



# RESPIRÓMETRÍA BM

Para control, protección, modelización, investigación y desarrollo de los procesos de depuración biológica de aguas residuales

En general podemos decir que la respirometría permite valorar, controlar y optimizar un proceso de fangos activos.

La lenta dinámica del proceso de fangos activos es uno de los inconvenientes principales a la hora de tomar decisiones cuando surgen problemas. Sea cual sea la medida que se decida tomar, sus efectos sobre el proceso no se observarán de forma clara hasta pasados unos días. Este hecho hace que sea especialmente relevante, por un lado, detectar los problemas lo antes posible y, por otro lado, tomar las decisiones correctas desde el primer momento. Por esta razón, se necesita una herramienta que sea capaz de realizar todas estas funciones de forma sencilla, práctica y relativamente rápida, y todo ello se consigue con la Respirometría BM.

Como Respirometría BM se debe entender una tecnología exclusiva desarrollada por la empresa SURCIS; S.L. aplicada a una línea de analizadores de respirometría de laboratorio denominados respirómetros BM.

En la Respirometría BM se ha conseguido condensar las facetas de la respirometría tradicional y técnicas de la respirometría más avanzada, que permite la medida y cálculo automático de parámetros decisivos para procesos de depuración biológica de aguas residuales (urbanas e industriales)

Así mismo, los respirómetros BM se presentan como herramienta fundamental para la realización de estudios y actividades de I+D en distintos tipos de procesos.

# RESPIROMETRÍA BM

## 1. Introducción

Aunque existen señaladas diferencias entre los distintos modelos de respirómetros BM, el sistema de medida es prácticamente el mismo que se desarrolla bajo tres modos de trabajo distintos que permiten abordar un amplio abanico de aplicaciones relacionadas con los procesos de depuración.

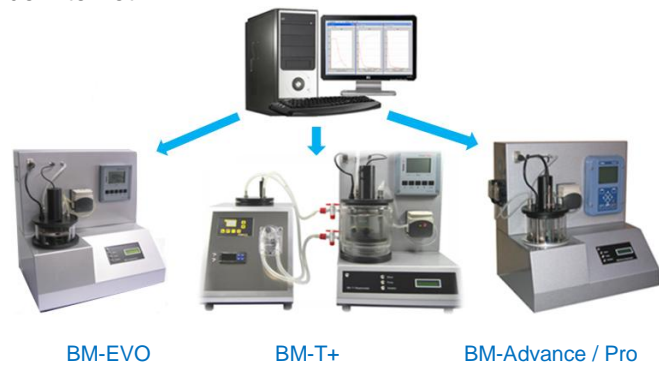
La Respirometría BM es un sistema único en el mercado con el que, en la programación previa del ensayo, durante la ejecución del mismo e incluso una vez finalizado, podemos encontrar un amplio programa de posibilidades para su adaptación a distintas condiciones de pH, Temperatura, Oxígeno, relación muestra / fango, así como de introducción de 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 (biomass-carriers) para procesos tipo MBBR o de biomasa granular.

## 2. Características

Actualmente, la línea de respirómetros BM se compone de cuatro modelos: BM-T+, BM-EVO, BM-Advance y BM-Advance-Pro. Todos ellos tienen un diseño exclusivo y van provistos de un sensor de oxígeno sin mantenimiento.

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

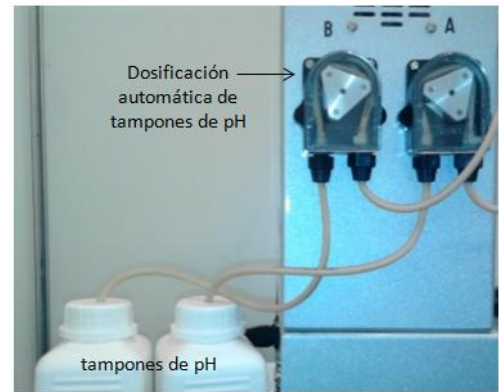


El BM-T+ va provisto de un sistema de atemperación externo y los EVO y Advance llevan incluido un sistema sólido (peltier & calefactor) en el propio analizador.



Reactor      Sistema sólido de atemperación

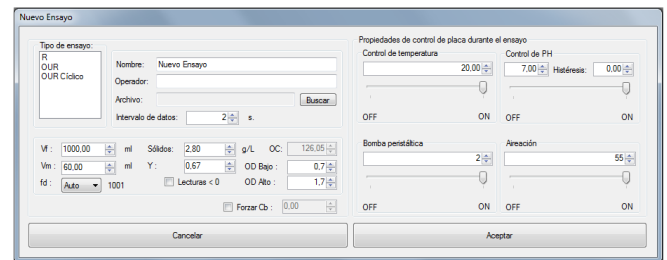
El BM-Advance incluye además un sistema de monitorización y control del pH



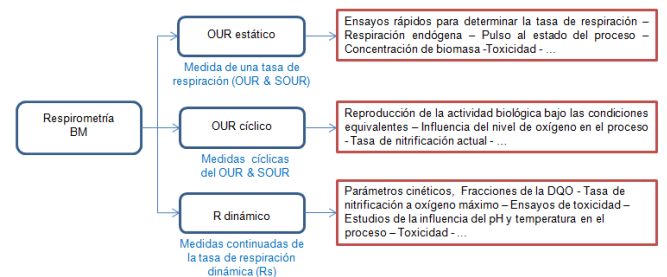
Sistema automático de control de pH

El BM-Advance Pro se trata simplemente de un BM-Advance optimizado con un sensor de potencial Redox.

Los ensayos se programan desde una página común. Esta programación comprende tanto los datos que se necesitan para los cálculos automáticos así como las condiciones de temperatura, pH, nivel de aireación, oxígeno y recirculación.



En esta página 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 siguientes:

<b>OUR</b>	Tasa de respiración (mg O <sub>2</sub> /L.h)
<b>SOUR</b>	OUR específico a VSS (mg O <sub>2</sub> /gVSS.h)
<b>SOUR parcial</b>	SOUR en un tramo del ensayo
<b>T</b>	Temperatura (°C)
<b>pH</b>	pH (en BM-Advance)
<b>ORP</b>	Potencial Redox (en BM-Advance Pro)

Cada una de estas medidas genera un respirograma que se visualiza de forma individual o conjunta.

El modo OUR Cíclico consiste en una secuencia progresiva de medidas OUR en donde los valores del oxígeno disuelto (OD) se mueven dentro del el rango preestablecido de los puntos de consigna (OD bajo y OD alto) De este modo, se obtiene una serie secuencial de medidas del modo OUR

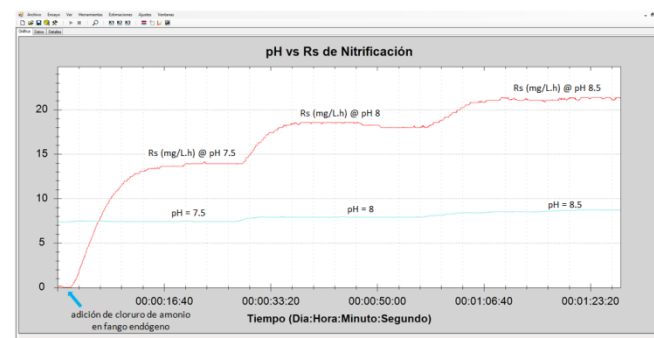
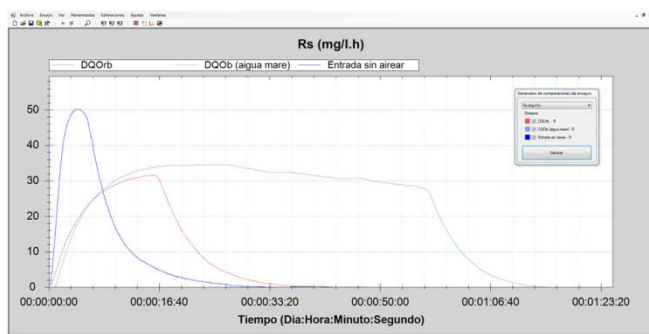
En el modo R, el sistema de medida puede considerarse como un único reactor batch con recirculación. Este modo se caracteriza por trabajar con pequeños volúmenes de muestra y, gracias a ello, minimizar la duración del ensayo para un importante paquete de medidas simultáneas:

<b>Rs</b>	Tasa de respiración exógena (mg O <sub>2</sub> /L.h)
<b>Rsp</b>	Rs específica (mg O <sub>2</sub> /gVSS.h)
<b>OC</b>	Oxígeno Consumido (mg O <sub>2</sub> /L)
<b>DQOb</b>	DQO biodegradable total o soluble (mg O <sub>2</sub> /L)
<b>U</b>	Tasa de remoción de la DQOb (mg COD/L.h)
<b>q</b>	U específica (mg COD/mgVSS.d)
<b>T</b>	Temperatura (°C)
<b>pH</b>	pH (en BM-Advance)
<b>ORP</b>	Potencial Redox (en BM-Advance Pro)

Cada una de estas medidas genera un respirograma que se visualiza de forma individual o conjunta.

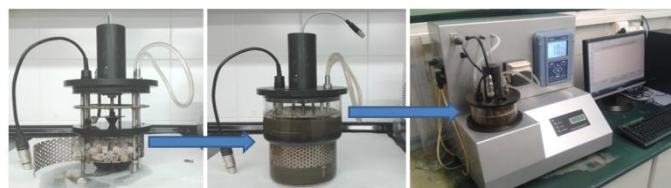
Durante el ensayo y a su finalización se pueden consultar los resultados detallados del último valor, máximo y promedio; así como de forma tabular (para su exportación opcional a Excel) y también simplemente cliqueando con el ratón del PC sobre cualquier punto del respirograma gráfico que se genera en el ensayo.

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 de forma alineada.



Respirograma de análisis del efecto del cambio del pH en la tasa de respiración por nitrificación

Los analizadores BM tienen la opción de trabajar para procesos tipo MBBR mediante la instalación de un reactor especialmente diseñado provisto de una jaula para los portadores de biomasa fija (biomass-carriers)



Pasos para la carga de portadores en el reactor biomass-carrier

### 3. Ventajas

Los respirómetros BM tienen ciertas ventajas que los permiten situar a la vanguardia de la Respirometría:

1. Mantenimiento mínimo.
2. Posibilidad de ensayos de corta duración, lo que le permite su utilización para varios procesos de depuración.
3. Resultados simultáneos de todos los parámetros en cualquier momento.
4. Control de dispositivos desde software.
5. Programación de las condiciones y datos del ensayo y posibilidad de su modificación durante y después del ensayo con el consiguiente recálculo de resultados.
6. Actualización automática del software desde un enlace de Internet.
7. Opción para utilizar un reactor especial para procesos MBBR
8. Atendidos directamente por el propio fabricante y especialistas en respirometría.
9. Importante abanico de aplicaciones

### 4. Aplicaciones

**Requerimiento de Oxígeno y Optimización energética:** Mediante dos simples ensayos es posible calcular el nivel óptimo y mínimo del oxígeno disuelto con que el proceso puede operar sin detrimento de su eficiencia.

#### Fraccionamiento de la DQO

La determinación de las fracciones representativas de la DQO es una de las aplicaciones fundamentales para la caracterización de la biodegradabilidad del agua residual frente al fango activo específico.

El potente software BM no solamente permite la programación del ensayo, sino que además concede la opción de variar las condiciones a lo largo del mismo y la relación muestra / fango para analizar su influencia en el proceso y obtener los parámetros correspondientes.



## Parámetros estequiométricos y biocinéticos

Desde los ensayos de respirometría y algunas constantes, se determinan los parámetros estequiométricos y cinéticos. Estos parámetros se utilizan para modelización de forma directa o a través de programas de simulación del mercado.

## Toxicidad referida al fango activo

Gracias a los diferentes modos de trabajo de los respirómetros BM, la detección y valoración de inhibición y toxicidad se puede realizar de distintos modos, no solamente detectándose en las muestra a analizar sino además en un proceso que ya está bajo los efectos tóxicos.

## Optimización de los parámetros operativos

Desde algunos parámetros cinéticos con valor óptimo y mínimo de oxígeno se da paso al cálculo de la carga másica y edad del fango mínima para el proceso. Esta aplicación tiene especial importancia en la Nitrificación.

## Capacidad de Nitrificación

Desde la tasa de respiración por nitrificación, se calcula la tasa de nitrificación y desde aquí, con algunos datos aportados, se pasa calcular cuál es la carga de amonio que el proceso es capaz de asimilar a distintos valores de oxígeno, pH y temperatura.

## Desnitrificación

Valoración de la cantidad de nitrato que el proceso es capaz de desnitrificar a partir de la fracción fácilmente biodegradable de la DQO (DQOrb) en el influente a zona de desnitrificación.

En el modelo BM-Advance Pro, junto con el pH, se puede además analizar la trayectoria del ORP durante la desnitrificación.

## Un número ilimitado de aplicaciones

Los respirómetros BM son sistemas abiertos y flexibles. Ello permite que el propio usuario, haciendo uso del importante abanico de posibilidades del equipo, pueda estar en condiciones de diseñar un número ilimitado de aplicaciones.

## 5. Un caso de éxito: Estudio de la Tratabilidad de un polímero (PQ) en le Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (TAR) de Repsol Puertollano

En la adquisición de un respirómetro BM por el complejo petroquímico Repsol Puertollano, y como parte del entrenamiento, se solicitó el estudio de la tratabilidad de una de las corrientes (Polímero PQ) que se iban a incorporar al influente del proceso.

### Datos aportados:

DQO polímero PQ: DQO = 1190 mg/L  
Reactor biológico = 4 canales de 3000 m<sup>3</sup> cada uno, conectados en paralelo (\*)  
Caudal medio de entrada a biológico: Qi = 1000 m<sup>3</sup>/h  
Caudal medio de recirculación: Qr = 750 m<sup>3</sup>/h  
MLVSS = 3000 mg/L  
TRH medio = 7 horas

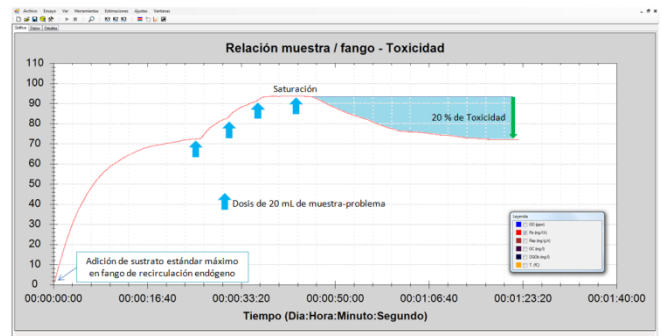
(\*) Actualmente el reactor trabaja con 8 canales



Uno de los canales del reactor biológico

El estudio se inició con un ensayo de respirometría tipo R para conocer el máximo caudal que se podría admitir sin llegar al nivel de toxicidad y la carga DQO máxima admisible de esta corriente.

En este ensayo se utilizó una concentración máxima de compuesto estándar (acetato sódico) al que se le fueron añadiendo dosis progresivas de muestra-problema (polímero PQ) sobre el fango de recirculación endógeno hasta llegar a un nivel en que empezó a manifestarse el efecto tóxico.



Teniendo en cuenta que la relación de caudales es equivalente a la relación de volúmenes utilizados ( $\text{Caudal}_{\text{muestra}} / \text{Caudal}_{\text{fango.rec}} = V_{\text{muestra}} / V_{\text{fango.rec}}$ ), los resultados del caudal máximo de la muestra problema ( $Q_{\text{PQ}_{\text{max}}}$ ) se calculan del siguiente modo:

$$V_{\text{muestra tóxico}} = 4 \text{ dosis} * 20 \text{ mL} = 80 \text{ mL}$$

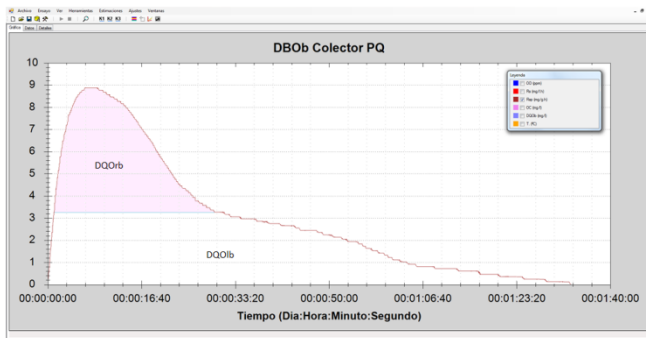
El volumen de fango de recirculación ( $V_{\text{fango.rec}}$ ) en el vaso reactor del respirómetro es de 1000 mL

$$V_{\text{muestra tóxico}} / V_{\text{fango.rec}} = 80 / 1000 = 0,08 \rightarrow 8\%$$

Por lo tanto el caudal máximo permitido del polímero PQ sería el siguiente:

$$Q_{\text{PQ}_{\text{max}}} = 8\% * Q_r = 0,08 * 750 = 60 \text{ m}^3/\text{h}$$

A continuación, con un nuevo ensayo R de respirometría se pasa a determinar la biodegradabilidad del polímero PQ de forma específica al fango del reactor biológico y también la velocidad de degradación de la DQOb en el proceso de depuración.



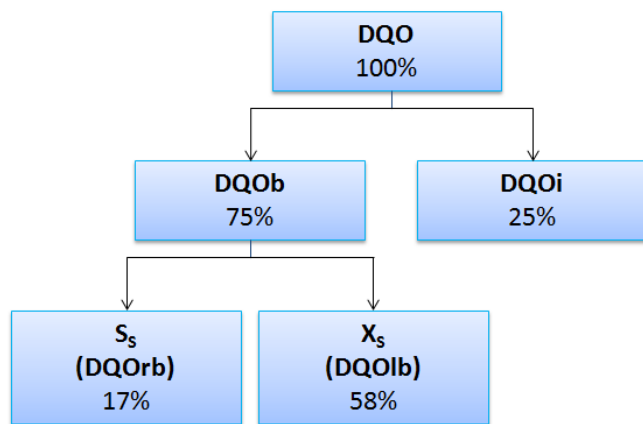
<b>Ensayo:</b> Nombre: DBOb Colector PQ Operario: Fecha: 29/06/2011 Línea de base: 6.58 ppm Sólidos: 3 g/l Vf: 1000 ml Vm: 50 ml s: 1 Y: 0,67 Estimación: 0 mg/l Duración(hh:mm:ss): 00:0 :23:18	<b>Resultados</b> Seleccione el tipo de datos de la siguiente lista para ver todos sus resultados : OD (ppm) 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)	<b>Resultados</b> Seleccione 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)
<b>Observaciones</b> 1000 ml fango recirculación aireado 50 ml muestra efluente Colector Petroquímica (1.190 mg/l de DQO)	Primer valor: 0 Último valor: 30,13 Mínimo: 0 Máximo: 70,11 Promedio: 62,16	Primer valor: 0 Último valor: 887,96 Mínimo: 0 Máximo: 887,96 Promedio: 625,13

Con estos resultados, pasamos a calcular las fracciones de la DQO y tiempo de degradación.

DQO biodegradable (DQOb) = 888 mg/L = 75 % DQO  
 DQOb soluble (DQOrb) = 17% DQO

Con la DQO total, pasamos a completar el perfil de las fracciones de la DQO:

DQO lentamente.biodegradable (DQOlb) = 58% DQO  
 DQO inerte-refractaria (DQOi) = 25% DQO



Desde el valor de la U (mg DQOb/l.h) obtenemos el tiempo (T<sub>PQ</sub>) que se necesita para la degradación de la muestra problema:

$$T_{PQ} = DQOb / U \text{ media} = 888 / 30 = 29,6 \text{ horas}$$

Teniendo en cuenta que el TRH del proceso es de 7 horas y el T<sub>PQ</sub> requerido para la biodegradación total es de 29,6 horas, bajo las condiciones de no-toxicidad, el porcentaje de DQO<sub>PQ</sub> que se puede eliminar en este tiempo sería el siguiente:

$$E_{PQ} = 100 * 7 / 29,6 \approx 24 \%$$

## Resumen de los resultados más representativos

Parámetro	Descripción	Resultado
Q <sub>PQ_max</sub>	Caudal máximo a tratar sin llegar a ser tóxico	8% * Q <sub>r</sub> = 60 m <sup>3</sup> /h
Biodegradabilidad	100 * DQOb / DQO	75 %
T <sub>PQ</sub>	Tiempo necesario para la degradación completa bajo condiciones de no-toxicidad	29,6 horas
E <sub>PQ</sub>	Porcentaje de DQO <sub>PQ</sub> a degradar con el TRH actual	24%

## Conclusiones

1. El efecto tóxico del polímero PQ se manifiesta en el fango activo para un caudal igual o superior al 8% del caudal del fango de recirculación.
2. Cuando el caudal queda por debajo del 8% del caudal del fango de recirculación, la biodegradabilidad del polímero PQ referida al fango del proceso es del 75 %
3. Conservando la concentración actual de MLVSS y en condiciones optimas de OD, el tiempo hidráulico necesario para la degradación completa del polímero PQ es de 29,6 horas.
4. Puesto que el proceso en el estudio solamente dispone de 7 horas de TRH medio, teóricamente solo se podría tratar el 24% del polímero PQ.
5. En la actualidad, el número de canales en el reactor biológico es de 8 y el TRH medio podría estar alrededor de las 14 horas. Por lo tanto, en estas condiciones solo se podría tratar el 50 % del polímero.

Emilio Serrano  
 SURCIS, S.L.