

Respirometría para biomasa granular y biofilms

SURCIS

La tecnología de biomasa granular y lechos bacterianos móviles (MBBR) se está implantando como una de las opciones más idóneas para procesos de depuración biológica en donde la carga a tratar y las reducidas dimensiones del reactor pasan a ser condiciones decisivas.

En todo ello, podríamos diferenciar dos etapas fundamentales:

1. El seguimiento del crecimiento inicial de la biomasa adherida y la biomasa en suspensión, durante el periodo de puesta en marcha y posterior.
2. El análisis periódico de la biomasa, ya en funcionamiento, para la confirmación de que su actividad sigue en buenas condiciones.

SURCIS, por medio de sus respirómetros BM y haciendo uso del reactor BC especialmente diseñado para para estos tipos de biomasa, ha desarrollado unos sencillos procedimientos para ambas etapas que permite valorar si el crecimiento y actividad se están moviendo en el rango adecuado para el proceso.



Carga de soportes en reactor del respirómetro

Carga de soportes y licor-mixto en vaso del reactor

Instalación del reactor en analizador y ejecución de ensayo

Aplicaciones representativas

Los procedimientos se deben distribuir de forma diferenciada para la biomasa heterótrofa responsable de la remoción de la DQO biodegradable y para la biomasa autótrofa que se encarga de la remoción del nitrógeno amoniacal en el proceso de la nitrificación.

De este modo, se puede dar cobertura a las distintas combinaciones de procesos existentes.

Dependiendo del tipo de proceso, el seguimiento se pueden realizar con distintos ensayos de respirometría:

- . Ensayos para la biomasa heterótrofa de los soportes (en gránulos o biofilms) y fango en suspensión conjuntamente
- . Ensayos para la biomasa heterótrofa de los soportes en agua destilada
- . Ensayos de la biomasa heterótrofa en suspensión (sin soportes)
- . Ensayos para la biomasa autótrofa de los soportes y fango en suspensión conjuntamente
- . Ensayos de la biomasa autótrofa de los soportes en agua destilada
- . Ensayos de la biomasa autótrofa en suspensión (sin soportes)

Lógicamente si el proceso con biomasa granular o biofilms está solamente dedicado a la remoción de la DQO, se omitirían los ensayos relacionados con la nitrificación (los relacionados con la biomasa autótrofa)

1. Seguimiento de la generación inicial de la biomasa

Los soportes de la biomasa granular o biofilm en contacto con el agua residual van progresivamente generando la biomasa en suspensión la cual se adhiere a las paredes de los soportes (*carriers*) y su concentración va creciendo hasta llegar a su punto óptimo. Esta evolución de la concentración de biomasa en suspensión (no-adherida) y la adherida a soportes se puede monitorizar de forma independiente por medio de la respirometría BM por medio de sencillos ensayos periódicos.

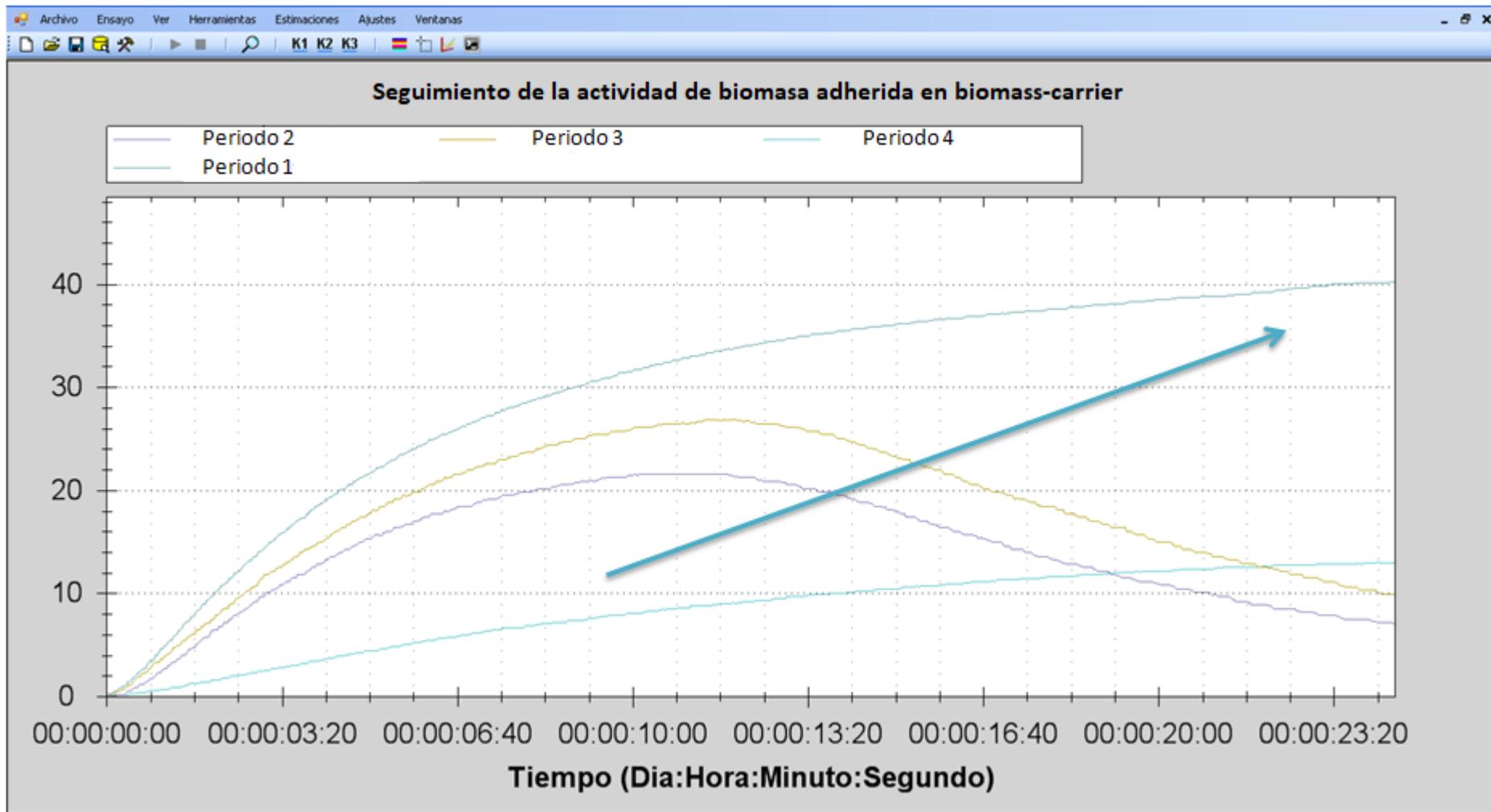
Es conocido que la tasa de respiración endógena y su tasa de respiración máxima a un mismo sustrato estándar.

Aquí hemos optado por la tasa de respiración máxima a partir de un sustrato soluble estándar de referencia. Para la biomasa heterótrofa (responsable de la remoción de la DQO) este sustrato de referencia sería el acetato sódico (o cualquier otro compuesto soluble fácilmente biodegradable) y para la biomasa autótrofa (responsable de la remoción del amonio: nitrificación) sería el cloruro de amonio.

En cualquier caso, la metodología para cualquiera de los tipos de biomasa es la misma, con la diferencia de que una utiliza el acetato y la otra el cloruro de amonio.

El procedimiento consiste simplemente en llevar a cabo una ensayo dinámico (Tipo R, en condiciones equivalentes de Temperatura y pH) en el que una vez alcanzada la línea base se le añade una misma cantidad de sustrato estándar hasta alcanzar la tasa de respiración máxima. Este ensayo se realizará regularmente a lo largo del tiempo hasta observar que la tasa de respiración máxima se repite, por lo que se asume que la concentración de biomasa ha llegado a su máxima capacidad.

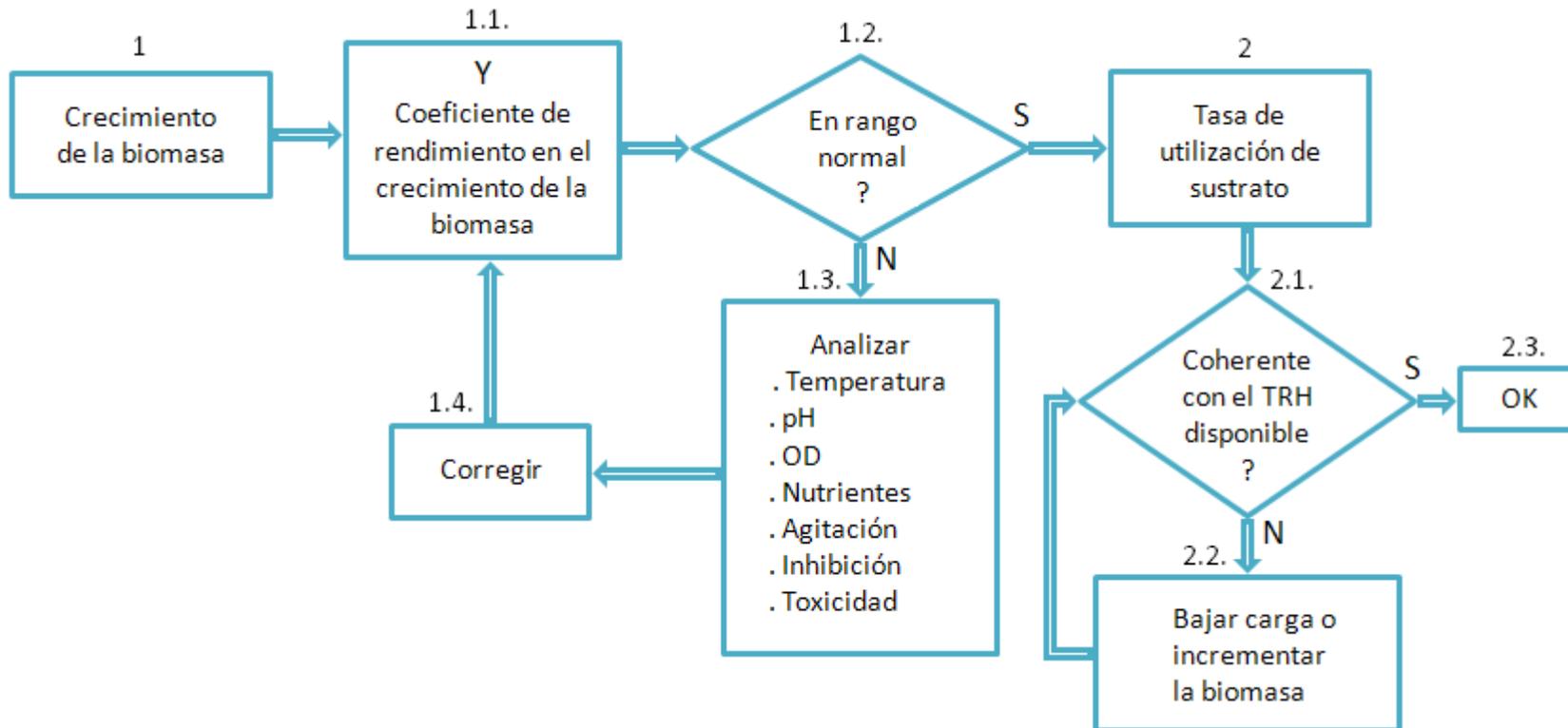
Desde este momento se asume que la biomasa ya esta en condiciones y lo que se necesita ahora es una calibración y seguimiento del proceso.



Respirogramas superpuestos correspondientes al crecimiento de la concentración de biomasa en MBBR

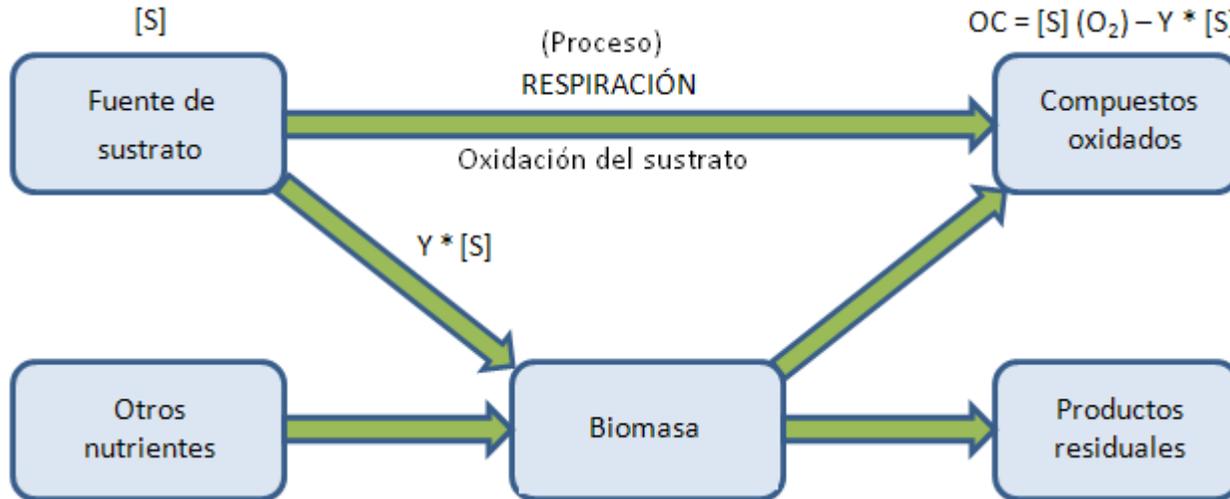
2. Seguimiento de de la actividad de la biomasa ya desarrollada

Para cualquiera de los tipos de biomasa ya desarrollada en los portadores, el protocolo de la aplicación se basará en el desarrollo de una misma secuencia de etapas:



2.1. Coeficiente del rendimiento del oxígeno en el crecimiento de la biomasa (Y)

El coeficiente Y se refiere a la cantidad de oxígeno que se dirige al crecimiento de biomasa como parte de la demanda total [S]



OC (mg/l): Oxígeno consumido

El valor de OC lo calcula el respirómetro BM de forma automática, y el valor de Y se calcularía de forma manual (o planilla Excel) por medio de una sencilla fórmula obtenida al despejar el coeficiente desde la expresión de balance de masas del OC

Un valor anormal (por debajo del rango normal) es indicativo de que la biomasa no está creciendo bien y hay que averiguar las causas (ver diagrama de flujo)

2.2. Tasa de utilización de sustrato

Nos referimos a la velocidad de remoción del sustrato por la biomasa en cuestión: en el caso de biomasa heterótrofa se trataría de la remoción del sustrato orgánico y en la autótrofa sería la remoción del amonio (nitrificación)

En el caso de la biomasa heterótrofa se trataría de la velocidad de remoción de la DQO soluble biodegradable (DQOrb) que el respirómetro BM calcula de forma automática, y en el caso de la autótrofa sería la velocidad de remoción del amonio (tasa de nitrificación)



Al realizar el ensayo de respirometría con los soportes o biomasa granular en el interior del reactor, esta velocidad (r_p) se referiría exclusivamente al número de soportes o concentración de gránulos incluidos en este paquete (P) por litro.

$$r_p = ([S]_0 - [S]_x) / T_p$$

T_p (h): Tiempo utilizado para la remoción del sustrato (hasta $[S]_x$)

NOTA:

La tasa de utilización de DQO biodegradable recibe el nombre de U

La tasa de utilización de amonio (tasa de nitrificación) recibe el nombre de AUR

3. Cálculo de la cantidad de gránulos o portadores de biomasa

Puede haber distintas combinaciones; pero típicamente podemos encontrarnos con los siguientes casos:

- . Cálculo de la cantidad de portadores o gránulos en un proceso nuevo.
- . Cálculo de cantidad de un incremento de portadores o gránulos en un proceso ya existente
- . Cálculo de la cantidad de portadores o gránulos en un proceso de fangos activos ya existente

Se asume que partimos de portadores con biomasa adherida con un desarrollo en condiciones.

En cualquiera de los casos, el paso inicial común sería el de conocer la tasa de utilización de sustrato por el paquete de portadores utilizados en el respirómetro.

Para ello llevaríamos a cabo un ensayo de respirometría dinámico (tipo R) con un paquete típico de portadores / litro, y determinaríamos la tasa de utilización de sustrato (r_p)

Conociendo la concentración de sustrato a eliminar y la velocidad de su remoción, calcularemos el tiempo (T_p) que necesita el paquete de portadores del respirómetro en la oxidación del sustrato en el reactor del respirómetro.

$$T_p(h) = ([S]_O - [S]_F) / r_p$$

3.1. Cálculo de la cantidad de portadores con biomasa ya desarrollada para un proceso MBBR nuevo

Conociendo el nº de portadores / litro en el paquete del reactor del respirómetro (N_p), calcularíamos el número de portadores / litro ($N_{p@TRH}$) para el desarrollo del MBBR para el tiempo de residencia hidráulica efectivo (TRH_E) para, a continuación calcular el número total del portadores en el reactor biológico (N)

$$N_{p@TRH} = N_p * T_p / TRH_E$$

$$N = 1.2 * N_{p@TRH} * V_E$$

1.2: Coeficiente de seguridad

V_E (litros): Volumen efectivo en el reactor biológico para el desarrollo del MBBR

3.2. Cálculo de un incremento de portadores para un proceso MBBR ya existente

Este caso puede ocurrir cuando se debe incrementar el número de portadores debido al escaso redimiento en el MBBR (TRH insuficiente). Aquí, para el ensayo de respirometría, lógicamente utilizaremos los portadores ya existentes en el reactor biológico.

Con el r_p actual y el sustrato degradable pendiente de eliminar ($[S]$) calcularemos el tiempo necesario por el paquete de portadores (T_p). Siguiendo la misma pauta desarrollada en el punto anterior, calcularíamos el número total de portadores a añadir.

$$T_p (h) = [S] / r_p$$

$$N_{P@TRH} = N_p * T_p / TRH_E$$

$$N_{PT} = 1.2 * N_{P@TRH} * V_E$$

N_p (P/L): N° portadores / litro en el paquete del respirómetro

$N_{P@TRH}$ (P/l): N° de portadores / litro teórico para un tiempo TRH_E

N_{PT} (P): N° total de portadores a añadir.

3.3. Cálculo de la cantidad de portadores a añadir en un proceso MBBR implementado en un proceso de fangos activos ya existente

Este caso se refiere a un proceso de fangos activos en el que su reactor biológico se ha quedado insuficiente para el sustrato a tratar.

Con la comprobación previa de que los portadores han desarrollado su biomasa normalmente, debemos calcular el tiempo (T_{PF}) asociado a la tasa de utilización de sustrato de forma conjunta (r_{FP}). Asumimos aquí que la tasa de utilización conjunta crece de forma proporcional al número de portadores.

$$T_{PF} (h) = [S] / r_{FP}$$

$$N_{PF@TRH} = N_{PF} * T_{PF} / TRH_E$$

$$N_{PFT} = 1.2 * N_{PF@TRH} * V_E$$

N_{PF} (P/L): N° portadores / litro en fango activo en el paquete del respirómetro

$N_{PF@TRH}$ (P/l): N° de portadores / litro en fango activo para un tiempo TRH_E

N_{PFT} (P): N° total de portadores a añadir.

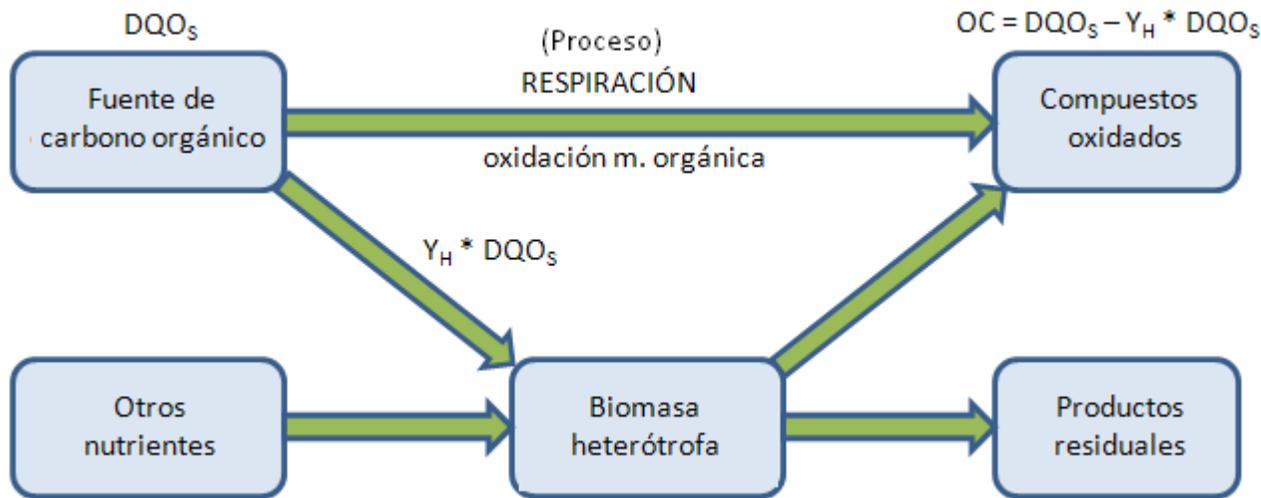
4. Descripción de parámetros para el seguimiento de la biomasa heterótrofa

4.1. Coeficiente de rendimiento en el crecimiento de la biomasa heterótrofa: Y_H

Este tipo de coeficiente se refiere al porcentaje de oxígeno que se dirige al crecimiento de biomasa heterótrofa.

Es preferible realizarlo con un sustrato estándar, pero también se puede realizar con la propia agua residual solubilizada (siempre y cuando su naturaleza no sea cambiante)

El procedimiento consiste en la ejecución de un ensayo R para la medida automática del oxígeno total consumido (OC) durante la remoción del sustrato soluble biodegradable (DQO_S). Una vez calculado el OC y conociendo el valor de la DQO_S se calcula el valor de la Y_H :



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

OC (mg/l): Oxígeno consumido

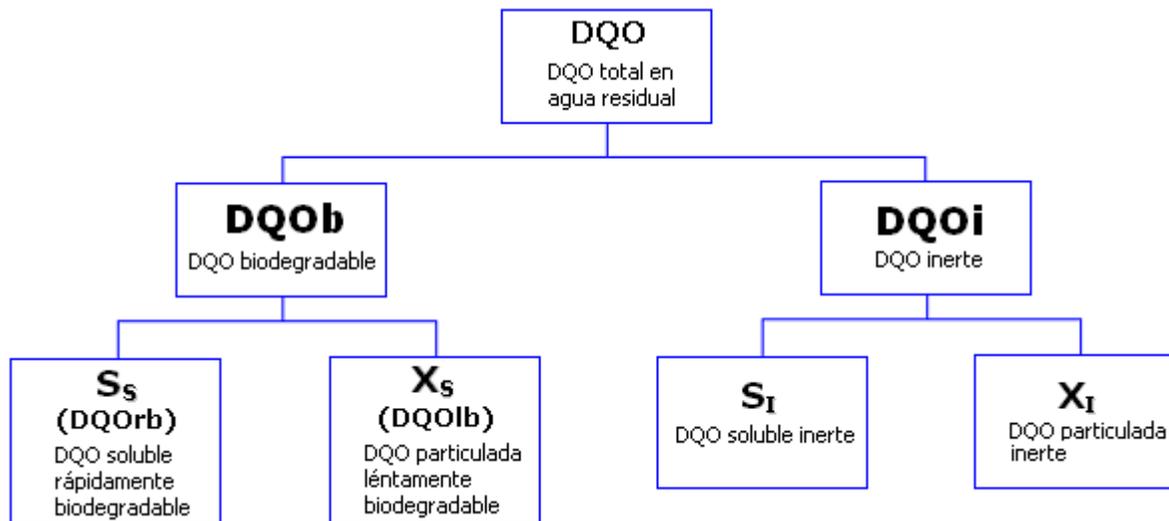
DQO_S (mg/l): DQO soluble biodegradable

5. Determinación del carácter biodegradable del agua residual frente a la biomasa específica de un proceso MBBR o biomasa granular

5.1. Fraccionamiento de la DQO

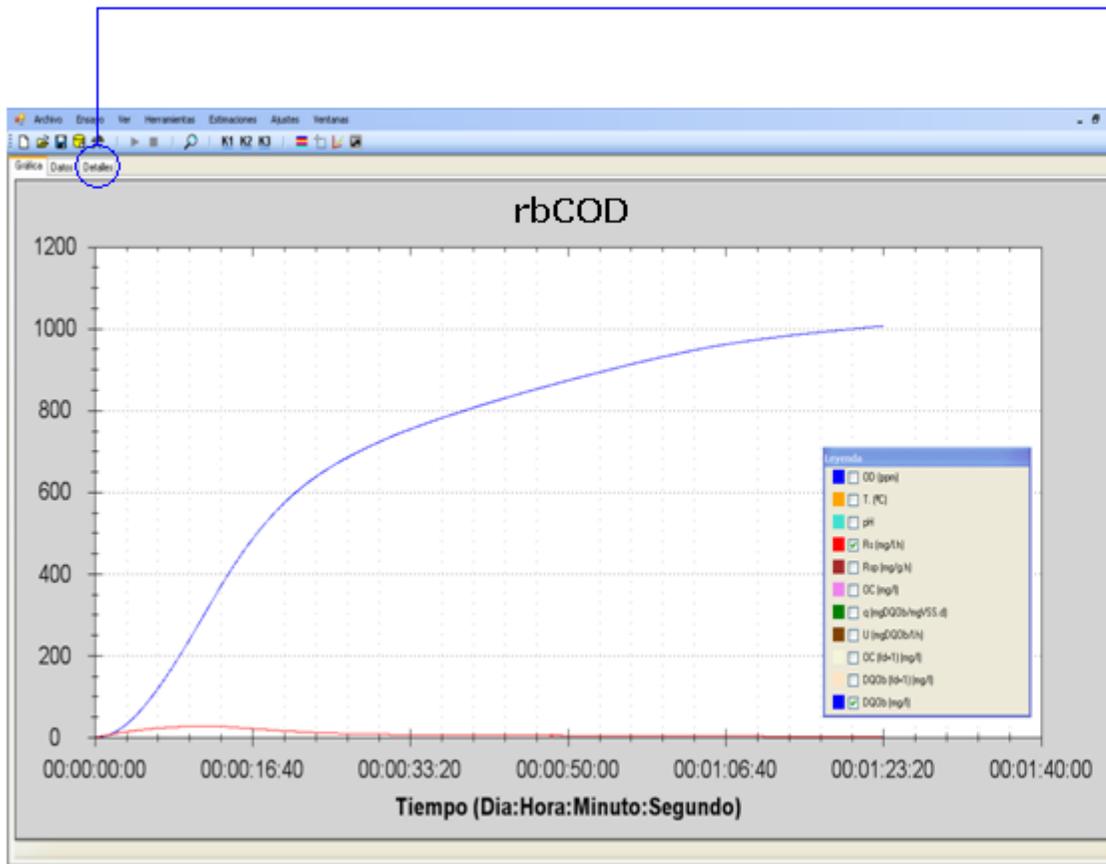
En caso de que el proceso tenga nitrificación, para estos ensayos en modo R, hacemos uso del inhibidor de la nitrificación Allil-Tiourea (ATU - normalmente en la proporción de 2 a 2,5 mg / gSS)

Para este tipo de ensayos, el software lleva a cabo la integración de tasas de respiración dinámicas (R_s) correspondientes a la metabolización de la materia carbonada de forma seriada, calculando en continuo el oxígeno que se va consumiendo (OC).



El respirómetro BM calcula automáticamente la fracción DQOb y DQOrb. Por lo que, conociendo la DQO total, se calculan el resto de las fracciones de la DQO.

5.1.1. Respirograma y detalle de resultados



Determinación automática de la DQOrb

Gráfica Datos **Detalles**

Ensayo: DQOb entrada

Nombre: DQOb entrada

Operario:

Fecha: 08/03/2012

Línea de base: 9,16 ppm

Sólidos: 4,48 g/l

Vf: 1000 ml

Vm: 20 ml

s: 2

Y: 0,43

Estimación: 0 mg/l

Duración(hh:mm:ss): 00:01:23:18

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

Observaciones

Primer valor: 0

Último valor: 1006,37

Mínimo: 0

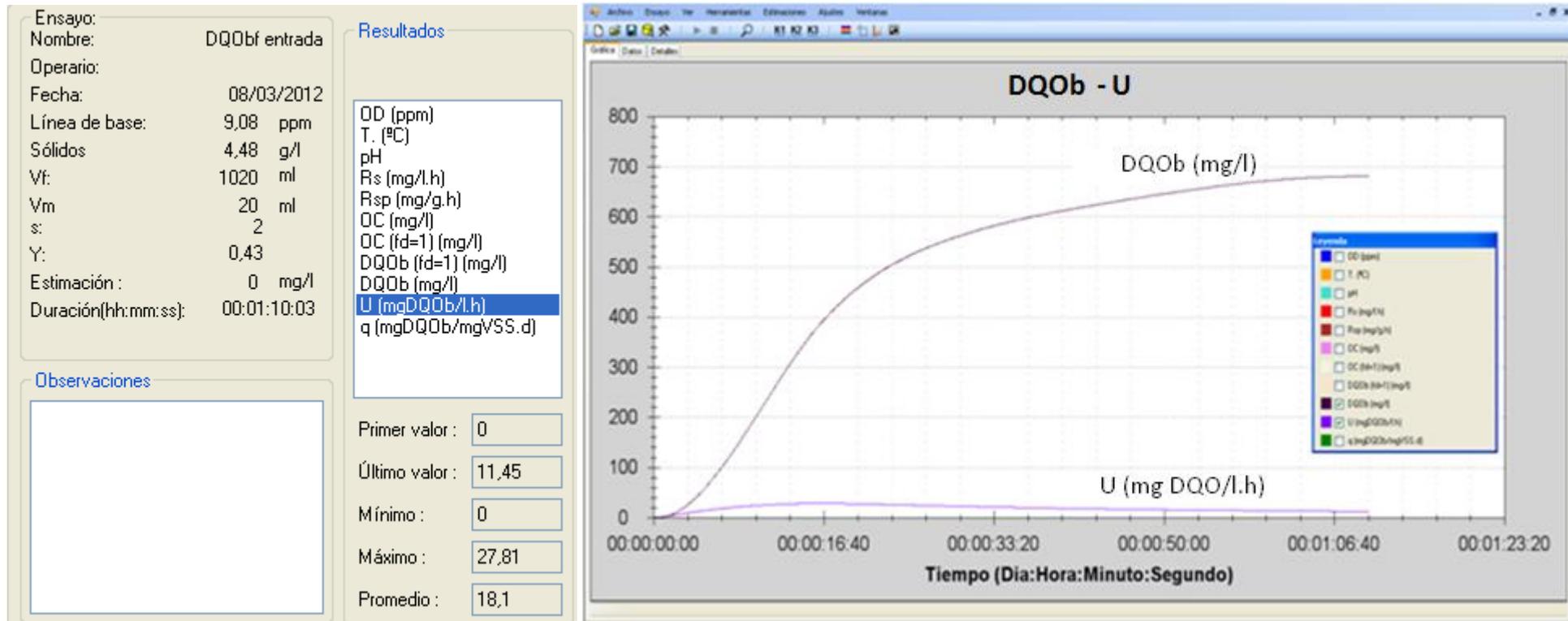
Máximo: 1006,37

Promedio: 713,25

5.2. Tasa de utilización de la DQO (U)

Dependiendo de la composición del agua residual pueden haber distintos compuestos que no se degradan simultáneamente al cien por cien y además lo pueden realizar a distinta velocidad (tasa de utilización)

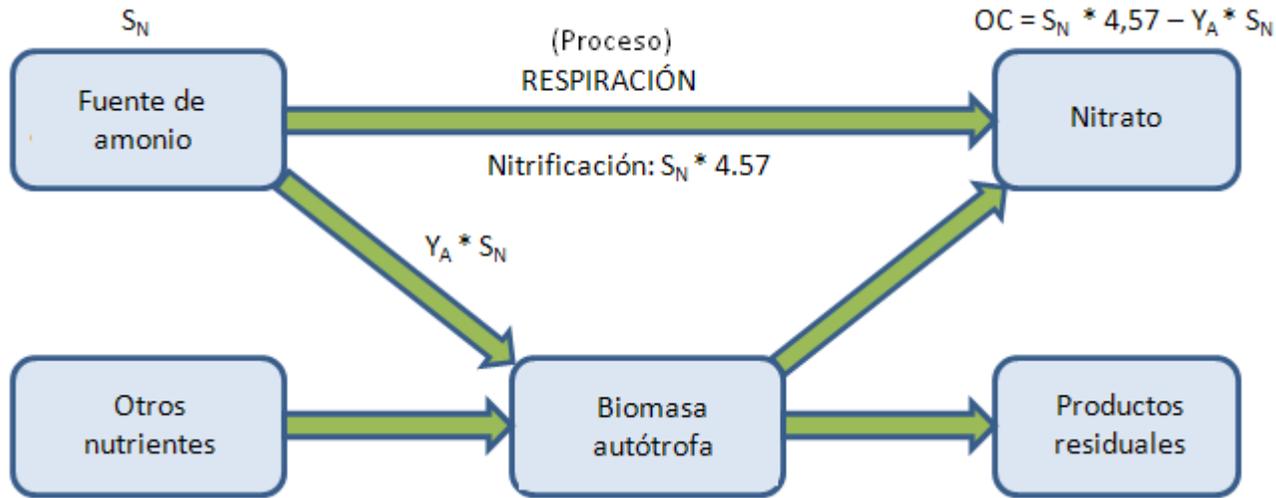
El respirómetro BM calcula de forma automática y simultánea la DQO biodegradable y la U durante el transcurso de la ejecución del ensayo de respirometría.



Se utilizará el valor U que corresponda a la DQO biodegradable eliminada en el proceso. Por ello, si se eliminara toda la DQOb, tomaríamos el último valor de U. Pero si se existe un valor parcial de DQOb en el efluente, se tomaría el valor U que correspondiera al respirograma. En caso que se desconozcan estos datos, a efectos prácticos, podremos tomar el valor promedio de la U.

6. Descripción de parámetros para el seguimiento de la biomasa autótrofa

6.1. Coeficiente de rendimiento en el crecimiento de la biomasa autótrofa: Y_A



S_N (mg N-NH₄)/l: Nitrógeno amoniacal contenido en el cloruro de amonio

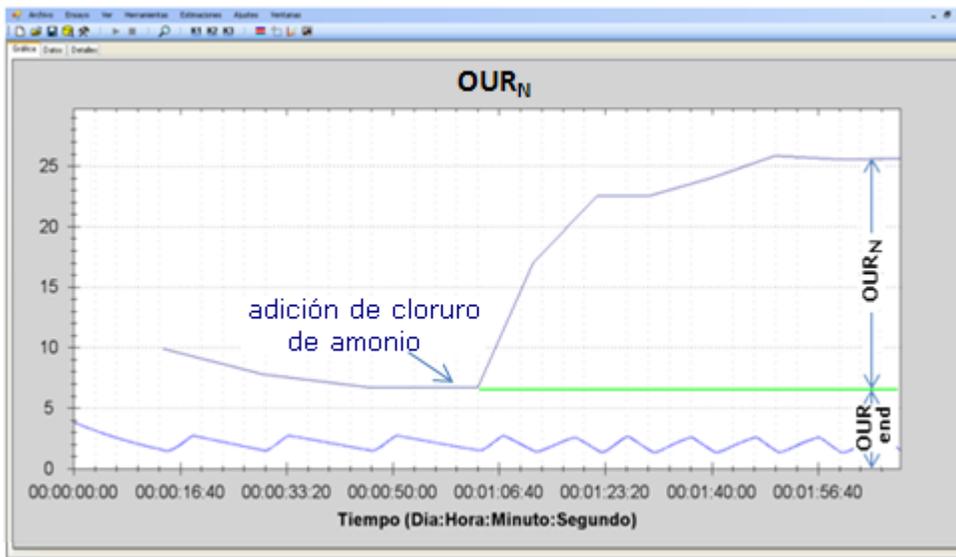
$S_N * 4.57$: mg oxígeno consumida para nitrificar S_N

$$Y_A \text{ (mg O}_2\text{/N-NH}_4\text{)} = 4.57 - OC / S_N$$

6.2. Tasa de remoción de amonio (AUR)

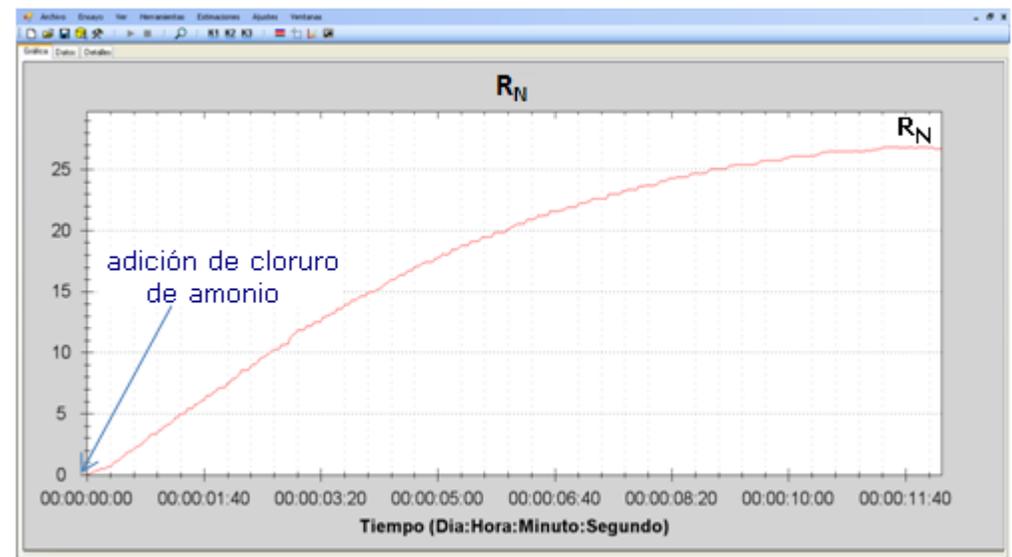
La gran ventaja del nitrógeno amoniacal es que se trata de un compuesto que, para una biomasa específica y bajo las mismas condiciones, responde de forma idéntica (salvo que exista algún elemento inhibidor o tóxico) Por esta razón, podemos tomar como referencia la tasa de utilización de sustrato que corresponde a la tasa de respiración máxima más estable (OUR_N)

Cuando el nivel del oxígeno disuelto medio del proceso de nitrificación se sitúa por debajo de 2 ppm y/o temperatura inferior a 20°C se recomienda que en el respirómetro BM se utilice el modo cíclico; y cuando el oxígeno se sitúa por encima de 2 ppm con temperaturas por encima de 20°C podemos utilizar el modo dinámico (que es más rápido y sencillo)



Respirograma en modo cíclico

$$\text{Modo cíclico: } AUR \text{ (mg N-NH}_4\text{/l.h)} = OUR_N / 4.57$$



Respirograma en modo dinámico

$$\text{Modo dinámico: } AUR \text{ (mg N-NH}_4\text{/l.h)} = R_N / 4.57$$

SURCIS, S.L.

Encarnación, 125 - 08024 Barcelona
surcis@surcis.com / eserrano@surcis.com
Tel. 93 219 45 95 M. 652 803 255