

Respirometría aplicada al análisis de la influencia de vertidos industriales en la desfloculación de un fango activo

Basado en el Informe de Respirometría del Ejercicio Interlaboratorio 2020 de GBS



Autor: Emilio Serrano - SURCIS, S.L.

Palabras Clave: Respirometría, Tasa de respiración, Coeficiente de crecimiento de la biomasa, DQO biodegradable, Biodegradabilidad, Tasa específica de consumo de la DQO, Carga másica de la DQO biodegradable.

Key words: Respirometry, Respiration rate, Biomass yield coefficient, Biodegradable COD, Biodegradability, Specific COD removal rate, Loading rate of the biodegradable COD.

RESUMEN

Según la normativa vigente, los efluentes líquidos de origen industrial deben ser tratados en sus propias plantas depuradoras de forma eficiente. Sin embargo, en algunos casos los efluentes industriales siguen sin adaptarse y existen muchas plantas depuradoras de aguas residuales urbanas que sufren las consecuencias de los vertidos industriales a los que el sistema de depuración no está adaptado.

El impacto que los vertidos industriales pueden provocar en el proceso de depuración es muy variable y en bibliografía se pueden encontrar descripciones de los efectos más comunes que nos conducen a un análisis del posible cambio de condiciones del proceso de depuración y de la naturaleza de la biomasa en el fango activo.

En todo ello, cada vez con mayor asiduedad, se está incorporando la Respirometría como una importante herramienta de análisis que ya no solamente analiza las condiciones actuales del proceso sino que además puede analizar en profundidad el origen del posible deterioro en la actividad del fango y, con ello, tratar de aportar unas posibles soluciones paliativas a la situación actual.

SUMMARY

According to current regulations, the effluents of industrial origin must be treated efficiently in their own treatment plants. However, in some cases industrial effluents are still not adapted and there are many urban wastewater treatment plants that suffer the consequences of industrial discharges to which the treatment system is not adapted.

The impact that industrial discharges can have on the treatment process is highly variable and descriptions of the most common effects can be found in the literature, leading to an analysis of the possible change in the conditions of the treatment process and the nature of the biomass in the activated sludge.

In all of this, Respirometry is increasingly being incorporated as an important tool that not only analyses the current conditions of the process but can also analyse in depth the origin of the possible deterioration of the biomass activity and, with this, provide possible solutions to the current situation.

1. INTRODUCCIÓN

En este estudio se pone de relieve cómo se detectan las consecuencias de un vertido industrial en un tratamiento de aguas residuales por fangos activos a través del análisis del coeficiente de crecimiento (Y_H) y la tasa de eliminación de la DQO (q) cuando su impacto consigue reducir severamente los valores de estos parámetros a niveles que se sitúan muy por debajo del rango de normalidad.

La Y_H ($\text{mg O}_2/\text{DQO}$) representa la parte de la DQO biodegradable asimilable que interviene como nutriente en el crecimiento de la biomasa. Con ello, una bajada anormal de su valor, afecta directamente al crecimiento de la biomasa y puede traer como consecuencia más inmediata una biomasa debilitada que se traduce en una sensible reducción de su capacidad de degradación del sustrato orgánico.

Por otro lado, el desfase provocado por una tasa de eliminación de la DQO con un valor muy inferior a la carga másica actual de la DQO biodegradable de entrada, nos conduce a un proceso con una severa condición de desequilibrio que trae consigo la desfloculación del fango, la aparición de espumas y la presencia importante de microorganismos filamentosos típicos de esta situación.

Para el análisis y valoración de estos parámetros se ha utilizado un sistema de respirometría tipo BM-Advance de Surcis, S.L.

2. RESPIROMETRÍA BM

La tecnología de la Respirometría BM se basa en un sistema único basado en una respirometría tipo LFS + LSS modificado. Esta tecnología permite que, en la programación previa del ensayo, e incluso durante la ejecución del mismo, lo podamos adaptar a distintas condiciones de pH, Temperatura, Oxígeno y relación muestra / fango. También permite la posibilidad de introducción de determinados datos que pueden participar en los cálculos automáticos que se desarrollan a lo largo del mismo.

Por otro lado, los respirómetros BM opcionalmente, mediante un reactor especial, pueden desarrollar ensayos de respirometría con lechos bacterianos, para procesos tipo MBBR o de biomasa granular.

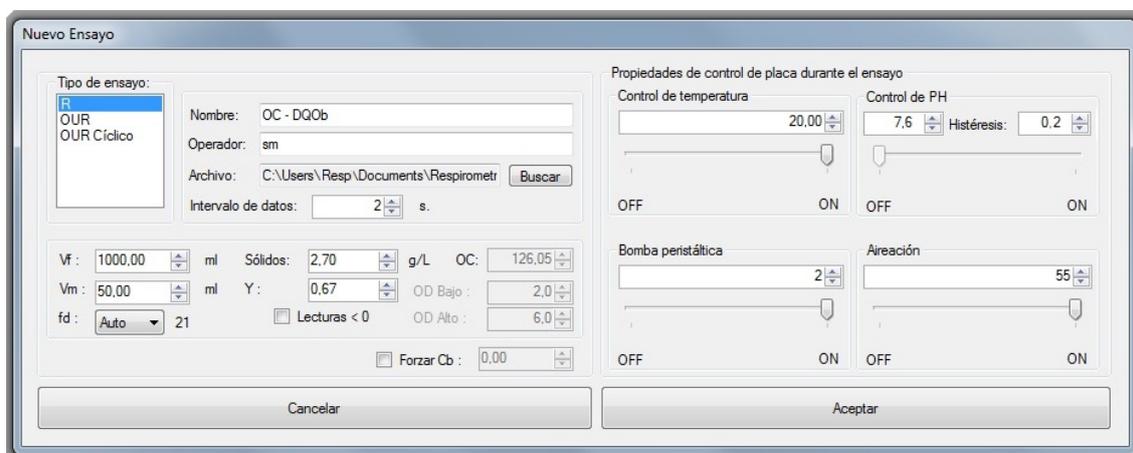
2.1. Características del respirómetro BM

Existen varios modelos de respirómetros BM y aquí vamos a describir brevemente el modelo BM-Advance el cual va dotado de sensor de oxígeno disuelto exento de mantenimiento y pH así como de un sistema automático de atemperación (frio-calor) construido en el propio analizador.

Todo el control del equipo se lleva a cabo desde el software cargado en el PC. Este software se puede actualizar y descargar directamente desde un determinado enlace de Internet.

Los ensayos se programan desde una página común de configuración (Figura 1). Esta programación comprende tanto los datos que se necesitan para los cálculos automáticos así como las condiciones de temperatura, pH, nivel de aireación,

Figura 1. Ventana de configuración de un ensayo en un respirómetro BM



En esta ventana se pueden seleccionar tres modos distintos de trabajo: OUR, OUR Cíclico y R. El modo OUR se basa en la respirometría tradicional (LSS) y consiste en la ejecución de un ensayo único de respirometría. Las medidas que se obtienen en el modo OUR son las que figuran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de medida del modo OUR y OUR Cíclico

OUR	Tasa de respiración (mg O ₂ /L.h)
SOUR	OUR específico a VSS (mg O ₂ /gVSS.h)
SOUR parcial	SOUR en un tramo del ensayo
T	Temperatura (°C)

Tabla 2. Parámetros de medida del modo R

Rs	Tasa de respiración exógena (mg O ₂ /L.h)
Rsp	Rs específica (mg O ₂ /gVSS.h)
OC	Oxígeno Consumido (mgO ₂ /L)
DQOb	DQO biodegradable o soluble (mg O ₂ /L)
U	Tasa de eliminación de la DQOb (mg DQOb/L.h)
q	Tasa específica de consumo de DQOb (mg DQO/mgSSV.d)
T	Temperatura (°C)
pH	pH

Cada una de estas medidas genera un respirograma que se puede visualizar de forma individual o conjuntamente con cualquiera de una o varias de las medias que se están realizando de forma simultánea. Otra importante faceta que ofrece el software BM es la opción de superponer varias respirogramas, incluyendo el de un posible ensayo en curso y su presentación alineada.

Todos los analizadores BM de respirometría tienen la opción de trabajar con biomasa adherida a portadores sólidos como pueden ser lechos bacterianos o biomasa granular mediante la instalación de un reactor especialmente diseñado provisto de una jaula para los portadores de biomasa fija (biomass-carriers)

2.1.2. Aplicaciones de la respirometría BM

Al tratarse de un sistema abierto, el número de aplicaciones derivadas de la Respirometría BM puede ser ilimitado.

Las aplicaciones más usuales son las siguientes: Requerimiento de oxígeno y optimización energética, Fracciones de la DQO, Tratabilidad, Biodegradabilidad, Toxicidad global, Toxicidad específica a la nitrificación, Parámetros estequiométricos y cinéticos, Capacidad de nitrificación, DQO requerida para la desnitrificación.

3. CASO DE ESTUDIO

Se desarrolla a continuación un caso de estudio real en una planta depuradora urbana de aguas residuales en donde el impacto de una serie de vertidos industriales recientes estaban produciendo un importante perjuicio al desarrollo normal del proceso de depuración biológica.

3.1. Datos relevantes del proceso de depuración

Tipo de proceso Mezcla completa, sin nitrificación.

DQO del agua residual de entrada a biológico: DQO = 365 mg/L

DBO del agua residual de entrada a biológico : DBO = 175 mg/L

Temperatura media: T = 21 °C

SSLM = 2.594 mg/L

SSVLM = 2,049 mg/L

Caudal medio de entrada a reactor biológico: Q = 115.992 m³/d

Volumen zona aerobia del reactor biológico: V = 32.514 m³

Tiempo de Retención Hidráulica: TRH = 6,72 h = 0,28 d

Carga Másica (DBO): F/M = 0,24 DBO/SS.d

IVF = 170 mg/L

Oxígeno disuelto medio en el biológico : OD = 2 mg/L

Espumas: blancas

Microorganismos filamentosos: *Haliscomenobacter hydrossis*

Descripción de la incidencia:

Actualmente el sistema se encuentra sometido a una serie de vertidos industriales de cierta consideración con importante afección al sistema biológico causando una importante defloculación.

3.2. Descripción de los principales parámetros utilizados en el estudio

Tasa de respiración dinámica exógena por eliminación de sustrato : Rs (mg O₂/L.h)

Es la tasa de consumo de oxígeno exclusivamente por oxidación de sustrato orgánico o amoniacal.

Oxígeno consumido en la eliminación de un determinado sustrato: OC (mg/L)

En un respirómetro BM se calcula de forma automática por integración de las tasa Rs durante un ensayo de respirometría dinámica R. Con ello se obtiene el oxígeno que ha sido necesario consumir para la eliminación de un determinado sustrato.

DQO biodegradable : DQOb (mg/L)

Es la parte de la DQO que puede ser eliminada biológicamente por la biomasa heterótrofa contenida en el fango activo. El cálculo de la DQO biodegradable depende del oxígeno (OC) y del coeficiente de crecimiento de la biomasa (Y_H) : $DQOb = OC / (1 - Y_H)$ (Figura 1.)

Tasa específica de eliminación de la DQOb: q (mg DQO/mg SSV.d)

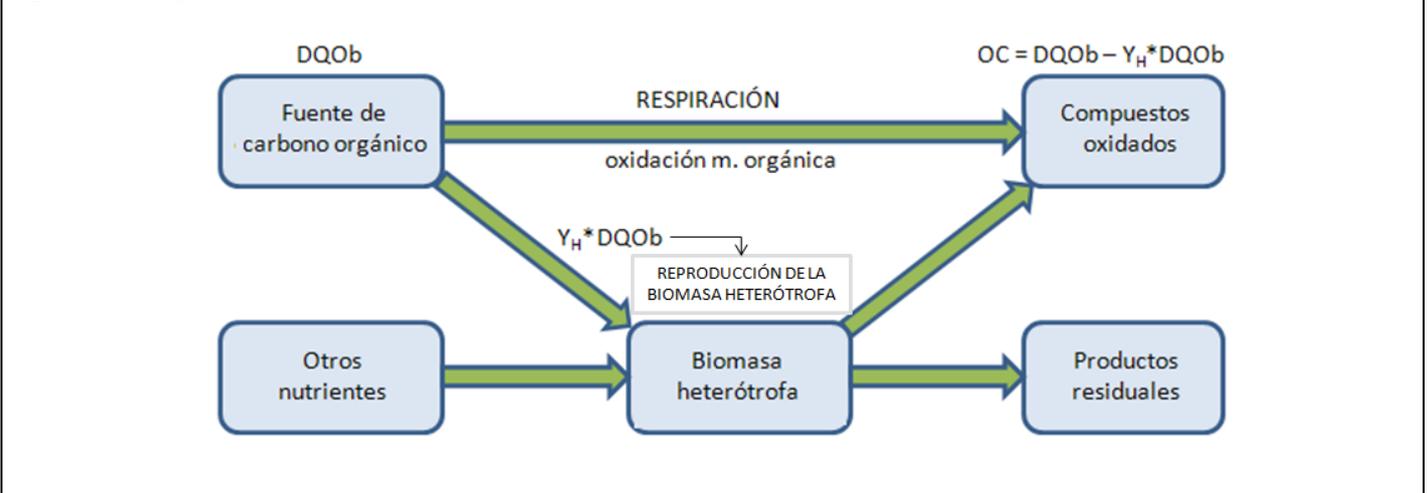
El parámetro q representa la velocidad específica de eliminación de la DQO biodegradable por unidad de SSVLM.

Para su valoración, este parámetro cinético puede relacionarse con la carga másica de la DQOb

Coefficiente estequiométrico de crecimiento de la biomasa heterótrofa: Y_H (mg O₂/DQO)

Representa la parte de la DQOb que pasa a alimentar a la biomasa heterótrofa (Figura 1), y se calcula por respirometría a partir de la determinación automática del oxígeno consumido (OC) utilizando como muestra un compuesto estándar fácilmente asimilable (acetato sódico) de DQO conocida (DQOac)

Figura 2. Diagrama de la función de la Y_H en la reproducción de la biomasa heterótrofa



Biodegradabilidad específica al fango actual: B (%)

Esta biodegradabilidad se mide por el porcentaje de DQOb en la DQO total del agua residual

Carga másica por DQOb: F/M (DQOb/SSV.d)

Se refiere a la carga másica calculada a partir de la carga DQOb que actualmente le está entrando al proceso y sólidos volátiles del licor-mixto.

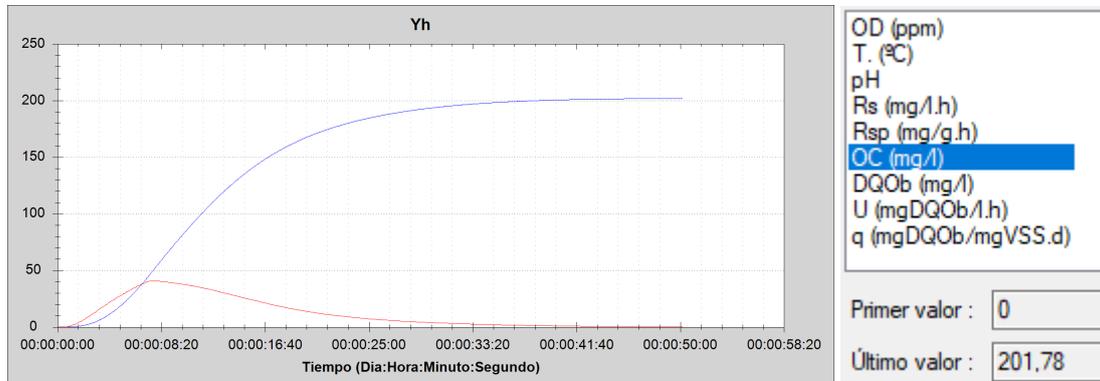
3.3. Análisis respirométrico

En este apartado se describen los ensayos de respirometría realizados, así como su valoración y relación con los datos actuales del proceso.

3.3.1. Determinación de coeficiente de crecimiento de la biomasa heterótrofa

La Y_H se determina mediante un ensayo de respirometría R (Figura 3), utilizando una solución estándar de acetato sódico de 300 mg/l de DQO (DQO_{ac}) y fango activo en fase endógena (libre de sustrato)

Figura 3. Respirograma de la tasa de respiración exógena R_s , oxígeno consumido OC y resultado



Oxígeno consumido: **OC** = 201 mg/L

$$Y_{H,DQO} = 1 - OC / DQO_{ac} = 1 - 201 / 300 \approx \mathbf{0,33} \text{ O}_2/\text{DQO}$$

Coefficiente de crecimiento de biomasa heterótrofa por demanda de oxígeno: $Y_{H,DQO} \approx \mathbf{0,33} \text{ O}_2/\text{DQO}$

$$Y_{H,SSV} = Y_{H,DQO} / 1,42 = 0,33 / 1,42 = \mathbf{0,23} \text{ gVSS/gDQO}$$

Coefficiente de crecimiento de biomasa heterótrofa por SSVLM: $Y_{H,vss} = \mathbf{0,23} \text{ (g VSS/g DQO)}$

Valoración de Y_H

Valoramos el valor de Y_H en base a una tabla de referencia (Tabla 2)

Tabla 2. Valores típicos de Y_H

Coefficiente	Unidades	Rango	Típico
$Y_{H,SS}$	g SSLM/g DQO	0,4 – 0,6	0,58
	g SSVLM/g DQO	0,3 – 0,5	0,47
	g SSLM/g DBO	0,8 – 1,2	1,16
	g SSVLM/g DBO	0,6 -1,0	0,94

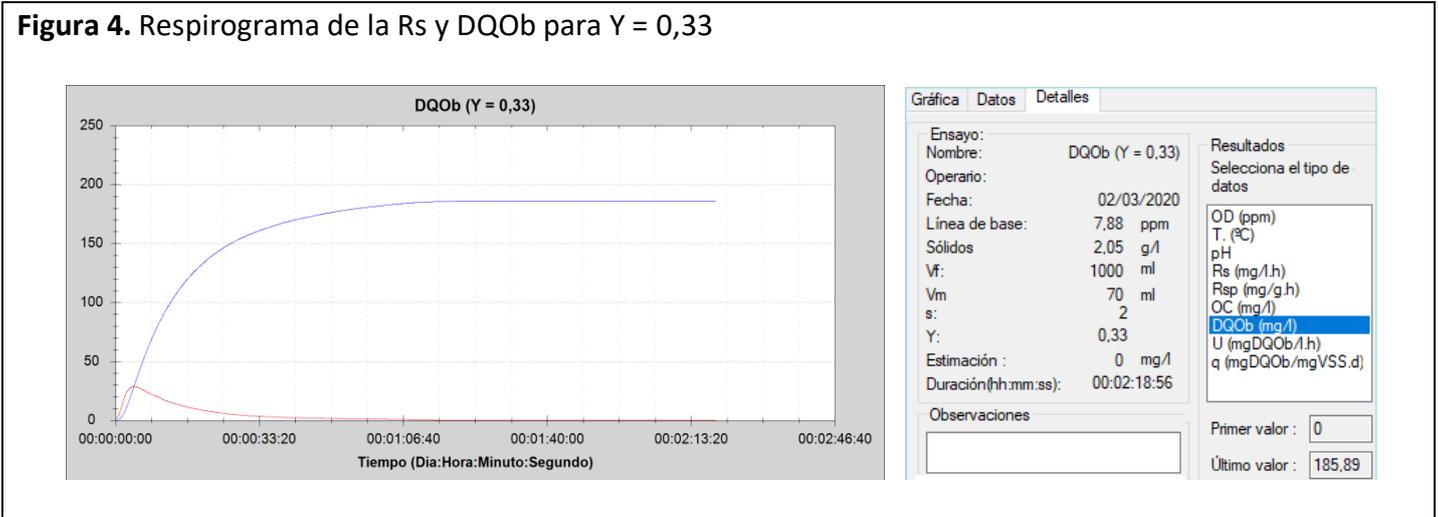
Fuente: Cicek, 2001 – Macober 2005

El valor de $Y_{H,SSV}$ de 0,23 (gVSS/gDQO) es sensiblemente inferior al valor típico de 0,47 de la tabla y que corresponde aproximadamente a un valor de 0,67 (gO₂/gDQO) que es la tendencia más habitual y el que se suele tomar como referencia. Por lo tanto, podemos confirmar que el valor de la Y_H está muy por debajo del rango de normalidad, lo que indica que actualmente la biomasa está teniendo un crecimiento bajo.

3.3.2. DQO biodegradable y biodegradabilidad al fango

El valor de la DQO biodegradable para $Y_{H,DQO}$ actual de 0,33 se obtiene de forma automática por medio del software del respirómetro BM, habiendo configurado previamente el ensayo con este valor (Figura 4)

Figura 4. Respirograma de la R_s y $DQOb$ para $Y = 0,33$



DQO biodegradable: **DQOb = 185 mg/L**

Biodegradabilidad al fango: **B = 100 * 185/365 = 50 %**

Valoración de la DQOb y Biodegradabilidad al fango

El valor de la biodegradabilidad al fango nos indica que, en el fraccionamiento de la DQO, el valor de la fracción $DQOb$ ocupa un 50% del total.

Teniendo en cuenta la tabla de referencia (Tabla 3.), podemos hacer la valoración de poco biodegradable.

Tabla 3. Tabla de referencia para la valoración de la biodegradabilidad

DQOb / DQO	Carácter
> 0,8	Muy biodegradable
0,7 – 0,8	Biodegradable
0,3 – 0,7	Poco biodegradable
< 0,3	No biodegradable

Existe una alta probabilidad de que esta baja biodegradabilidad sea consecuencia de la baja capacidad que la biomasa heterótrofa que, al estar altamente mermada por el impacto de los vertidos, no sea capaz de acometer a la bioedgradación de la DQO lentamente biodegradable contenida en el afluente al proceso y por esta razón no se manifiesta en el ensayo de respirometría. Con ello, el valor de la $DQOb$ se sitúa muy cercano al de la DQO rápidamente biodegradable ($DQOrb$)

3.3.3. Carga Másica de la DQO biodegradable

Con el resultado de la DQOb podemos calcular el valor de la carga másica de la DQO biodegradable.

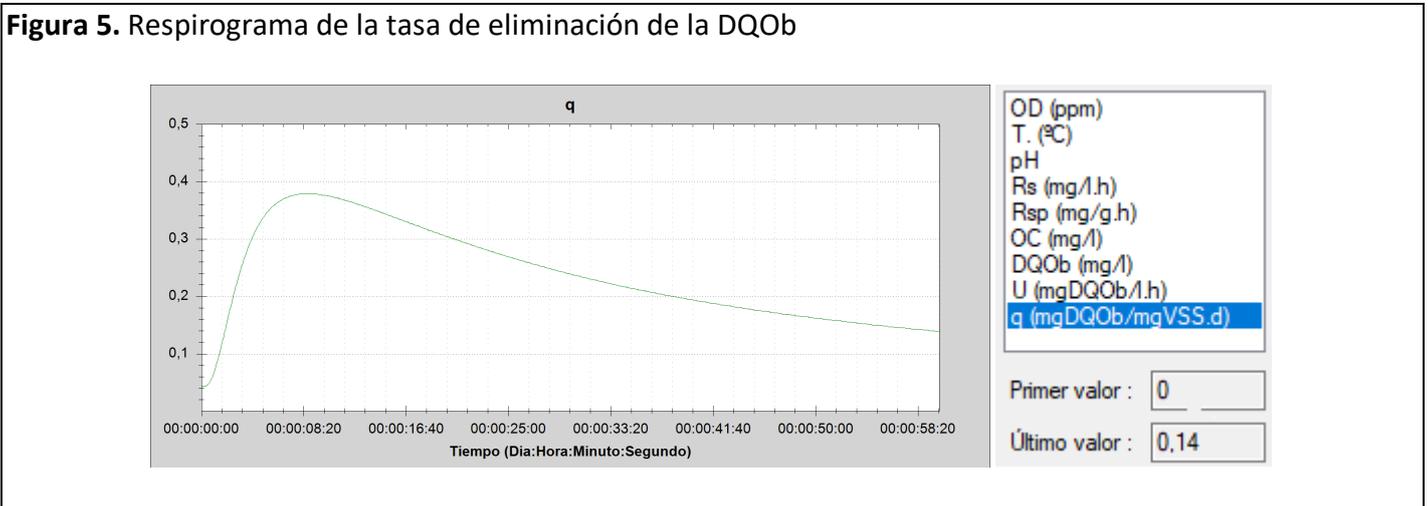
$$\text{Carga Másica de la DQOb: } F/M = Q * DQOb / (SSVLM * V) = 115992 * 185 / (2049 * 32514) = \mathbf{0,32} \text{ DQOb/SSV.d}$$

La carga másica de la DQOb nos va a servir como base de valoración de la tasa específica de consumo de la DQOb.

3.3.4. Tasa específica de consumo de la DQOb

Se trata de un parámetro cinético basado en la velocidad de eliminación de la DQO biodegradable por unidad de sólidos volátiles del fango activo.

Para su determinación, utilizamos el mismo ensayo de respirometría utilizado para la DQOb el cual, de forma simultánea, obtiene también el resultado de la tasa específica de consumo de la DQO biodegradable (Figura 5).



Tasa de eliminación actual de la DQOb : $q = \mathbf{0,14}$ mg DQOb/ mg SSV.d

Valoración de la tasa específica de consumo de la DQOb

La condición fundamental para que la biomasa se esté alimentando a una velocidad igual o superior a la carga que le está entrando es que la tasa específica de consumo de DQOb sea igual o superior al de la carga másica actual de la DQOb

Si comparamos el valor de la q con la F/M (DQOb), podemos comprobar que el valor de q de 0,14 es muy inferior al de la carga másica por DQOb de 0,32. Con ello, el desfase entre la q y la F/M(DQOb) produce un desequilibrio nutricional que da una explicación al bajo valor de la Y_H , y que se traduce en un deterioro del fango manifestado por un IVF alterado, una importante desfloculación, así como la presencia de bacterias filamentosas y espumas propias de esta situación.

4. CONCLUSIONES

Y_H muy por debajo del rango de normalidad

Los vertidos industriales están afectando al valor del coeficiente de crecimiento (Y_H) reduciendo su valor a niveles fuera del rango normal.

Muy baja biodegradabilidad al fango activo

El bajo valor de la DQO biodegradable conlleva una baja relación DQOb/DQO y con ello una baja biodegradabilidad referida al fango activo.

Desequilibrio entre el consumo de de DQO y generación de biomasa

La tasa específica de consumo de la DQO es muy inferior a la carga másica efectiva por DQOb, lo cual se traduce en una baja generación de biomasa, ya detectada por el valor de la Y_H.

La tasa específica de eliminación de la DQOb es directamente proporcional a la tasa de crecimiento de la biomasa heterótrofa (μ_H) por lo que ésta, así mismo, se ve proporcionalmente afectada .

Bulking

El desequilibrio entre la carga másica efectiva de la DQOb y la tasa de consumo de sustrato son los principales factores responsables de la aparición del bulking filamentoso & foaming que el proceso está actualmente sufriendo, con la presencia de la *Haliscomenobacter hydrossis* y espumas blancas..

4.1. Posible acción paleativa sobre la situación actual

Mientras los vertidos industriales se sigan produciendo, con los efectos generados, la única posible medida paleativa es la de reducir progresivamente la concentración de SSVLM con el fin de incrementar la relación DQOb/SSV y tratar de salvar en lo posible la generación de biomasa. Ello traerá consigo una bajada de la edad del fango. Por supuesto, el incremento de la relación DQOb/SSV debe ir acompañada de una oxigenación suficiente, manteniendo el reactor biológico con un oxígeno disuelto medio igual o superior a 2 ppm.

REFERENCIAS

[1] Michael Richard, Ph.D., The Sear-Brown Group, Fort Collins, CO Corporate Office: Rochester, NY
Practical Control Methods for Activated Sludge Bulking and Foaming

[2] Álvaro Huete Chávez, Universidad Juan Carlos I(Madrid), Ingeniería T. Industrial
Microrganismos formadores de espumas – 2005

[3] J. Drewnowski
The impact of slowly biodegradable organic compounds on the oxygen uptake rate in activated sludge systems – 2014

[4] J. B. Copp, Henri Spanjers,
Respirometry in Control of the Activated Sludge Process - 2002

[5] Ewa Lobos-Moysa, Faculty of Energy and Environmental Engineering, Silesian University of Technology
Effect of municipal wastewater containing oils on activated sludge under aerobic conditions – 2011

[6] Eikelboom, D. H
Filamentous organisms observed in activated sludge. Water Res. 9, 365-388. - 1975

[7] Jenkins, D., Richard, M. G. y Daigger, G. T.
Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming – 2004

[8] Tandoi, V., Jenkins, D. y Wanner, J.

Activated sludge separation problems. Theory, Control Measures, Practical Experience. - Specialist Group on Activated Sludge Population Dynamics. Scientific and Technical Report No. 16. IWA - 2006.

[9] Tandoi, V., Jenkins, D. y Wanner, J.

Activated sludge separation problems. IWA - 2006

[10] J.M. Choubert

Anoxic and aerobic values for the yield coefficient of the heterotrophic biomass - 2009

[11] J.C. Leyva-Díaz a

Kinetic study of the effect of bisphenol A on the rates of organic matter removal, decay and biomass generation in a membrane bioreactor - 2017

[12] Eunice Iloms

Investigating Industrial Effluent Impact on Municipal Wastewater Treatment Plant in Vaal, South Africa - 2020

SURCIS, S.L.