El modo OUR Cíclico consiste en una secuencia progresiva de medidas OUR en donde los valores del oxígeno disuelto (OD) se mueven dentro del el rango preestablecido de los puntos de consigna (OD bajo y OD alto) De este modo, se obtiene una serie secuencial de medidas del modo OUR

En el modo R, el sistema de medida puede considerarse como un único reactor batch con recirculación. Este modo se caracteriza por trabajar con pequeños volúmenes de muestra y, gracias a ello, minimizar la duración del ensayo para un importante paquete de medidas simultáneas que figuran en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de medida del modo R

| | |
|-------------|--|
| Rs | Tasa de respiración exógena (mg O ₂ /L.h) |
| Rsp | Rs específica (mg O ₂ /gVSS.h) |
| OC | Oxígeno Consumido (mg O ₂ /L) |
| DQOb | DQO biodegradable total o soluble (mg O ₂ /L) |
| U | Tasa de eliminación de la DQOb (mg DQOb/L.h) |
| q | U específica (mg COD/mgVSS.d) |
| T | Temperatura (°C) |
| pH | pH |

Cada una de estas medidas genera un respirograma que se puede visualizar de forma individual o conjuntamente con cualquiera de una o varias de las medias que se están realizando de forma simultánea.

Otra importante faceta que ofrece el software BM es la opción de superponer varias respirogramas, incluyendo el de un posible ensayo en curso y su presentación de forma alineada.

Todos los analizadores BM de respirometría tienen la opción de trabajar con biomasa adherida a portadores sólidos como pueden ser lechos bacterianos o biomasa granular mediante la instalación de un reactor especialmente diseñado provisto de una jaula para los portadores de biomasa fija (biomass-carriers)

2.1.2. Aplicaciones de la respirometría BM

Al tratarse de un sistema abierto, el número de aplicaciones derivadas de la Respirometría BM puede ser ilimitado.

Las aplicaciones más usuales son las siguientes: Requerimiento de oxígeno y optimización energética, Fracciones de la DQO, Tratabilidad, Biodegradabilidad, Toxicidad global, Toxicidad específica a la nitrificación, Parámetros estequiométricos y cinéticos, Capacidad de nitrificación, DQO requerida para la desnitrificación.

3. Análisis y control de la nitrificación para distintas temperaturas y niveles de oxígeno disuelto.

Sin olvidar la depuración de la carga orgánica, normalmente el control del proceso y optimización energética en un proceso de depuración biológica con remoción de nitrógeno se debe centrar fundamentalmente en la nitrificación. La razón de ello es que el tratamiento biológico del amonio necesita unas condiciones más estrictas sobre oxígeno, pH, temperatura y parámetros operativos.

En los siguientes puntos vamos a describir los parámetros y procedimientos fundamentales que nos pueden permitir un análisis en profundidad del efecto que pueden ejercer distintas temperaturas y valores de oxígeno disuelto en la velocidad de eliminación del nitrógeno amoniacal en el proceso de la nitrificación.

3.1. Nitrógeno actual que el proceso está nitrificando

El nitrógeno actual que el proceso está nitrificando se calcula del siguiente modo:

$$N_n = NTK_a - NTK_e - N_{sin} \quad [1]$$

En donde

N_n : Concentración de nitrógeno que se está eliminando (mg/l N)

NTK_a : NTK del afluente a biológico (mg/l N)

NTK_e : NTK en efluente

N_{sin} : Nitrógeno utilizado en la síntesis de la biomasa nitrificante = 5% DBO eliminada

El NTK es la suma del nitrógeno amoniacal más nitrógeno orgánico, por lo que la diferencia entre el NTK de entrada del de salida implica que el N_n sea nitrógeno amoniacal.

3.2. Biomasa nitrificante activa

El método utilizado para obtener la concentración de biomasa activa nitrificante se basa en el hecho de que la respiración endógena es directamente proporcional a la concentración de biomasa.

La determinación de la tasa de respiración endógena de la biomasa nitrificante da paso al cálculo de la concentración de la biomasa nitrificante activa.

En primer lugar se determina la tasa de respiración endógena total. A continuación, mediante el uso de una dosis controlada alil-tiourea (ATU) con el fin de inhibir la actividad de la biomasa nitrificante en la respiración endógena, se lleva a cabo un nuevo ensayo para determinar la tasa de respiración endógena correspondiente a la biomasa heterótrofa (Figura 2)

La diferencia entre ambos resultados **nos** daría la tasa de respiración endógena de la biomasa nitrificante.

$$OUR_{end.A} = OUR_{end} - OUR_{end.H} \quad [2]$$

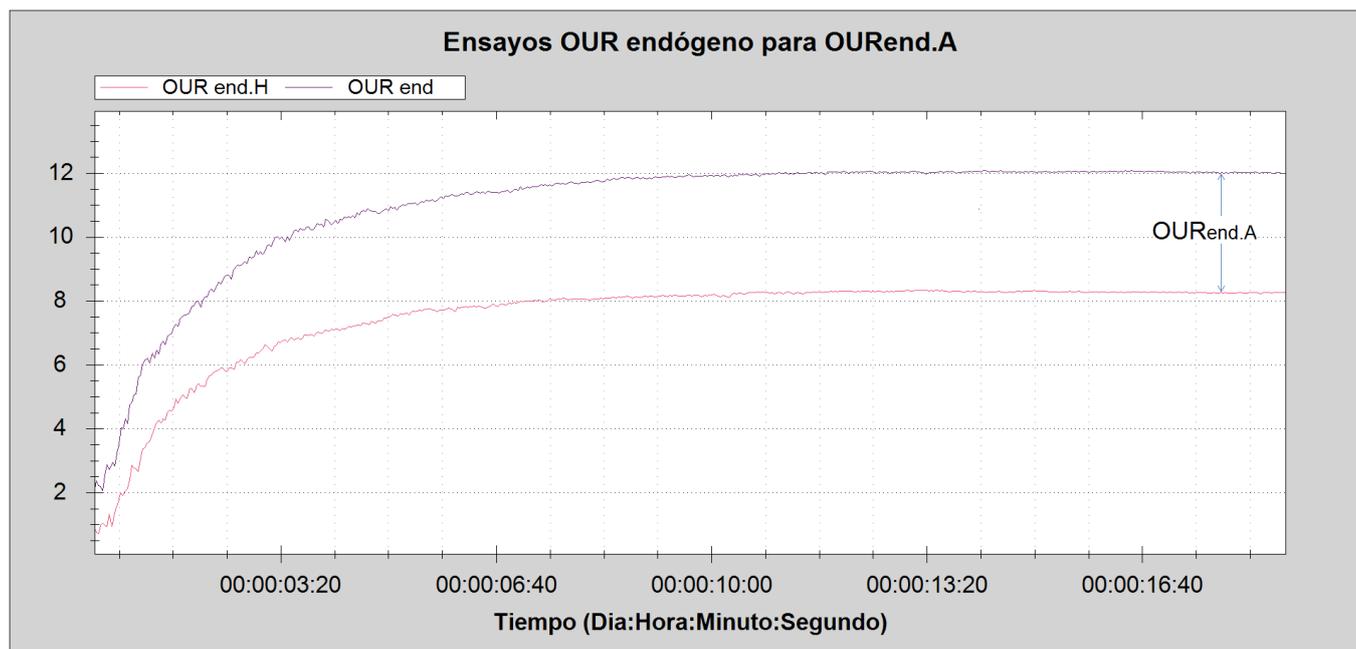
En donde

$OUR_{end.A}$: Tasa de respiración endógena de la biomasa nitrificante (mg/l.h O_2)

OUR_{end} : Tasa de respiración endógena total (mg/l.h O_2)

$OUR_{end.H}$: Tasa de respiración endógena con biomasa nitrificante inhibida (mg/l.h O_2)

Figura 2. Superposición de ensayos OUR endógeno para la determinación del $OUR_{end.A}$



Una vez hemos obtenido el valor de la respiración endógena de la biomasa nitrificante podemos calcular el valor de la concentración de esta biomasa mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$X_A = 24 * OUR_{end.A} / (f_{cv} * b) \quad [3]$$

En donde

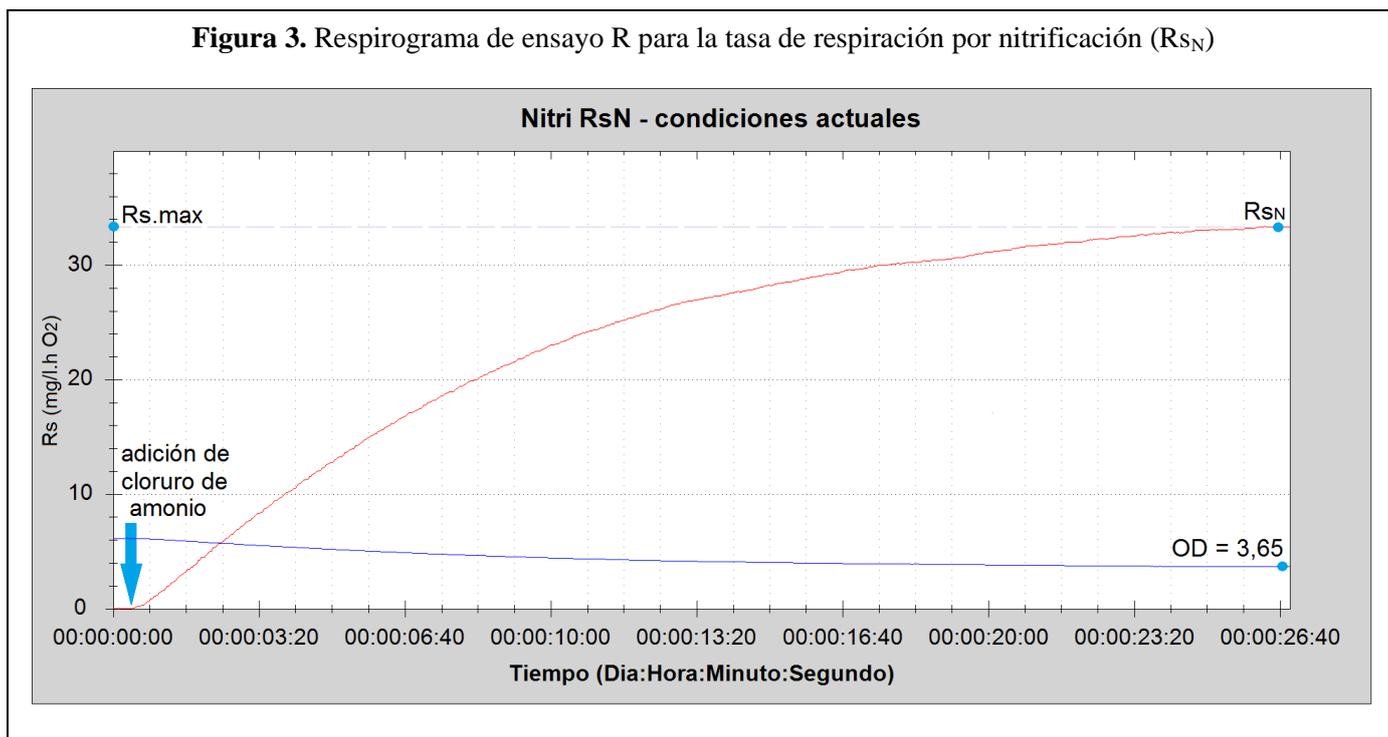
f_{cv} : Demanda de oxígeno por unidad de biomasa = 1.42 (O₂/VSS)

b : Tasa de decaimiento de la biomasa autótrofa en respiración endógena = 0,17. 1,04^(T-20) (d⁻¹)

3.3. Tasa de nitrificación a oxígeno óptimo

Para ello, se hace uso de un ensayo R utilizando una dosis cloruro de amonio con una concentración de nitrógeno amoniacal equivalente a la del proceso actual (**Figura 3**). Este ensayo se programa a condiciones igualmente equivalentes de temperatura y pH.

Una vez iniciado el ensayo, se deja correr hasta alcanzar el valor de tasa de respiración máxima (R_{SN})



El modo R de la respirometría BM se programa para que el fango endógeno se encuentre con un oxígeno de partida a nivel de saturación y para que, una vez se añade la dosis de cloruro de amonio y se alcance la tasa de respiración máxima, el oxígeno resultante de la mezcla quede con un valor dentro del rango óptimo para la nitrificación (> 3 mg/l O₂)

Con el valor de la tasa de respiración máxima, la tasa de nitrificación correspondiente se calcula aplicando la siguiente fórmula matemática:

$$AUR' = R_{SN} / 4,57 \quad [4]$$

En donde

AUR': Tasa de nitrificación a oxígeno óptimo (mg/l.h N)

R_{SN}: Tasa de respiración máxima por nitrificación (mg/lh O₂)

3.4. Tasa de nitrificación actual

A efectos de cálculo, podemos asumir que la tasa de nitrificación actual se puede determinar por la relación entre el nitrógeno que se está nitrificando y el tiempo de residencia hidráulica aerobio del proceso:

$$AUR_{act} = N_n / T_a \quad [5]$$

En donde

AUR_{act} : Tasa de nitrificación actual (mg/l.h N)

T_a : Tiempo de residencia aerobio en el reactor biológico (h)

3.6. Constante de semisaturación por oxígeno

Se trata de una constante ligada a la influencia que ejerce el nivel del oxígeno disuelto en los parámetros cinéticos del proceso, entre los que se encuentra la tasa de nitrificación. Dada la gran influencia del oxígeno en la nitrificación, su valor es crítico y por esta razón es muy importante que no se tomen alegremente valores por defecto de este coeficiente y que se calcule de forma precisa.

Sin embargo no deja de ser curioso que tratándose de un parámetro tan importante, dependiendo de la fuente de información bibliográfica o programa, el valor por defecto de la K_{OD} pueda variar sensiblemente:

Tabla 3. Valores de K_{OD} según distintas fuentes

| Fuente | K_{OD} (mg/L) | | Fuente | K_{OD} (mg/L) |
|------------------------------|-----------------|---|--------------------------------|-----------------|
| USEPA | 1.3 |  | ASM1 | 0.4 |
| IAW | 0.4 | | ASM2 | 0.5 |
| BioWin | 0.25 | | ASM3 | 0.5 |
| GPS-X | 0.5 | | Henze <i>et al.</i> (2000) | 0.5 |
| Beccari <i>et al.</i> (1999) | 0.83 | | Contreras <i>et al.</i> (2008) | 0.75 |

En la **Tabla 3** podemos observar que el valor más habitual es el de 0,5, por lo que, en el caso de que se tuviera que hacer uso de un valor por defecto, lo más aconsejable sería utilizar este valor.

El procedimiento para obtener la constante de semisaturación por oxígeno se basa en la cinética del proceso. Con ello, podemos relacionar AUR_{act} y AUR' del siguiente modo:

$$AUR_{act} / AUR' = OD_{act} / (K_{OD} + OD_{act}) \quad [6]$$

En donde

OD_{act} : Oxígeno disuelto en el proceso actual (mg/l O_2)

K_{OD} : Coeficiente de semisaturación por oxígeno en la nitrificación actual (mg/l O_2)

Desde la ecuación [7] despejamos el valor del K_{OD}

$$K_{OD} = OD_{act} * (AUR' / AUR_{act} - 1) \quad [7]$$

3.6. Tasa de nitrificación para un determinado nivel de oxígeno

Se refiere al cálculo de la tasa de nitrificación para un determinado nivel de oxígeno obtenida a partir de la relación tasa de nitrificación óptima corregida por un determinado nivel de oxígeno disuelto.

Para ello hacemos uso el mismo principio que el utilizado en la ecuación [7], pero utilizando el oxígeno (OD) para el que queremos calcular la tasa de nitrificación.

$$AUR = AUR' * OD / (K_{OD} + OD) \quad [8]$$

En donde

AUR : Tasa de nitrificación para un determinado nivel de OD (mg/l.h N)

OD : Nivel de oxígeno disuelto para el que se quiere calcular la tasa de nitrificación (mg/l O_2)

3.7. Capacidad de nitrificación

Podemos entender como capacidad de nitrificación de un proceso específico a la concentración de nitrógeno nitrificable que éste es capaz de tratar en condiciones actuales con una determinada tasa de nitrificación durante el tiempo disponible para ello.

$$C_N = AUR * T_a \quad [9]$$

En donde:

C_N : Capacidad de nitrificación (mg/l N)

3.8. Edad del fango mínima para la nitrificación

La edad del fango para la nitrificación es la inversa de la tasa efectiva de crecimiento de la biomasa nitrificante:

$$TRC = 1 / \mu_A \quad [10]$$

En donde

$\mu_A = 24 * Y_A * AUR / X_A$: Tasa de crecimiento efectiva de la biomasa autótrofa (1/d)

4. Ejemplo de análisis de un caso típico real de un proceso de la nitrificación a las temperaturas de 20 °C y 15 °C, con un TRH efectivo relativamente corto.

Para una mejor comprensión de los parámetros que pueden identificar el estado del proceso de la nitrificación vamos a describir un caso de estudio real a las temperaturas de 15 y 20°C. en un reactor biológico con los datos de la **Tabla 4**.

Tabla 4. Datos relevantes del proceso de fangos activos en las condiciones actuales

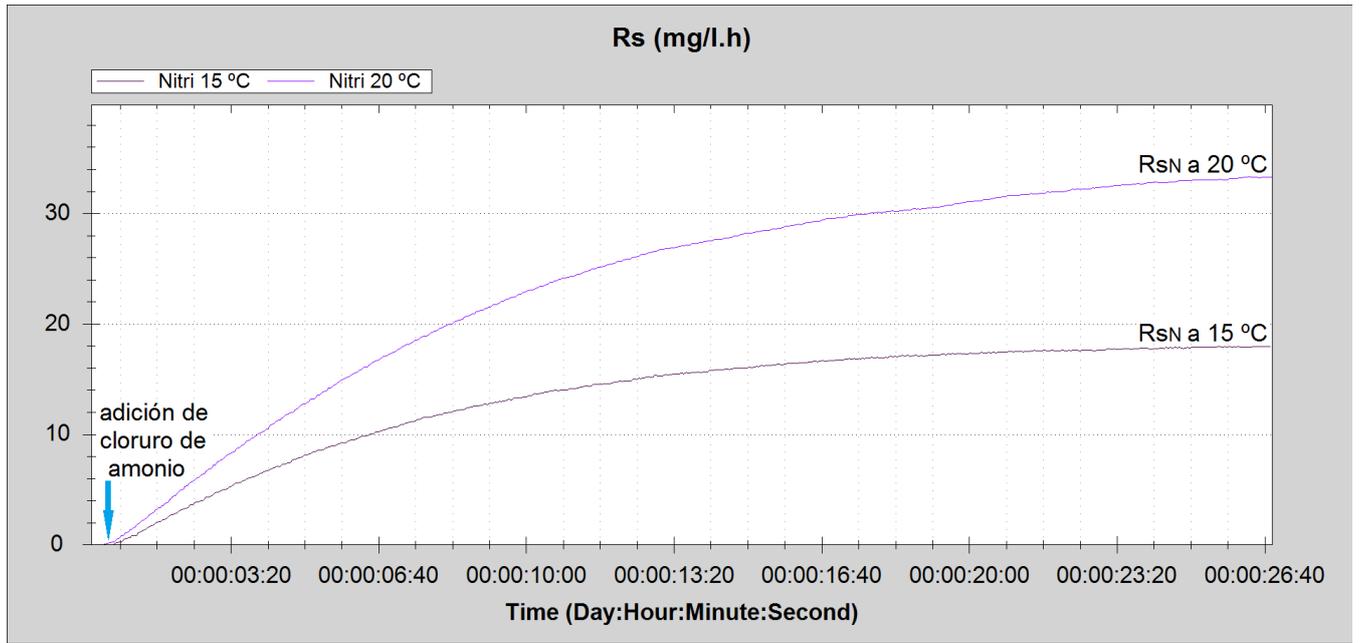
| Datos relevantes del proceso de fangos activos | Valores | Comentarios |
|---|---------|--------------------|
| N_N : Valor del nitrógeno típico a nitrificar (mg/l N) | 27 | Según fórmula [1] |
| SSVLM (mg/l) | 2190 | - |
| TRC: Edad del fango actual (d) | 16 | - |
| T_a : Tiempo de residencia hidráulica aerobio (h) | 5,6 | Según ecuación [6] |
| OD: Oxígeno disuelto (ppm) | 1,8 | Valor medio |
| Temperatura (°C) | 20 | Valor medio |
| Datos de partida desde resultados de respirometría BM | Valores | Comentarios |
| K_{OD} : Coeficiente de semisaturación (mg/l O ₂) | 0,6 | Según ecuación [8] |
| X_A : Concentración biomasa nitrificante (mg/l) | 240 | Según ecuación [3] |

4.1. Tasas de respiración por nitrificación a 15 °C y 20 °C a oxígeno óptimo

El parámetro de partida para cada caso es la tasa de nitrificación obtenida desde la tasa de respiración máxima por nitrificación a nivel óptimo de oxígeno (procedimiento del **punto 3.3.**)

Los respirogramas correspondientes a estas tasas de respiración a distintas temperaturas se presentan en la **Figura 4**.

Figura 4. Respirogramas de las tasas de respiración exógenas por nitrificación.



4.2. Análisis de la nitrificación a la temperatura de 20 °C

Una vez obtenida la tasa de nitrificación correspondiente (AUR') a partir de la tasa de nitrificación correspondiente a 20 °C (**Figura 4**), se establece un determinado rango de oxígeno disuelto admisible por el sistema de aireación y, haciendo uso de las ecuaciones [8] y [9], se calculan los parámetros AUR y C_N para cada uno de los valores de oxígeno correspondiente, y los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 5**

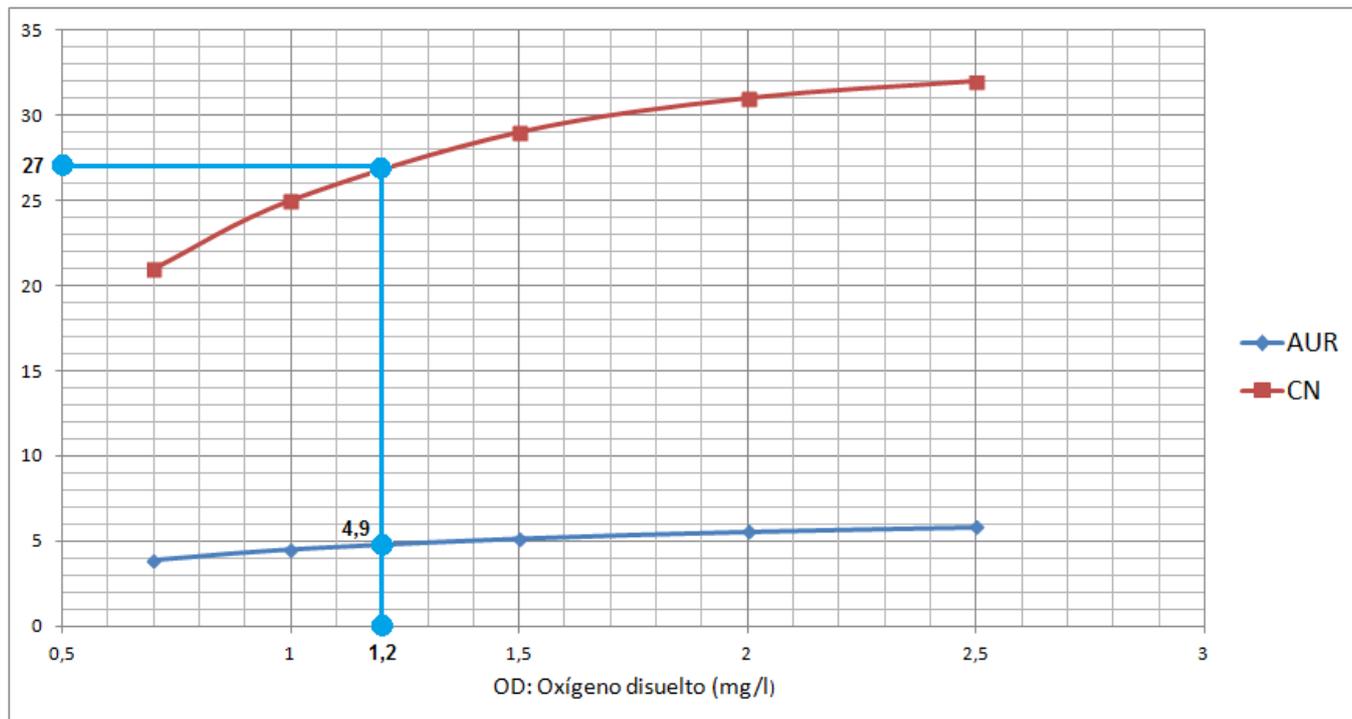
Tabla 5. Resultados del AUR y C_N a 20 °C para distintos niveles de oxígeno

| OD (mg/l O ₂) | $AUR'_{(20)}$ (mg/l.h N) | C_N (mg/l N) |
|---|--|---|
| (> 3) | 7,22 | 40 |
| OD ₍₂₀₎ (mg/l O ₂) | $AUR_{(20)}$ (mg/l.h N) $AUR = AUR' * OD / (K_{OD} + OD)$ | $C_{N(20)}$ (mg/l N) $C_N = AUR * T_a$ |
| 0,7 | 3,88 | 21 |
| 1 | 4,51 | 25 |
| 1,5 | 5,15 | 29 |
| 2 | 5,55 | 31 |
| 2,5 | 5,82 | 32 |

4.2.1. Determinación del nivel de oxígeno mínimo y edad del fango para nitrificar a 20 °C

La determinación del oxígeno mínimo tiene un enfoque dirigido a sentar una base para la fijación de un punto de consigna mínimo viable en el control de la aireación con el fin de conseguir la mejor optimización energética.

Figura 5. Gráficas de los valores del AUR y C_N para la determinación del oxígeno mínimo



Para ello utilizamos la **Tabla 5** con la que, utilizando una hoja de cálculo, se confecciona la gráfica de la **Figura 5** que nos va a permitir ligar la capacidad de nitrificación (C_N) con el oxígeno disuelto (OD), cuyo valor correspondería al oxígeno mínimo con el que la nitrificación podría operar para eliminar el nitrógeno nitrificable.

Haciendo uso de la gráfica C_N , podemos ver que el oxígeno mínimo para nitrificar una concentración de nitrógeno nitrificable de 27 (mg/l N) es de 1,24 (mg/l); y que la tasa de nitrificación ligada a este valor es de 4,9 (mg/l.h N). Con ello, aplicando la fórmula [10] calculamos el valor de la edad del fango correspondiente. El resumen de los resultados obtenidos se presenta en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Resultados para el oxígeno mínimo y edad del fango a 20°C

| Resultados | Valores | Comentarios |
|--------------------------|---------|-------------------------------------|
| OD_{min} (mg/l O_2) | 1,2 | Según gráfica de la Figura 5 |
| AUR (mg/l N) | 4,9 | Según gráfica de la Figura 5 |
| TRC (d) | 17 | Según fórmula [10] |

4.2.2. Conclusiones sobre el análisis de la nitrificación a 20 °C

La planta estaba operando a un nivel medio de oxígeno de 1,8 ppm, por lo que, la reducción a 1,2 (mg/l) puede representar un importante ahorro energético, sentando la base para la programación de los puntos de consigna para el control del sistema de aireación del reactor biológico.

La edad del fango, de momento, debe tener una ligera subida a 17 días.

4.3. Análisis de la nitrificación a la temperatura de 15 °C

Una vez obtenida la tasa de nitrificación correspondiente (AUR') a partir de la tasa de nitrificación correspondiente a 15 °C (**Figura 4**), se establece el rango de oxígeno disuelto admisible por el sistema de aireación y, haciendo uso de las fórmulas [8] y [9], se calculan los parámetros AUR y C_N para cada uno de los valores de oxígeno correspondiente.

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 7**

Tabla 7. Resultados del AUR y C_N a 15 °C para distintos niveles de oxígeno

| OD (mg/l O ₂) | AUR' ₍₂₀₎ (mg/l.h N) | C _N (mg/l N) |
|--|---|--|
| (> 3) | 3,73 | 21 |
| OD ₍₂₀₎ (mg/l O₂) | AUR ₍₂₀₎ (mg/l.h N) AUR = AUR' * OD / (K_{OD} + OD) | C_{N(20)} (mg/l N) C_N = AUR * Ta |
| 0,7 | 2 | 11 |
| 1 | 2,33 | 13 |
| 1,5 | 2,66 | 14 |
| 2 | 2,87 | 16 |
| 2,5 | 3 | 17 |

4.3.1. Conclusiones sobre el análisis de la nitrificación a 15 °C

Desde los resultados obtenidos podemos ver que en el proceso de la nitrificación a 15 °C, en el rango de oxígeno disuelto admisible y en las condiciones actuales, en ningún caso es capaz de nitrificar la concentración de nitrógeno prevista de 27 (mg/L N)

4.3.2 Posible calibración del proceso de nitrificación para operar a 15 °C y a 2 mg/l de oxígeno

Asumiendo que el TRH no se puede modificar, el proceso de nitrificación a 15 °C necesitaría subir su tasa de nitrificación a un valor lo suficiente elevado como para abordar la eliminación de la concentración del amonio típico de 27 (mg/l N-NH₄)

Para ello, podemos tener en cuenta que la tasa de nitrificación es lineal con la concentración de biomasa nitrificante y por lo tanto de los SSVLM. Con ello, siempre que las características y condiciones del proceso lo permitan, la posible calibración del proceso puede pasar por incrementar la concentración de biomasa nitrificante y operar aun oxígeno de al menos 2 (ppm)

Por la gráfica de la Figura 5 sabemos que la tasa de nitrificación requerida es de 4,9 (mg/l.h N-NH₄) y por la **Tabla 7** sabemos que el AUR que corresponde al oxígeno de 2 mg/l es de 2,87 (mg/l.h N-NH₄).

Ello significa que para llegar a 4,9 se necesita un incremento del 72 % de tasa de nitrificación y por lo tanto de biomasa.

Por lo tanto el valor actual de SSVLM de 2190 mg/L se debería incrementar a 3767 mg/L y, con ello, la biomasa nitrificante requerida pasaría de 236 mg/l a 406 mg/l.

El resumen de la calibración requerida del proceso para 15 °C se presenta en la **Tabla 8**

Tabla 8. Resultados para la calibración de la nitrificación a 15 °C con un oxígeno de 2 mg/l

| OD (ppm) | SSVLM (mg/l) | X _A (mg/l) | TRC (d) | AUR (mg/l.h N) | C _N (mg/l N) |
|----------|--------------|-----------------------|---------|----------------|-------------------------|
| 2 | 3767 | 406 | 29 | 5,67 | 27 |

4.4. Conclusiones finales

1. En este artículo se pone en evidencia que con unos pocos ensayos de respirometría BM es posible analizar en profundidad la capacidad de nitrificación de un proceso para distintos valores de oxígeno disuelto.
2. En el caso del ejemplo del proceso operando a 20 °C, con los datos obtenidos, sería posible calibrar el proceso para conseguir una importante optimización energética.
3. En el caso del ejemplo del proceso operando a 15 °C, con los datos obtenidos, no sería posible obtener el rendimiento suficiente como para eliminar el amonio típico a nitrificar. Sin embargo, cuando las condiciones lo permitan, se podría tener acceso a un procedimiento de calibración para que la nitrificación sea capaz de eliminar el amonio típico a nitrificar en el marco de unas condiciones y parámetros operativos mínimos requeridos.

Referencias

Michael W. Barnet (1998)

Dynamics and Control of Wastewater Systems

W. Wesley Eckenfelder (1995)

Activated Sludge Treatment of Industrial Wastewater

Wentzel Mc & Ekama (2006)

Characterization of municipal wastewater.

James C. Young & Robert Cowan (2004)

Respirometry for environmental Science and Engineering

Melcer H (2003)

Methods of Wastewater Characterization in Activated Sludge Modelling.

Adrianus Van Haadel (2007)

Handbook biological wastewater treatment

Henze M. Harremoes (1997)

Wastewater Treatment, second edition

Metcalf & Eddy (2003)

Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th Edition

EPA Manual (2003)

Biological Nitrogen Removal

Ron Sharman (2003)

Water and Wastewater

Guoqiangu (2012)

Nitrification Performance of Activated Sludge under Low Dissolved Oxygen Conditions (Article)

SURCIS, S.L. (2014)

Using respirometry for energy optimization in a nitrifying biological wastewater treatment system (Article)

SURCIS, S.L. (2018)

Manual de Aplicaciones BM de Surcis