

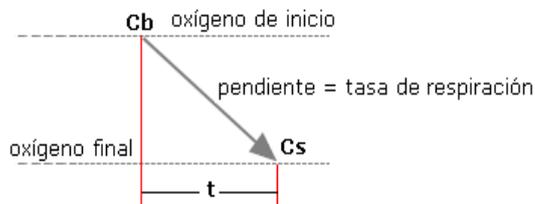
**Estudio de Respirometría sobre la influencia de un vertido industrial de elevada conductividad en un proceso de fangos activos de una EDAR urbana**

***SURCIS***

# Descripción básica de parámetros utilizados en la Respirometría de este estudio

## OUR: Tasa de respiración global

La tasa de respiración no es otra cosa que la velocidad con que los microorganismos del fango activo están consumiendo oxígeno para su propia supervivencia (respiración endógena) y para la eliminación de sustrato biodegradable (respiración exógena)



La tasa de respiración es un indicativo de la actividad del fango tanto en lo que se refiere a su salud, como a la capacidad de degradación de un sustrato biodegradable.

El OUR se suele medir en  $\text{mg O}_2/\text{l.h}$  y en  $\text{kg O}_2/\text{m}^3.\text{d}$

## SOUR: Tasa de respiración específica

Cuando el OUR se relacione con los sólidos volátiles del fango, recibe el nombre de SOUR (Specific OUR) Por lo tanto, el SOUR se obtiene desde la relación  $\text{OUR} / \text{SSV}$ .

## OUR<sub>end</sub>: Tasa de respiración de la respiración endógena

Se trata de la tasa de respiración de los microorganismos contenidos en el fango activo para su supervivencia, en ausencia de sustrato. En este estudio la denominamos OUR<sub>end</sub>

El OUR<sub>end</sub> es directamente proporcional a la concentración efectiva de microorganismos activos. Por esta razón, su medida puede servir para valorar la concentración de microorganismos activos que se encuentran actualmente en el fango.

Con ello, el OUR<sub>end</sub> permite evaluar si una baja actividad del fango es debida a que hay pocos microorganismos como consecuencia de que el fango se pudiera encontrar bajos los efectos de una posible falta de nutrientes, condiciones inadecuadas, inhibición o toxicidad.

## Rs: Tasa de respiración exógena

Cuando la tasa de respiración se refiere exclusivamente al oxígeno que se consume para la degradación del sustrato, recibe el nombre de tasa de respiración exógena.

En este estudio, la tasa de respiración exógena se representa por Rs y la unidades son las habitualmente utilizadas en la tasa de respiración.

## X: Biomasa total

Es la concentración de microorganismos activos contenidos en el fango activo responsable de la degradación de cualquier sustrato degradable.

## X<sub>H</sub>: Biomasa heterótrofa

Es la concentración de microorganismos contenidos en el fango activo responsables de la eliminación de la materia orgánica.

## Y<sub>H</sub>: Coeficiente estequiométrico del crecimiento de la biomasa heterótrofa

Es el rendimiento (porcentaje) de oxígeno consumido destinado al crecimiento de la biomasa heterótrofa por unidad de DQO eliminada. A este coeficiente se le denomina Y<sub>H</sub> y sus unidades habituales son  $\text{mg O}_2/\text{mg DQO}$ .

La Y<sub>H</sub> también se puede relacionar con los sólidos volátiles efectivos (SSVLM) producidos, y en este caso sus unidades son  $\text{mg SSV}/\text{mg DQO}$

La aplicación que tiene la Y<sub>H</sub> en el presente estudio es la de valorara si la biomasa heterótrofa tiene una actividad y crecimiento normal ante un sustrato orgánico estándar. De este modo, se aporta un parámetro que valora la salud de la biomasa activa y si el fango pudiera estar siendo afectado por algún tipo de toxicidad ya presente en el mismo.

## **OC: Oxígeno consumido**

Se trata del oxígeno total utilizado en la degradación de un determinado sustrato orgánico.

Las unidades del OC son mg O<sub>2</sub>/l y también kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>

En este estudio, el OC se obtiene con un ensayo de respirometría realizado con sustrato orgánico en donde se van midiendo de forma continuada los valores de Rs. Con ello, el OC se obtiene desde la integración de todos los valores Rs medidos durante el ensayo hasta la completa eliminación del sustrato.

El OC tiene se relaciona con la DQO biodegradable (DQOb) del siguiente modo:  $DQOb = OC / (1 - Y_H)$

## **RO<sub>end</sub>: Requerimiento de oxígeno por respiración endógena**

Es la cantidad de oxígeno que se necesita por día para la supervivencia de los microorganismos (biomasa) contenidos en el volumen total del reactor biológico, en ausencia de sustrato degradable.

El RO<sub>end</sub> se obtiene multiplicando el OUR<sub>end</sub> por el volumen del reactor, y sus unidades son kg O<sub>2</sub>/día

## **RO: Requerimiento de oxígeno por eliminación de un sustrato**

Es la cantidad de oxígeno que se necesita por día para degradar la carga orgánica que está entrando en el reactor biológico con un determinado caudal.

El RO se obtiene multiplicando el OC por el caudal de entrada a biológico, y sus unidades son kg O<sub>2</sub>/día

## **q: Tasa específica de utilización del sustrato degradable**

Es la velocidad media con la que el sustrato biodegradable (expresado como DQO biodegradable) se está eliminado en el fango, relacionada con los sólidos en suspensión del fango.

En un respirómetro BM, el valor de la q se obtiene, de forma automática, directamente desde el mismo ensayo de respirometría utilizado para la determinación del OC.

Las unidades de la q son kg DQO/kg SS.d

## **Inhibición**

Al comparar los distintos valores de la q de varias muestras respecto a una de referencia, se puede detectar una posible ralentización de la velocidad de eliminación de la DQO que puede considerarse como una inhibición de la actividad del fango.

Esta inhibición se puede valorar en % de diferencia respecto a una q de referencia.

## **Toxicidad**

Consideramos toxicidad cuando al mezclar una determinada muestra con el fango activo, el sustrato contenido en la misma, es capaz de provocar un efecto letal en los microorganismos del fango activo.

Una toxicidad, al igual que sucede con la Inhibición, provoca una reducción de la actividad biológica. Sin embargo, la diferencia entre ambas es que en la Inhibición, cuando se estén degradando compuestos normales no inhibitorios, el fango se comporta con una actividad normal; cosa que no sucede con la toxicidad, en donde el fango (que ha perdido total o parcialmente la población de microorganismos) permanece de forma permanente con una baja (o nula) actividad.

En la Respirometría BM, la toxicidad se puede analizar desde los distintos fangos en respiración endógena obtenidos con las mezclas de las muestras problema y referencia. Con ello, para cada fango endógeno, se realizan ensayos de respirometría que permitan obtener una tasa de respiración máxima al añadir un sustrato estándar fácilmente biodegradable (acetato sódico).

La posible toxicidad se analiza por comparación de las distintas tasas de respiración máximas de los ensayos con muestras problema con la de referencia. De este modo, la posible diferencia respecto a la tasa de respiración máxima de la referencia nos valoraría el porcentaje de toxicidad.

## Objetivos del estudio de respirometría

Este estudio tiene los siguientes objetivos:

- Analizar si la presencia de un vertido industrial, mezclado con el agua residual en proporción equivalente, está provocando alguna alteración en el requerimiento de oxígeno (kg O<sub>2</sub>/d)
- Analizar el efecto del vertido en la velocidad de la eliminación de la DQO biodegradable.
- Analizar una posible Toxicidad.

## Datos del proceso

(Datos facilitados por el Jefe de Operación)

### Tipo de proceso

Convencional con dos reactores, sin nitrificación-desnitrificación.  
Calibrado para que no haya nitrificación. Pero que sin embargo suele haber cierta nitrificación descontrolada.

### Fecha de recolección de muestras de fango

- 22 de Octubre del 2018

### Puntos de muestreo (dato facilitado por el Jefe de Operación)

- Final del cada uno de los dos reactores biológicos (fangos efluentes)

### Sólidos en suspensión del licor-mixto

SSLML = 3000 (mg/l)  
SSVLM = 81% de los SSLM = 2430 (mg/l)

### Carga Másica

CM = 0,26 (kg DBO/kg SS.d)

### Temperatura

Temperatura de los fangos en el biológico: 22 °C

### Volumen del reactor biológico

2 reactores que tienen un volumen unitario de 21.000 m<sup>3</sup>, en total hacen 42.000 m<sup>3</sup>.

### Caudales

Q1 = 143.000 (m<sup>3</sup>/d)  
Q1: Caudal de entrada a biológico del agua residual (sin aguas del Pol. Industrial ni retorno)

Q2 = 151.000 (m<sup>3</sup>/d)  
Q2: Caudal de entrada a biológico del agua residual + agua del Pol. Industrial

### Datos del vertido del Polígono Industrial

pH = 7.33

**Conductividad = 10.010 µS/cm**

## Preparación de las muestras

(Preparadas por Surcis, siguiendo las indicaciones del Jefe de Operación)

### Preparación del fango en respiración endógena

Fango resultante de la mezcla de fangos efluentes de los reactores de la planta, después de haberse sometido a una aireación prolongada para eliminar cualquier sustrato pendiente de degradar.

#### [Procedimiento para la obtención de un fango en respiración endógena](#)

La respiración endógena se determina cualitativamente mediante la observación de decrecimiento de la respiración debido al consumo de sustrato degradable seguido de una fase suficientemente constante como signo evidente de que ya no existe sustrato en el fango.

En el respirómetro BM de Surcis, las evoluciones de la respiración se observan a través de las medidas en continuo del oxígeno disuelto en el fango, durante un tiempo que normalmente transcurre entre 12 y 24 horas, hasta que este permanece constante.

Fuentes : **Lijklema, 1971 - Henry Spanjers – Respirometry in Activated Sludge. 1994**

### Preparación de muestras problema

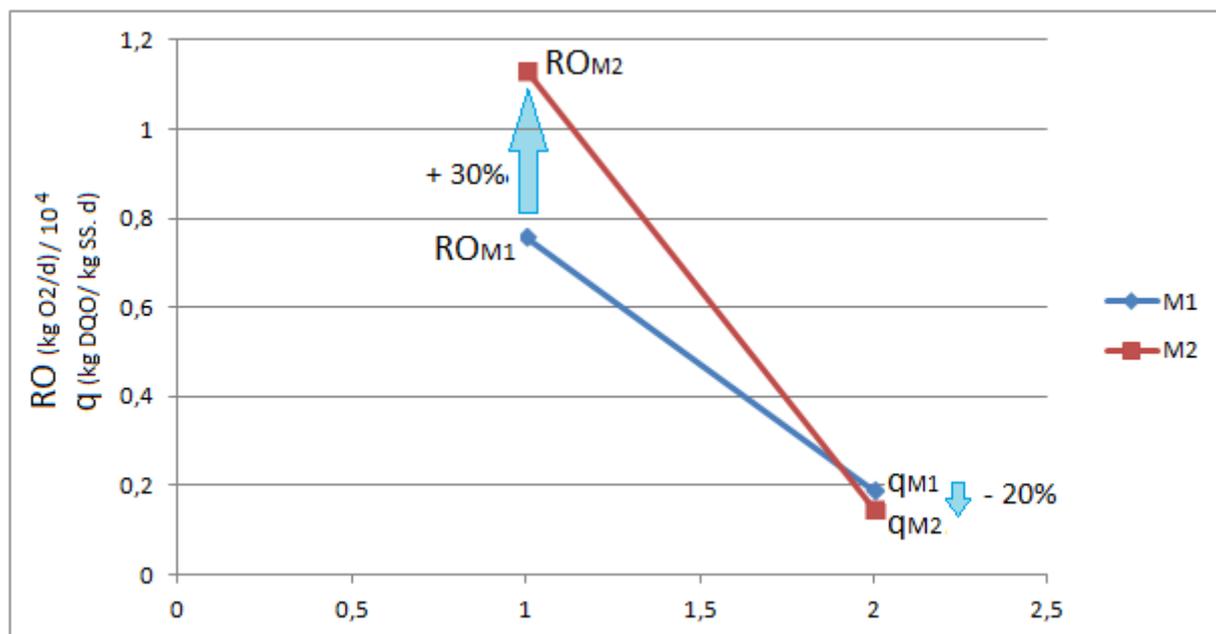
M1: Agua residual (sin aguas del Pol. Industrial ni retorno)

M2: agua residual + muestra de Polígono Industrial (en relación 10 de agua residual frente a 1 de agua del Pol. Industrial)

Las mezcla M2 se deja en agitación sin oxígeno durante dos horas para estar en condiciones de ser utilizada en los ensayos de respirometría en condiciones equivalentes.

## Resumen de resultados del estudio de respirometría

Descripción	Parámetro	Resultado
Coeficiente estequiométrico del crecimiento de la biomasa heterótrofa	$Y_H (O_2/DQO)$	<b>0.66</b>
	$Y_H (VSS/DQO)$	<b>0.46</b>
Tasa de respiración endógena	$OUR_{end}$ (kg $O_2/m^3.d$ )	<b>0,264</b>
Requerimiento de oxígeno por respiración endógena	$RO_{end}$ (kg $O_2/d$ )	<b>11.088</b>
<b>Muestra M1</b> agua residual		
Oxígeno consumido	$OC_{M1}$ (kg $O_2/m^3$ )	<b>0,053</b>
Requerimiento de oxígeno	$RO_{M1}$ (kg $O_2/d$ )	<b>7.579</b>
Requerimiento de oxígeno de + respiración endógena	$RO_1$ (kg $O_2/d$ )	<b>18.667</b>
Tasa específica de eliminación de sustrato orgánico	$q_{M1}$ (kg DQO/kgSS.d)	<b>0,19</b>
<b>Muestra M2</b> agua residual + muestra de Polígono Industrial		
Oxígeno consumido	$OC_{M2}$ (kg $O_2/m^3$ )	<b>0,075</b>
Requerimiento de oxígeno	$RO_{M2}$ (kg $O_2/d$ )	<b>11.325</b>
Requerimiento de oxígeno de + respiración endógena	$RO_2$ (kg $O_2/d$ )	<b>22.413</b>
Tasa específica de eliminación de sustrato orgánico	$q_{M2}$ (kg DQO/kgSS.d)	<b>0,15</b>
<b>Toxicidad de M2</b>		
% Rs máxima Mezcla con vertido industrial vs Mezcla referencia	% Tox	<b>~ 0</b>

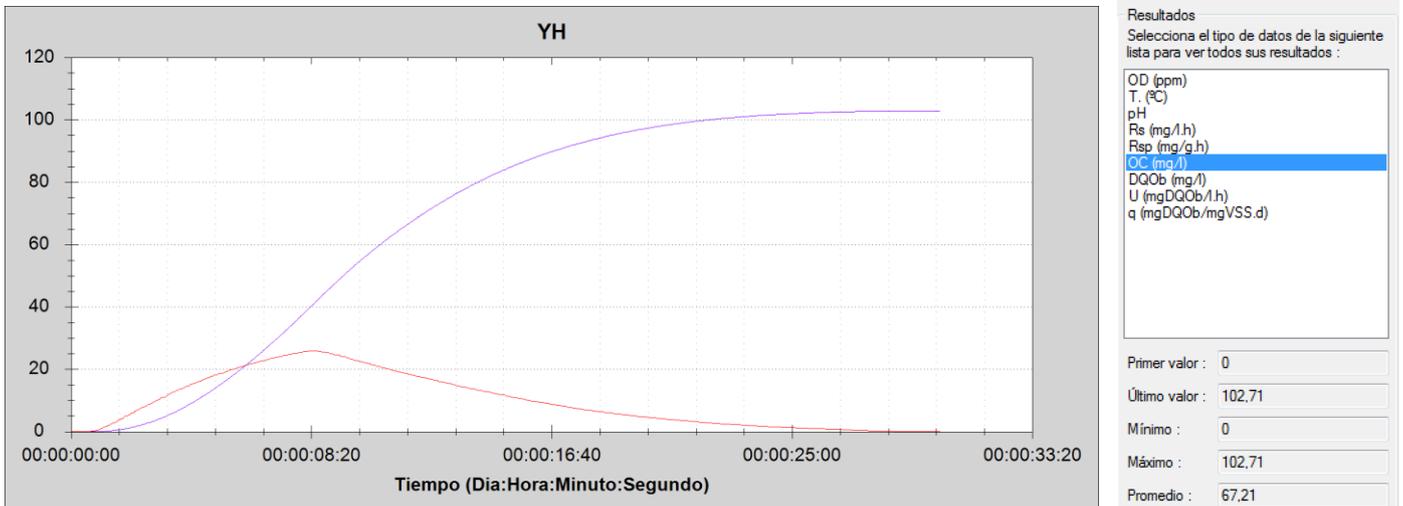


# **Respirometría**

## **1. Coeficiente estequiométrico**

### 1.1. Coeficiente de rendimiento del crecimiento de la biomasa heterótrofa (Y<sub>H</sub>)

La Y<sub>H</sub> se determina mediante un ensayo de respirometría utilizando una solución estándar de acetato sódico de 300 mg/l de DQO (DQO<sub>ac</sub>) y fango activo libre de sustrato. En nuestro caso se utilizó fango activo en respiración endógena preparado para el caso. El ensayo se realiza a la temperatura de 22 °C



Respirograma de Rs y OC para Y<sub>H</sub> en ensayo con acetato sódico

Oxígeno consumido: OC = 102 mg/l

Coeficiente de rendimiento de biomasa heterótrofa por demanda de oxígeno:  $Y_{H,DQO} = 1 - OC / DQO_{ac} = 1 - 102 / 300 = 0,66$  (O<sub>2</sub>/DQO)

Coeficiente de rendimiento de biomasa heterótrofa por MLVSS:  $Y_{H,VSS} = Y_{H,DQO} / 1,42 = 0,66 / 1,42 = 0,46$  (VSS/DQO)

**Y<sub>H,DQO</sub> = 0,66** (O<sub>2</sub>/DQO)

**Y<sub>H,VSS</sub> = 0,46** (VSS/DQO)

### 1.2. Valoración del Y<sub>H</sub>

Con los valores aportados por una tabla de valores típicos, el valor de la Y<sub>H,VSS</sub> de 0,46 se sitúa dentro del rango de normalidad. Esto quiere decir que en la actualidad la capacidad de reproducción de la biomasa es normal.

Tabla de valores típicos

Coefficient	Unit	Range	Typical	Remark
Y <sub>H</sub>	g MLSS/g COD	0.4-0.6	0.5	Convertible each other assuming COD/BOD=2 and MLVSS/MLSS=0.8 for municipal wastewater
	g MLVSS/g COD	0.3-0.5	0.4	
	g MLSS/g BOD	0.8-1.2	1.0	
	g MLVSS/g BOD	0.6-1.0	0.8	
K <sub>d</sub>	/day	0.025-0.075	0.06	Used with MLVSS based Y <sub>H</sub>
		0.02-0.6	0.05	Used with MLSS based Y <sub>H</sub>
MLVSS/MLSS	-	0.7-0.9	0.8	No inorganic coagulant addition was assumed.

Fuente: Cicek, 2001; Macomber, 2005

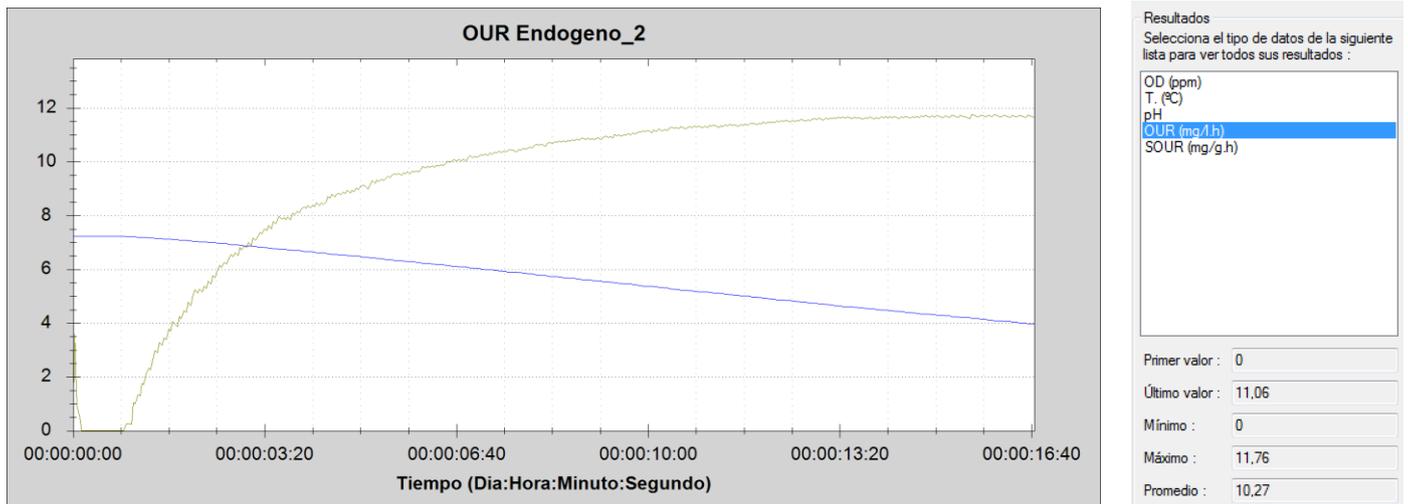
## **2. Necesidades de oxígeno de oxígeno por respiración endógena**

## 2.1. Necesidades de oxígeno por respiración endógena

Se refiere al oxígeno que necesitan los microorganismos de la biomasa para su supervivencia en ausencia de cualquier sustrato. Esta necesidad de oxígeno debe formar parte del requerimiento global de oxígeno en el proceso.

### 2.1.1. Tasa de respiración endógena total (OUR<sub>end</sub>)

La tasa de respiración endógena (OUR<sub>end</sub>) se obtiene mediante un ensayo con el respirómetro BM en modo de trabajo OUR. El ensayo se realiza a la temperatura de 22 °C



Respirograma OUR endógeno

$$\text{OUR}_{\text{end}} = 11 \text{ (mg O}_2\text{/l.h)} = 24 * 0,011 = 0,264 \text{ (kg O}_2\text{/m}^3\text{.d)}$$

### 2.1.2. Requerimiento de oxígeno por respiración endógena

$$\text{RO}_{\text{end}} = \text{OUR}_{\text{end}} * V = 0,264 * 42.000 = 11.088$$

V: Volumen total del reactor biológico = 42.000 m<sup>3</sup>

$$\text{RO}_{\text{end}} = 11.088 \text{ (kg O}_2\text{/d)}$$

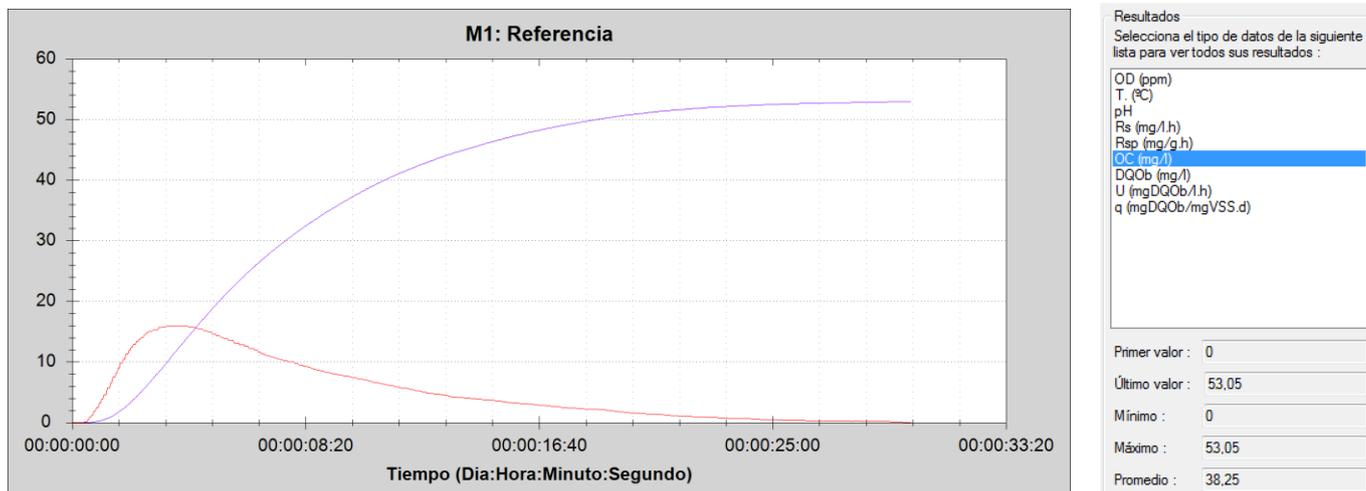
### **3. Necesidades de oxígeno**

### 3.1. Oxígeno consumido y requerimiento de oxígeno por sustrato orgánico en M1

M1 = agua residual

#### 3.1.1. Oxígeno consumido en M1 ( $OC_{M1}$ )

Se obtiene directamente, de forma automática, desde el ensayo R con la muestra M1



$$OC_{M1} \approx 53 \text{ mg O}_2/\text{l} = 0,053 \text{ (kg O}_2/\text{m}^3)$$

#### 3.1.2. Requerimiento de oxígeno en M1 ( $RO_{M1}$ )

$$RO_{M1} = Q1 * OC_{M1} = 143.000 * 0,053 = 7.579$$

$$RO_{M1} = 7.579 \text{ (kg O}_2/\text{d)}$$

#### 3.1.3. Requerimiento de oxígeno total en M1 ( $RO_1$ )

$$RO_1 = RO_{M1} + RO_{\text{end}} = 7.579 + 11.088 = 18.667$$

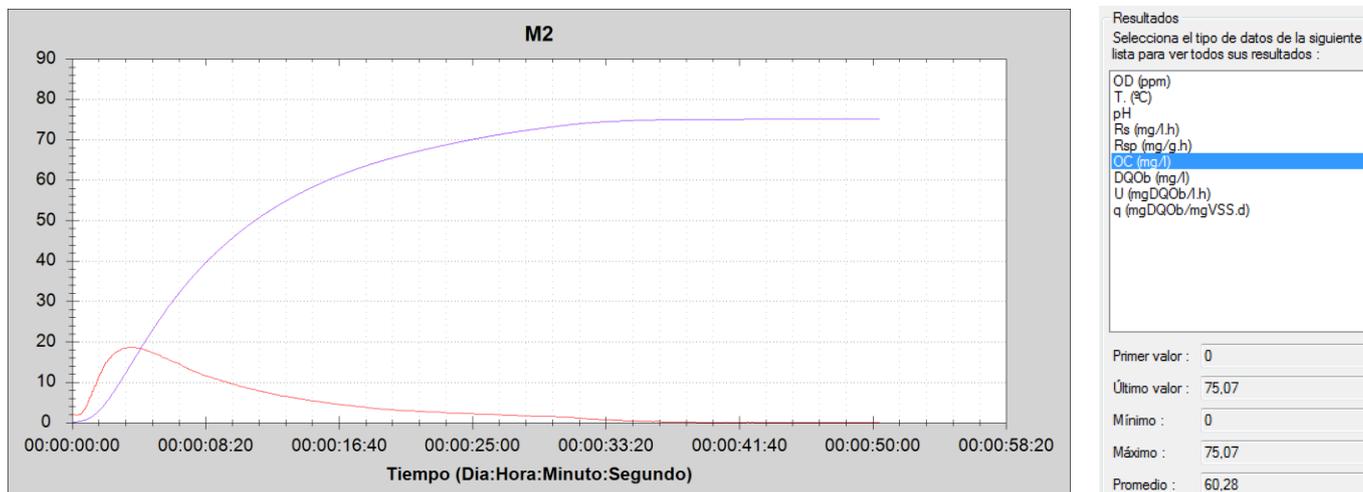
$$RO_1 = 18.667 \text{ (kg O}_2/\text{d)}$$

## 3.2. Oxígeno consumido y requerimiento de oxígeno por sustrato orgánico en M2

M2 = agua residual + muestra de Polígono Industrial

### 3.2.1. Oxígeno consumido ( $OC_{M2}$ )

Se obtiene directamente, de forma automática, desde el ensayo R con la muestra M2



$$OC_{M2} \approx 75 \text{ mg O}_2/\text{L} = 0,075 \text{ (kg O}_2/\text{m}^3)$$

### 3.2.2. Requerimiento de oxígeno en M2 ( $RO_{M2}$ )

$$RO_{M2} = Q2 * OC_{M2} = 151.000 * 0,075 = 11.325$$

$$RO_{M2} = 11.325 \text{ (kg O}_2/\text{d)}$$

### 3.2.3. Requerimiento de oxígeno total en M2 ( $RO_2$ )

$$RO_2 = RO_{M2} + RO_{\text{end}} = 11.325 + 11.088 = 22.413$$

$$RO_2 = 22.413 \text{ (kg O}_2/\text{d)}$$

## **4. Tasa de utilización de sustrato orgánico**

## 4.1. Tasa de utilización media de sustrato orgánico

Entendemos por tasa de utilización de sustrato orgánico a la velocidad con que el proceso de depuración está eliminando la DQO biodegradable, siempre que disponga de suficiente capacidad de oxigenación para ello.

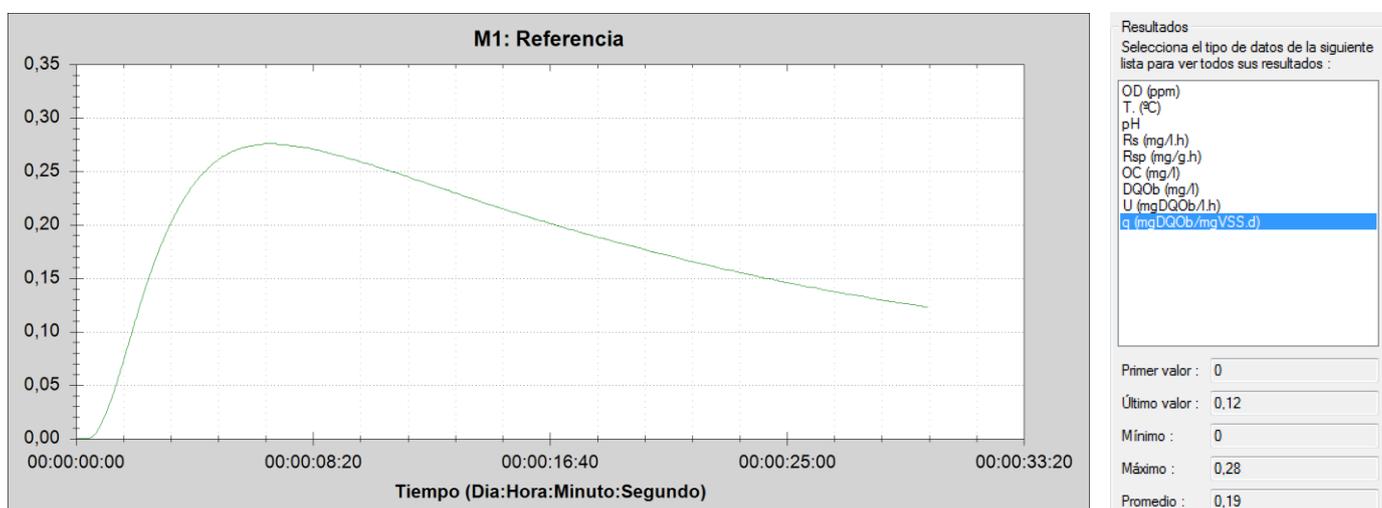
Se trata de un parámetro cinético que se representa por la letra  $q$  y sus unidades vienen expresadas en  $\text{mg DQO}/\text{mg SS}\cdot\text{día}$  ( $\text{kg DQO}/\text{kg SS}\cdot\text{día}$ )

En el mismo ensayo R con que se determina el OC, el respirómetro BM ofrece también el resultado de la  $q$  de forma automática.

El valor medio de la  $q$  es fundamental a la hora de analizar si el proceso dispone de la suficiente capacidad para tratar la carga másica entrante en el reactor biológico.

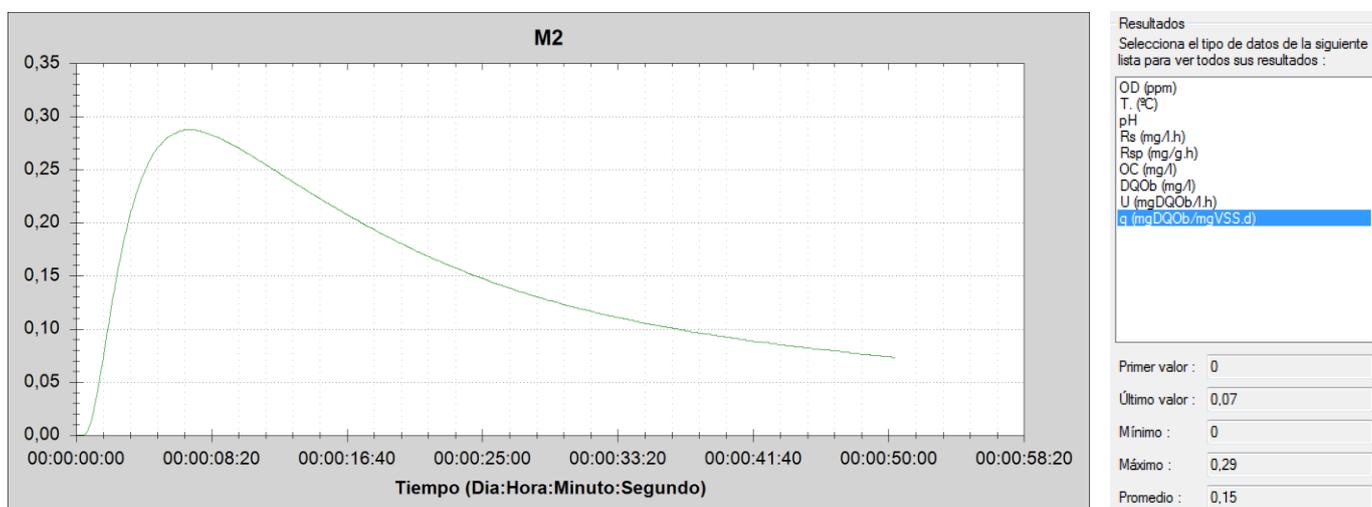
Fuente: Mogens Henze, Geroge A. Ekema - IWA, 2008

### 4.1.1. Tasa de utilización media del sustrato en M1



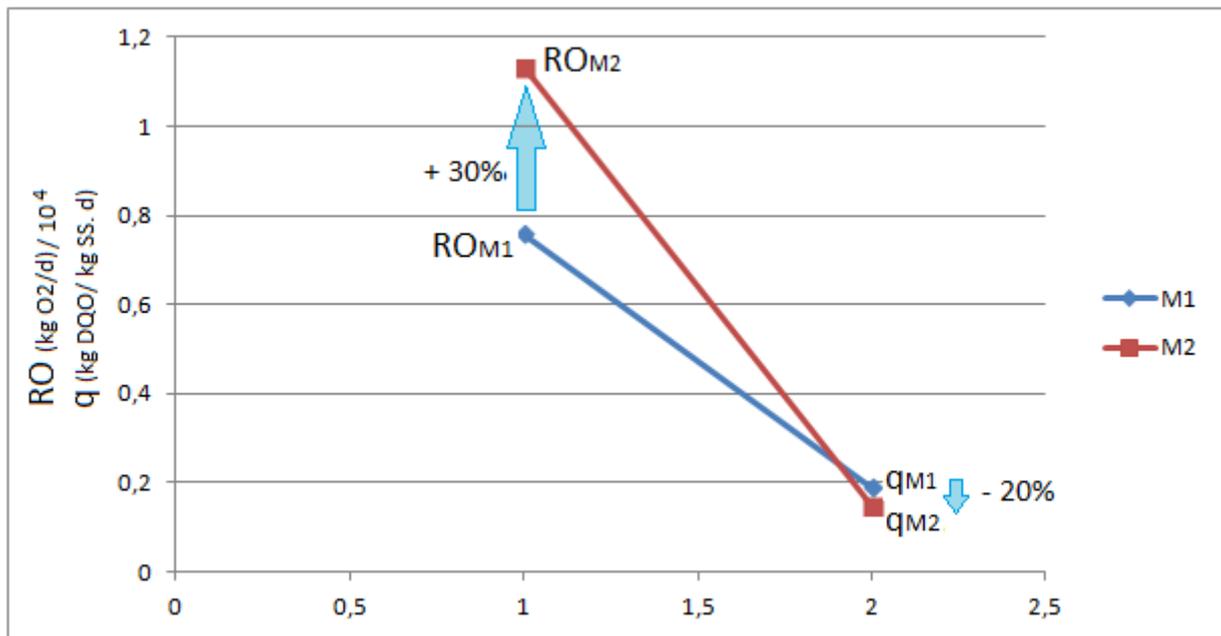
$$q_{M1} = 0,19 \text{ mg DQO}/\text{mg SS}\cdot\text{d} = 0,19 \text{ kg DQO}/\text{kg SS}\cdot\text{d}$$

### 4.1.2. Tasa de utilización media del sustrato en M2



$$q_{M2} = 0,15 \text{ mg DQO}/\text{mg SS}\cdot\text{d} = 0,15 \text{ kg DQO}/\text{kg SS}\cdot\text{d}$$

## 4.2. Análisis gráfico de las tasas de utilización medias de sustrato orgánico frente a los valores de requerimiento de oxígeno



Es importante resaltar que en el caso de M2 (mezcla de agua residual con agua del Pol. Industrial) el perjuicio que puede acarrear al proceso es por partida doble: por un lado el requerimiento de oxígeno se dispara en más de un 30% y por otro existe un acusado descenso de la tasa de utilización del sustrato superior al 20% que puede considerarse como Inhibición provocada por el vertido del polígono industrial debido a su alta conductividad.

## **5. Toxicidad**

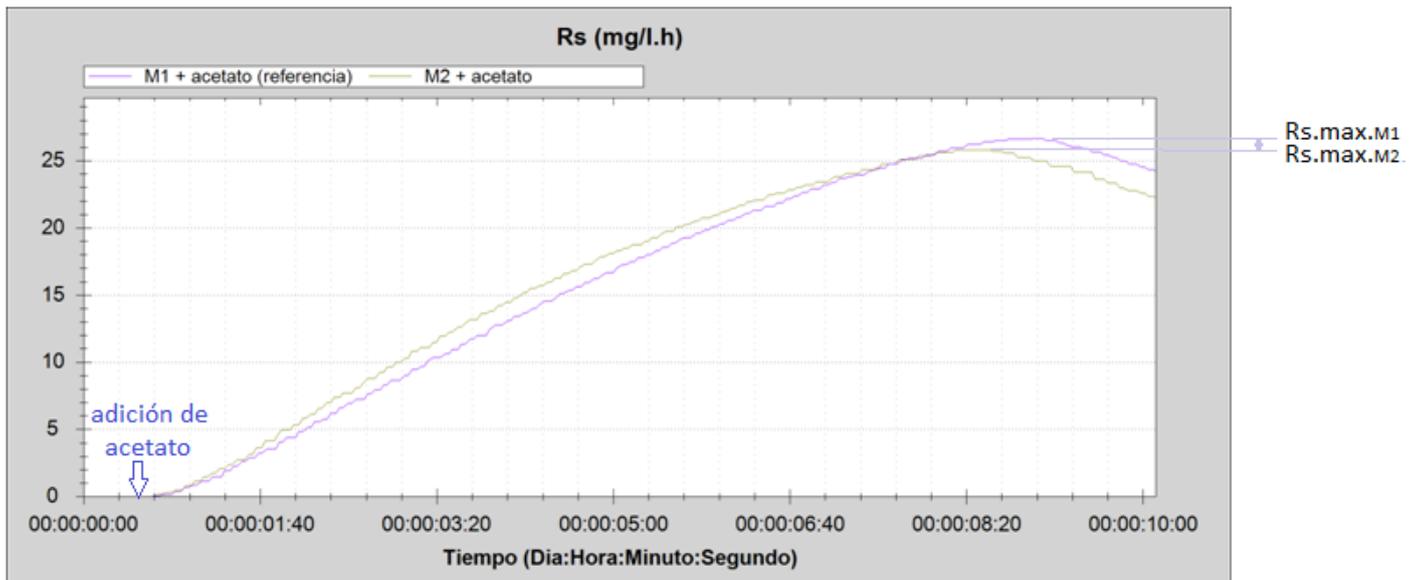
## 5.1. Analisis de una posible toxicidad provocada por el vertido del polígono industrial (M2)

Para ello, preparamos dos mezclas equivalentes con fango activo: una con agua residual (M1 como Referencia) y otra con la mezcla del polígono industrial (M2).

Ambos licor-mezcla se llevan a respiración endógena y se realizan dos ensayos R con una misma dosis de acetato sódico.

Los ensayos R permanecen hasta alcanzar las tasas de respiración máxima  $R_{s,max}$ .

Una sensible diferencia de la  $R_{s,max}$  de M2 ( $R_{s,max_{M2}}$ ) respecto a la  $R_{s,max}$  de la referencia ( $R_{s,max_{M1}}$ ) nos indicaría el nivel de Toxicidad existente.



### Análisis del resultado

La diferencia entre  $R_{s,max_{M1}}$  y  $R_{s,max_{M2}}$  es mínima y, por lo tanto, podemos confirmar que el vertido del polígono industrial en la proporción especificada para M2 no es tóxica para el fango activo.

## **6. Conclusiones**

## 6.1. Conclusiones

Existe un acusado requerimiento de oxígeno en la mezcla M2 ( $RO_{M2}$ ), correspondiente a la mezcla de agua residual con agua del Pol. Industrial, que se encuentra por encima del requerimiento del agua residual ( $RO_{M1}$ ) un 30%, tomado como referencia

La mezcla M2 es capaz de provocar un importante descenso de más del 20% de la velocidad de eliminación del sustrato orgánico ( $q$ ) respecto a la de la referencia M1 (agua residual). Este descenso de tasa de eliminación de sustrato puede considerarse como Inhibición de la actividad del fango que, en estas condiciones, puede repercutir en el rendimiento del proceso.

La causa más probable de esta inhibición en el proceso es la elevada conductividad que presenta el agua del polígono industrial. De este modo, al mezclarse con el agua residual de entrada, se produce un incremento de su conductividad cuyo grado va en aumento a medida que crece su proporción en la misma.

La mezcla M2, aun provocando una importante inhibición de la tasa de utilización de la DQO biodegradable, no presenta sin embargo toxicidad alguna en el fango activo.

### **SURCIS S.L.**

Encarnación, 123.  
N.I.F.: B 63183248  
08024-Barcelona - Spain

Tel. +34-932 194 595  
Fax +34-932 104 307  
E-mail: [surcis@surcis.com](mailto:surcis@surcis.com)  
[www.surcis.com](http://www.surcis.com)