

OPTIMIZACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN DE UNA EDAR POR MEDIO DE LA RESPIROMETRÍA

La optimización de la energía para la aireación del tratamiento biológico representa uno de los capítulos más importantes en la en una EDAR y constituye en muchas ocasiones un punto decisivo en la continuidad de la empresa responsable de la explotación.

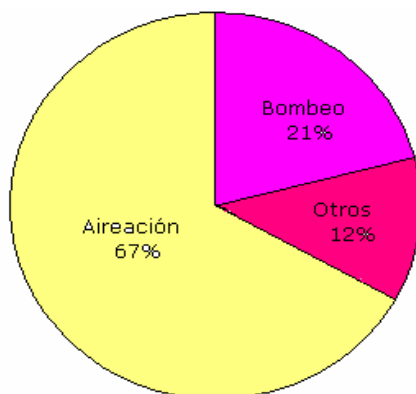


Figura 1. Porcentaje de energía consumida en una EDAR

La optimización de la energía en una depuración biológica por fangos activos, conservando la buena eficiencia del proceso y, por consiguiente, el posible ahorro energético radica en el control de los siguientes puntos:

- Carga.
- Oxígeno disuelto entre puntos de consigna programados.
- Establecer la mínima edad del fango (TRC) permitida.
- Fijar la carga másica (F/M) de trabajo.

La respirometría está demostrando que se puede erigir como el enlace perfecto entre todos estos puntos para conseguir el máximo nivel de optimización energética y obtener un proceso en equilibrio y sin problemas.

1. Carga

A nivel hidráulico, la carga normalmente se puede controlar por medio de tanques de homogeneización o desvíos parciales a otros tratamientos.

Por medio de la Respirometría se puede detectar de inmediato la presencia de un alta o baja carga con la simple medida de la tasa de respiración con el propio licor mezcla de la entrada del proceso (FED OUR)

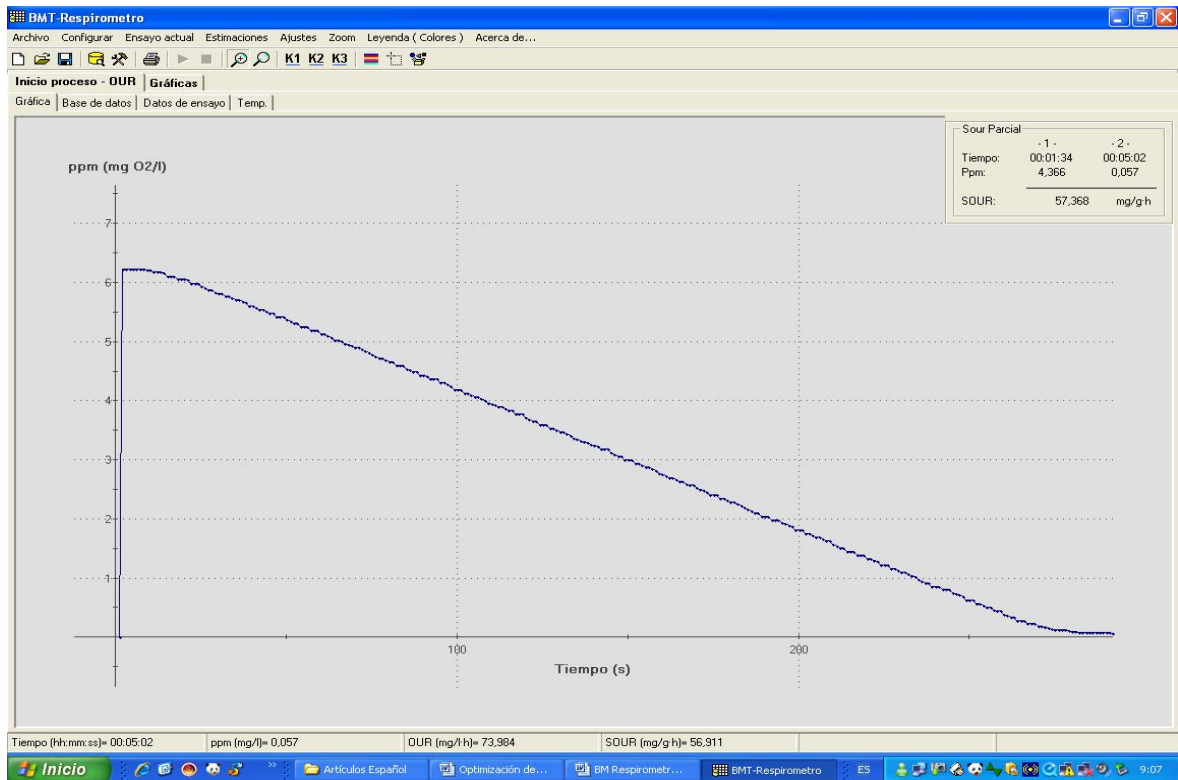


Figura 2. Respirograma FED OUR

La mayor o menor pendiente del respirograma nos determina el valor de la tasa de respiración equivalente a la carga de entrada.

A esta tasa de respiración se le suele llamar FED OUR (mg O₂/L.h) y nos indica la cantidad de oxígeno que se nos está consumiendo por cada hora para una determinada concentración de sólidos en el licor mezcla.

La respirometría, a partir de este dato, puede calcular exactamente el oxígeno que va a necesitar el proceso y desde aquí obtener una base de criterio para la fijación de los puntos de consigna del oxímetro instalado en la planta.

$$\text{OUR medio (Kg O}_2\text{/m}^3\text{.d)} * \text{Va (m}^3\text{)} = \text{Kg O}_2\text{/d}$$

Va (m³): Volumen del reactor biológico

En el caso de que se confeccionara un licor mezcla equivalente con agua desde un punto de muestreo situado mucho antes de la entrada al tratamiento biológico, podríamos detectar el nivel de carga con suficiente tiempo de antelación como para, en cualquier caso, establecer unas bases de criterio coherentes para la regulación del sistema de aireación acordes a la carga que se avecina.

El BM-T de Surcis opcionalmente admite la adaptación de un módulo de bombeo para la medida online de la tasa de respiración desde puntos de muestreo situados antes del inicio del tratamiento con el fin de no solo medir las variaciones de carga sino además de detectar una posible toxicidad referida al fango activo de la planta.

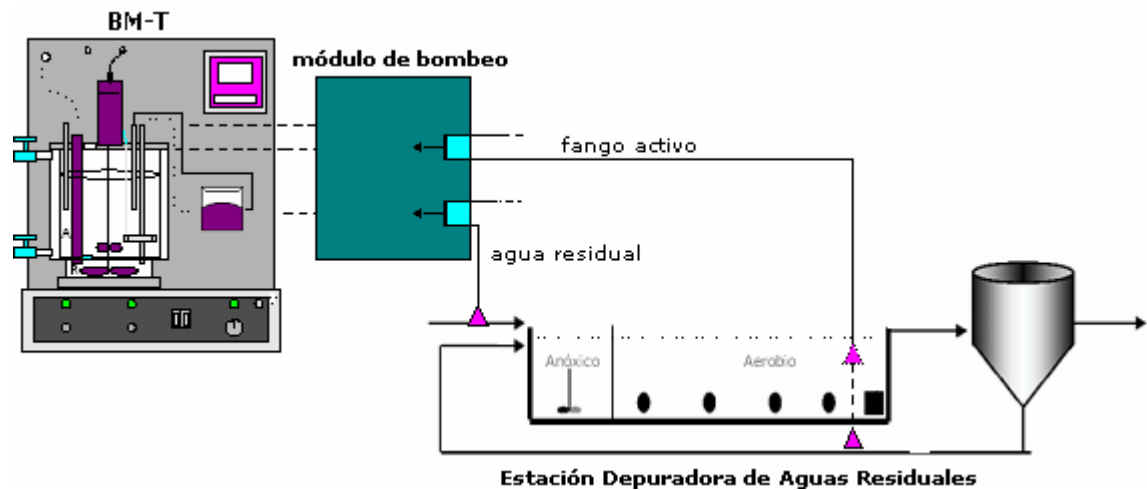


Figura 3. Sistema de medida online de respirometría (BM-online)

En caso de que la carga diaria guarde un ciclo prácticamente repetitivo, normalmente no haría falta la instalación de un sistema de medida en continuo y lo que se debe hacer es establecer el criterio de la aireación del reactor biológico de acuerdo al periodo del día en curso.

Para ello, por medio de valores del FED OUR periódicos a lo largo del día, o por medio de un modo de trabajo de OUR cíclico, se puede establecer un diagrama gráfico que nos reportaría la base para la confección del criterio de programación de la aireación.

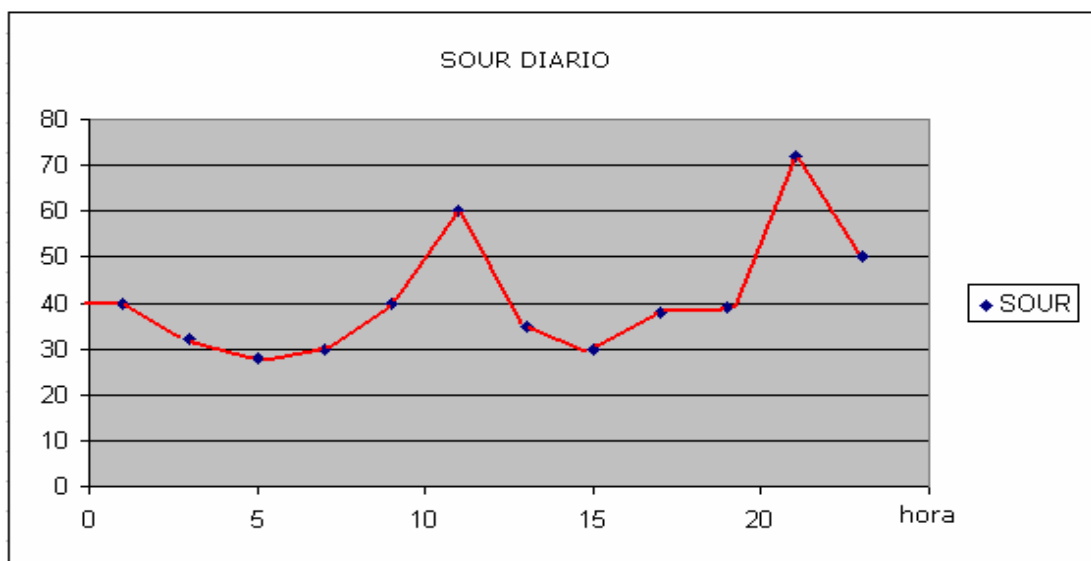


Figura 4. Caracterización del perfil de carga diaria por medida periódica del SOUR

2. Oxígeno disuelto entre puntos de consigna programados.

El control de la aireación por medio de puntos de consigna establecidos en el oxímetro instalado en el propio reactor de la planta es bien conocido y, por no ser el objetivo principal de este tratado, no vamos a hacer una extensa descripción de este punto. No obstante si es importante tener en cuenta que el simple control de la aireación por medio de puntos de consigna puede conseguir un ahorro energético cuando existen puntas o estados de baja-carga.

La estrategia consiste en llevar las señales del oxímetro a un sistema automático de control del sistema de aireación.

Los puntos de consigna se suelen establecer de acuerdo a las necesidades actuales del proceso de depuración y sobre todo si el tratamiento del agua residual está dotado o no de proceso de la Nitrificación.

Si no tiene Nitrificación, unos valores habituales pueden ser entre 0,5 y 2 ppm.

Cuando está dotado de Nitrificación es muy importante no bajar la aireación por debajo de 1,5 ppm y, en tal caso, podría establecerse un rango entre 1,5 y 2,5 ppm.

Rebasando por exceso o por defecto los puntos de consigna se generan unas señales de alerta / control capaces de controlar, por medio de los automatismos instalados, los sistemas de aireación de la planta de acuerdo a la ventana de trabajo establecida.

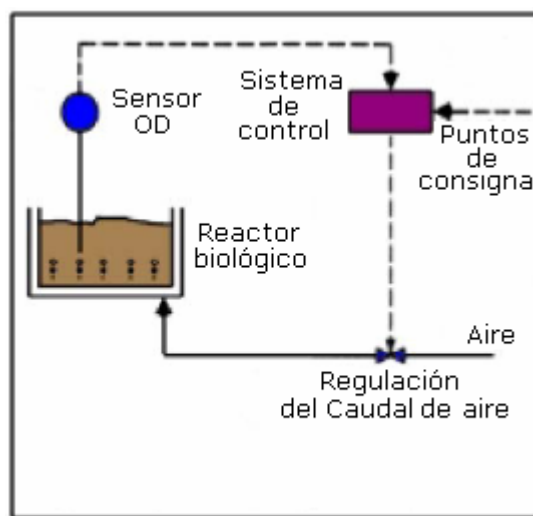


Figura 5. Regulación de la aireación por puntos de consigna en oxímetro

El tipo de control puede ser on-off, escalonado o progresivo por variador de frecuencia aplicado al sistema de aireación del reactor biológico de la planta.

En definitiva, con el sistema de control por puntos de consigna se puede conseguir una optimización en el sistema de aireación, y en muchos casos un ahorro energético.

Sin embargo, la experiencia (y también la lógica) está demostrando que el funcionamiento de un proceso de depuración equilibrado es fundamental para la aplicación de un programa de optimización energética por medio de puntos de consigna desde el oxímetro instalado en el reactor biológico.

Bajo esta perspectiva, puede que el sistema de control de la aireación por puntos de consigna puede que no llegue a ser todo lo eficaz y rentable que quisiéramos si la planta está funcionando bajo unos parámetros operativos erróneos. Dicho de otra forma: el tratar de conseguir una optimización energética sobre un proceso erróneo, puede traer como consecuencia una optimización muy por debajo de su nivel máximo y la generación de problemas importantes como pueden ser la aparición del fenómeno bulking y formación de espumas.

2. Establecer la mínima edad del fango (TRC) permitida y su relación con la carga másica (F/M)

La respirometría pasa a tener un papel muy importante en la determinación de la edad del fango, carga másica y la relación entre ellas.

Se da la importante circunstancia que la edad del fango depende directamente la cantidad de sólidos volátiles del licor mezcla (MLVSS) que retenemos más o menos tiempo en el reactor biológico.

Al fin y al cabo los MLVSS son los consumidores de oxígeno y, por lo tanto, la determinación ajustada de su concentración en el reactor biológico va a repercutir directamente en la cantidad de oxígeno utilizado en el proceso de la depuración.

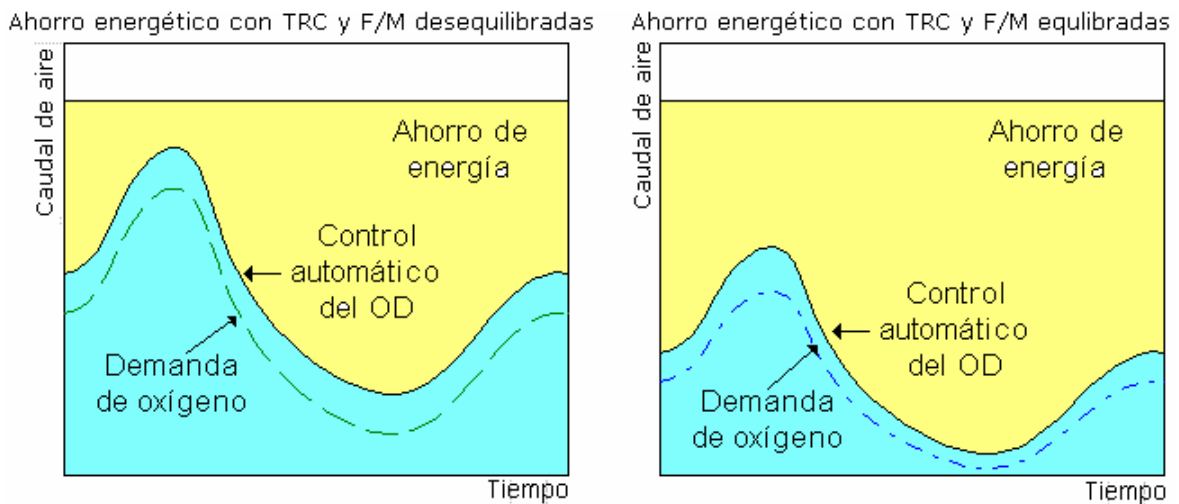


Figura 6. Comparación de ahorro energético en base a TRC y F/M

Lo que nos determina la concentración de MLVSS que debemos tener en el reactor es la edad del fango mínima, tratando de conservar la carga másica adecuada al proceso. Esta edad del fango mínima se determina por respirometría de forma distinta cuando el proceso no tiene nitrificación a si la tiene.

critério y efectos	TRC	F/M	MLVSS
	↗	↘	↗
rendimiento	+?	+?	
formación del flóculo	-+-	-+-	-
requerimiento de oxígeno	↗	↗	↗
nitrificación	↗	↗	
producción de fangos	↘	↘	
reactor biológico			↘
decantación			↗

Figura 7. Criterio y efectos de TRC, F/M y MLVSS

2.1. TRC mínima para un tratamiento sin Nitrificación

En general existe una estrecha relación entre TRC y F/M. La razón de ello es que ambos parámetros comparten un elemento común que son los sólidos del licor mezcla.

La relación entre ellos es la siguiente:

$$1/TRC = Y * F/M - kd$$

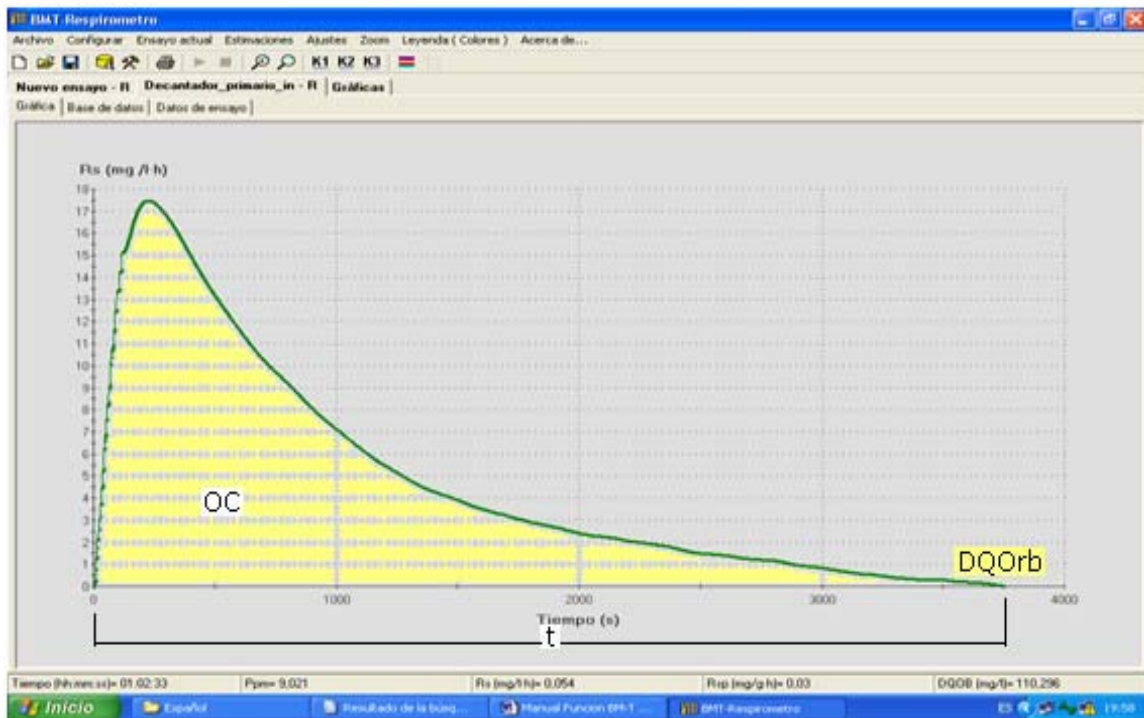
TRC (d): Tiempo de retención celular (Edad del fango)

Y (mg COD/mg COD): Coeficiente específico de crecimiento de la biomasa.

Kd: Fracción de MLVSS por día, oxidada durante la respiración endógena

Existe en Respirometría un test que nos puede determinar la velocidad real de eliminación de la DQO biodegradable. A este parámetro cinético se le suele denominar **q**.

El valor **q** & **Y** se pueden determinar en un mismo ensayo de respirometría (tipo BM-T)



$$Y = 1 - OC / Se$$

OC (mg/l): Oxígeno consumido en la oxidación completa de la muestra soluble.

Se (mg/l): DQO soluble eliminada (valor conocido)

$$q = DQOrb / (Xva * t)$$

q (kg DQO / kg MLVSS * d) = Velocidad de consumo del sustrato orgánico biodegradable.

DQOrb (kg/m³): Fracción fácilmente biodegradable de la DQO de la muestra en el reactor del respirómetro.

Xva (kg MLVSS/ m³): Concentración de sólidos volátiles en el fango del respirómetro y reactor de la planta.

t (d): tiempo utilizado en la oxidación de la DQOrb.

En el caso de un sustrato de naturaleza variable, se puede utilizar un compuesto estándar conocido, como puede ser el acetato sódico, a partir de una solución con una DQO soluble conocida.

Al igual que q , las unidades de la F/M (DQO) son kg DQO / (kg MLVSS. día)

Si hablamos de la DQO eliminada podríamos decir que también se trata de una velocidad específica de eliminación de la DQO fácilmente biodegradable

La q obtenida por respirometría nos debe servir para ajustar los valores de F/M a la actividad biológica actual del proceso, y una incoherencia entre el valor q y F/M puede traer consecuencias importantes para un desequilibrio del sistema y efluentes fuera del rango de la calidad exigida.

Existe una guía en donde los valores mínimos de q deben situarse dependiendo del tipo de proceso:

TIPO DE PROCESO	q	Edad del Fango	Concentración MLSS en cuba	Tiempo de retención hidráulico
	d^{-1}	(días)	(mg/l)	(horas)
FLUJO PISTÓN	$\geq 0,2$	5 - 15	1500 - 3000	4 - 8
MEZCLA COMPLETA	$\geq 0,2$	5 - 15	3000 - 5000	3 - 5
ALIMENTACIÓN ESCALONADA	$\geq 0,2$	5 - 15	2000 - 3500	3 - 5
AIREACIÓN PROLONGADA	$\geq 0,03$	20 - 30	3000 - 6000	18 - 36
CANALES DE OXIDACIÓN	$\geq 0,03$	20 - 30	3000 - 5000	19 - 36
CONTACTO ESTABILIZACIÓN	$\geq 0,2$	5 - 15	Contacto: 1000-3000	Contacto: 0,5 - 1,0
DOBLE ETAPA (*)	2ª etapa: $\geq 0,2$	-	-	3,0 - 7,0
(*) Con Nitrificación	$\geq 0,02$	-	-	2ª etapa: 10 - 30

Con un valor de q en rango, comprobaríamos la coherencia entre q y F/M

F/M debe ser $\geq a q$

Entonces, ya podemos despejar el valor TRC para su cálculo

$$1/TRC = Y * F/M - kd$$

$$TRC = 1 / (Y * F/M - kd)$$

Una vez conocido el valor de TRC y F/M a qué debe operar el proceso, ajustaríamos la tasa de recirculación r del fango hasta conseguir la concentración adecuada de MLVSS que nos permita conservar la F/M y, por lo tanto, la TRC.

$$r = Q_r/Q_i$$

r : Tasa de recirculación.

Q_r (m³/h): Caudal del fango de recirculación.

Q_i (m³/h): Caudal del influente a reactor biológico.

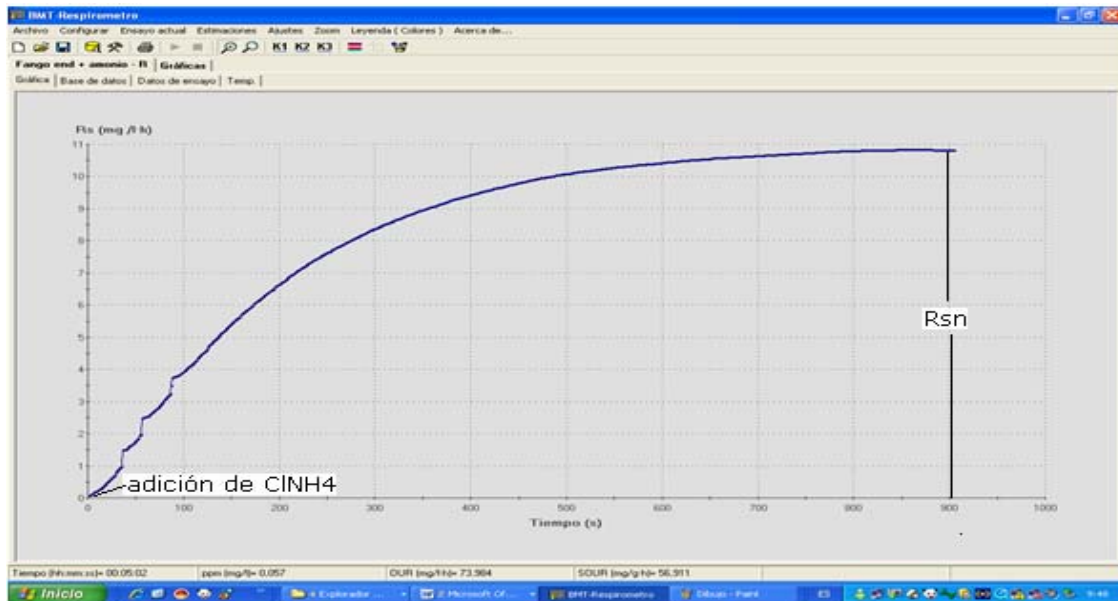
2.1. TRC mínima para un tratamiento con Nitrificación

En primer lugar debemos calcular por Respirometría la tasa específica de la nitrificación q

2.1.1. Determinación de q_N

$$q_N \text{ (mg N-NH}_4 \text{ / mg VSS}_{A,d}) = R_n * 24 / X_A$$

$$R_n \text{ (mg N-NH}_4\text{/L.h)} = R_{sn} / 4,57$$



R_{sn} (mg O_2 /L.h): Tasa de respiración por eliminación de amonio (podemos utilizar CINH4 en Respirometría)

4,57 (mg O_2): Oxígeno que consume cada miligramo de $N-NH_4^+$

X_A (mg/l): MLVSS biomasa autótrofa

X_A se estima a partir de la relación DBO_5/NKT , según la siguiente tabla:

Influencia de la relación DBO_5/NKT en la nitrificación (García, 1997)

DBO_5/NKT	0,5	1	2	3	4	6	8
Fracción de nitrificantes	0,35	0,21	0,12	0,083	0,064	0,043	0,033

Fracción de nitrificantes (F_n): factor sobre la concentración total de X_v (MLVSS)

$$X_A = F_n * X_v$$

2.1.2. Cálculo de TRC mínima para la Nitrificación

Podemos calcular la TRC mínima para la nitrificación por medio de la siguiente fórmula:

$$TRC \text{ min.} = 1 / (\mu_A - k_d) \quad (\text{Metcalfé \& Heddy})$$

μ_A : Tasa de crecimiento de la biomasa autótrofa (nitrificantes) máxima.

k_d : tasa de decaimiento de la respiración endógena.

$$\mu_A = Y_A * q_N$$

Y_A (mg X_A /mg $N-NH_4$): Coeficiente de crecimiento de la biomasa autótrofa - Por defecto: $Y_A = 0,15$

q_N (mg $N-NH_4$ /L.d): Tasa específica de nitrificación a la temperatura actual del proceso.

3. ¿Es necesario hacer todas las determinaciones y cálculos anteriores cada día?

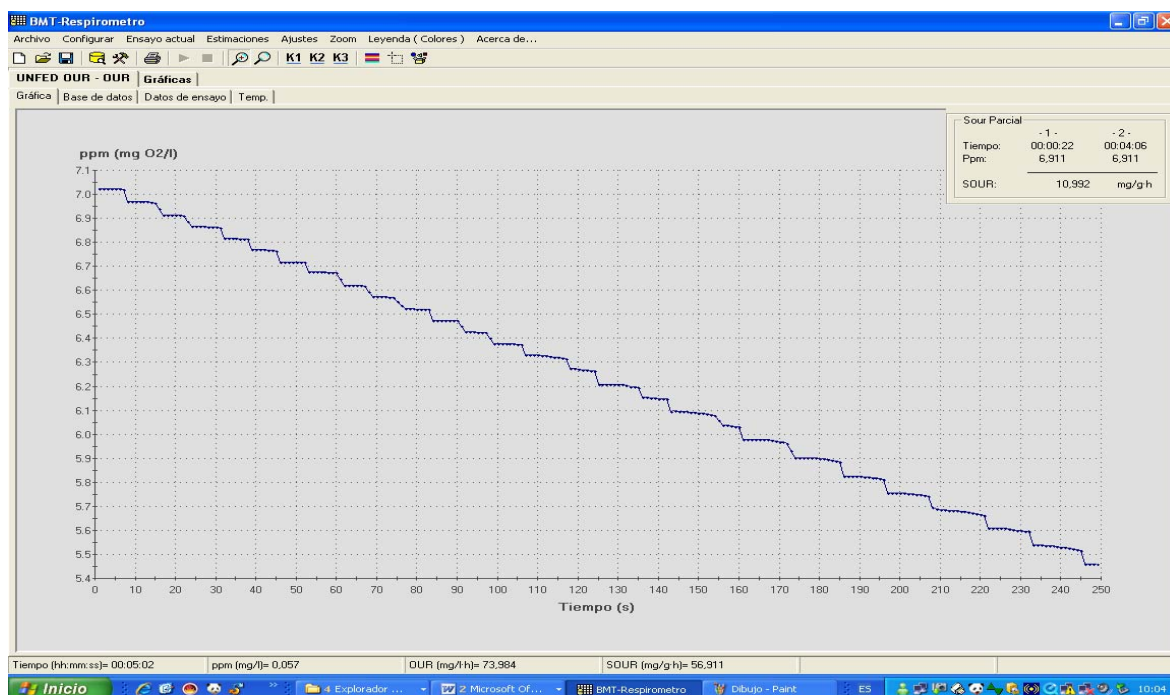
Tampoco lleva tanto tiempo. En realidad se trata de tres ensayos de Respirometría que pueden tardar en total un poco más de una hora. El tiempo de cálculo, además, se puede optimizar con la utilización de una hoja Excel.

Pero aún así es posible que no se disponga de tanto tiempo o que se trate de un sistema de respirometría cuya misión es la de chequear de forma rápida un determinado número de tratamientos correspondientes a varias depuradoras.

La respirometría para estos casos dispone de un ensayo denominado UNFED OUR que nos sirve para "tomar el pulso al proceso"

3.1. Tomando el pulso al proceso desde el UNFED SOUR

Se trata de un test primario en donde podemos hacer una rápida valoración del estado del proceso, dependiendo del tipo de proceso y sus condiciones.



Para la valoración de esta tabla nos guiamos por la siguiente tabla de referencia:

Tipo de proceso	Edad del Fango (días)	F/M	UNFED SOUR (mg O ₂ /g VSS.h)	MLVSS (g/l)
Convencional	5 - 15	0,2 - 0,4	8 - 16	1,5 - 3
Mezcla Completa	5 - 15	0,2 - 0,6	8 - 18	3 - 5
Alimentación Escalonada	5 - 15	0,2 - 0,4	8 - 18	2 - 3,5
Aireación Prolongada	20 - 30	0,05 - 0,1	1 - 12	3 - 6
Doble Etapa (2ª Etapa)	5 - 15	0,2 - 0,6	8 - 20	1,5 - 3
Canales de Oxidación	10 - 30	0,2 - 0,4	3 - 12	3 - 6

Con el UNFED OUR con un alto nivel de probabilidad podemos afirmar que si su valor queda dentro de la ventana de referencia es que sus valores de edad de fango y F/M son coherentes.

De este modo, solamente nos limitaríamos a desarrollar el proceso de determinaciones y cálculos de TRC y su coherencia con F/M cuando el caso lo requiera.

Emilio Serrano
SURCIS, S.L.
Tel. 652 803 255
E-mail: eserrano@surcis.com