



Ciclo de 20

MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO

AGUASRESIDUALES.INFO



MasterClass 16

“Respirometría de Laboratorio”

Emilio Serrano

Socio cofundador de SURCIS.
Ingeniero T. Industrial.



19
Mayo

Ciclo de 20
MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO

Concepto general de la Respirometría

Es una tecnología basada en la **velocidad de consumo de oxígeno** de los microorganismos y que es capaz de **controlar, optimizar, diseñar y proteger** el proceso de depuración biológica de las aguas residuales.



¿ Por qué Respirometría ?

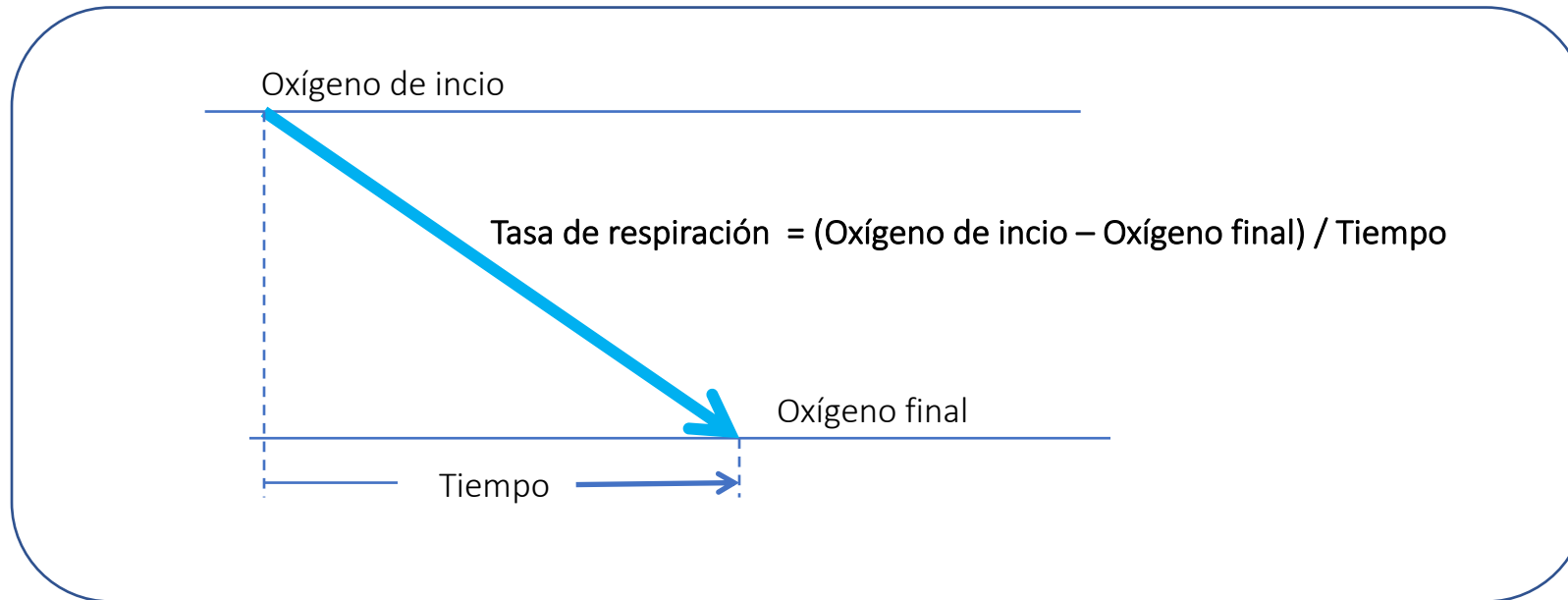
La Respirometría nace de la necesidad de obtener información sobre el fango activo como lo que realmente es: un proceso vivo con respiración propia

Necesitamos parámetros derivados de la propia biomasa y del efecto que el agua residual o cualquier otro sustrato provoque en la misma, y esto solo se consigue con la Respirometría

Junto con la bioindicación microscópica, la Respirometría es la ventana abierta al estado de los microorganismos del fango activo

¿En que se basa la Respirimetría?

La Respirimetría es una técnica que **mide la velocidad del consumo de oxígeno (“respiración”)** de Los microorganismos contenidos en un fango (lodo) activo. A esta velocidad la denominamos **Tasa de respiración (mg O₂/L.h)**

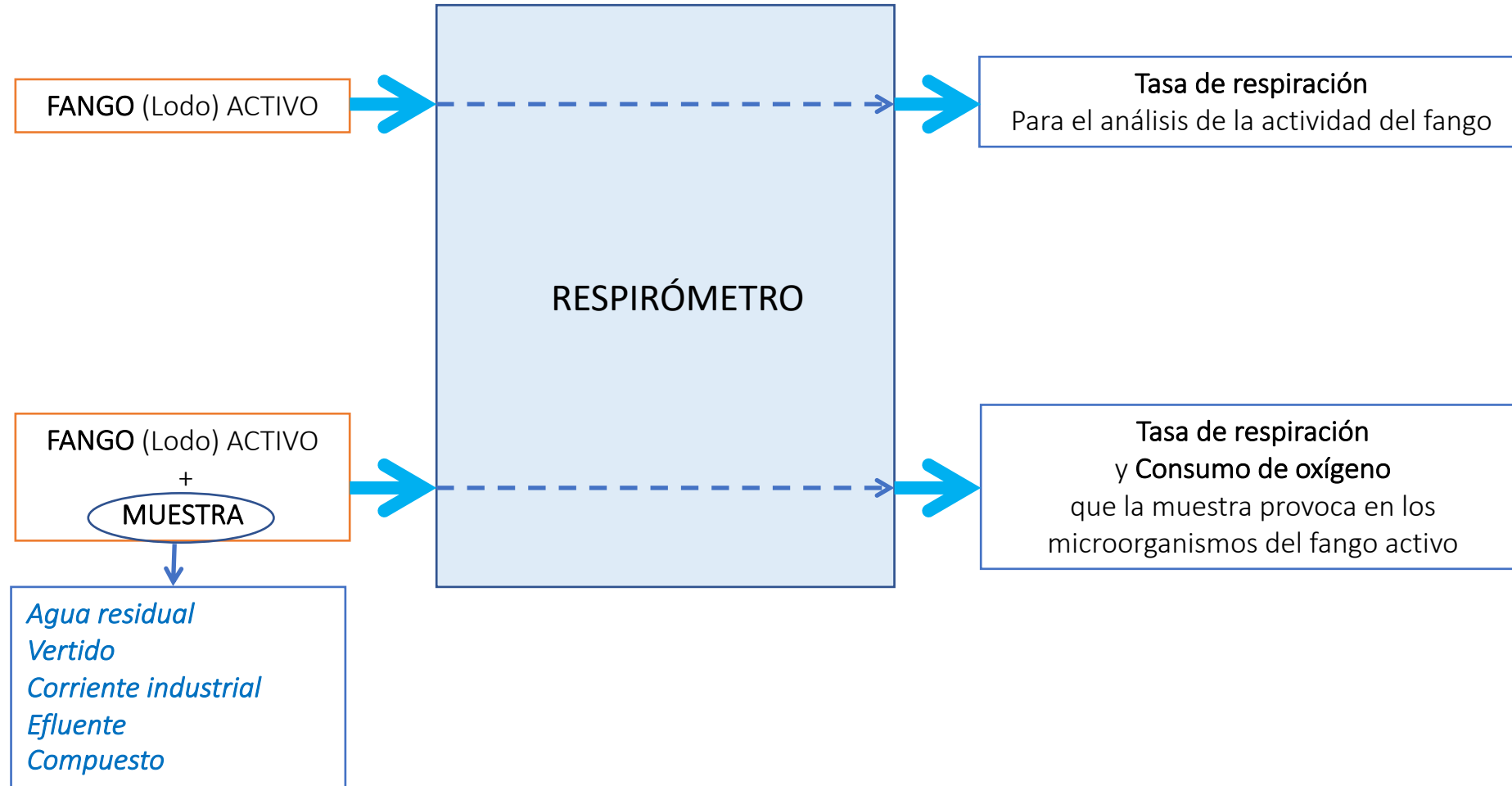


Hay dos respiraciones fundamentales:

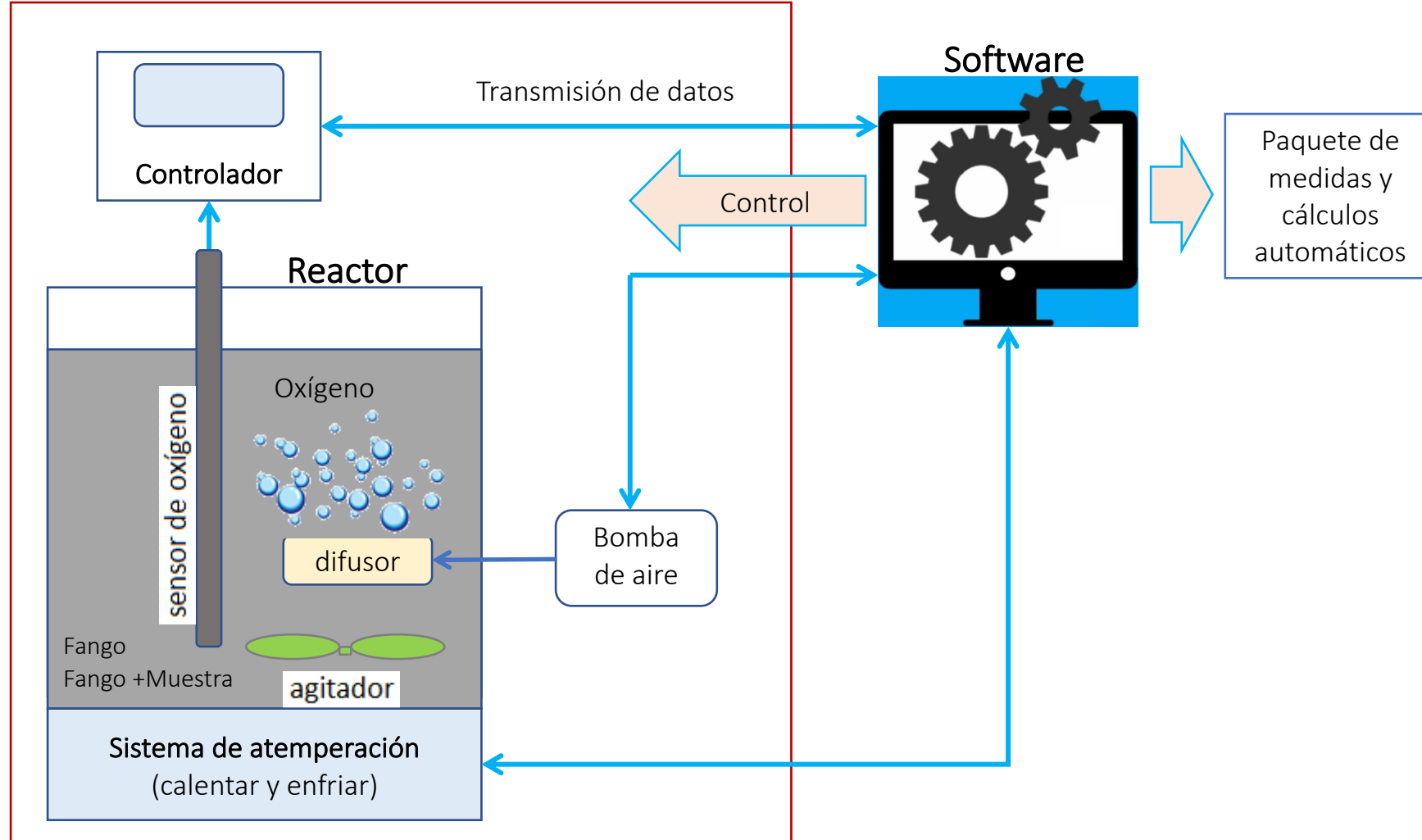
Respiración endógena: Consumo de oxígeno de las bacterias contenidas en el fango activo en ausencia de sustrato.

Respiración exógena: Consumo de oxígeno para la asimilación del sustrato por las bacterias del fango activo.

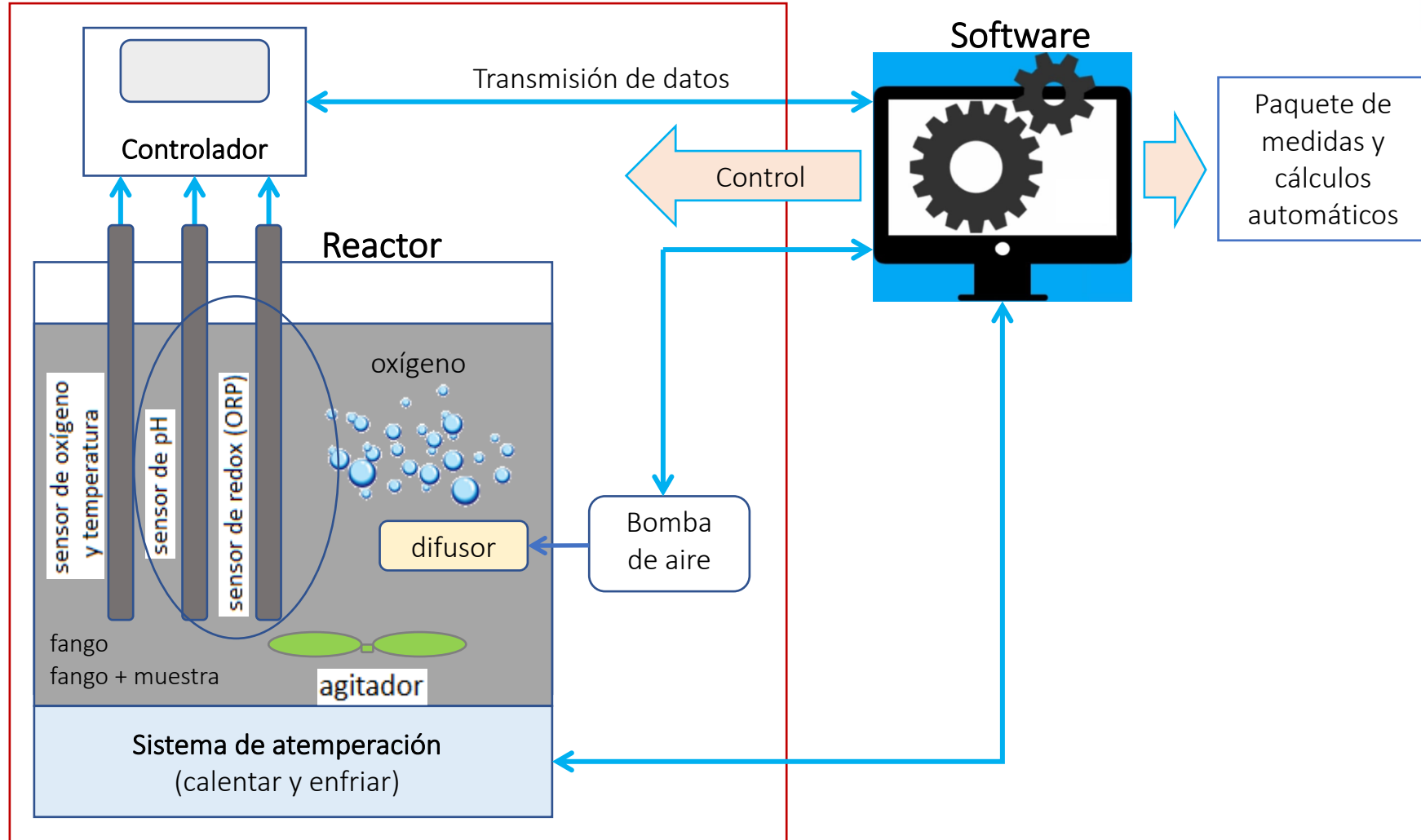
¿Qué se necesita para la Respirometría?



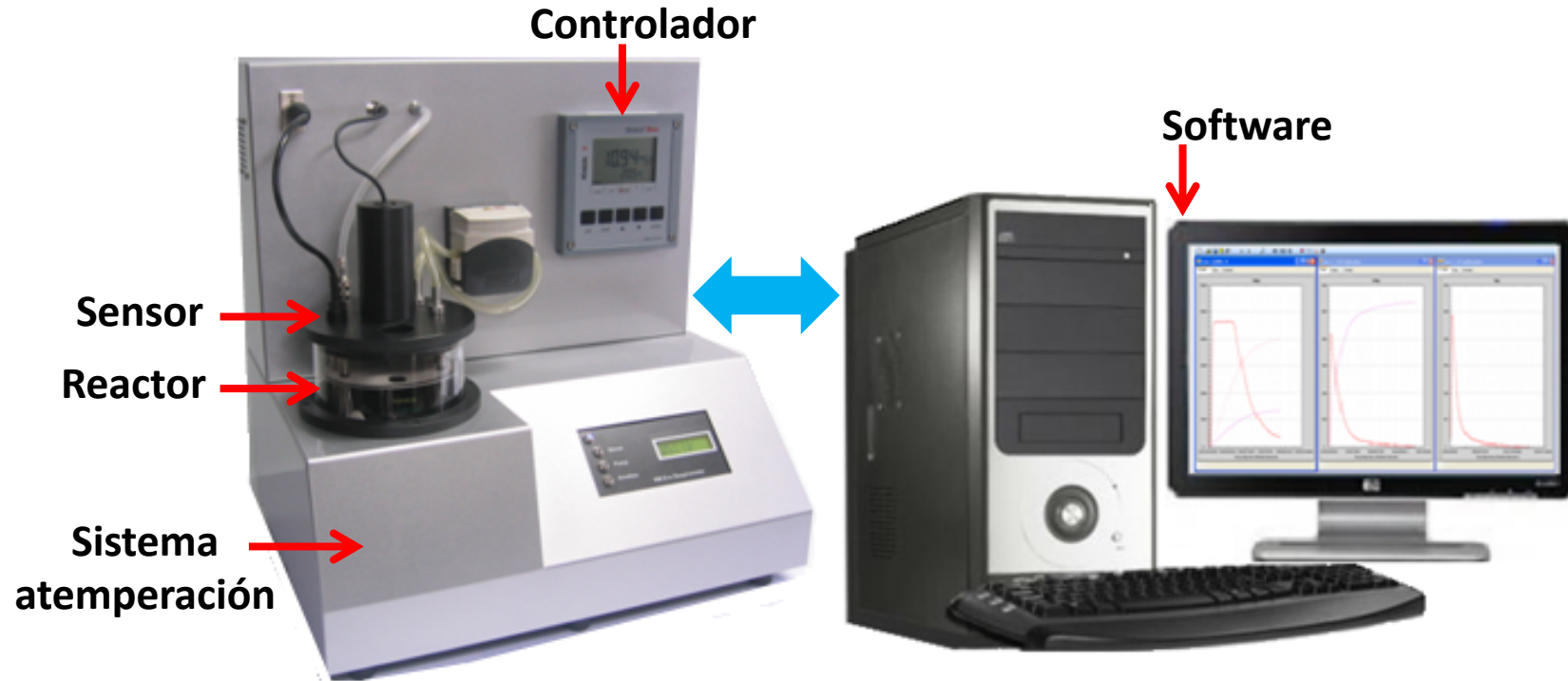
Componentes básicos de un respirómetro



Versión avanzada de componentes de un respirómetro

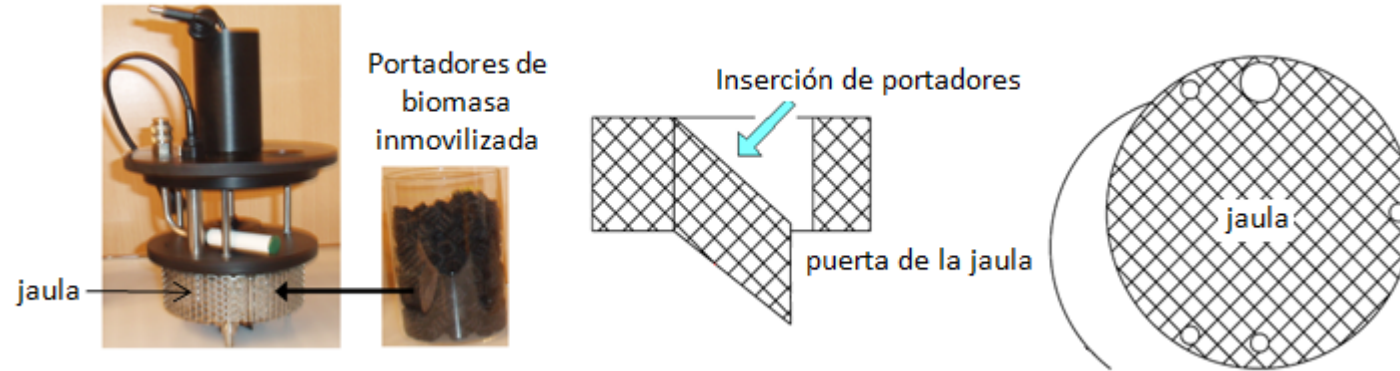


Respirómetro de laboratorio tipo BM-EVO de Surcis

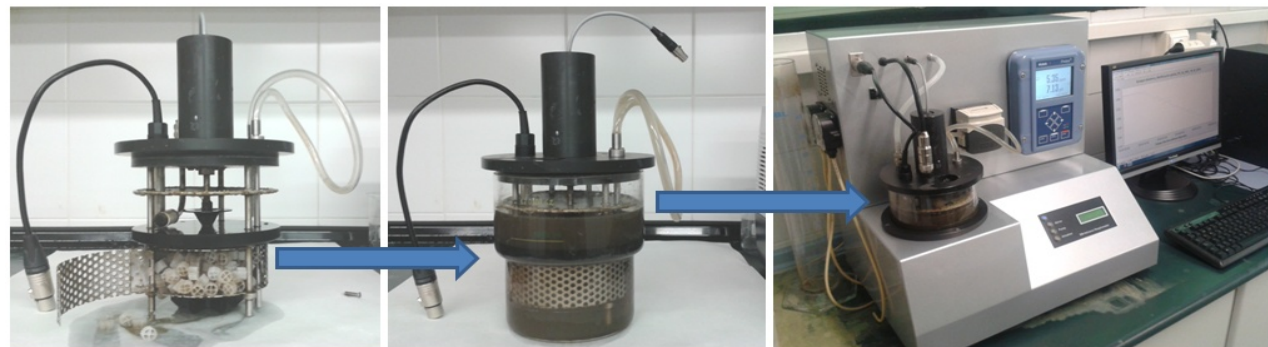


Reactor de respirometría BM para MBBR y biomasa granular

Los sistemas avanzados de respirometría pueden estar dotados de un reactor especialmente diseñado para contener estos portadores (biomass-carriers) en donde se pueden desarrollar las mismas aplicaciones que con un reactor normal.



El modo de trabajo consistiría en cargar los portadores en la jaula del reactor, cerrar la jaula e instalar el reactor en el sistema de respirometría.



Detalle de un reactor para MBBR en un espirómetro BM (Surcis)

Principios básicos de las medidas de respirometría

La actividad biológica que se desarrolla en el fango es proporcional a su tasa de respiración.

La integración de las tasas de respiración en el tiempo nos proporcionan el oxígeno que se ha consumido OC (mg O₂/L)

La contaminación (DBO, DQO, Amonio) es proporcional al oxígeno consumido OC.

La velocidad de consumo de oxígeno es proporcional a la velocidad de la eliminación biológica del sustrato (DBO, DQO, Amonio)

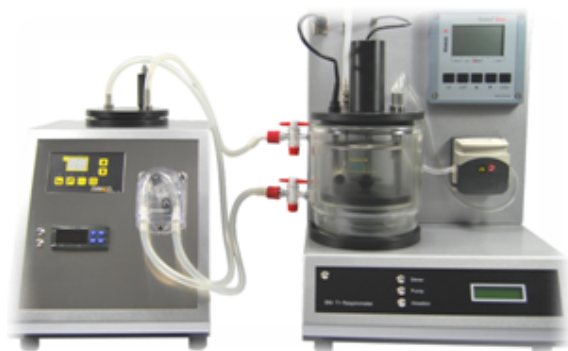
El aumento progresivo de la tasa de respiración es indicativo de un aumento de la actividad del fango activo, y viceversa.

La caída de la tasa de respiración respecto a una referencia o ausencia de tasa de respiración es indicativo de una inhibición o toxicidad.

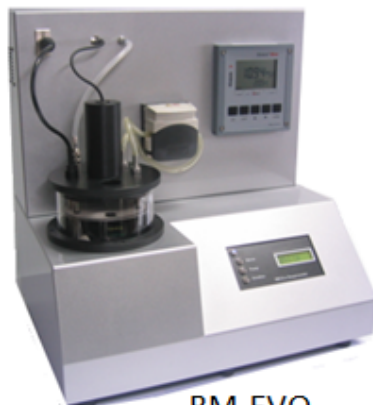
Respirómetros BM de Surcis



Software BM común



BM-T+



BM-EVO



BM-Advance



BM-EVO2



BM-Advance2



Medidas automáticas en la Respirometría BM

Modelo BM	Medidas automáticas	Descripción	Programación
T+ EVO, EVO2 Advance, Advance2 Advance Pro	OD (mg O₂/L)	Oxígeno disuelto	En modo cíclico se puede programar
EVO, EVO2 Advance, Advance2, Advance Pro	Temperatura (°C)	Temperatura	Programable
Advance, Advance2, Advance Pro	pH	pH	Programable
Advance Pro	ORP (mV)	Potencial Redox en curso	-

Parámetros automáticos de la Respirometría BM

Parámetro	Descripción
OUR (mg O ₂ /L.h)	Tasa (*) de respiración – Tasa de consumo de oxígeno
SOUR (mg O ₂ /g SSV.h)	Tasa de respiración específica = OUR / SSVLM
Rs (mg O ₂ /L.h)	Tasa de respiración <i>exógena</i> debida al efecto del sustrato (muestra) en el fango activo
OC (mg O ₂ /L)	Oxígeno consumido en la oxidación biológica de un determinado sustrato
DQOb (mg O ₂ /L) DQOrb (mg O ₂ /L)	DQO biodegradable DQO rápidamente biodegradable (soluble)
U (mg DQO/L.h)	Tasa de eliminación de la DQO
q (mg DQO/mg SSV.d)	Tasa específica de eliminación de la DQO = U / SSV

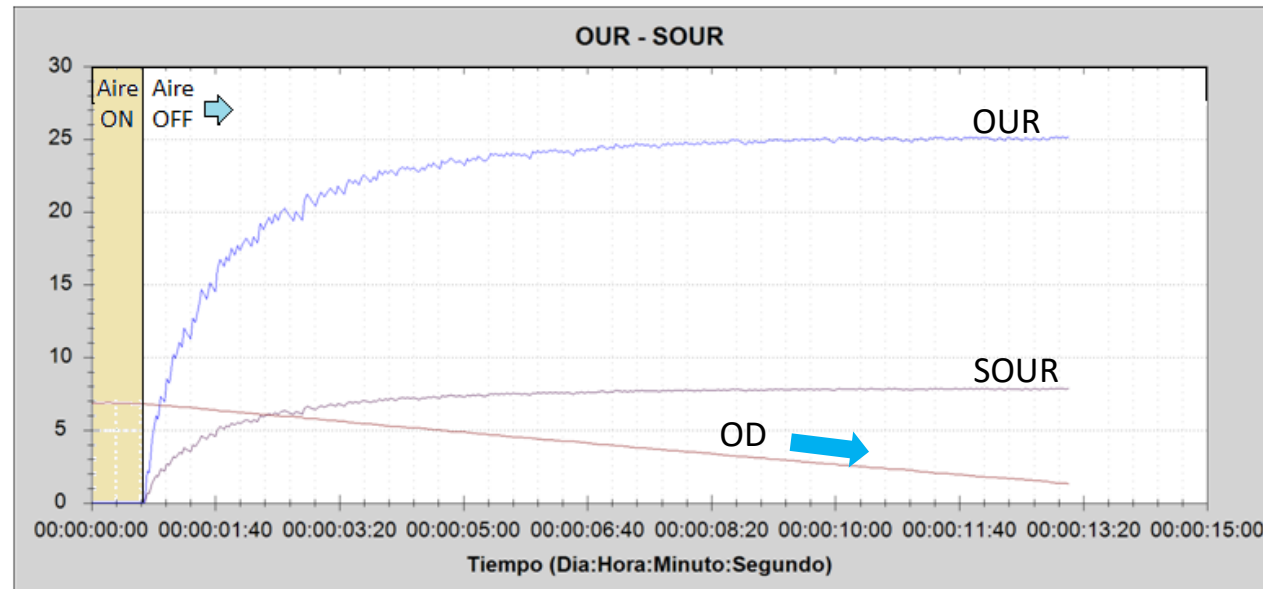
(*) **Tasa = Velocidad**

Modos de trabajo de la Respirometría BM de Surcis

Modo	Ensayo
OUR	Ensayo tipo OUR & SOUR
OUR Cíclico	Serie de ensayos encadenados del tipo OUR & SOUR
R	Ensayo que mide una serie encadenada de medidas Rs (tasa de respiración por sustrato en el fango) y cálculo automático de parámetros derivados

Modo OUR

Desde el licor mezcla del reactor biológico se determinan los parámetros OUR & SOUR para un determinado tiempo de ensayo – normalmente el resultado es válido cuando haya alcanzado su valor máximo.

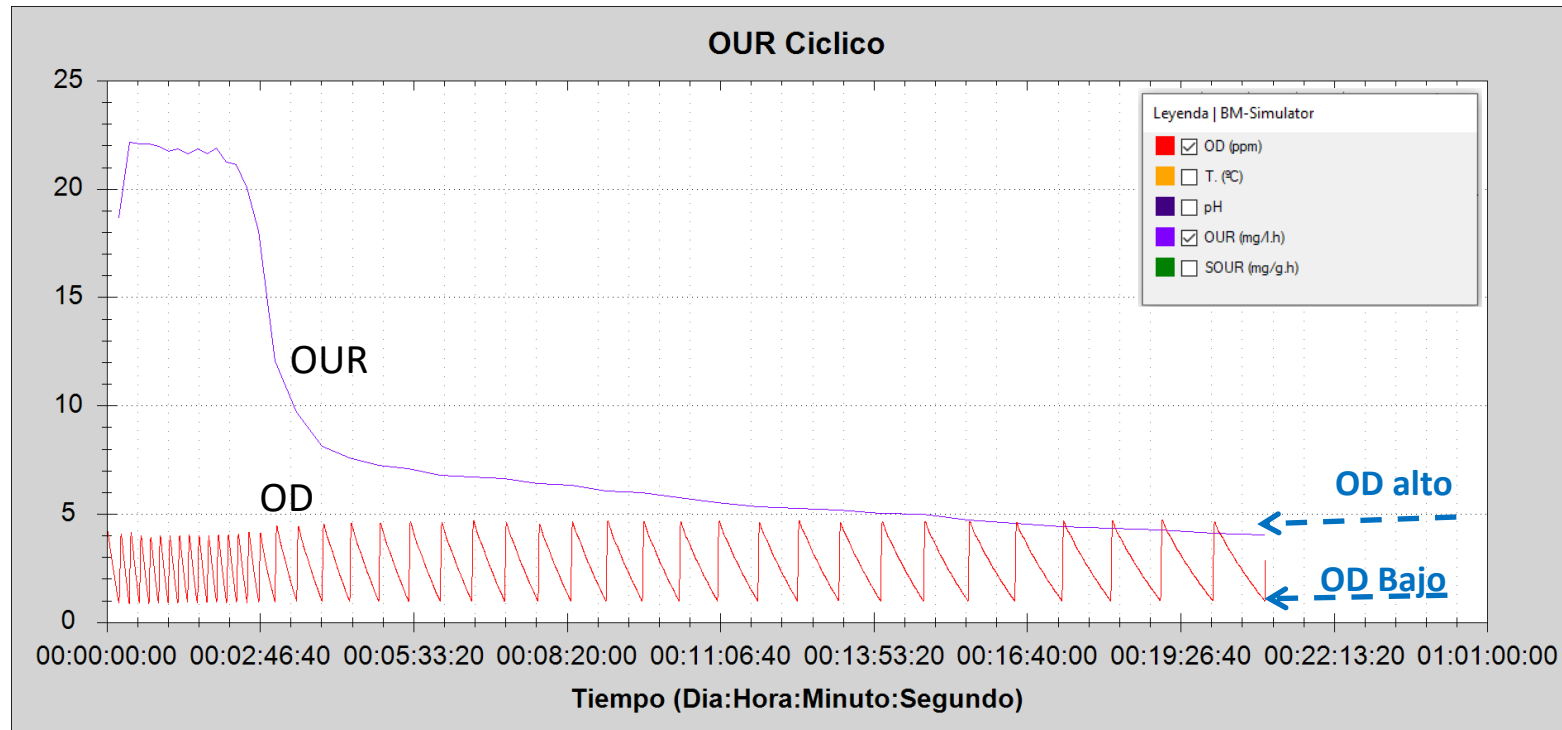


Respirogramas OUR, SOUR y OD

Tasa de respiración (mg /l.h)	OUR
OUR específico (mg /g VSS.h)	SOUR = OUR / VSS

Modo OUR cíclico

En este modo, el analizador lleva a cabo un ensayo en donde el oxígeno queda enmarcado dentro de la ventana de trabajo establecida por dos puntos de consigna (**OD alto** y **OD bajo**), determinando de forma automática y secuencial una serie continuada de medidas **OUR** & **SOUR**.

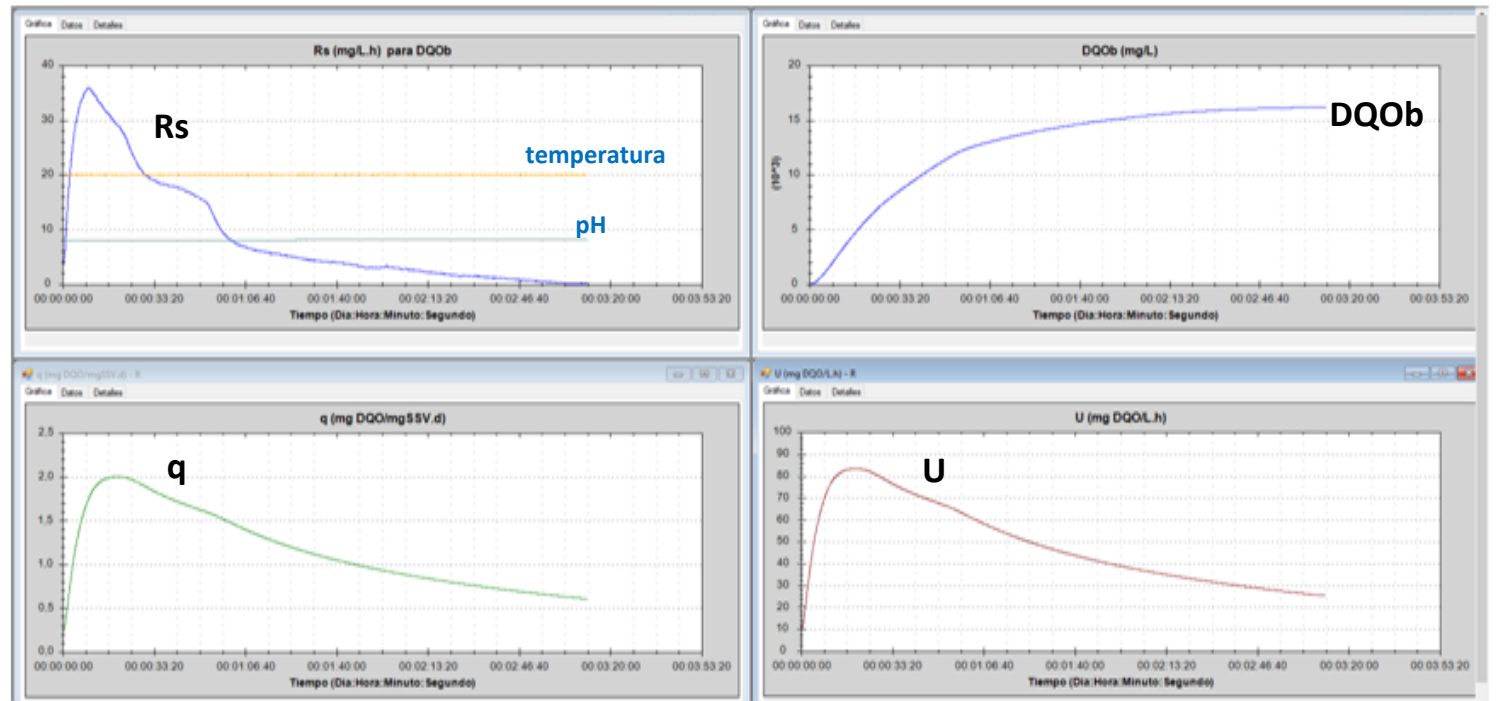


Respirogramas OD y OUR en modo cíclico

Modo R

Se trata de un ensayo en donde se miden valores de R_s de forma continua y el software calcula de forma simultánea los parámetros de la DQO_b (o DQO_{rb}), U y q

Tasa de respiración dinámica ($\text{mg O}_2/\text{l.h}$)	R_s
Oxígeno consumido acumulado ($\text{mg O}_2/\text{l}$)	OC
DQO biodegradable (mg/l)	DQO_b
Tasa de eliminación de la DQO ($\text{mg DQO}/\text{l.h}$)	U
Tasa específica eliminación de la DQO ($\text{mg DQO}/\text{mg SSV.d}$)	q



Respirogramas simultáneos de las medidas de R_s , DQO_b , U , q

Presentación de resultados y gráficas en Respirometría BM

Desde las pestañas Gráfica, Datos y Detalles, la Respirometría BM de Surcis puede presentar, los resultados para cualquier tiempo parcial o final del ensayo, así como el valor final, medio, máximo y mínimo.

Gráfica Datos Detalles

Ensayo: DQOb
 Nombre: DQOb
 Operario:
 Fecha: 27/04/2022
 Línea de base: 7,00 ppm
 Sólidos: 10,4 g/l
 Vf: 1000 ml
 Vm: 2,353 ml
 s: 2
 Y: 0,67
 Estimación: 0 mg/l
 Duración(hh:mm:ss): 00:18:53:13

Resultados
 Selecciona el tipo de datos de la siguiente lista para ver todos sus resultados :

- OD (ppm)
- T. (°C)
- pH
- Rs (mg/l.h)
- Resp (mg/g.h)
- OC (mg/l)
- DQOb (mg/l)**
- U (mgDQOb/l.h)
- q (mgDQOb/mgVSS.d)

Observaciones

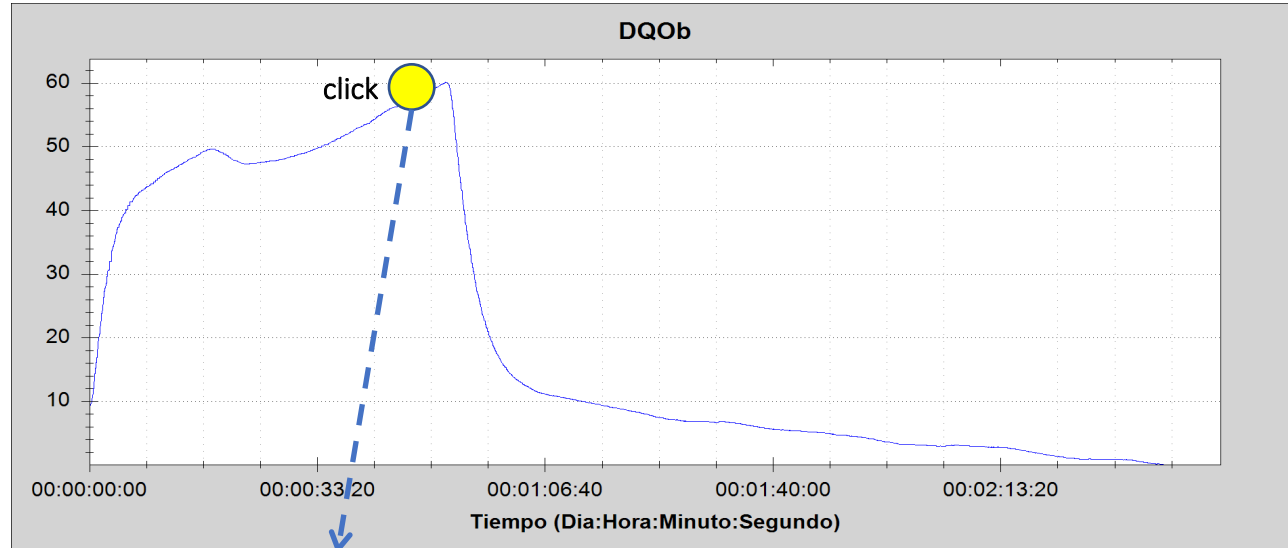
Primer valor:

Último valor:

Mínimo:

Máximo:

Promedio:



T. (°C) : 35,9 pH : 7,96 Rs (mg/l.h) : 60,091 OC (mg/l) : 17737,47925 DQOb (mg/l) : 53749,93712 U (mgDQOb/l.h) : 145,216

Gráfica Datos Detalles

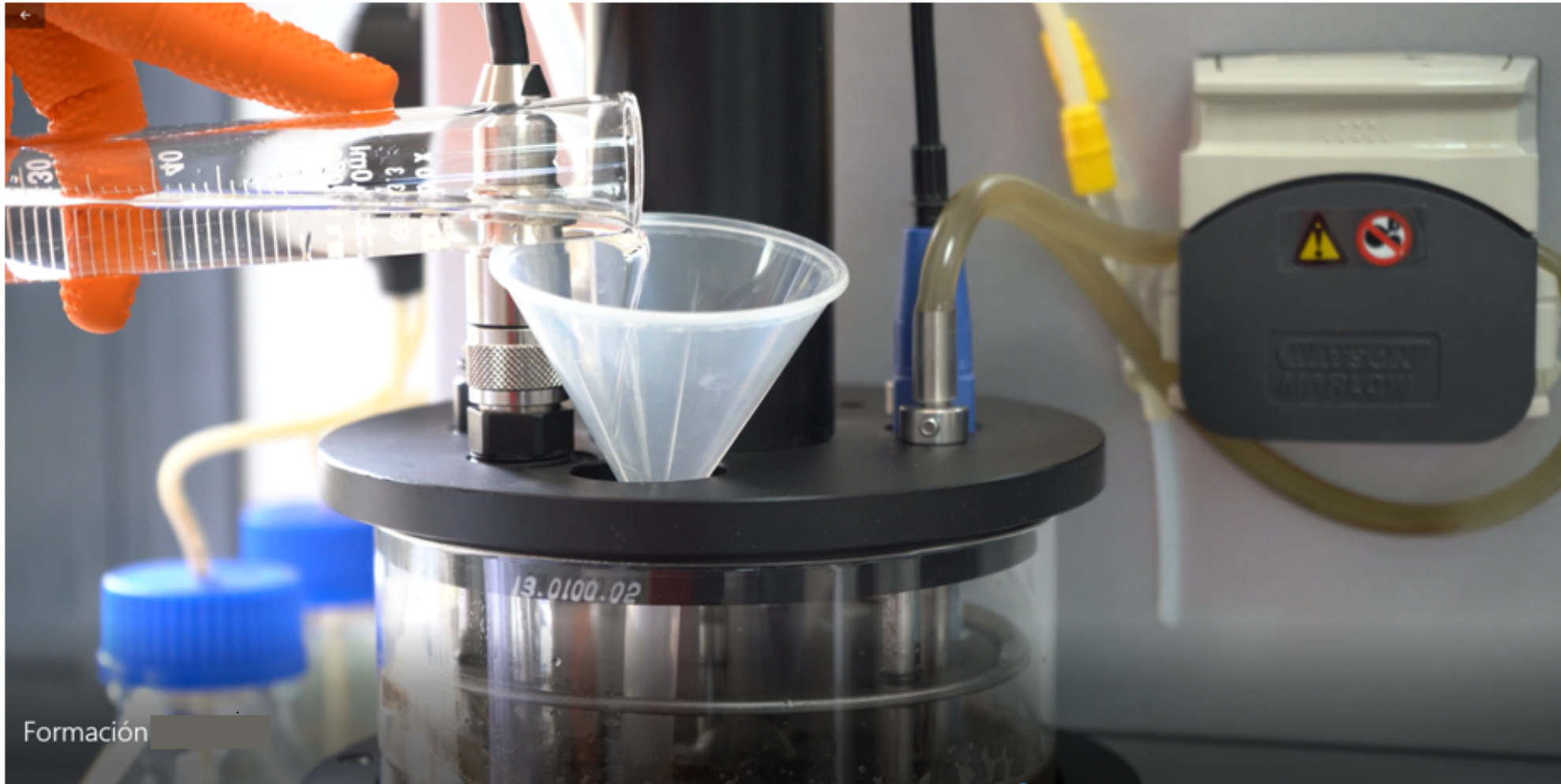
Tiempo	OD (ppm)	T. (°C)	pH	Rs (mg/l.h)	OC (mg/l)	DQOb (mg/l)	U (mgDQOb/l.h)	q (mgDQOb/mgVSS.d)
00:02:46:25	7,02	35,9	8,06	14,78	23327,72	70690,06	59,83	0,14
00:02:46:27	7,02	35,9	8,06	14,78	23327,72	70690,06	59,82	0,14
00:02:46:30	7,03	35,9	8,06	14,78	23327,72	70690,06	59,8	0,14



Aplicaciones típicas de Respirimetría

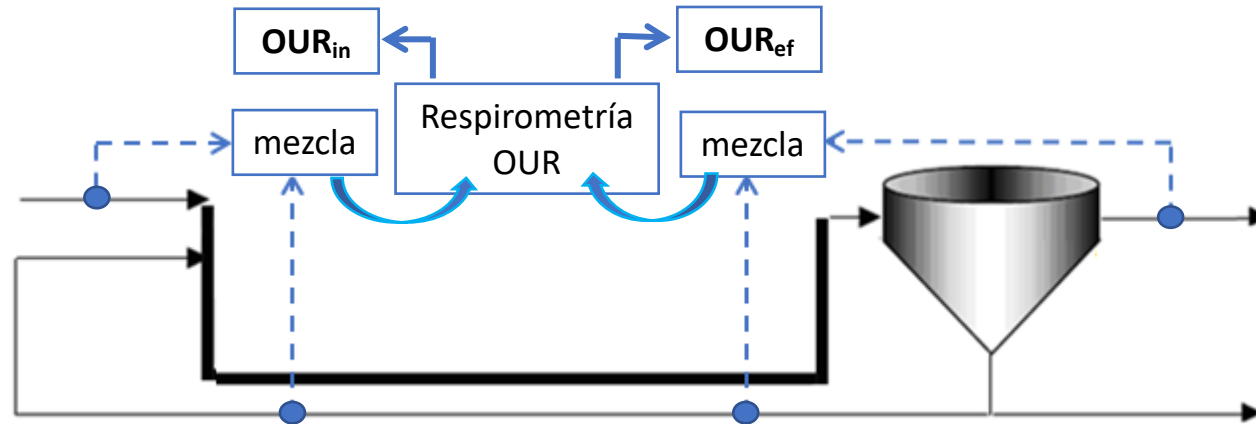
- **Requerimiento de oxígeno y optimización energética**
- **Fraccionamiento de la DQO y biodegradabilidad específica al fango activo**
- **Toxicidad referida al fango activo: global y específica a la nitrificación**
- **Optimización de los parámetros operativos en el marco del ahorro energético**
- **Nitrificación: Tasa de nitrificación, Oxígeno y Edad del fango mínima para la nitrificación**
- **Denitrificación: Tasa de eliminación del nitrato, DQO para la desnitrificación**
- **Influencia de las condiciones del proceso en la actividad biológica y capacidad de tratamiento**
- **Seguimiento de la Bioaumentación**
- **Optimización de la relación de nutrientes (C/N/P)**
- **Parámetros estequiométricos y cinéticos**
- **Respirimetría para procesos MBBR y biomasa granular**
- **Control de los ciclos de procesos SBR**
- **Soporte a programas de simulación tales como GPS-X, BioWin, ...**
- **Otras**

Aplicaciones típicas de Respirometría de laboratorio



Formación

Tomar el pulso al proceso de depuración biológica



Factor de carga: $FC = OUR_{in} / OUR_{ef}$



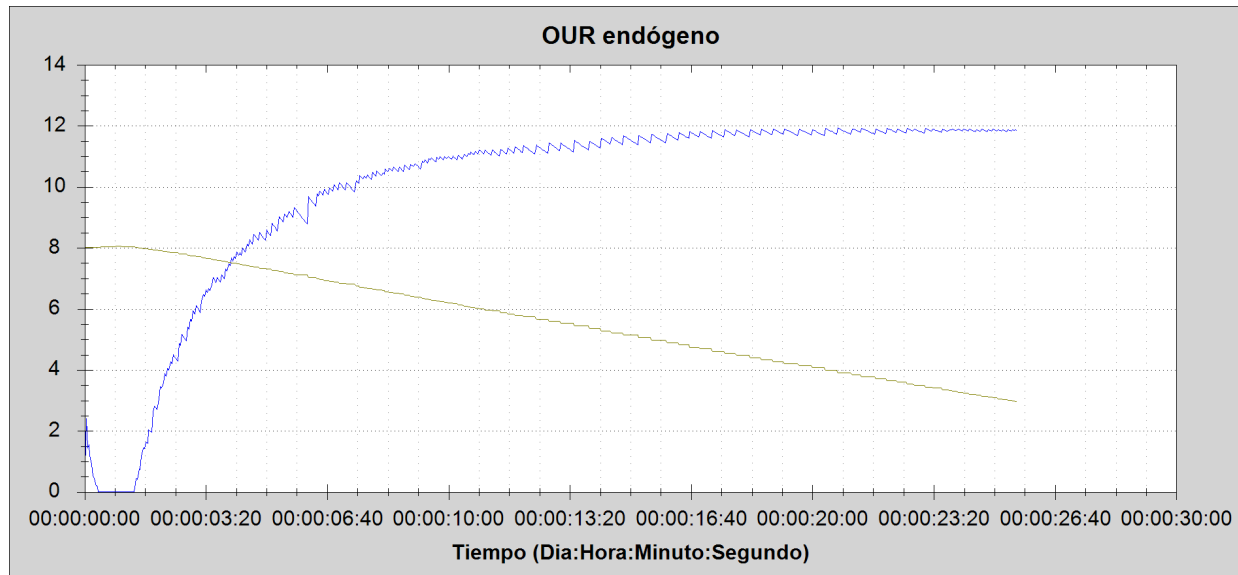
FC	Valoración
$LF < 1,3$	Inhibición / Toxicidad - ya presente en el reactor
$1,3 < LF < 3$	Bajo rendimiento
$3 < LF < 5$	Buen rendimiento
$LF > 5$	Sobrecarga

De este modo no hay que esperar a tener resultados del laboratorio para hacer una valoración del estado actual del proceso

La tasa de respiración endógena es proporcional a la concentración de biomasa activa

La tasa de respiración endógena (OUR_{end}) es la que se obtiene desde el fango activo en ausencia de cualquier tipo de sustrato. Por ello, al depender exclusivamente de los microorganismos, es **directamente proporcional a la concentración de biomasa activa (X)**

$$OUR_{end} = k * X$$

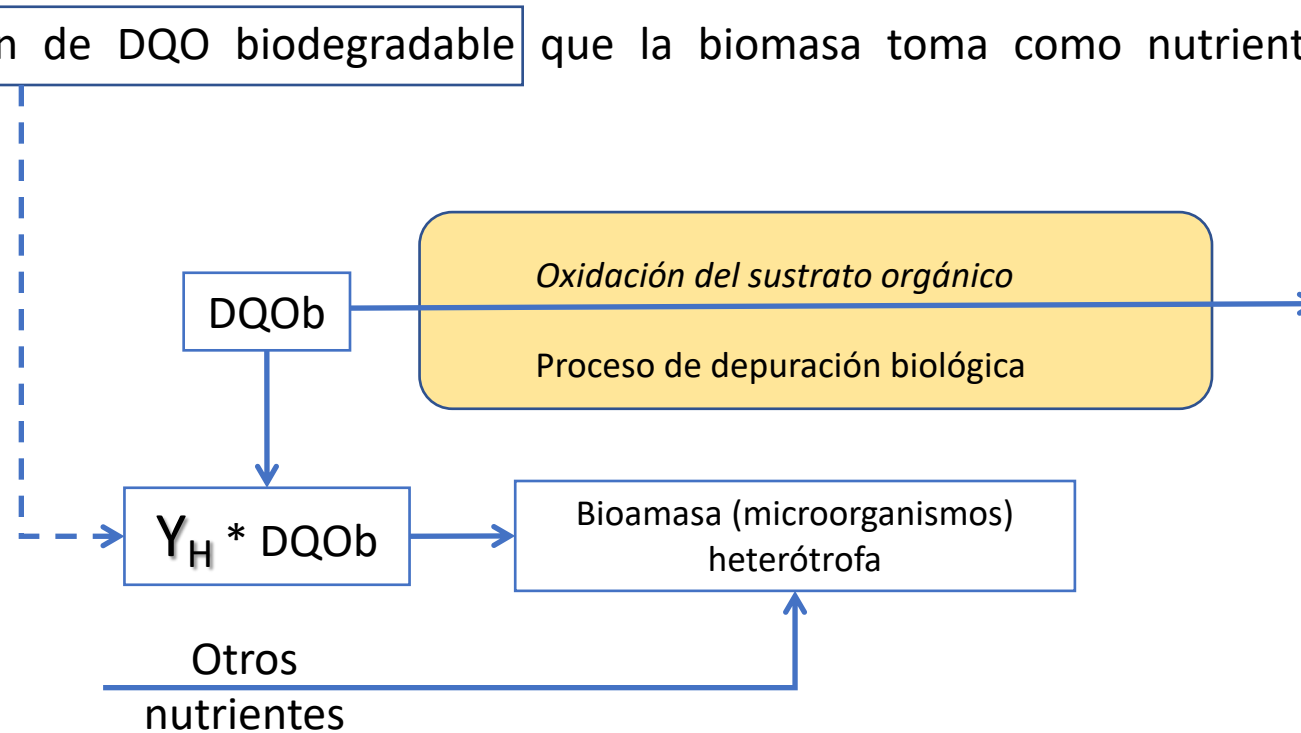


SSVLM (mg/l)	Rango normal OUR_{end} (mg/l.h)
1000	2 – 3.5
1500	3 - 5
2000	4 - 7
2500	5 – 8.5
3000	6 - 10
3500	7 - 12
4000	8 – 13.5
4500	9 – 15.5

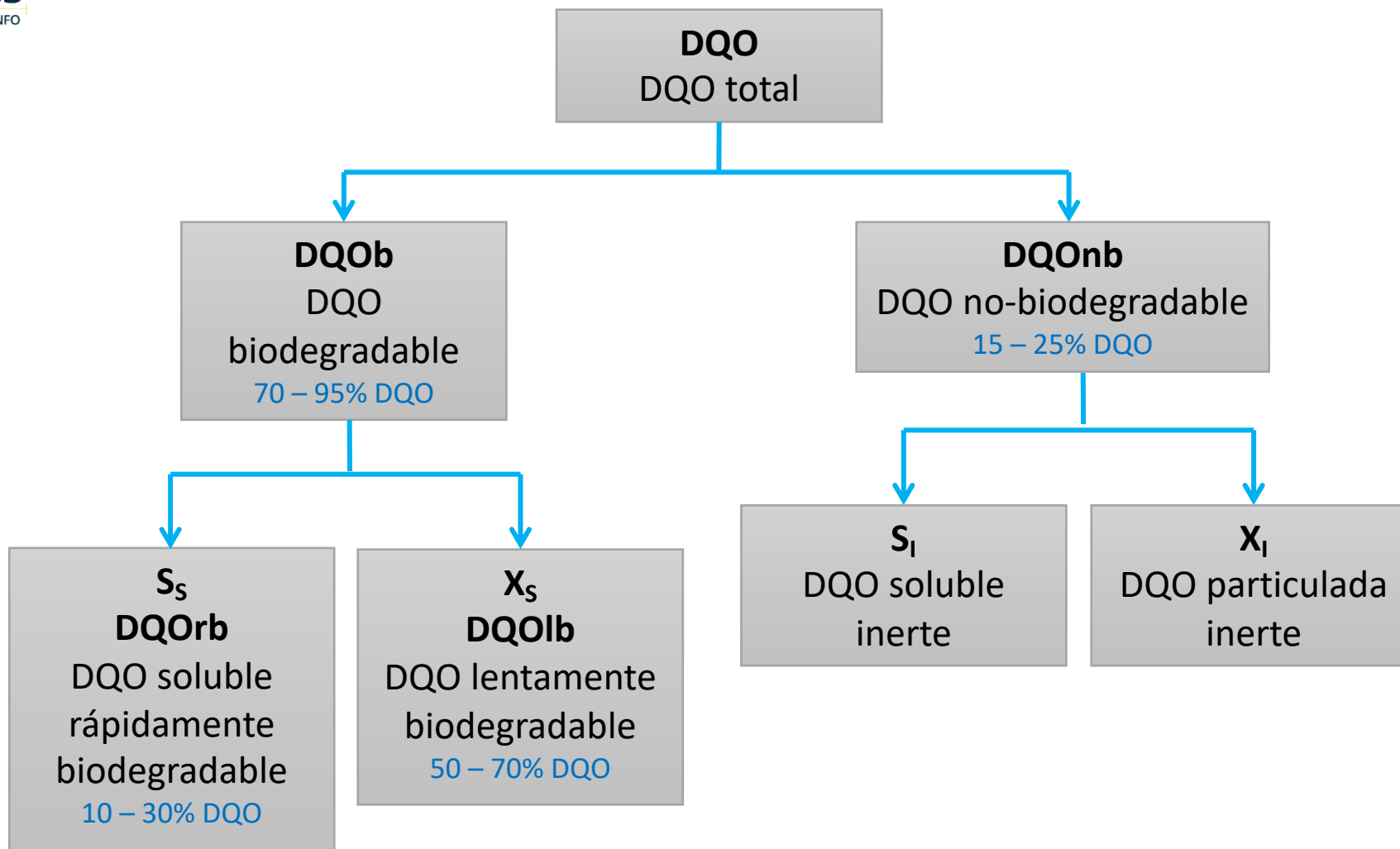
OUR_{end} INFERIOR AL RANGO NORMAL ➡ BIOMASA ACTIVA (X) POR DEBAJO DE LO NORMAL

Coeficiente de rendimiento de producción de biomasa heterótrofa (Y_H) (I)

El coeficiente Y_H es la porción de DQO biodegradable que la biomasa toma como nutriente orgánico para su producción.



Principales fracciones de la DQO



Inerte = no-biodegradable

¿Para que sirve el fraccionamiento de la DQO por Respirometría en un proceso de fangos activos ?

Principalmente sirve para obtener los siguientes parámetros clave en la caracterización del agua residual:

DQO biodegradable: DQOb

Biodegradabilidad al fango (%) = $100 * DQOb / DQO$

DQO no-degradable: DQOnb = $DQO - DQOb$

DQO lentamente biodegradable: DQOlb = $DQOb - DQOrb$

Parámetros asociados a las fracciones DQO

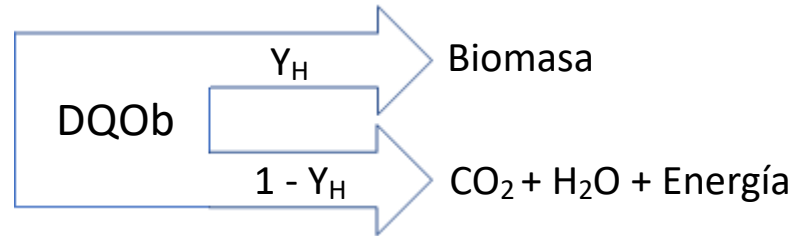
Coficiente de rendimiento de producción de biomasa (Y_H), Oxígeno Consumido, Tasa de eliminación de la DQO.

Aplicaciones

Soporte a Programas de Simulación, Análisis del rendimiento DQO, Análisis de la Carga Másica por DQO, Requerimiento de oxígeno, Relación de nutrientes, Síntomas de Inhibición, DQO necesaria para la desnitrificación, ...

¿ Por qué DQOb en lugar de DBO5 ?

La DBO solamente mide la demanda de oxígeno en la oxidación biológica de la materia orgánica, pero ignora la demanda de oxígeno que los microorganismos utilizan para su producción (Y_H)



Con la DBO no podemos calcular la DQO no-biodegradable, ni la DQO lentamente biodegradable

$$DQO_{nb} = DQO - DQOb$$

$$DQO_{lb} = DQOb - DQO_{rb}$$

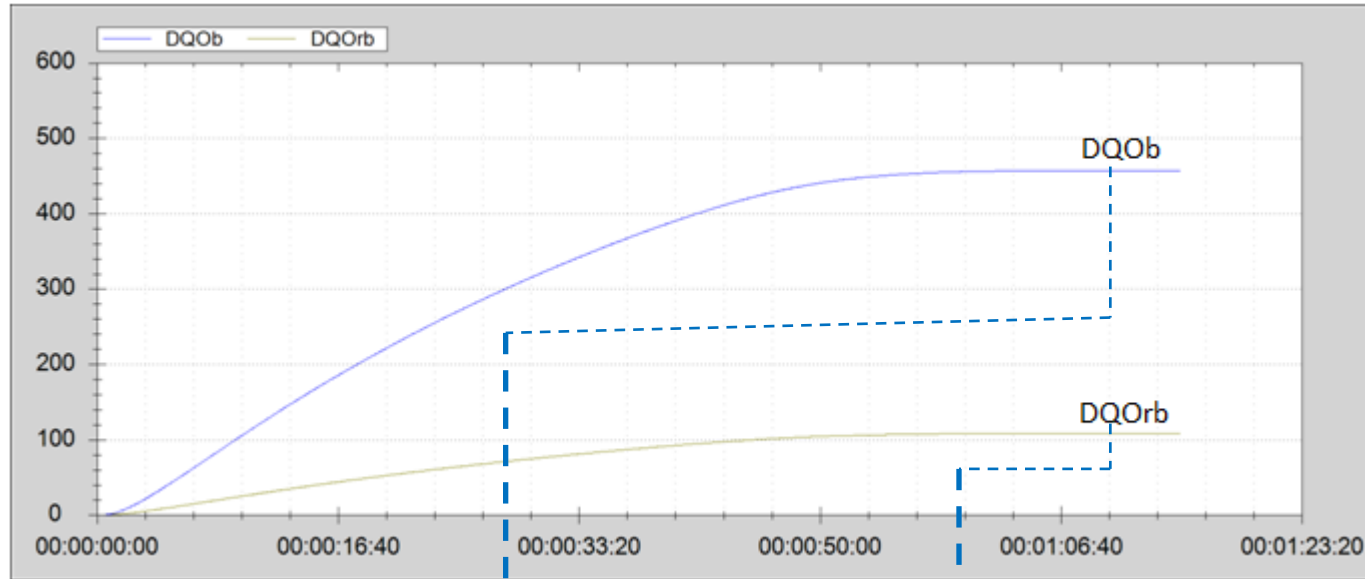
La $DQOb$ y el resto de fracciones nos permiten dar un importante soporte a programas de simulación ([West](#), [BioWin](#), ..)

El cálculo de $DQOb$ eliminada en un proceso de depuración nos permite valorar con mayor precisión la carga orgánica.

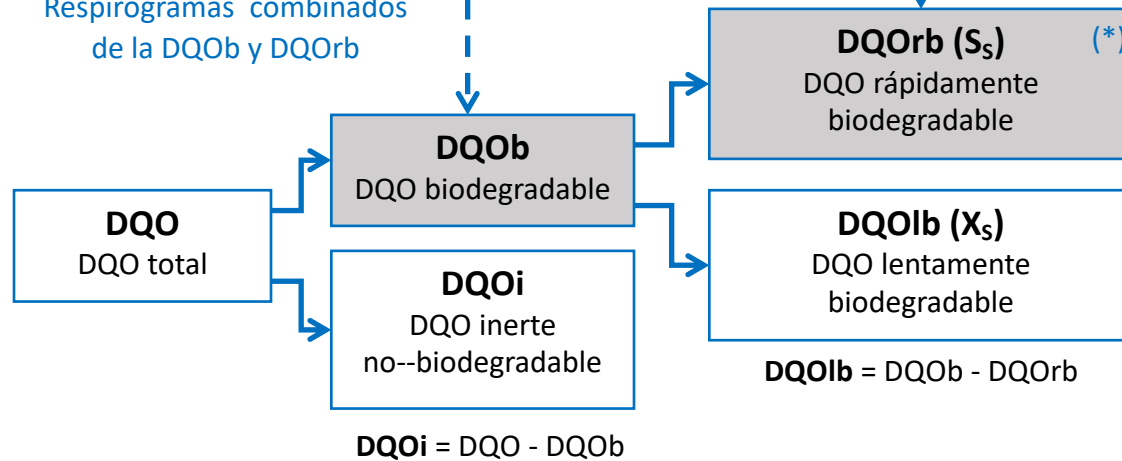
$$\text{Carga orgánica} = \text{Caudal} * DQOb$$

p.e. La C.M. por DBO deja de ser representativa cuando la DQO está formada mayoritariamente por DQO_{nb} y/o DQO_{lb}

Principales fracciones de DQO por respirometría BM



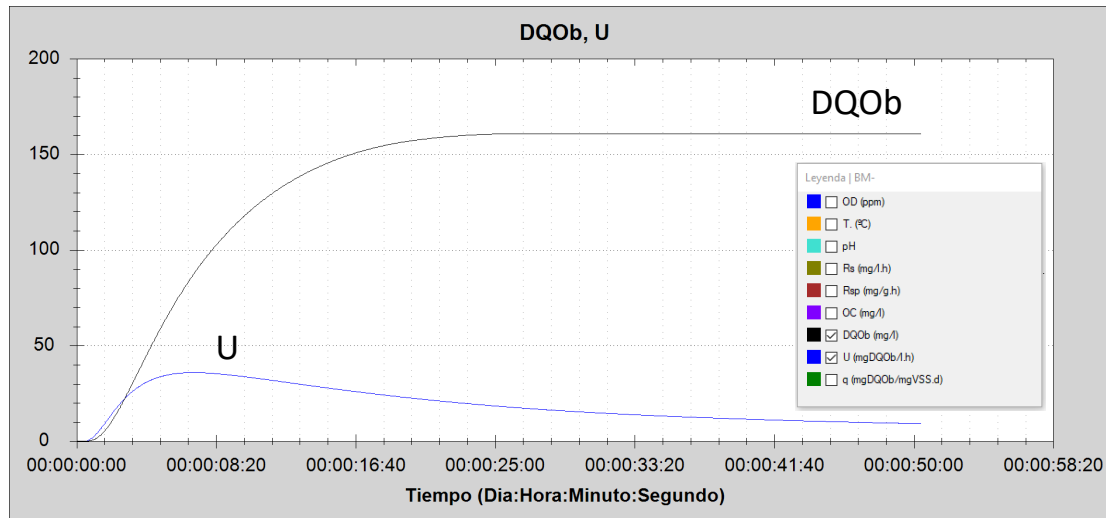
Respirogramas combinados de la DQOb y DQOrb



(*) DQOrb (S₅): Se refiere a la DQO biodegradable de una muestra verdaderamente soluble.

Tasa de eliminación de la DQO: U, q

De forma simultánea a la determinación de la DQOb, el software de la Respirometría BM calcula de forma automática la tasa (**velocidad**) y la tasa específica (referida a VSS) con que la DQO se está eliminando: **U** (mg DQO/L.h), **q** (mg DQO / mg SSV.d)



Respirogramas simultáneos DQOb, U

Resultados	Resultados	Resultados
OD (ppm)	OD (ppm)	OD (ppm)
T. (°C)	T. (°C)	T. (°C)
pH	pH	pH
Rs (mg/l.h)	Rs (mg/l.h)	Rs (mg/l.h)
Rsp (mg/g.h)	Rsp (mg/g.h)	Rsp (mg/g.h)
OC (mg/l)	OC (mg/l)	OC (mg/l)
DQOb (mg/l)	DQOb (mg/l)	DQOb (mg/l)
U (mgDQOb/l.h)	U (mgDQOb/l.h)	U (mgDQOb/l.h)
q (mgDQOb/mgVSS.d)	q (mgDQOb/mgVSS.d)	q (mgDQOb/mgVSS.d)
Primer valor : 0	Primer valor : 0	Primer valor : 0
Último valor : 160,75	Último valor : 9,15	Último valor : 0,07
Máximo : 160,75	Máximo : 35,88	Máximo : 0,29
Promedio : 137,13	Promedio : 18,92	Promedio : 0,15

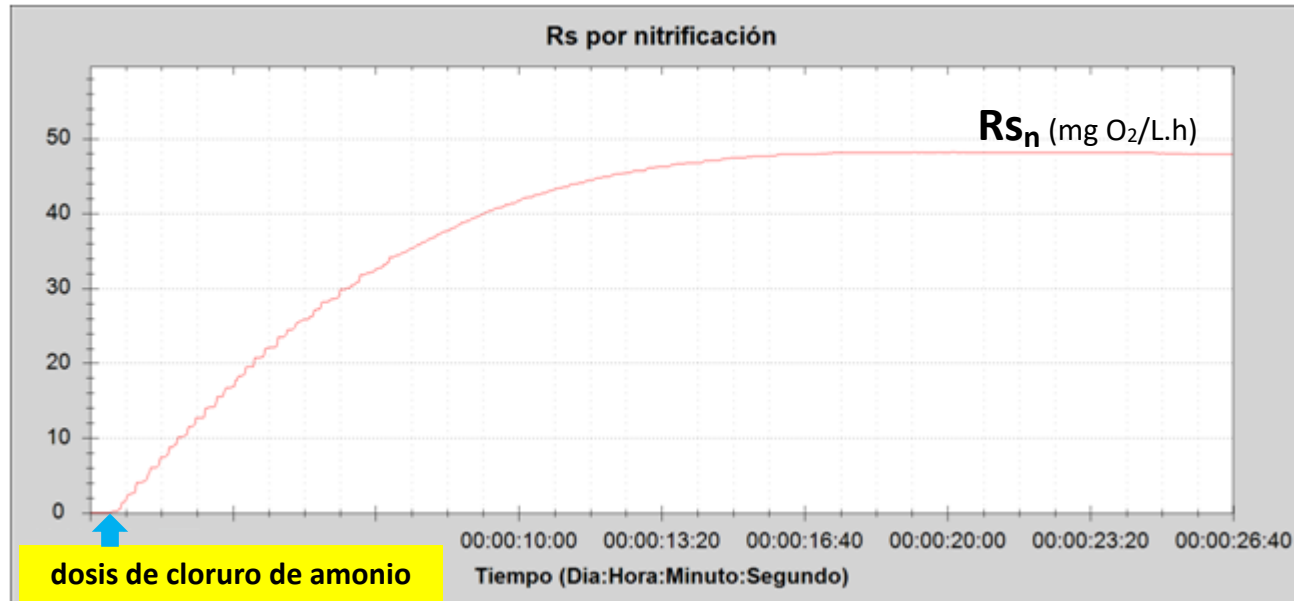
Desde el valor de la U podemos saber si con el TRH actual hay tiempo para eliminar suficientemente la DQOb actual:

$$\text{TRH necesario} = \text{DQOb} / \text{U}$$

Desde el valor de la q podemos valorar la Carga Máfica por DQO

Tasa de nitrificación

La tasa de nitrificación AUR es la velocidad con que el nitrógeno amoniacal amonio se está eliminando. Se determina mediante un ensayo R de respirometría, utilizando cloruro de amonio con una concentración de amonio equivalente y a las mismas condiciones medias de temperatura y pH que las del proceso real.



Respirograma Rs después de añadir una dosis de cloruro de amonio

$$AUR = (Rs_n / 4,57) * OD / (OD + K_{OA})$$

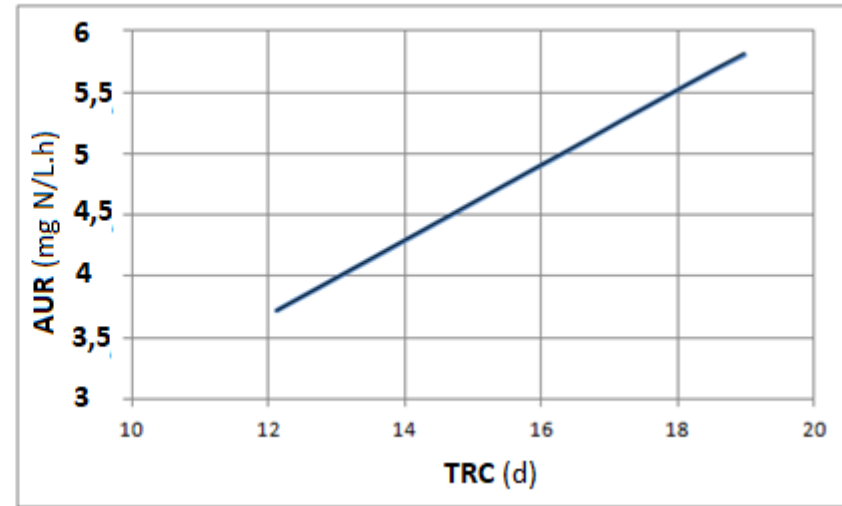
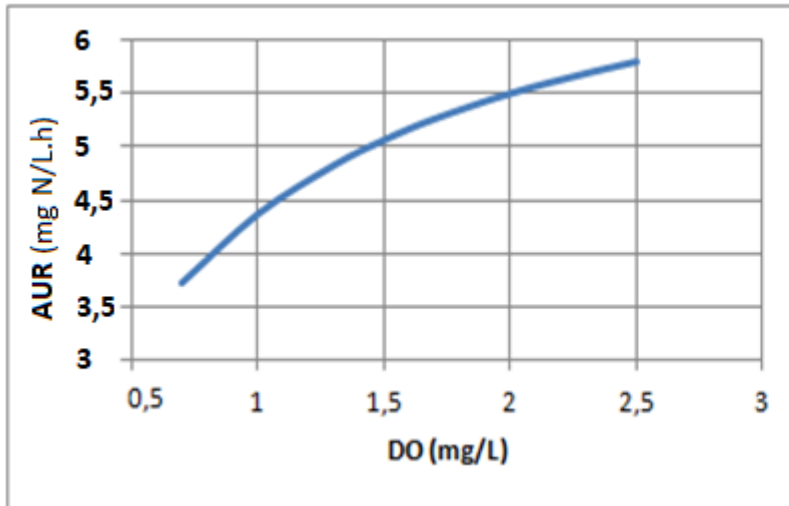
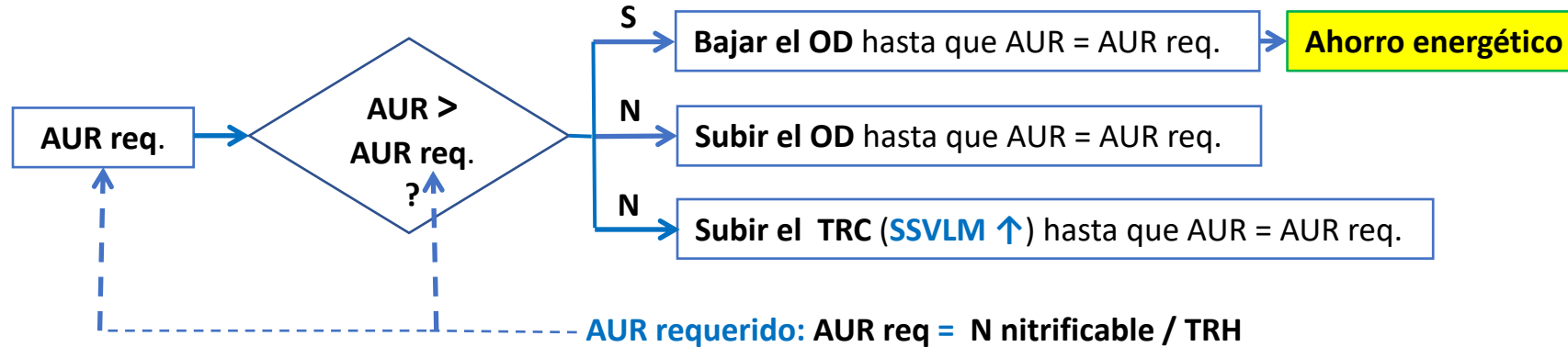
AUR: Tasa de nitrificación (mg N/L.h)

Rs_n : Tasa de respiración por efecto de la nitrificación (mg O_2 /L.h)

4,57: mg O_2 que necesita 1 mg de $N.NH_4$ para pasar a nitrato

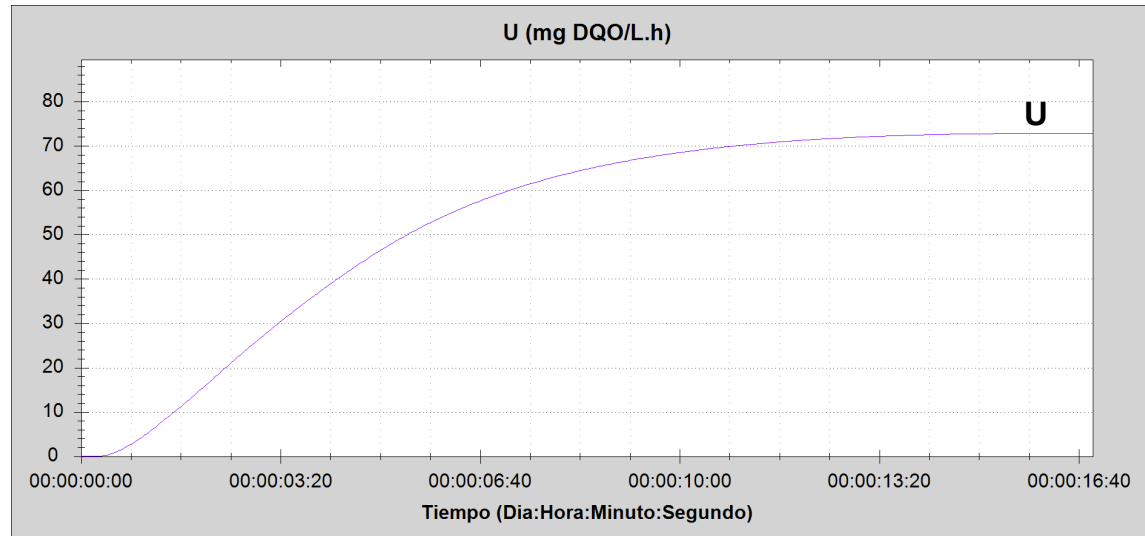
K_{OA} : Coeficiente de semi-saturación ≈ 0.5 mg/l - ASM2, ASM3, Henze et al 2000 -

Oxígeno Disuelto (OD) y/o Edad del fango (TRC) que necesita la nitrificación



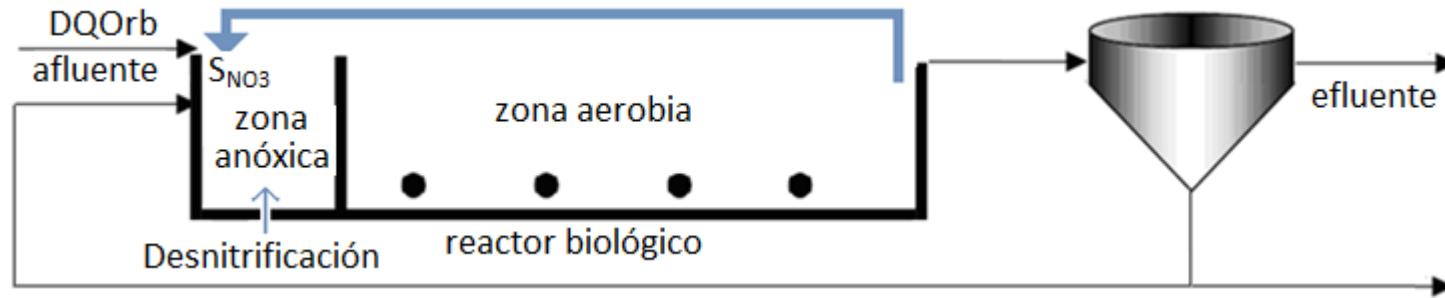
Tasa de desnitrificación: NUR

Existe una proporcionalidad directa entre la velocidad de utilización del oxígeno consumido para la eliminación del carbono orgánico de la DQO rápidamente biodegradable del agua residual de forma aeróbica y el nitrato a eliminar en la zona anóxica. (Henri Spanjers, Peter A. Vanrolleghem, 2004)



Tasa de desnitrificación (mg N/L.h): $NUR = U (1 - Y_{H.DN}) / 2.86$

DQOrb requerida para la desnitrificación



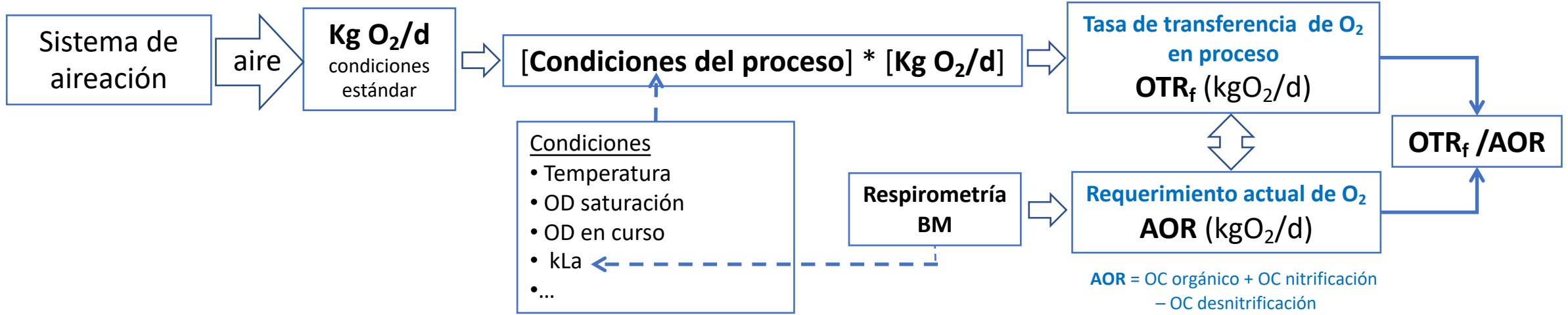
$$DQOrb_{DN} > 2,86 * S_{NO3} / (1 - Y_{H.DN})$$

S_{NO3} : Nitrato a desnitrificar (mg N- NO_3 /L)

$DQOrb_{DN}$: DQO rápidamente biodegradable mínimo requerido para la desnitrificación (mg/L)

$Y_{H.DN}$: Coeficiente de crecimiento de la biomasa heterotrófica en zona anóxica (mg O_2 /mg COD) $\approx 0,83 * Y_H$

Valoración des sistema de aireación

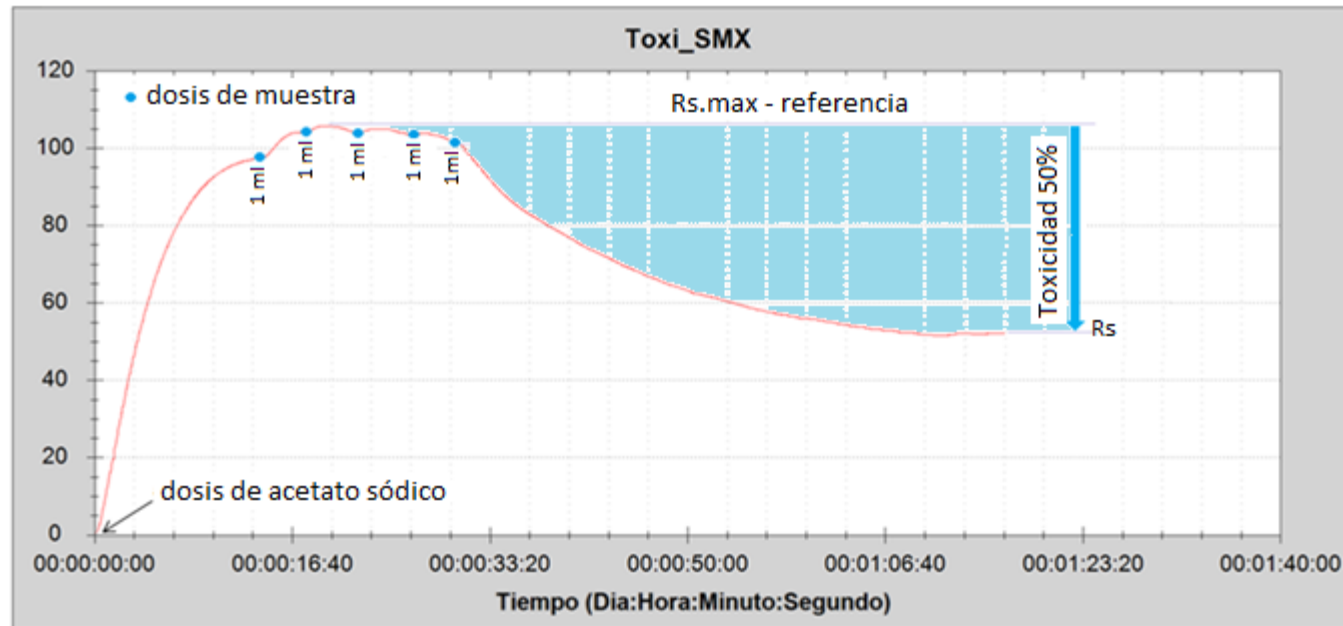


OTR _f / AOR	Valoración	Acción
1	El proceso tiene la aireación que necesita	Posible reducción de la aireación
> 1	El proceso esta recibiendo más aireación / oxígeno del que necesita	Reducción de la aireación
< 1	El proceso no está recibiendo suficiente aireación / oxígeno	Falta aireación Detección de ensuciamiento / falta de mantenimiento / envejecimiento del sistema de aireación

AHORRO ENERGÉTICO

Análisis de toxicidad de efecto rápido por dosis de muestra acumulada

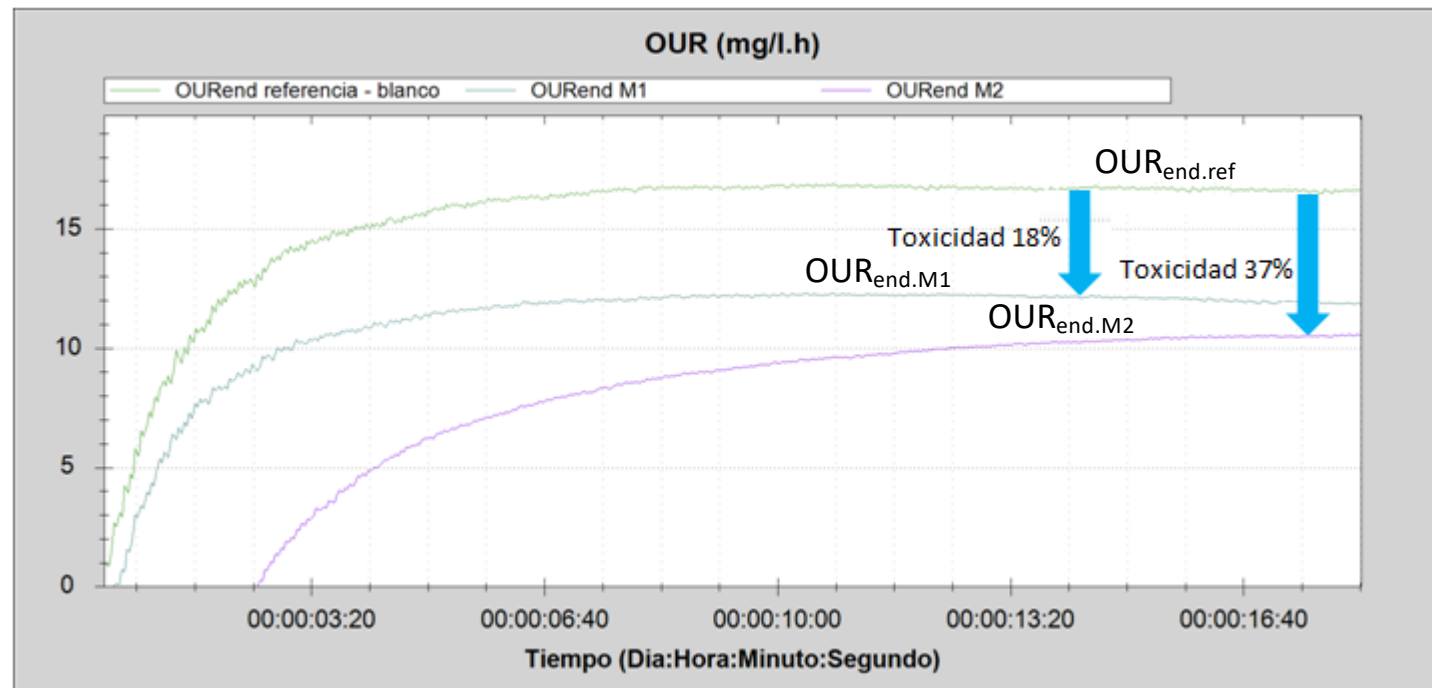
El objetivo es analizar un efecto tóxico que se pudiera producir en el fango activo mediante la adición progresiva de dosis de muestra de agua residual sobre una tasa de respiración máxima provocada por la adición de un sustrato de referencia (acetato sódico, cloruro de amonio, o ambos)



Respirograma R_s para el ensayo de Toxicidad por adición acumulativa de muestra

Toxicidad de una varias muestras problema por ensayos OUR endógeno

Con este procedimiento se valora la toxicidad por comparación del valor OUR endógeno ($OUR_{end.M}$) de uno o varios licor-mixtos preparados con muestra/s problema con el OUR endógeno de referencia ($OUR_{end.ref}$)



Superposición de respirogramas OURend para análisis de toxicidad de 2 muestras

$$\text{Toxicidad (\%)} = 100 * (OUR_{end.ref} - OUR_{end.M} / OUR_{end.ref})$$

La Respirometría no está limitada

AQUÍ SE HAN PRESENTADO ALGUNAS APLICACIONES TÍPICAS DE LA RESPIROMETRÍA BM.
PERO HAY QUE TENER EN CUENTA QUE UN RESPIRÓMETRO ES UNA HERRAMIENTA Y,
POR LO TANTO, EL NÚMERO DE DE APLICACIONES NO ESTÁ LIMITADO.
CON ELLO, UNA VEZ COMPRENDIDOS LOS PRINCIPIOS BÁSICOS Y POSIBILIDADES DEL SOFTWARE,



SIEMPRE CABE LA POSIBILIDAD DE DESARROLLO DE NUEVAS APLICACIONES

Enlace YouTube: <https://youtu.be/NpdRf6s2mTM>

**Muchas gracias
por su atención.**

AGUASRESIDUALES.INFO



Ciclo de 20
MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO