

Evaluación y control del proceso de la desnitrificación anóxica por Respirometría BM



Principios básicos

1. La tasa de eliminación de la DQO biodegradable por la biomasa heterótrofa facultativa en la zona anóxica de desnitrificación es proporcional a la tasa de desnitrificación (NUR)
2. La tasa de eliminación de la DQO biodegradable de forma aerobia por la biomasa heterótrofa es proporcional a la tasa de eliminación de esta misma DQO en la zona anóxica de desnitrificación por la biomasa heterótrofa facultativa. Por lo tanto, la tasa de eliminación del oxígeno de la DQO en la zona aerobia es proporcional a la tasa de desnitrificación. (Henri Spanjers, Peter A. Vanrolleghem - 2004, GA Ekama – 2004, ...)
3. Desde los puntos 1 y 2 se deduce que no es necesario recurrir a un medio anóxico para obtener la tasa de desnitrificación y capacidad de desnitrificación; y se puede llevar a cabo por medio de ensayos en condiciones aerobias.
4. Sobre la base del punto 3, Surcis presenta un procedimiento avanzado en donde por medio de la Respirometría BM de Surcis, operando en condiciones aeróbicas, **se mide de forma automática la tasa de eliminación de la DQO biodegradable (U)**. Con ello, se habilita el camino hacia el cálculo de la tasa de nitrificación y capacidad de nitrificación.

Respirometría BM

SURCIS

Respirometría BM

La Respirometría BM es una tecnología donde se unen técnicas de respirometría tradicionales y más avanzadas en un diseño exclusivo desarrollado por la empresa SURCIS.

BM Respirometry hace uso de uno o dos reactores, donde los volúmenes de muestra y fango, el pH, la temperatura y otros parámetros se pueden programar en la configuración del ensayo, en cualquier momento.

Los respirómetros BM utilizan un potente software que proporciona una serie de mediciones y cálculos automáticos de parámetros decisivos que se utilizan para gestionar, diseñar e investigar los procesos biológicos del tratamiento de aguas residuales en diferentes condiciones.

Con esta tecnología, Surcis ha desarrollado una serie de aplicaciones de respirometría que cubren las principales áreas de los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales, tanto en lo que se refiere a la materia orgánica como a la eliminación biológica de nitrógeno.

Sistema de Respirometría BM

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



Sistema de Respirometría Multifunción BM- Advance

Modos de trabajo y parámetros automáticos en Respirometría BM

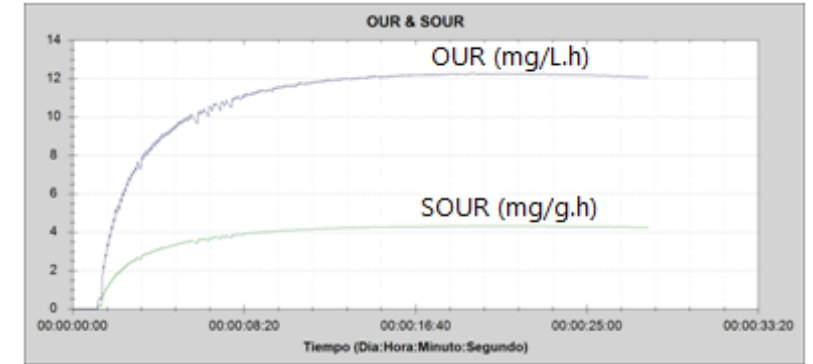
Modos de trabajo OUR & OUR Cíclico

OUR: Tasa de Respiración - Oxygen Uptake Rate ($\text{mg O}_2/\text{l.h}$)

Mide la tasa de consumo de oxígeno en una sola medida (modo OUR) o una serie de medidas encadenadas (modo OUR cíclico)

SOUR: OUR específico - Specific OUR ($\text{mg O}_2/\text{g VSS.h}$)

OUR relacionado con la concentración de SSVLM. $\text{SOUR} = \text{OUR} / \text{MLVSS}$



Respirogramas OUR & SOUR

Modo de trabajo R

Rs: Tasa de Respiración exógena dinámica ($\text{mg O}_2/\text{l.h}$)

Mide una serie cointinuada de valores de Rs que un determinado sustrato provoca en el fango durante su metabolización.

Rsp: Rs específica ($\text{mg O}_2/\text{g VSS.h}$)

Rs relacionada con la concentración de SSVLM. $\text{Rsp} = \text{Rs} / \text{MLVSS}$

DQOb: DQO biodegradable ($\text{mg O}_2/\text{l}$)

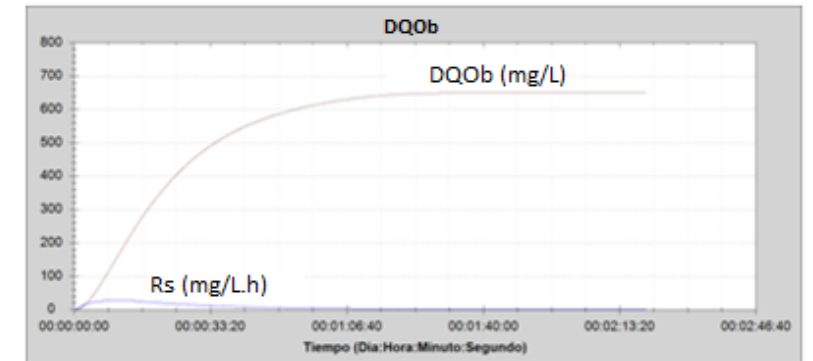
DQO biodegradable o rápidamente biodegradable – cuando la muestra es soluble
Se calcula a partir de la integración de la serie de valores Rs.

U: Tasa de eliminación de la DQO ($\text{mg DQO}/\text{l.h}$)

Mide la velocidad con que la DQO se está eliminando.

q: Tasa específica de eliminación de la DQO ($\text{mg DQO}/\text{mg SSV.d}$)

Mide la U relacionada con la concentración de SSVLM.



Respirogramas Rs & DQOb

Distintos modos de presentación de resultados en cualquier momento:

Gráfica, Datos, Detalles

Desde las pestañas Gráfica, Datos y Detalles, la Respirometría BM de Surcis puede presentar, los resultados para cualquier tiempo parcial o final del ensayo, así como el valor final, medio, máximo y mínimo.

Gráfica

Datos

Detalles

Ensayo:

Nombre:

Operario:

Fecha:

Línea de base:

Sólidos

Vf:

Vm

s:

Y:

Estimación :

Duración(hh:mm:ss):

DQOb

27/04/2022

7,00 ppm

10,4 g/l

1000 ml

2,353 ml

2

0,67

0 mg/l

00:18:53:13

Resultados

Selecciona el tipo de datos de la siguiente lista para ver todos sus resultados :

OD (ppm)

T. (°C)

pH

Rs (mg/l.h)

Rsp (mg/g.h)

OC (mg/l)

DQOb (mg/l)

U (mgDQOb/l.h)

q (mgDQOb/mgVSS.d)

Primer valor :

Último valor :

Mínimo :

Máximo :

Promedio :

0

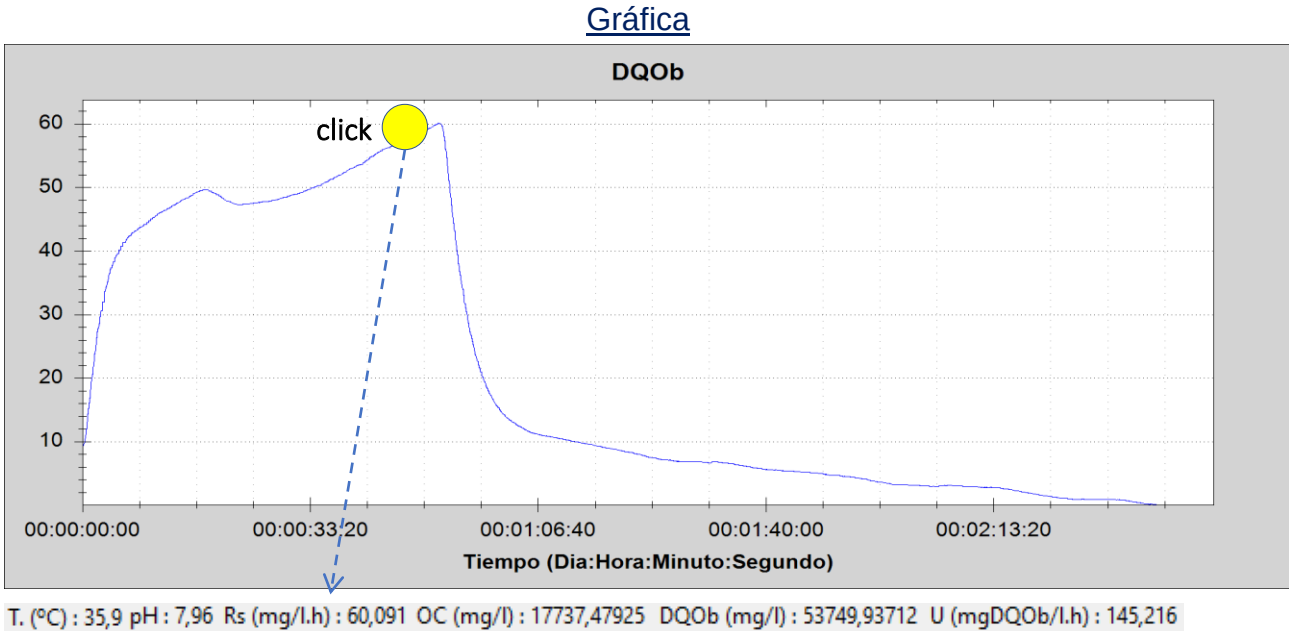
70691,66

0

70691,66

68258,61

Observaciones



Datos

Gráfica	Datos	Detalles						
Tiempo	OD (ppm)	T. (°C)	pH	Rs (mg/l.h)	OC (mg/l)	DQOb (mg/l)	U (mgDQOb/l.h)	q (mgDQOb/mgVSS.d)
00:02:46:25	7,02	35,9	8,06	14,78	23327,72	70690,06	59,83	0,14
00:02:46:27	7,02	35,9	8,06	14,78	23327,72	70690,06	59,82	0,14
00:02:46:30	7,03	35,9	8,06	14,78	23327,72	70690,06	59,8	0,14

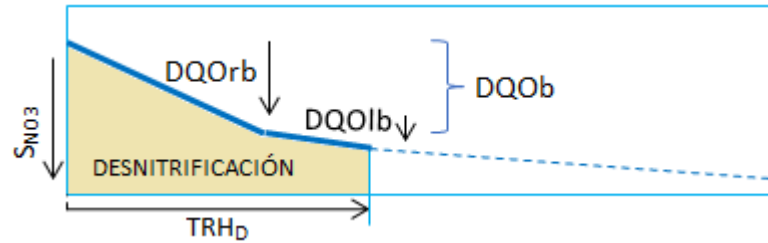
Procedimiento para la evaluación del proceso anóxico de la desnitrificación

Parametros en juego

Símbolo	Descripción
DQOb	Ensayo de respirometría BM de la DQO biodegradable (mg/L) Además de la DQOb, en un mismo ensayo, se obtienen los parámetros OC, U, entre otros.
DQOb_D	DQO biodegradable utilizado en la desnitrificación
S_{NO3}	Nitrato a desnitrificar (mg N-NO ₃ /L)
OC_D	Oxígeno neto que corresponde a la DQOb eliminada en la desnitrificación (mg/L)
Y_H	Coeficiente de crecimiento de la biomasa heterótrofa en condiciones aerobias (O ₂ /DQO)
Y_{HD}	Coeficiente de crecimiento de la biomasa heterótrofa facultativa en la desnitrificación (O ₂ /DQO) $\approx 0.83 \cdot Y_H$
U_D	Tasa de utilización de la DQOb acumulada utilizada en la desnitrificación (mg DQO/L.h)
OUR_D	Tasa de consumo neto de la DQOb utilizada en la desnitrificación (mg O ₂ /L.h)
NUR	Tasa de desnitrificación (mg N-NO ₃ /L.h)
K_{OD}	Coeficiente de inhibición por oxígeno disuelto en la zona anóxica = 0,2 (Henze, et al 1996)
OD_D	Oxígeno disuelto en la zona anóxica de desnitrificación (mg/L)
TRH_D	Tiempo de retención hidráulica en el proceso de desnitrificación (h)
C_{NO3}	Capacidad de desnitrificación (mg N-NO ₃ /L)
DQOrb_D	DQO fácilmente biodegradable utilizado en la desnitrificación
DQOIb_D	DQO lentamente biodegradable utilizado en la desnitrificación

Puntos a considerar en la relación entre el consumo de oxígeno para la eliminación de la DQO biodegradable y la desnitrificación

- La desnitrificación toma la DQO biodegradable total (DQOb) como fuente de carbono orgánico, dando prioridad absoluta a la fracción de DQO fácilmente biodegradable (DQOrb)



- Existe una relación fija entre el oxígeno de la fuente orgánica (DQO) y el nitrato eliminado (S_{NO_3}) de 2,86

$$CO_D / S_{NO_3} = 2.86$$

- Del mismo modo, la relación entre la tasa de consumo de oxígeno acumulado (OUR_D) y la tasa de nitrificación (NUR) también es de 2,86

$$OUR_D / NUR = 2.86$$

- La tasa de utilización de la DQOb en la zona aeróbica (U) es equivalente a la de la zona anóxica. Por lo tanto, estos datos obtenidos de un ensayo de respirometría aeróbica se pueden utilizar para la determinación de la tasa de desnitrificación (NUR) y la capacidad de desnitrificación (C_{NO_3})
- Además de las condiciones del proceso, la tasa de desnitrificación depende en gran medida de si se utiliza DQO fácilmente biodegradable (DQOrb) o DQO lentamente biodegradable (DQOIb): cuanto más se utilice la DQOIb el NUR será más bajo.
- Con la Respirometría BM es posible analizar la cantidad de DQOrb y/o DQOIb que se están utilizando en la desnitrificación y así justificar el valor de NUR obtenido.

¿Por qué DQO biodegradable en lugar de DQO o DBO?

1. DQO y DBO Ignoran la materia carbonosa no biodegradable

$$\text{DQO no-biodegradable: } \text{DQO}_{nb} = \text{DQO} - \text{DQO}_b$$

2. DQO y DBO Ignoran la materia carbonácea fácilmente biodegradable

$$\text{DQO fácilmente biodegradable: } \text{DQO}_{rb} = \text{Se obtiene directamente desde un ensayo de Respirimetría BM}$$

3. DQO y DBO Ignoran la materia carbonácea lentamente biodegradable

$$\text{DQO lentamente biodegradable: } \text{DQO}_{lb} = \text{DQO}_b - \text{DQO}_{rb}$$

4. Ambas fracciones (DQO_{nb} , DQO_{rb} y DQO_{lb}) juegan un papel clave en el proceso de desnitrificación:

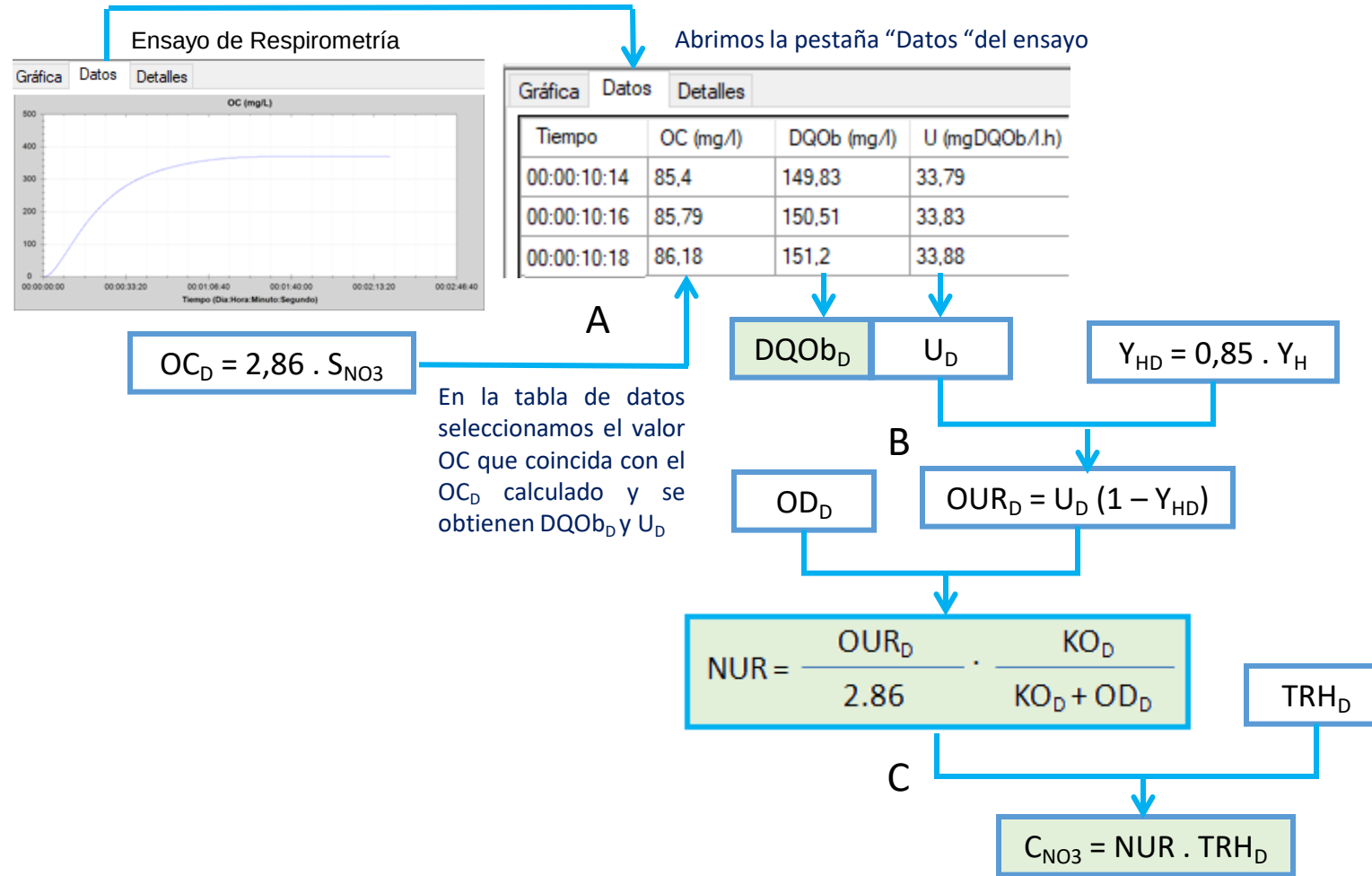
- La desnitrificación utiliza rbCOD como prioridad, y un bajo porcentaje de esta fracción en el DQO total puede conducir a una baja eficiencia del proceso.
- La tasa de desnitrificación (NUR) depende de la tasa de utilización de la DQO_b y esta tasa depende, a su vez, del porcentaje de DQO_{rb} y DQO_{lb} en la DQO total.

Por lo tanto, es posible que la DQO/N esté dentro del rango y, sin embargo, no se logre la eficiencia requerida porque el proceso está utilizando principalmente una DQO lentamente biodegradable que ralentiza la velocidad de eliminación del nitrato.

Procedimiento

SURCIS

Diagrama del procedimiento para la determinación de la DQOb utilizada en el proceso anóxico(DQOb_D), la tasa de desnitrificación (NUR) y la capacidad de desnitrificación (C_{NO3}) desde la tabla de “Datos” del ensayo de Respirometría



Desarrollo del procedimiento por etapas

El desarrollo del Procedimiento se puede dividir en tres etapas:

A. Cálculo del oxígeno necesario para la desnitrificación (OC_D) y cálculo automático de la DQO biodegradable ($DQOb_D$) y tasa de eliminación de la DQOb (U_D) en el proceso de la desnitrificación y desde un ensayo R de Respirimetría

$$OC_D = 2,86 \cdot S_{NO_3}$$

$DQOb_D$ (mg/L) : DQO biodegradable utilizado en la desnitrificación

U_D (mg DQO/L.h): Tasa (velocidad) de utilización de la DQOb acumulada utilizada en la desnitrificación

B. Cálculo de la tasa de consumo neto de DQOb utilizada en la desnitrificación (OUR_D)

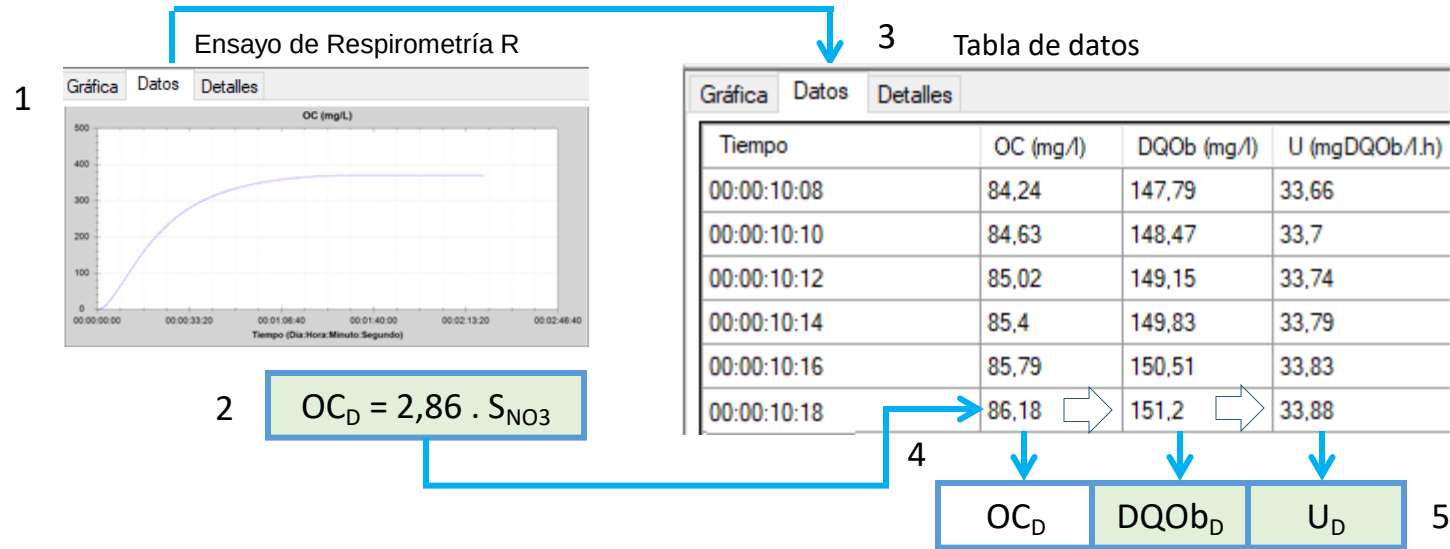
OUR_D (mg/L.h): Tasa de consumo de DQOb excluyendo la parte que corresponde a la producción de biomasa heterótrofa ($1 - Y_{HD}$)

A. Cálculo de la Tasa de desnitrificación (NUR), Capacidad de desnitrificación (C_{NO_3})

NUR (mg N- NO_3 /L.h) : Tasa de eliminación de nitrato

C_{NO_3} (mg N- NO_3 /L): Capacidad de nitrato a desintrificar

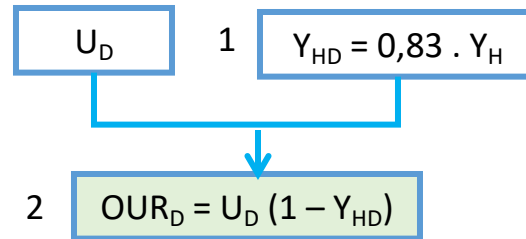
A. Cálculo del oxígeno necesario para la desnitrificación (OC_D), y cálculo automático de la DQO biodegradable ($DQOb_D$) y tasa de eliminación de la DQO biodegradable (U_D) desde un ensayo R de Respirometría



1. Se realiza un ensayo R para $DQOb$, OC .
2. Se calcula el Oxígeno (OC_D) que necesita el nitrato a desnitrificar (S_{NO_3}): $OC_D \text{ (mg/L)} = 2,86 \cdot S_{NO_3}$
1. Desde la pestaña “Datos” del software obtenemos la tabla de datos.
2. En la tabla de datos, se selecciona el valor OC más cercano al OC_D que hemos calculado previamente.
5. Con ello, además del OC_D y para un mismo intervalo de tiempo, de forma automática, en la tabla aparecerán también los valores de la $DQOb_D$ y U_D correspondientes.

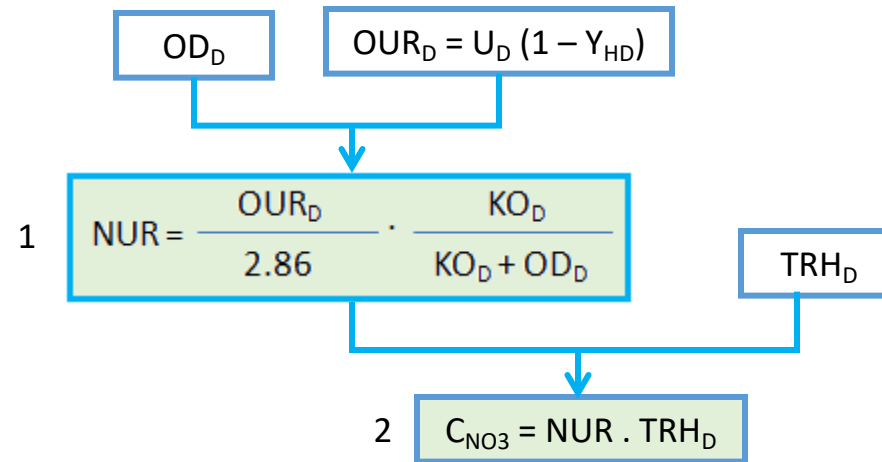
B. Cálculo de la tasa de consumo de oxígeno neto desde la DQOb utilizada en la desnitrificación (OUR_D)

OUR_D (mg O_2 /L.h) se refiere a la tasa de oxígeno neto utilizado en la desnitrificación.



1. Calculamos el valor del coeficiente de producción de biomsa Y_{HD} por la conocida fórmula: $Y_{HD} = 0,85 \cdot Y_H$ (Müller et al., 2003)
En caso de no tener a mano el valor de la Y_H , se utilizará el valor por defecto: $Y_{HD} = 0,55$ (O_2 /DQO)
2. El cálculo del OUR_D parte de la tasa de eliminación de la DQOb_D (U_D) al que se le aplica el factor $(1 - Y_{HD})$ para descontar la porción de DQOb destinada a la producción de biomasa.

C. Cálculo de la Tasa de desnitrificación (NUR), Capacidad de desnitrificación (C_{NO_3})

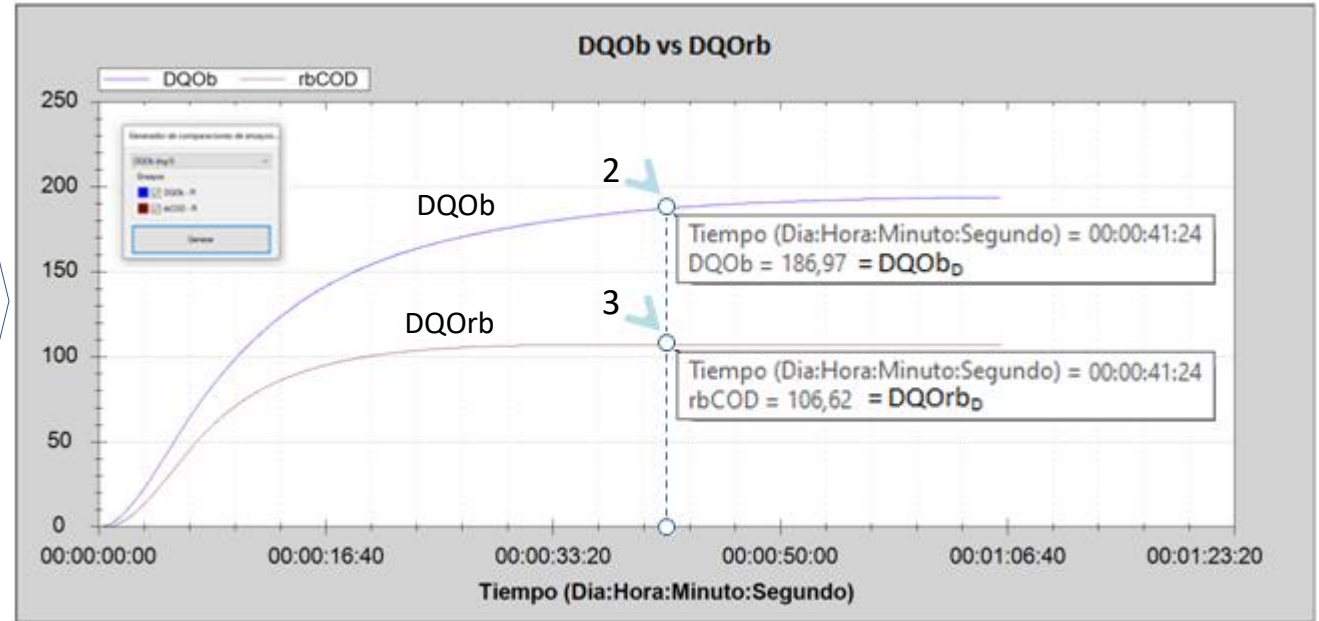
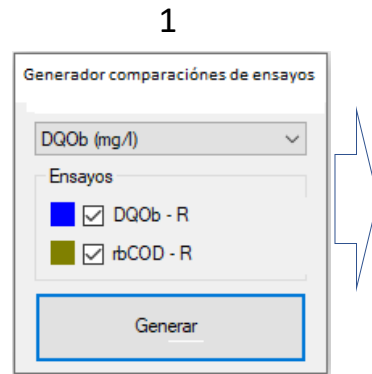


1. En base al principio de que la reacción entre el oxígeno y el nitrato que se consume es de 2,86. se obtiene la fórmula del NUR.
Esta fórmula viene afectada por el factor de corrección por oxígeno disuelto en zona anóxica (OD_D) y coeficiente de inhibición por oxígeno KO_D
 OD_D : oxígeno disuelto en zona anóxica (mg/L)
 KO_D : Coeficiente de inhibición por presencia de oxígeno (mg/L) = 0,2 (Henze et al 1996)
2. La capacidad de nitrificación se refiere al nitrato máximo que el proceso puede eliminar en las condiciones en que se calculó el NUR y para un determinado TRH.
3. Por añadidura, conociendo el caudal máximo en zona de desnitrificación (Q_D) podemos calcular el volumen necesario que debe tener la zona de desnitrificación: $V_D = Q_D \cdot TRH_D$
 Q_D : Caudal en zona anóxica de desnitrificación (m^3/h)
 V_D : Volumen de seguridad que necesita la zona de desnitrificación (m^3)

Procedimiento para la determinación de la DQO fácilmente biodegradable y DQO lentamente biodegradable utilizadas en la desnitrificación

Para determinar la fracción $DQOrb_D$ correspondiente a la desnitrificación, además del ensayo $DQOb$, se debe realizar otro ensayo de respirometría aeróbica R con muestra soluble de agua de entrada ($DQOrb$)

1. Abrimos los ensayos $DQOb$ y $DQOrb$ $rbCOD$, y utilizamos la opción "Generador de comparaciones de ensayos" para superponer ambos respirogramas.
2. En la gráfica de $bCOD$, con el puntero del ratón, seleccionamos el punto que corresponde al valor $DQOb_D$.
3. Para el mismo intervalo, en el gráfico $rbCOD$, seleccionamos el punto que corresponde al $DQOb_D$ y clicuemaos sobre el mismo para que el valor $DQOrb_D$ aparezca automáticamente.
4. La DQO lentamente biodegradable en la desnitrificación ($DQOl b_D$) se calcularía simplemente por la diferencia entre $DQOb_D$ y $DQOrb_D$



$$4 \quad DQOl b_D = DQOb_D - DQOrb_D$$

$DQOrb_D$: DQO fácilmente biodegradable utilizado en la desnitrificación
 $DQOl b_D$: DQO lentamente biodegradable utilizada en la desnitrificación

Possibles causas de un bajo rendimiento en la desnitrificación

1. Que el proceso no se ajuste a las condiciones mínimas que se exigen en la desnitrificación:

pH entre 6,5 y 8,5
Temperatura entre 15 y 35 °C
DQO/NKT entre 2,5 a 5
Oxígeno disuelto < 0,3
Sin presencia de inhibición ni toxicidad
2. Baja carga de DQOb para la carga de nitrato a desnitrificar. De modo que, al quedarse sin materia orgánica, solo se consigue una nitrificación parcial.
3. Bajo porcentaje de DQOrb, que obliga al proceso a la utilización mayoritaria de la DQOl b provocando una bajo valor del NUR que no es suficiente para cumplir con la capacidad de desnitrificación que se exige en el proceso.
4. Baja capacidad de nitrificación, debido a un TRH_D demasiado corto para obtener el rendimiento deseado.
5. Presencia de nitritos en la zona a anóxica de desnitrificación debido a un posible proceso de nitrificación previo incompleto.

La Respirometría BM No está limitada



SIEMPRE EXISTE LA POSIBILIDAD DEL DESARROLLO DE NUEVAS APLICACIONES

SURCIS



Encarnació, 123
08024 Barcelona
Spain
T. +34 93 219 45 95
W. www.surcis.com

Emilio Serrano

Founding Partner – Respiriometry Specialist

P. +34 652 803 255

E. eserrano@surcis.com