

SERVICIO DE RESPIROMETRÍA

**Estudio de la capacidad de nitrificación & desnitrificación
en un proceso de fangos activos**

SURCIS

Respirómetro BM

Este estudio se realiza el respirómetro modelo BM-Advance, fabricado por SURCIS, S.L. y analizador de la DQO (por fotometría)

- Sistema de Respirometría BM-Advance



Principales características del BM-Advance

- Medida directa del oxígeno disuelto desde un sensor de oxígeno sin mantenimiento
- Sin restricciones de oxigenación ni tiempo en la ejecución de cualquiera de los ensayos.
- Control completo del funcionamiento y resultados por medio de un potente software cargado en el ordenador del sistema
- Actualización automática del software en curso desde Internet
- Capacidad para la programación de las condiciones del ensayo y su posible modificación durante su ejecución
- Medidas automáticas: OUR, SOUR, CO, DQOb, U (tasa de utilización de sustrato) y q (U específica)
- Último, mínimo, máximo y media móvil de cada medida siempre que se desee
- Presentación de resultados seleccionados durante la ejecución del ensayo, en cualquier momento, de forma tabular o gráfica.
- Opción para la apertura de varios ensayos almacenados y comparar los resultados de forma gráfica de los parámetros seleccionados, por superposición o por distintos modos de presentación de pantallas
- Control automático de la temperatura integrado en la misma consola.
- Monitorización y control automático del pH
- Zoom de cualquier zona seleccionada en el Respirograma
- Las medidas de los respirómetros BM y aplicaciones derivadas (parámetro cinéticos y operativos) pueden utilizarse en los programas de simulación y modelación
- Opción para utilizar un reactor especialmente diseñado para contener los portadores (biomass carriers) de procesos tipo MBBR
- Analizador compacto de muy bajo mantenimiento y fácil manejo

Muestras utilizadas

- . Fango activo de la zona aerobia del reactor biológico.
- . Agua residual representativa del aporte al reactor biológico

Proceso de fangos activos

Se trata de un proceso de fangos activos tipo flujo-pistón doble, con dos balsas por las que la carga de entrada se reparte al 50%. El proceso está dotado de recirculación externa de decantador a cabecera y de recirculación interna desde final del biológico a zona anóxica de desnitrificación. Los caudales de recirculación se reparten igualmente al 50% entre las balsas.

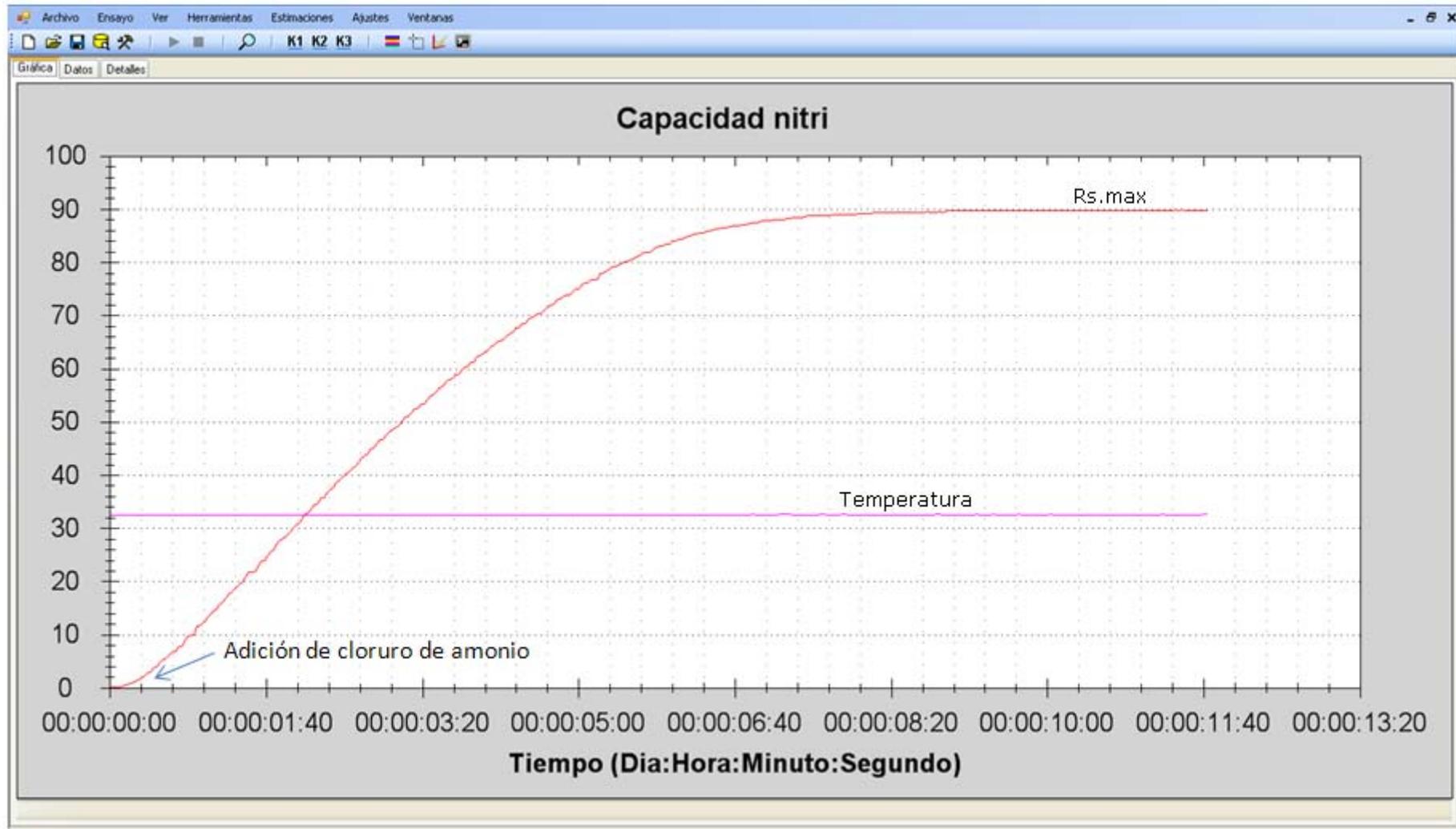
Datos

Parámetro	Valor
DQO total del agua residual	1426 mg/l
DQO biodegradable (DQOb)	1355 mg/l
DQO soluble (filtrada) del agua residual	1294 mg/l
DQO del compuesto orgánico de referencia (Ac. sódico)	300 mg/l
Concentración de SSV del fango activo de referencia	2800 mg/l
F/M estimada / balsa	0,28
Nitrógeno amoniacal	210 mg/l
NTK	270 mg/l
DQOrb/NTK	4,65
pH medio	7,82
Temperatura	30 - 35 °C
Rango de oxígeno disuelto	5 - 1,8 ppm
Volumen cada balsa aeróbica	3000 m ³
Volumen cada balsa anóxica	2000 m ³
Caudal de aporte influente global	300 m ³ /h
Caudal de aporte influente por balsa	150 m ³ /h
TRH: Tiempo de residencia hidráulica en zona aerobia por balsa	20 h
Caudal del fango de recirculación externa global	325 m ³ /h
Caudal del fango de recirculación externa por balsa	162 m ³ /h
Caudal del fango de recirculación interna (a zona anóxica) global	2125 m ³ /h
Caudal del fango de recirculación interna (a zona anóxica) por balsa	1062 m ³ /h

Nitrificación

Tasa de respiración por nitrificación – Respirograma

Se lleva a cabo un ensayo dinámico R desde el fango activo en fase de respiración endógena, añadiéndole una dosis de cloruro de amonio con una concentración equivalente de nitrógeno amoniacal a la del proceso real.



Respirograma Rs, Temperatura

Tasa de Nitrificación – Resultados (2)

Resultados	Resultados	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) OC (fd=1) (mg/l) DQOb (fd=1) (mg/l) DQOb (mg/l) U (mgDQOb/l.h) q (mgDQOb/mgVSS.d)	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) OC (fd=1) (mg/l) DQOb (fd=1) (mg/l) DQOb (mg/l) U (mgDQOb/l.h) q (mgDQOb/mgVSS.d)	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) OC (fd=1) (mg/l) DQOb (fd=1) (mg/l) DQOb (mg/l) U (mgDQOb/l.h) q (mgDQOb/mgVSS.d)
Primer valor : 7,82	Primer valor : 32,44	Primer valor : 0
Último valor : 7,71	Último valor : 32,57	Último valor : 89,79
Mínimo : 7,61	Mínimo : 32,4	Mínimo : 0
Máximo : 7,82	Máximo : 32,6	Máximo : 89,82
Promedio : 7,68	Promedio : 32,48	Promedio : 66,4

Tasa de respiración máxima: $R_{s,max} = 89,82 \text{ mg O}_2/\text{l.h}$

Puesto que el proceso trabaja con valores de oxígeno superiores a 3 mg/l, el coeficiente de semisaturación K_{O_A} es igual a cero y la tasa de nitrificación no necesita ser corregida por el mismo.

Tasa de nitrificación: $AUR = R_{s,max} / 4,57 = 89,82 / 4,57 = 19,65 \text{ mg N-NH}_4/\text{l.h}$

Análisis del resultado

El rango habitual de OUR para la concentración de sólidos volátiles en que el reactor está trabajando suele estar entre 6 y 10, por lo que el valor de 19,65 es comparativamente muy alto. Ello nos hace suponer que la causa de esta alta actividad nitrificante es la de unas condiciones adecuadas y sobre todo la alta temperatura en que se desarrolla el proceso.

Capacidad Nitrificación máxima / balsa

$$TRH = 20 \text{ h}$$

$$TRH_N = 0,85 * 20 = 17 \text{ h}$$

$$C_N = AUR * TRH_N = 19,65 * 17 = 334 \text{ mg N-NH}_4/\text{l}$$

TRH (h): Tiempo de retención hidráulica en zona aeróbica

TRH_N (h): Tiempo de retención hidráulica efectivo para la nitrificación

0,85: Coeficiente de seguridad

C_N (mg N-NH₄/l): Capacidad de nitrificación = Concentración de amonio máxima en cabecera de la zona aeróbica, que el proceso sería capaz de nitrificar.

Análisis del resultado

El resultado de 334 es superior a la concentración de amonio actual. Por ello podríamos decir que, bajo condiciones adecuadas, el proceso va holgado.

Relación DQO soluble biodegradable en el proceso / capacidad de nitrificación

$$C_N / DQOrb$$

$$DQOrb / C_N = 1255 / 334 = 3,75 \text{ DQO} / \text{N-NH}_4$$

Concentración de biomasa autótrofa

$$X_A = F_N * SSV$$

S / NTK	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F _N	0.35	0.21	0.12	0.083	0.064	0.054	0.043	0.037	0.033	0.029

Fuente: Metcalf & Eddy. 1995

$$DQOrb/NTK = 4,65 \rightarrow F_N = 0,06$$

$$X_A = 0,06 * 2800 = 168 \text{ mg/l}$$

Tasa máxima de crecimiento de la biomasa autótrofa

$$\mu_{A.\max} = Y_A * 24 * AUR / X_A$$

$$Y_A \approx 0,1$$

$$\mu_{A.\max} = 0,1 * 24 * 19,65 / 168 = 0,28 \text{ (d}^{-1}\text{)}$$

$$\mu_{A.\max} = 0,28 \text{ (d}^{-1}\text{)}$$

Edad del fango mínima para la nitrificación

$$TRC_N \text{ (d)} = 1 / (\mu_{A.\max} - b_A)$$

$$b_A = 0,06$$

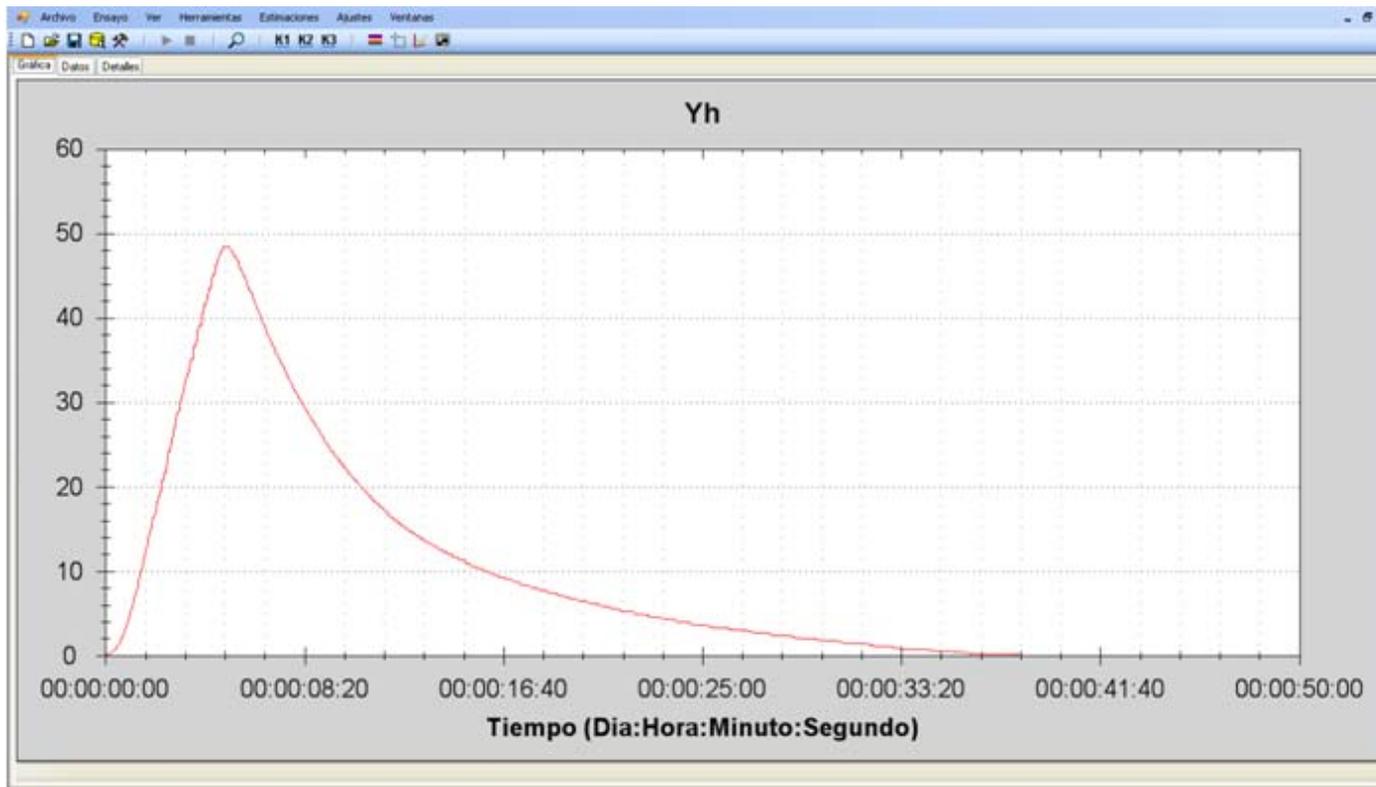
Fuente: EPA - Long Island - Soun Study. NY

$$TRC_N = 1 / (0,28 - 0,06) = 4,54 \text{ d} \rightarrow 5 \text{ d}$$

$$TRC_N = 5 \text{ d}$$

DQO soluble biodegradable

Coeficiente de rendimiento del crecimiento de biomasa heterótrofa



Resultados

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

- OD (ppm)
- T. (°C)
- pH
- R_s (mg/l.h)
- R_{sp} (mg/g.h)
- OC (mg/l)**
- OC (fd=1) (mg/l)
- DQOb (fd=1) (mg/l)
- DQOb (mg/l)
- U (mgDQOb/l.h)
- q (mgDQOb/mgVSS.d)

Primer valor :

Último valor :

Mínimo :

Máximo :

Promedio :

$$Y_H = 1 - OC / DQO_{ac} = 1 - 155,48 / 300 = 0,48$$

Y_H : Coeficiente de rendimiento del crecimiento de la biomasa heterótrofa

OC (mg/l): oxígeno consumido

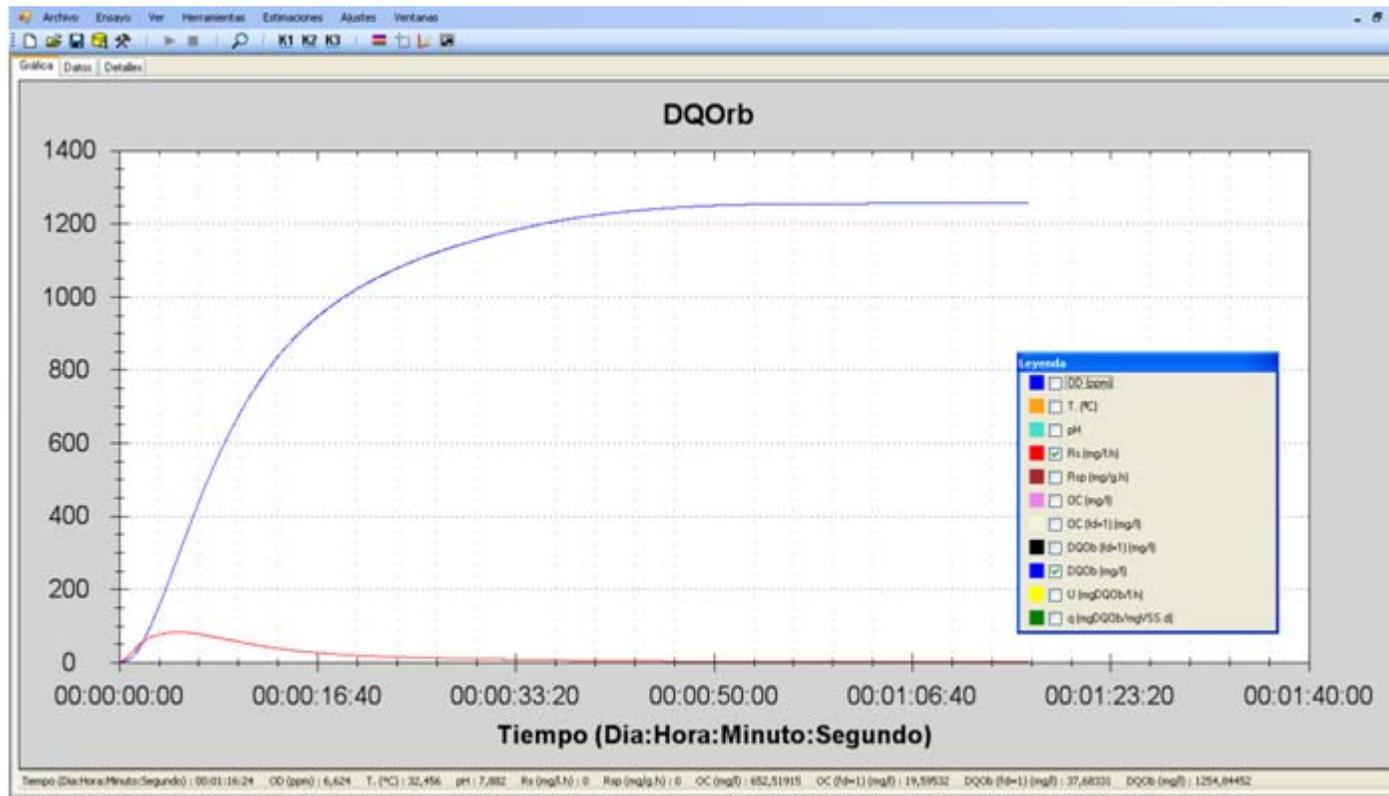
DQO_{ac} (mg/l): DQO del compuesto de ref. (Acetato sódico)

$$Y_H = 0,48 \text{ O}_2/\text{DQO}$$

Análisis del resultado

Para un rango habitual de entre 0,5 y 0,7, el valor de 0,48 parece estar algo bajo.

DQO soluble rápidamente biodegradable



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)
- OC (fd=1) (mg/l)
- DQOb (fd=1) (mg/l)
- DQOb (mg/l)**
- U (mgDQOb/l.h)
- q (mgDQOb/mgVSS.d)

Primer valor : 0

Último valor : 1254,84

Mínimo : 0

Máximo : 1254,84

Promedio : 1049,14

DQOrb = 1255 mg/l

Análisis del resultado

El valor de 1255 representa el 88% de la DQO total. Ello nos quiere decir que la mayor parte de la DQO degradable es rápidamente biodegradable.

Desnitrificación

NOTA IMPORTANTE: Todos las determinaciones relacionadas en este estudio de la desnitrificación son válidas siempre y cuando en la zona anóxica se mantengan las condiciones físico-químicas e hidráulicas en rango de normalidad para este proceso, entre las que cuenta el oxígeno disuelto con un valor por debajo de 0,3 ppm y un valor adecuado de recirculación interna que permita mantener las condiciones anóxicas en la zona destinada a la remoción del nitrato.

Relación entre la materia carbonosa utilizada en el proceso y nitrato a desnitrificar

Despreciams el posible nitrógeno orgánico y nitrato en efluente.

$$N\text{-NO}_{3[\text{DN}]} = 0,9 * [N\text{-NH}_4] * f = 210 * 0,45 = 94,5 \text{ mg N-NO}_3/\text{l}$$

$$f = Q_i / (Q_i + Q_{re} + Q_{ri}) = 1 / (1 + r_e + r_i) = 1 / (1 + 1,08 + 0,14) = 1 / 2,22 = 0,45$$

$N\text{-NO}_{3[\text{DN}]}$: Concentración de nitrato efectivo a desnitrificar en la zona anóxica

$[N\text{-NH}_4]$: Concentración de nitrógeno amoniacal en influente

Fuente: Environmental Biotechnology: Concepts and Applications - Editado por Hans-Joachim - 2005

Q_i (m³/h): Caudal afluente / balsa = 300 / 2 = 150 m³/h

Q_{re} (m³/h): Caudal recirculación externa / balsa = 325 / 2 ≈ 162 m³/h

Q_{ri} (m³/h): Caudal recirculación interna / balsa = 2125 / 2 ≈ 1062 m³/h

$$r_e = Q_{re}/Q_i = 162,5 / 150 = 1,08$$

$$r_i = Q_{ri}/Q_i = 150 / 1062 = 0,14$$

$$\text{Materia carbonosa: } S = [0,9 (1-Y_H) DQ_{\text{Orb}}] + (V_{\text{DN}} / V) [(0,6(\text{OCb} - (1-Y_H) DQ_{\text{Orb}})]$$

Fuente: Gujer and Kayser - 2000

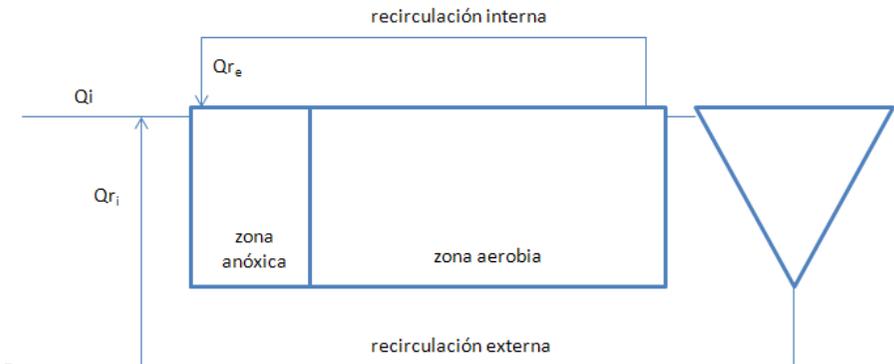
$$S_{\text{OC}} = [0,9 * 0,52 * 1255] + (2000 / 5000) [0,6(704 - 0,52 * 1255)] = 599,7 \text{ mg/l}$$

$$\text{Condición} \rightarrow S_{\text{OC}} / N\text{-NO}_{3[\text{DN}]} \geq 2,9$$

$$S_{\text{OC}} / N\text{-NO}_{3[\text{DN}]} = 599,7 / 94,5 = 6,34$$

Análisis del resultado

El valor de 6,34 es superior al mínimo establecido de 2,9. Por lo tanto, disponiendo de suficiente tiempo de residencia hidráulica, un caudal de recirculación adecuado y un oxígeno disuelto por debajo de 0,3 ppm, el proceso de desnitrificación tiene más que suficiente materia carbonosa biodegradable para su funcionamiento.



Capacidad de desnitrificación por disponibilidad actual de materia carbonosa

C_{DN} (en cabecera de balsa anóxica) = $S_{OC} / 2,9 = 599,7 / 2,9 = 206$ mg N-NO₃/l en cabecera de la balsa anóxica

C_{DN} (en cabecera de balsa anóxica) = 206 mg N-NO₃/l

Análisis del resultado

El valor de concentración de nitrato de 206,55 es superior al actual calculado de 94,5. Por ello, disponiendo de suficiente tiempo de residencia hidráulica, un caudal de recirculación adecuado y un oxígeno disuelto por debajo de 0,3 ppm, el proceso de desnitrificación podría acometer una concentración de nitrato a desnitrificar muy superior a la actual.

DQO eliminada en la desnitrificación

Cada mg de nitrato necesita 2,9 mg de S_{CO} para su desnitrificación.

$$S_{OC} = N\text{-NO}_{3[DN]} * 2,9 = 94,5 * 2,9 = 274 \text{ mg/l}$$

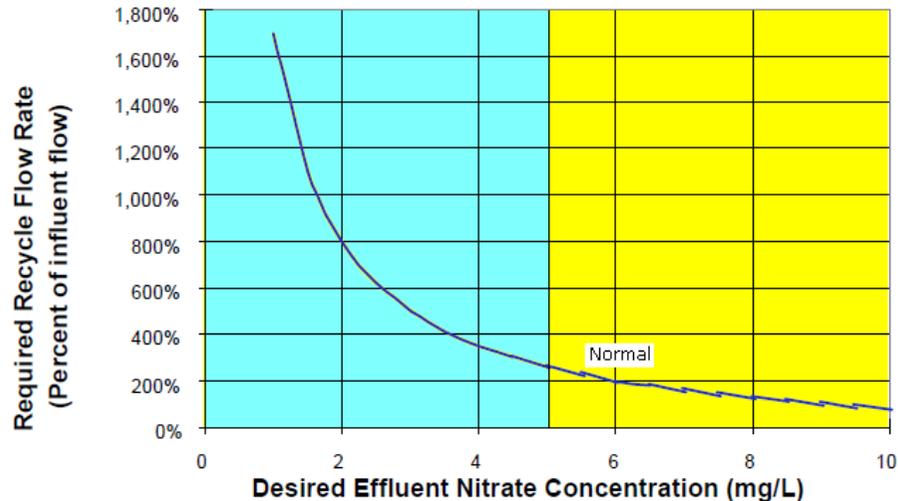
$$S_{DQO} = S_{OC} / (1 - Y_H) = 274 / 0,52 = 527 \text{ mg/l}$$

$$S_{DQO} = 527 \text{ ng/l}$$

S_{DQO} : DQO eliminada en la desnitrificación.

Estimación del caudal recirculación interna mínimo a la zona anóxica por balsa

(Según bibliografía)



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

Teniendo en cuenta un rendimiento máximo y que la salida de nitrógeno en forma de nitrato se suele fijar en torno a 6, la recirculación interna oscilará entre unos valores de 2 a 3 veces el caudal de entrada. Siguiendo las recomendaciones y fijando un margen de seguridad, para nuestro caso suponemos que un caudal de recirculación interna del 300% del caudal del afluente puede ser adecuado.

$$Q_{r_i \text{ estimado}} = 3 * 150 = 450 \text{ m}^3/\text{h}$$

Análisis del resultado

El valor de 450 m³/h es muy inferior al actual de 1062 m³/h. En principio, el caudal de recirculación interna parece desproporcionado.

En este tipo de proceso de fangos activos, los peligros que pueden estar presentes debido a un alto caudal de recirculación son los siguientes:

- Cuando el reactor biológico aerobio trabaja con un oxígeno disuelto alto (como en el caso presente), el alto caudal de recirculación interna puede provocar un oxígeno disuelto superior a 0,3 ppm en una buena parte de la zona anóxica.
- La reducción del volumen anóxico, provocaría una sensible reducción del TRH anóxico efectivo.
- Una zona anóxica con oxígeno disuelto entre 0,3 y 0,5 reduce sensiblemente la tasa de desnitrificación (NUR); y por encima de 0,5 ppm la desnitrificación deja prácticamente de funcionar.
- Así mismo, el oxígeno disuelto entre 0,3 y 0,5 reduce sensiblemente la tasa de crecimiento de la biomasa nitrificante.

Resumen de resultados

Parámetro	Descripción	Valor	Valoración
Nitrificación			
Rs.max	Tasa de respiración por nitrificación	89,62 mg O ₂ /(l.h)	Alta
AUR	Tasa de nitrificación	19,65 mg N-NH ₄ /(l.h)	Alta
C _N	Capacidad de nitrificación máxima / balsa	334 mg N-NH ₄ /l	Alta En condiciones adecuadas y para el TRH disponible, el proceso tiene capacidad para nitrificar una concentración de amonio muy superior a la actual.
DQOrb/C _{DN}	Relación DQO soluble biodegradable / capacidad de nitrificación	3,75	Con oxígeno suficientemente alto (como es nuestro caso), la influencia de la DQO en la nitrificación es mínima.
Coeficiente estequiométrico & DQO soluble biodegradable			
Y _H	Coeficiente del rendimiento en el crecimiento de biomasa heterótrofa	0,48 O ₂ /DQO	Algo bajo
DQOrb	DQO soluble biodegradable	1255 mg/l	Alto
Desnitrificación			
N-NO ₃ [DN]	Nitrato a desnitrificar en cabecera de zona anóxica	94,5 mg N-NH ₄ /l	
S _{OC} / N-NO ₃ [DN]	Relación entre materia carbonosa / nitrato a desnitrificar	6,34	Alto En condiciones adecuadas, el proceso tiene más que suficiente materia carbonosa.
C _{DN}	Capacidad de desnitrificación por disponibilidad actual de materia carbonosa	206 mg N-NO ₃ /l	Alto En condiciones adecuadas, el proceso tiene capacidad para desnitrificar un concentración de nitrato muy superior a la actual.
S _{DQO}	DQO eliminada en la desnitrificación	527 mg/l	Normal
Q _r estimado	Caudal de recirculación interno estimado / balsa	450 m ³ /h	Más bajo que el actual. Con este caudal probablemente se eviten los posibles problemas derivados de una recirculación del oxígeno alto en la zona anóxica, así como reducir la tasa de desnitrificación, el crecimiento de la biomasa y el TRH de la zona anóxica.

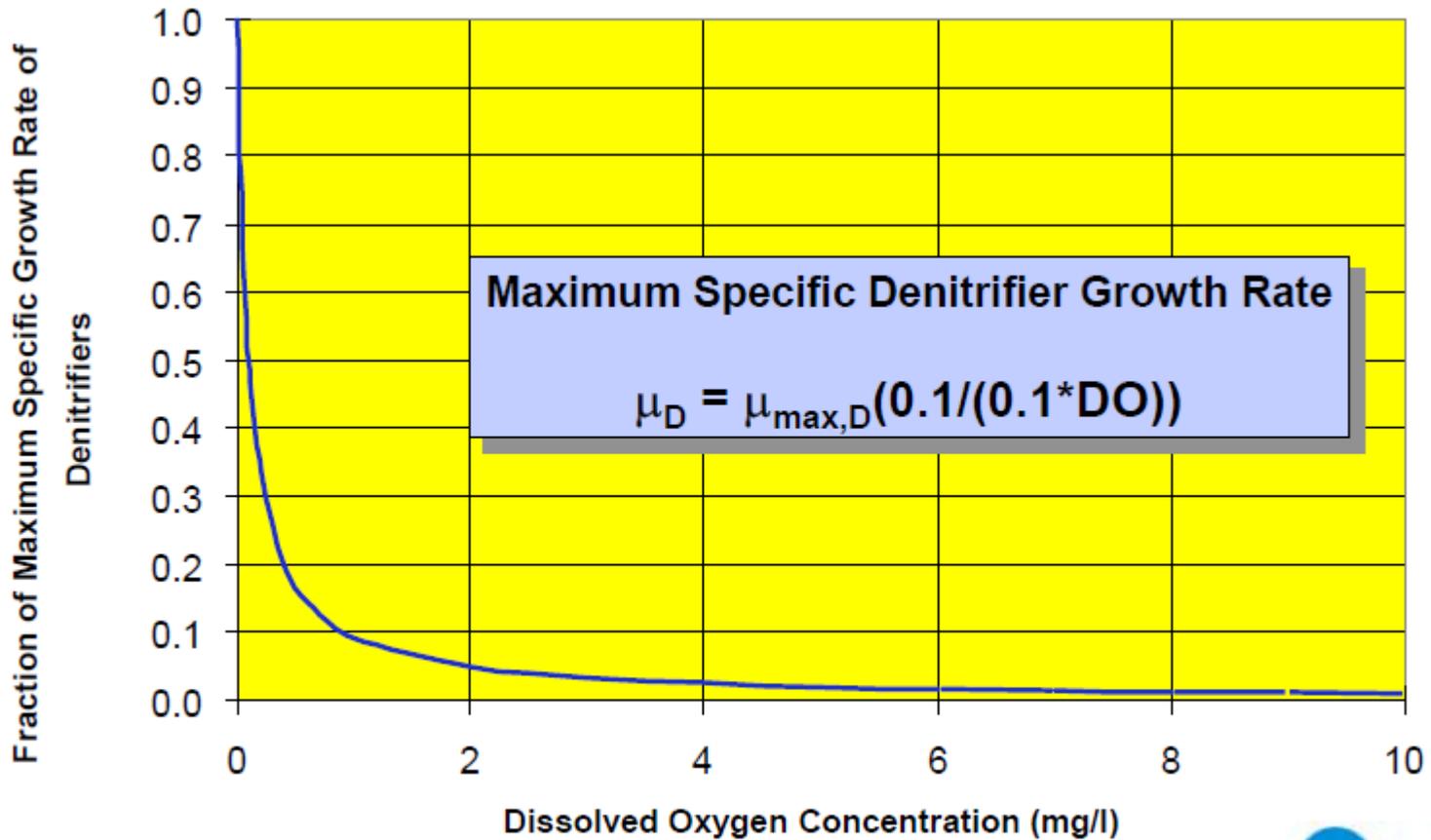
ANEXO

Table 6.1. The cause-effect analysis for nitrate recirculation control

Performance indicators	Impact of nitrate recirculation flow
Nitrification	A higher nitrate recirculation flow makes the aerobic reactor more completely mixed than plug-flow like, which will slightly reduce the overall nitrification rate. However, this impact is expected to be marginal.
Denitrification	A too low nitrate recirculation flow results in the denitrification rate in the anoxic reactor being limited by the nitrate concentration, while a too high nitrate recirculation flow brings more oxygen to the anoxic reactor and in the mean time could lead to more leakage of influent COD to the aerobic reactor. Both are detrimental to denitrification. Therefore, there exists an optimal recirculation flow rate for a given situation. A more detailed analysis is given in the next section.
Phosphorus removal	The nitrate recirculation affects the nitrate concentration in the anoxic tank, which should be maintained at a low level in an EBPR plant, where the mixed liquor is recycled to the anaerobic reactor from an anoxic one.
COD removal	Nitrate recirculation will have little, if any at all, impact on the COD removal.
Bacterial populations and sludge settleability	No direct evidence to suggest that the nitrate recirculation flow affects the microbial community, although it has been hypothesised that incomplete denitrification in the anoxic tank could lead to the accumulation of the toxic nitric oxide inside of sludge flocs, disadvantaging the growth of floc-formers and thus causing sludge settleability problems. This hypothesis remains to be verified.

The nitrate recirculation flow in a pre-denitrification plant should be controlled such that the nitrate concentration at the outlet of the anoxic zone is maintained at a low, but non-aero level. This strategy makes the maximum use of influent COD for denitrification and thus maximises the nitrate removal. However, the effluent nitrate concentration would vary with, among others, the influent wastewater composition. Other control measures will have to be employed in case that the effluent nitrogen discharge limit is not met.

Fuente: Instrumentation, Control and Automation in Wastewater Systems – Gustav Olsson (IWA Publishing. 2005)



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

SURCIS