

ESTUDIO DE RESPIROMETRÍA

**Para analizar el fraccionamiento de la DQO
y relación de nutrientes en el proceso de fangos activos
de una industria papelera**

Sistema de respirometría utilizado: BM-Advance



Características principales del analizador de respirometría BM-Advance

- Analizador compacto de muy bajo mantenimiento y fácil manejo
- 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 potente software cargado en 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 todos los 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 el mismo analizador.
- Monitorización y control automático del pH desde el software.
- Zoom de cualquier zona seleccionada en el Respirograma
- Las medidas de los respirómetros BM y aplicaciones derivadas (parámetro cinético y operativo) 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, biofiltros y biomasa granular.

Datos – Ficha Técnica

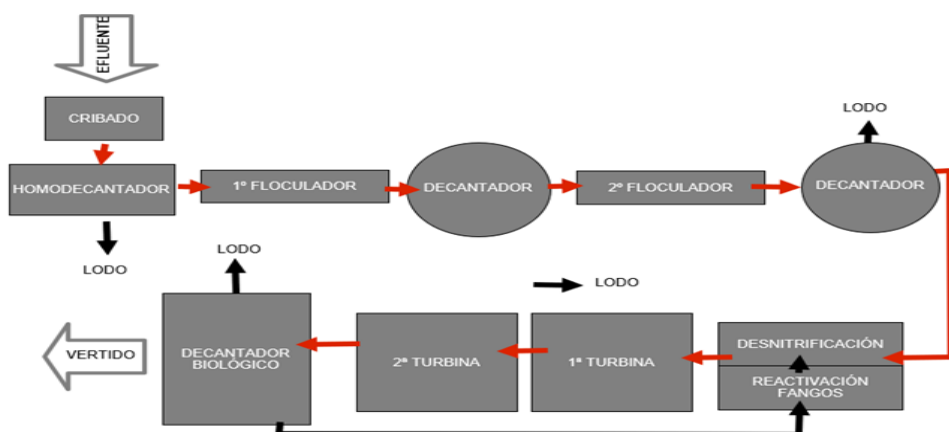
Parámetro	Modo/Valor
Tipo de proceso	Fangos activos
Nitrificación/Desnitrificación	☒ Sí ☐ No
pH medio en zona Nitrificación/Desnitrificación	Inicio:7.72 Final:7.8
Temperatura actual media en el biológico	Día:25.04 Noche:
DQO media de agua de entrada a biológico (mg/l)	5800
DBO ₅ media de la entrada a reactor biológico (mg/l)	3000
DQO media en efluente(mg/l)	727
Nitrogeno amoniacal (mg N/l)	Mínimo:5 Máximo:100
Caudal Q de entrada (m³/h)	Mínimo:125 Máximo:586
MLSS del fango (mg/l)	4600
MLVSS del fango (mg/l)	2300

Descripción del problema (Imprescindible)

Comentarios a las respuestas anteriores:

MLSS del fango, sería medido en el fango activo y no en el fango de la purga, igual que el MLVSS

Esquema de la planta (Imprescindible)



Datos adicionales aportados por el cliente (datos del 2019)

NTK entrada = **56** mg N/l

P total entrada = **1,4** mg P/l

Caudal medio = **346** m³/d

Datos obtenidos en Surcis

DQO muestra = **5800** mg/l (analizada en Surcis)

DQOf muestra filtrada = **5200** mg/l (analizada en Surcis)

DQO eliminada = 5800 - 727 = **5073** mg/l

DQO estándar orgánico (Acetato sódico) = 300 mg/l (Surcis)

Cálculos adicionales para el estudio

Rendimiento DQO: $100 * (\text{DQO eliminada} / \text{DQO entrada}) = 100 * 5073 / 5800 = \mathbf{87\%}$

Relación C/N actual por DQO eliminada / NTK = $5073 / 56 = 90$

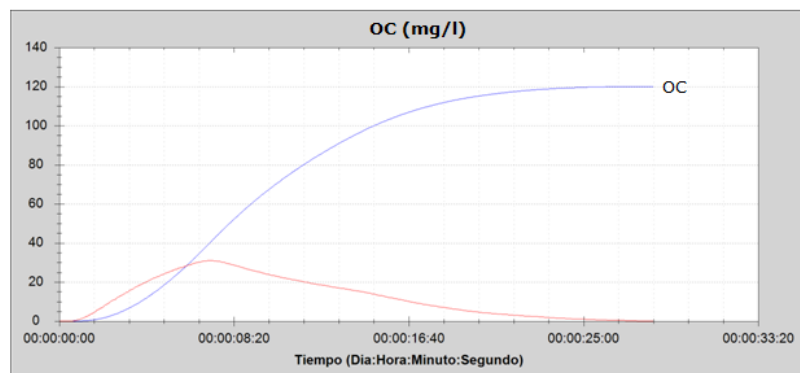
Descripción de los principales de respirometría parámetros utilizados en el estudio

OUR endógeno: OUR_{end} (mg O₂/l.h)

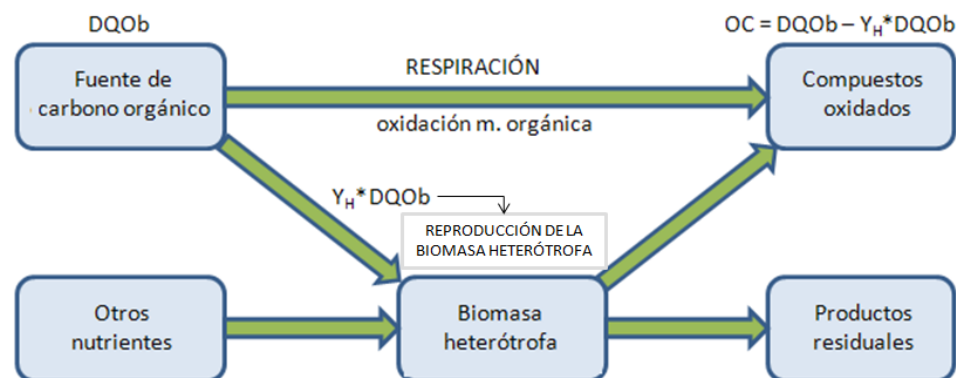
El OUR endógeno de la biomasa nos permite valorar la actividad de los SSVLM activos en estado de respiración endógena (sin sustrato alguno)

Coefficiente estequiométrico de crecimiento de la biomasa heterótrofa: Y_H

Representa la parte de la DQOb que pasa a ser nutriente de la biomasa heterótrofa, y se determina por respirometría utilizando como muestra un compuesto estándar fácilmente asimilable (acetato sódico)



Respirograma OC



$$Y_H \text{ (mg O}_2\text{/DQO)} = 1 - OC / DQOac$$

OC: Oxígeno consumido (mg/l)

DQOac: DQO de la muestra de acetato sódico

Tasa de respiración por nitrificación: R_n (mg O₂/l.h)

Con este parámetro se confirma la actividad nitrificante y se obtiene la base de cálculo de la tasa de nitrificación.

Tasa de nitrificación: AUR (mg N/l.h)

El parámetro AUR representa la velocidad de eliminación del nitrógeno amoniacal en las condiciones actuales del proceso.

DQO biodegradable: DQOb (mg/l)

La DQOb representa la fracción de la DQO afluente que es biodegradable.

Con el respirómetro BM, la DQOb se determina de forma automática a partir de la integración de las tasas de respiración R_s (mg O₂/l.h) obtenidas de un ensayo de respirometría, en donde se añaden muestra de agua residual al fango en respiración endógena, y la participación del coeficiente estequiométrico Y_H .

Respirometría

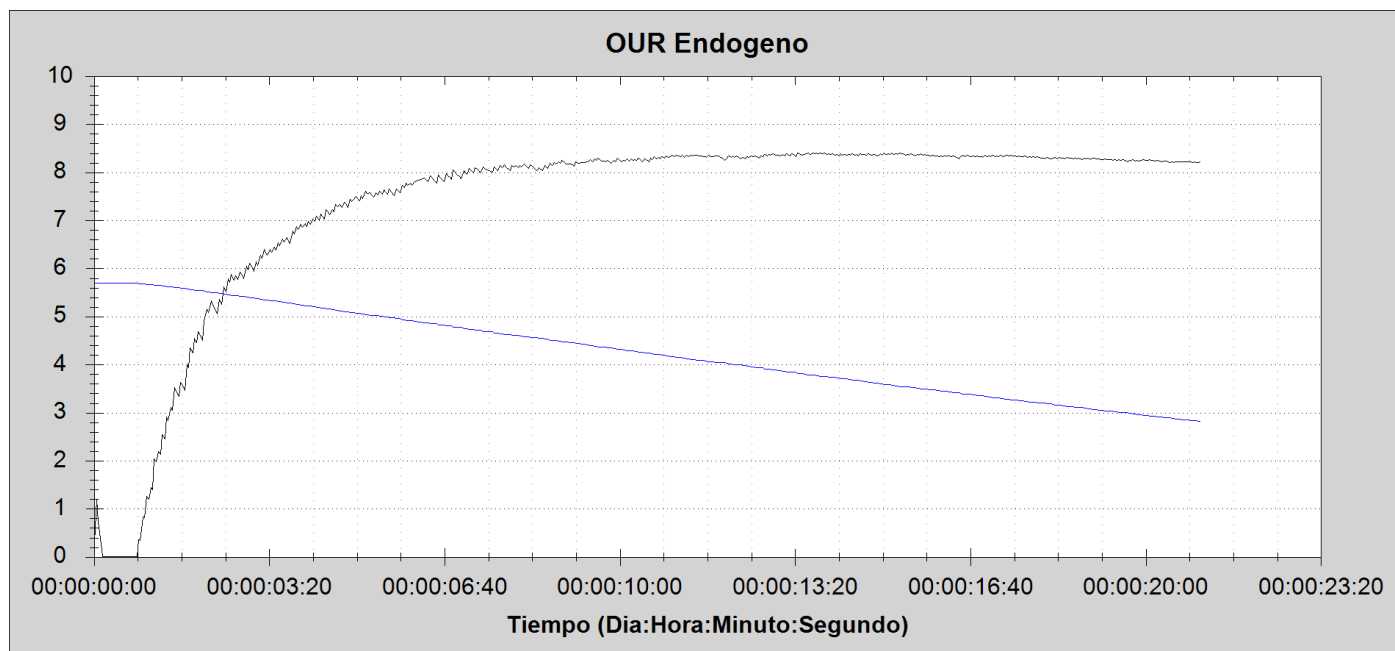
1. Resumen de Resultados

1.1. Resumen de resultados

Descripción	Parámetro	Resultado	Valoración & Comentario
Estado del fango – biomasa heterótrofa			
Tasa de respiración endógena	OUR (mg O ₂ /l.h)	8,41	Bajo
Coefficiente estequiométrico de crecimiento de la biomasa heterótrofa	Y _H (O ₂ /DQO)	0,53	Algo bajo Rango habitual: 0,5 – 0,8
Fracciones de la DQO – Biodegradabilidad			
DQO	DQO (mg/l)	5.800	Analizada por Surcis
DQO biodegradable DQO biodegradable en DQO	DQOb (mg/l) Pb (%)	5.759 99	Alta biodegradabilidad
DQO inerte	DQOi (mg/l) Pi (%)	41 1	Muy bajo
DQO rápidamente biodegradable DQO rápidamente biodegradable en DQO	DQOrb (mg/l) Prb (%)	4.650 80	Elevada
DQO lentamente biodegradable DQO lentamente biodegradable en DQO	DQOlB (mg/l) Plb (%)	1.109 19	Bajo
Relación de Nutrientes actual			
C/N/P actual	DQOb eliminada/NTK/P	100/1,1/ 0,027	Deficiencia de nutrientes
Nutrientes mínimos			
N mínimo recomendado	N (mg N/l)	507	En base a C/N = 100/10
Carga N	Carga N (kg N/d)	156	-
P mínimo recomendado	P (mg P/l)	76	En base a 100/1,5
Carga P	Carga P (kg P/d)	25	-
Nitrificación			
Tasa de nitrificación	AUR (mg N/l.h)	2,81	Muy baja
Tasa de nitrificación específica	SAUR (gN/gSSV.d)	0,029	Muy baja

2. Actividad del fango

2.1. OUR endógeno



Resultados

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

- OD (ppm)
- T. (°C)
- pH
- OUR (mg/l.h)**
- SOUR (mg/g.h)

Primer valor : 0

Máximo : 8,41

OUR_{end} = 8,41 mg O₂/l.h

Análisis del resultado

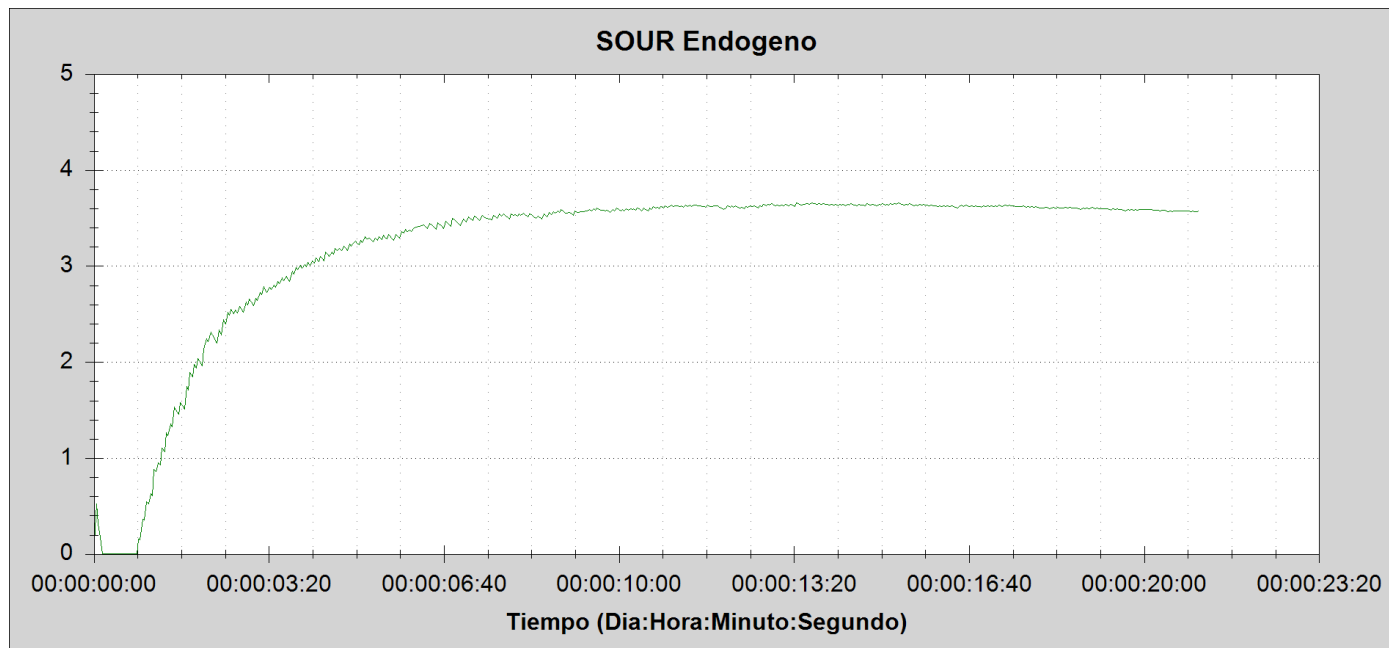
Según tabla de referencia, el valor de 8,41 representa una actividad de respiración endógena normal para la concentración actual de biomasa.

Tabla de referencia

SSVLM (mg/l)	OUR _{end} (mg/l.h)
1000	2 – 3.5
1500	3 - 5
2000	4 - 7
2500	5 – 8.5
3000	6 - 10
3500	7 - 12
4000	8 – 13.5
4500	9 – 15.5

Fracción MLVSS por día, oxidada durante la respiración endógena: K_d

Este parámetro se obtiene a partir de la tasa de respiración específica endógena: SOUR end



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

- OD (ppm)
- T. (°C)
- pH
- OUR (mg/l.h)
- SOUR (mg/g.h)**

Primer valor : 0

Último valor : 3,57

Mínimo : 0

Máximo : 3,66

$$\text{SOUR end} = 3,66 \text{ (mg O}_2\text{/g SSV.h)} * 24 / 1000 = 0,087 \text{ (Kg O}_2\text{/ Kg.d)}$$

$$K_d = \text{SOUR}_{\text{end}} / f_{vc} = 0,087 / 1,42 = 0,061 \text{ (d}^{-1}\text{)}$$

Fuente: "Tratamiento de Aguas Residuales" R.S. Romalho 1991

Valoración de K_d desde la F/M

F/M	0,03	0,05	0,08	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,50
K_d	0,024	0,041	0,061	0,067	0,080	0,092	0,1	0,109	0,123

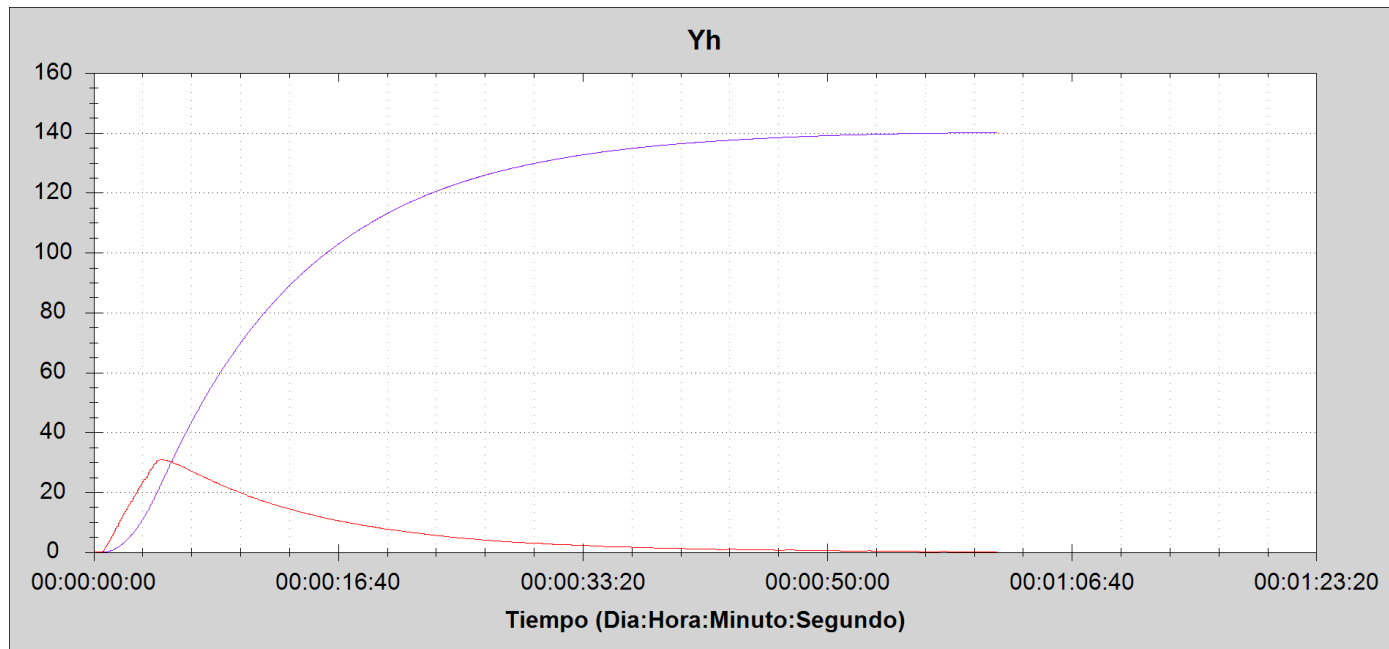
Fuente: Curso de Tratamiento Biológico Aguas Residuales (CSIC) – Dr. Fco. Colmenarejo Morcillo

Coeficiente estequiométrico de la biomasa heterótrofa: Y_H

La determinación de Y_H nos permite conocer la capacidad de reproducción del fango que está directamente vinculada con su salud biológica.

Por otro lado, para el tipo de respirometría utilizada en este estudio, se utiliza para el cálculo de la DQO biodegradable.

Este ensayo se lleva a cabo por medio de una solución con estándar orgánico (acetato sódico) con una DQOac de 300 mg/L a nivel óptimo de oxígeno.



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 : 0

Último valor : 143,35

Mínimo : 0

Máximo : 143,35

$$Y_H (\text{mg DQO}_{\text{bact.}}/\text{mg DQO}) = 1 - OC / DQO_{ac}$$

$$Y_{H.O_2} = 1 - 141 / 300 = \mathbf{0,53} \text{ O}_2/\text{DQO} - \text{Rango normal entre 0,6 y 0,8} -$$

$$Y_{H.SSV} = Y_{H.O_2} / 1,42 = 0,53 / 1,42 = \mathbf{0,37} \text{ SSV}/\text{DQO}$$

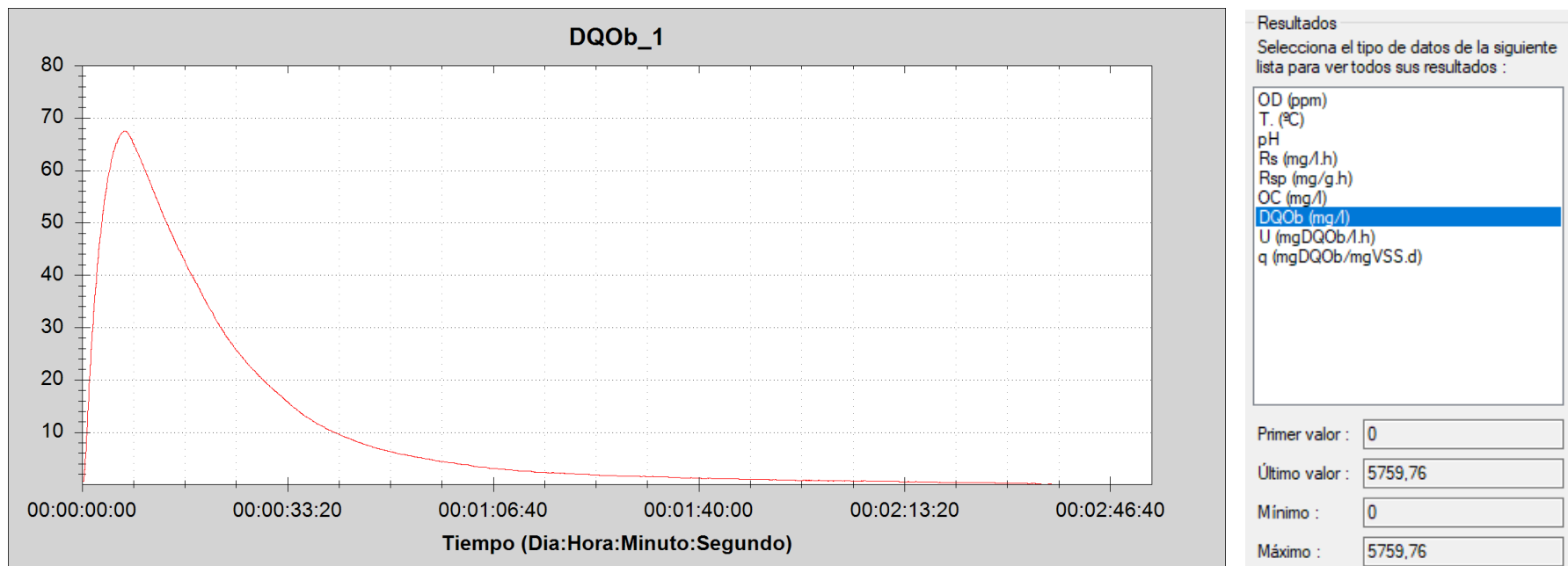
Análisis del resultado

El valor de la $Y_{H.O_2}$ y de la Y_{obs} están por debajo del rango normal. Ello significa una producción relativamente baja de biomasa.

2. Fracciones DQO - Biodegradabilidad

2.1. DQO biodegradable: DQOb

La DQOb se obtiene de forma automática por medio de un ensayo R en donde se utiliza fango en fase de respiración endógena al que se le añade una dosis controlada de agua residual. Por integración de la serie de tasas de respiración dinámicas R_s , el software calcula el oxígeno consumido para la eliminación del sustrato añadido y, con ello, se aplica la formula correspondiente para la determinación de la DQOb.



DQOb = 5759 mg/l

Porcentaje de DQOb en DQO: **Pb** = $100 * 5759 / 5800 = 99 \%$

Análisis del resultado

El valor del Pb de 99% nos indica que se trata de una muestra muy degradable. Prácticamente toda la DQO se podría considerar como biodegradable.

2.2. DQO inerte: DQOi

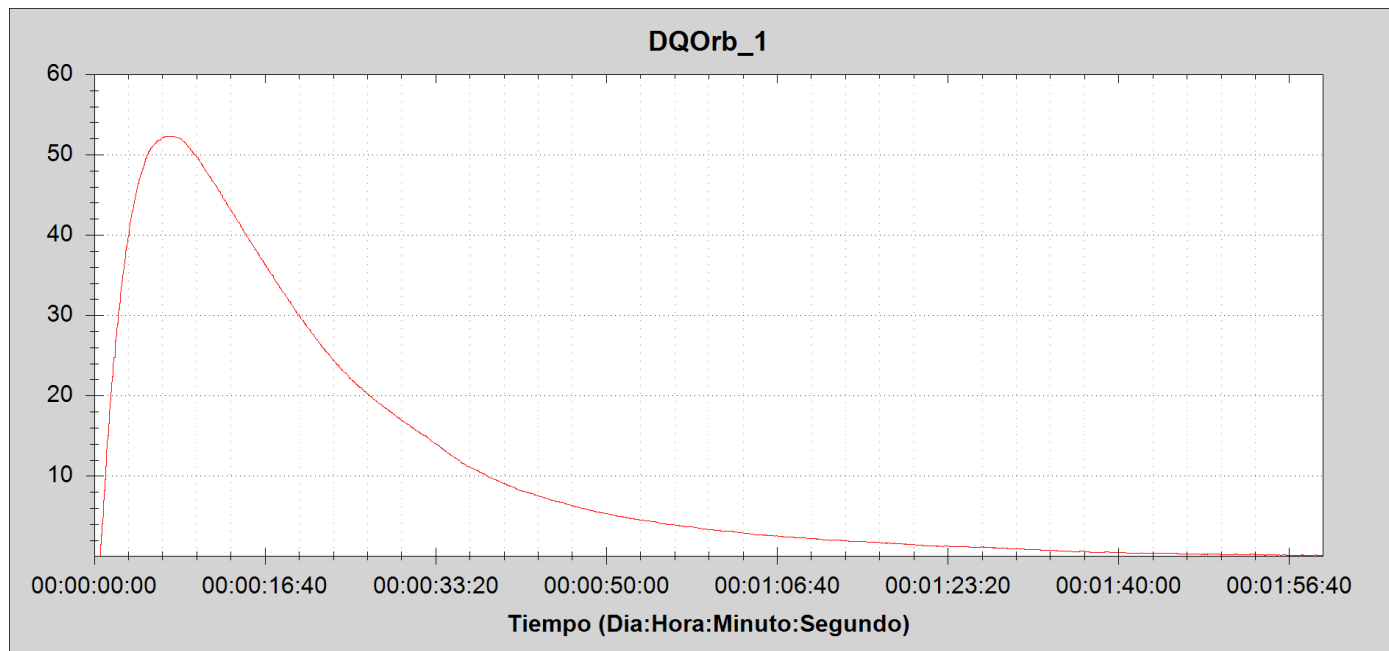
$$\text{DQOi} = \text{DQO} - \text{DQOb} = 5800 - 5759 = \mathbf{41 \text{ mg/l}}$$

Porcentaje de DQOi en DQO: $\text{Pi} = 100 * 41 / 5800 \approx \mathbf{1 \%}$

Análisis del resultado

El valor del Pi de 0,7% nos indica que prácticamente no existe DQO inerte (refractaria).

2.3. DQO 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)
- DQOb (mg/l)**
- U (mgDQOb/l.h)
- q (mgDQOb/mgVSS.d)

Primer valor : 0

Último valor : 4650,56

Mínimo : 0

Máximo : 4650,56

$$\text{DQOrb} = \mathbf{4650 \text{ mg/l}}$$

Porcentaje de DQOrb en DQO: $\text{Prb} = 100 * 4650 / 5800 = \mathbf{80 \%}$

Análisis del resultado

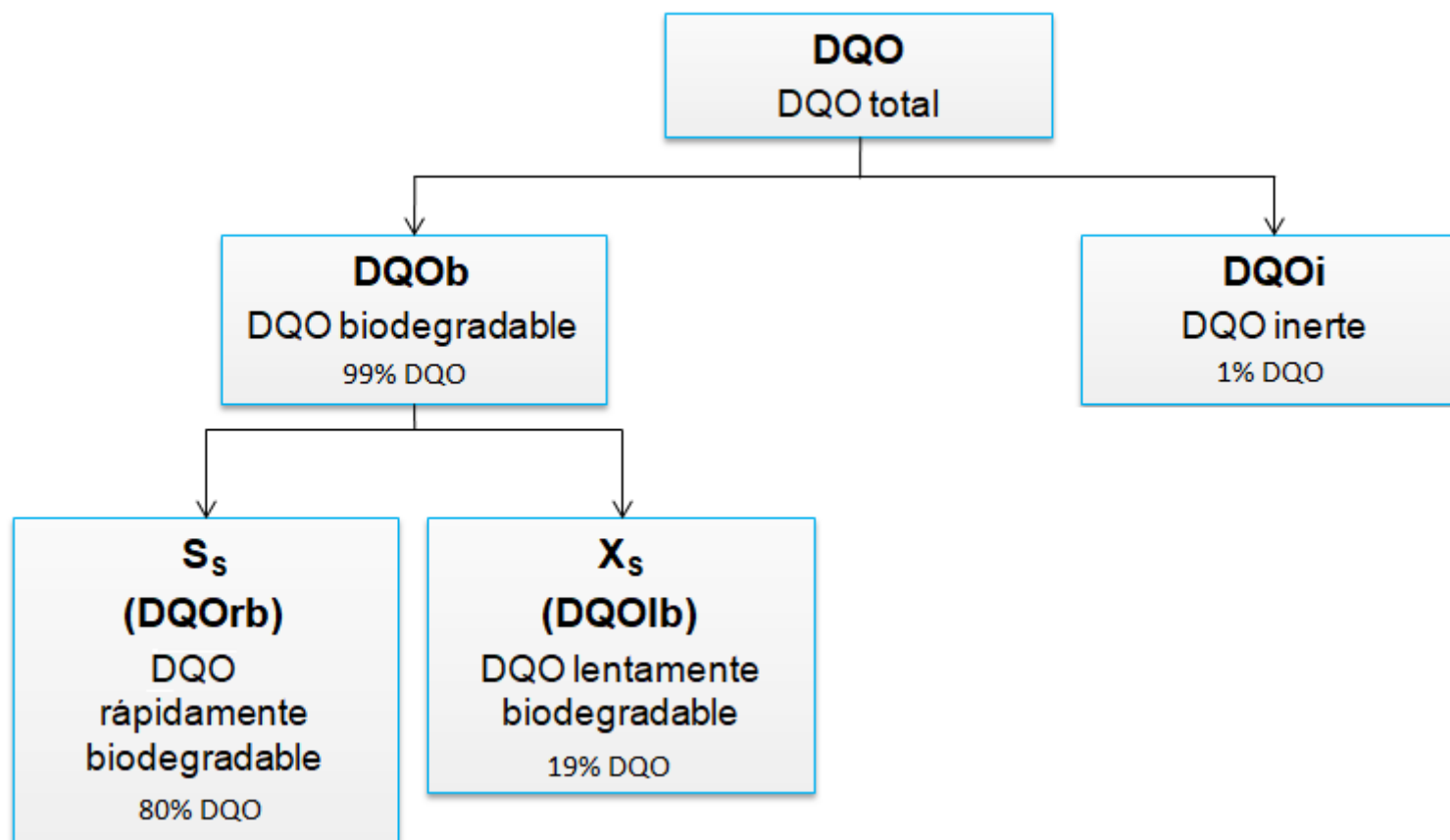
El valor del Prb de 80% es un porcentaje muy elevado de DQOrb. Ello nos indica que una gran parte de la DQO es rápidamente biodegradable.

2.4. DQO lentamente biodegradable: DQOIb

$$\text{DQOIb} = \text{DQOb} - \text{DQOrb} = 5759 - 4650 = \mathbf{1109 \text{ mg/l}}$$

$$\text{Porcentaje de DQOIb en DQO: } \mathbf{PIb} = 100 * 1109 / 5800 = \mathbf{19 \%}$$

2.5. Esquema de las fracciones de la DQO



3. Relación de nutrientes

3.1. Relación de nutrientes actual en la entrada al proceso de depuración

Relación de nutrientes: C / N / P

C: DQOb eliminada = DQOb entrada – (DQO efluente – DQO inerte) = 5759 – (727 – 41) = **5073** mg/l

N: NTK eliminado = **56** mg N/l

P: P eliminado = **1,4** mg P/l

Relación actual de nutrientes = 5073 / 56 / 1,4 = **100 / 1,1 / 0,027**

3.2. Valores mínimos de concentración N, P que el proceso debería tener

Según bibliografía, para asegurar el crecimiento de la biomasa heterótrofa y autótrofa, la relación C/N debe situarse entre 5 y 10 como valor de seguridad. Con esta condición, en base a un valor de 100 para C, la relación C/N deberá estar en $100/20 = 5$ y $100/10 = 10$

Puesto que a medida que crece el valor de la relación C/N baja el crecimiento de la biomasa nitrificante, asumimos el valor de 100/10 como valor límite de seguridad.

Fuentes: Kay Curtin – Water Environment Federation, 2011 – Carrera et al, 2004

Con ello, la relación C/N/P límite recomendada pasaría a ser la siguiente:

C/N/P = 100/10/1,5

C: DQO biodegradable eliminada (mg/l)

N: NTK eliminada (mg N/l)

$C/N = 100 / 10 = 5073 / N \rightarrow N = 10 * 5073 / 100 = 507 \text{ mg N/l} \rightarrow \mathbf{N = 507 \text{ mg N/l}}$

$C/P = 100 / 1,5 = 5073 / P \rightarrow P = 1,5 * 5073 / 100 = 76 \text{ mg P/l} \rightarrow \mathbf{P = 76 \text{ mg N/l}}$

3.2.1. Cálculo de las cargas N y P mínimas recomendadas

Carga N

$$N_{\text{neto}} = N - N_{\text{entrada}} = 507 - 56 = 451 \text{ mg N/l} \approx 0.45 \text{ kg / m}^3 \rightarrow \mathbf{N_{\text{neto}} = 0.45 \text{ kg N / m}^3}$$

$$\text{Carga N} = Q * N_{\text{neto}} = 346 \text{ m}^3/\text{d} * 0.45 \text{ kg/m}^3 = 156 \text{ kg N / d} \rightarrow \mathbf{\text{Carga N} = 156 \text{ kg N / d}}$$

En caso de utilizar urea, a efectos de cálculo se debe tener en cuenta lo siguiente: **1 g de Urea corresponde 0,47 g de N**

Carga P

$$P_{\text{neto}} = P - P_{\text{entrada}} = 76 - 1,4 \approx 74,6 \text{ mg N/l} \approx 0.074 \text{ kg / m}^3 \rightarrow \mathbf{P_{\text{neto}} \approx 0.074 \text{ kg P / m}^3}$$

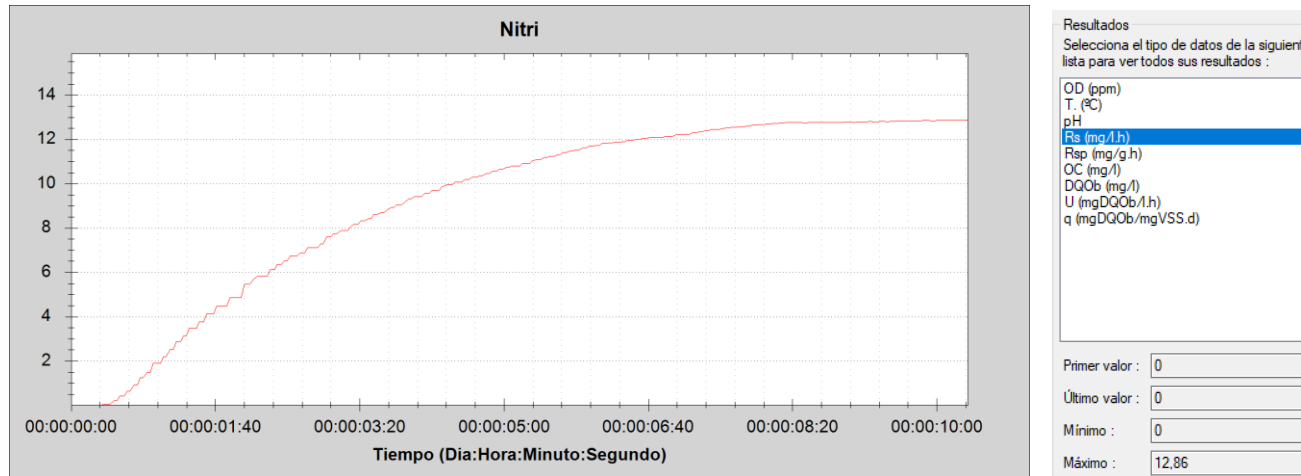
$$\text{Carga P} = Q * P_{\text{neto}} = 346 \text{ m}^3/\text{d} * 0.074 \text{ kg/m}^3 \approx \mathbf{25 \text{ kg P / d} \rightarrow \text{Carga P} \approx 25 \text{ kg P / d}}$$

En caso de utilizar orto-fosfato (recomendado), a efectos de cálculo se debe tener en cuenta lo siguiente: **1 g de orto P corresponde a 0,33 g de P**

4. Nitrificación

4.1. Tasa de nitrificación

La tasa de nitrificación se obtiene a partir del resultado de la la tasa de respiración por nitrificación obtenida con un ensayo de respirometría en donde se utiliza fango en fase de respiración endógena al que se le añade una dosis equivalente de cloruro de amonio.



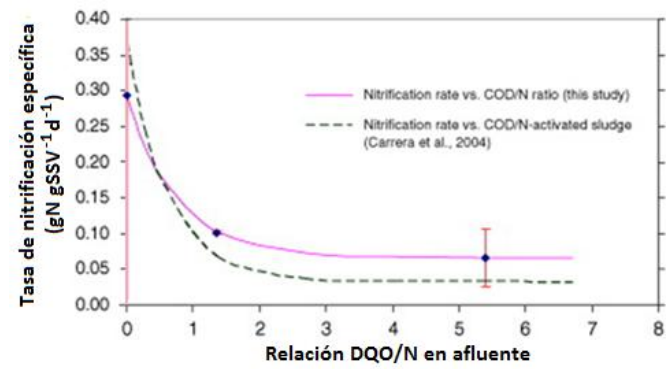
$$R_{SN} = 12,86 \text{ mg/l.h}$$

$$\text{Tasa de Nitrificación: } \mathbf{AUR} = R_{SN} / 4,57 = 12,86 / 4,57 = \mathbf{2,81} \text{ mg N/l.h}$$

$$\text{Tasa específica de Nitrificación: } \mathbf{SAUR} = 24 * AUR / SSVLM = 24 * 2,81 / 2300 = \mathbf{0,03} \text{ g N / g SSV.d}$$

Análisis del resultado

Al comparar el valor del SAUR obtenido con la gráfica de referencia podemos deducir que la baja actividad nitrificante es debida a la alta relación DQO/N que da paso a una baja concentración de biomasa nitrificante activa.



Anexos

Indicadores de una deficiencia de nutrientes

1. Concentración de nitrógeno inorgánico total y orto-fosfato en el efluente por debajo de 1 mg/l.
2. Bulking
3. IVF menor de 150 ml/g
4. Presencia de bacterias filamentosas.
En este caso, como filamentosas representativas podemos citar la proliferación del tipo Thiothrix I y II, tipo 021N y N. Limicola.
Pueden coexistir S. Natans, H. Hydrosis y Tipos 0041 y 0675.
5. Fango viscoso y/o con espumas: con contenido de polímero extracelular.
6. Baja actividad nitrificante

Fuentes externas de nutrientes

Fuente de nitrógeno

- Normalmente se usa la UREA.
Se recomienda dosificarla en cabecera de planta con el fin de permitir un tiempo suficientemente largo como para que la enzima Ureasa (presente en el licor-mezcla) la pueda hidrolizar y dar paso a la formación de aminas que subsecuentemente serán utilizadas por las bacterias.

1 g de Urea corresponde 0,47 g de N

Fuentes de fósforo

Los más utilizados son los siguientes:

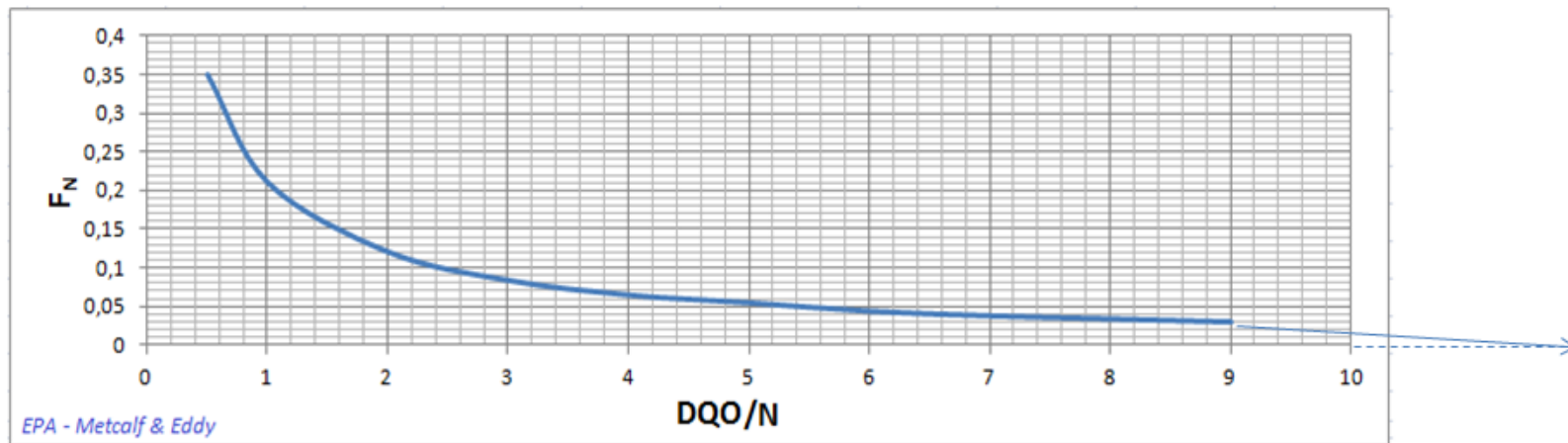
- Una mezcla 50/50 % de $\text{PO}_4\text{K}_2\text{H}/\text{PO}_4\text{KH}_2$
- PO_4H_3 (con control de pH)

1 g de orto P corresponde a 0,33 g de P

Condiciones para la nitrificación

Parámetro	Valor	Comentario														
pH	7,5 a 8,5	En algunos casos puede haber nitrificación con pH 9														
T (°C)	12 a 35	A temperaturas bajas, depende del resto de condiciones														
OD (ppm)	2 a >3	A OD bajo, depende del resto de condiciones														
F/M (DBO)	0,2 a <0,05	La F/M debe correlacionarse con el TRC														
TRC (d)	5 - 35	<table><tr><th>T (°C)</th><th>TRC (d)</th></tr><tr><td>35</td><td>5</td></tr><tr><td>30</td><td>7</td></tr><tr><td>25</td><td>10</td></tr><tr><td>20</td><td>15</td></tr><tr><td>15</td><td>20 - 25</td></tr><tr><td>10 - 15</td><td>30 - 35</td></tr></table> El TRC se debe tomar en combinación con la F/M y resto de condiciones.	T (°C)	TRC (d)	35	5	30	7	25	10	20	15	15	20 - 25	10 - 15	30 - 35
T (°C)	TRC (d)															
35	5															
30	7															
25	10															
20	15															
15	20 - 25															
10 - 15	30 - 35															
C/N	<4	Normalmente se suele tomar DBO5 como C, pero es más apropiado tomar la DQO biodegradable eliminada. Como N se debe tomar el NTK. Este ratio se establece con el fin de que la prioridad hacia el consumo de oxígeno no se decante exclusivamente hacia la eliminación de la materia orgánica fácilmente asimilable.														
TRH	> T(DQOrb)	El TRH debe ser suficiente para que, una vez eliminado el 80% de la DQOrb, se disponga de tiempo suficiente para el desarrollo de la nitrificación completa.														
Toxicidad	Exenta de toxicidad	Toxicidad específica a la nitrificación														

Biomasa nitrificante activa: X_N



$$X_N = F_N * \text{SSVLM}$$

Surcis, S.L.