

Sistema para la medida on-line de la tasa de respiración, coeficiente de transferencia y requerimiento actual de oxígeno desde una unidad de proceso calibrada con un respirómetro BM de laboratorio

Emilio Serrano¹

1. Administrador solidario de Surcis, S.L. – Especialista en Respirometría
Surcis, S.L. – Encarnació, 123 – 08024 Barcelona
Email: eserrano@surcis.com – Tel. 652 893 255
www.surcis.com

Resumen

El objetivo de este artículo es por un lado el de abordar un método práctico y rápido de calcular el coeficiente de transferencia de oxígeno (k_{La}) del proceso aerobio de fangos activos por medio de un respirómetro de laboratorio BM.

Por otro lado, se propone calcular las constantes que relacionan a este coeficiente con el caudal de aire (Q_A) del sistema de aireación para, desde aquí, confeccionar un sistema que permita combinar estos parámetros con las sondas sumergibles de oxígeno disuelto y posible sólidos en suspensión del licor mixto ya existentes en la planta con el fin de considerar al propio reactor biológico como un respirómetro on-line y al respirómetro BM de laboratorio como un dispositivo de calibración del sistema.

Este sistema sería capaz de calcular online el k_{La} en curso, OUR, SOUR en condiciones reales y el requerimiento actual de oxígeno (AOR) de la zona del reactor en donde se mantiene el valor de oxígeno disuelto utilizado en el sistema.

Por otro lado, podríamos seguir disponiendo del respirómetro BM de laboratorio que, además de desempeñar su papel de calibrador de este sistema on-line, se puede seguir utilizando para las aplicaciones relacionadas con el control, calibración y diseño, así como para un amplio número de posibles estudios relacionados con los efectos que las distintas condiciones pueden ejercer en la actividad biológica de los fangos activos y rendimiento del proceso de fangos activos.

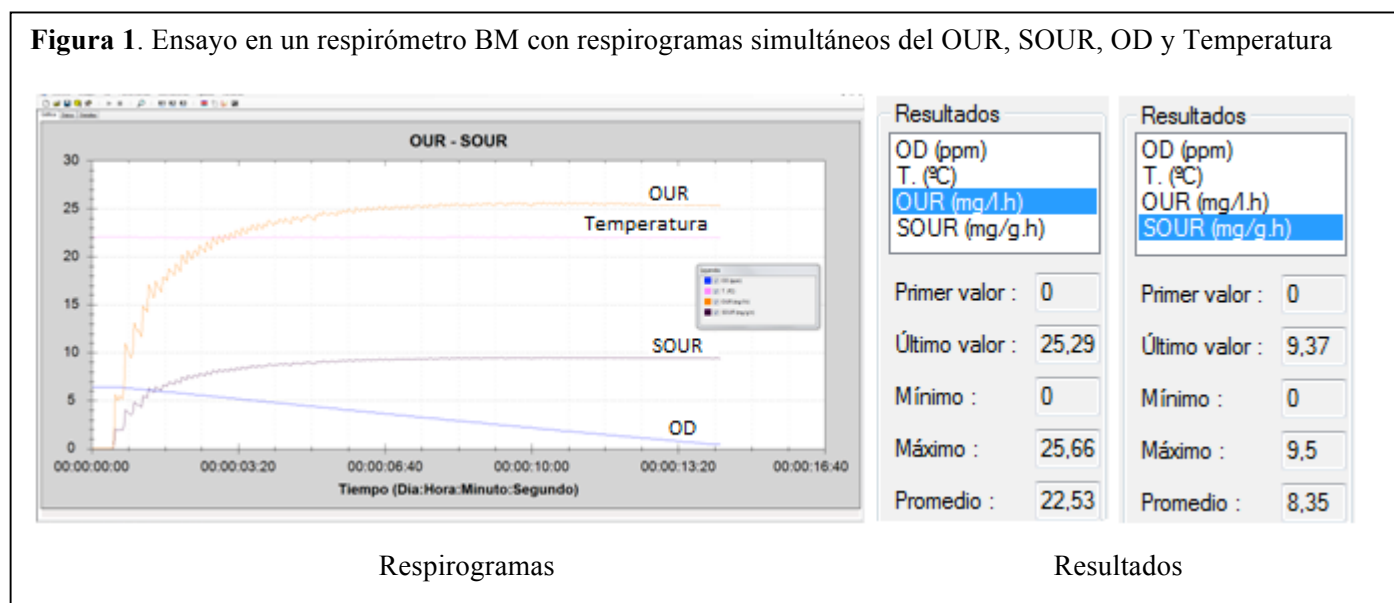
1. Introducción

El desarrollo del sistema de respirometría on-line que aprovecha el o los sensores del reactor biológico y caudal de aire del sistema de aireación pasa, en primer lugar, por comprender dos tipos de determinación del OUR. Uno de ellos es el que se determina de forma aislada en un respirómetro BM con un reactor tipo SSL con recirculación (p.e. en un respirómetro de laboratorio tipo BM) que en nuestro caso nos va servir para el cálculo de unas constantes de calibración del sistema y el otro OUR es el que se mide on-line desde el propio tanque de aireación aprovechando la señal de la medida de una sonda de oxígeno en donde se considera al reactor como un sistema de respirometría LFS en un determinado punto de muestreo.

Este sistema nos va a permitir el cálculo automático on-line del kLa, OUR, SOUR y con ello se abre una base para emprender un importante abanico de aplicaciones. Aquí se describen algunas de ellas tales como la valoración de la suficiencia del sistema actual de aireación, su control en el marco de una optimización energética; pero con toda seguridad de que pueden existir otras tantas que pueden depender de las condiciones específicas de cada proceso y de los objetivos a seguir.

2. Medida del OUR y SOUR

La medida de un OUR en un respirómetro BM de laboratorio (Figura 1) es un parámetro aparentemente fácil de calcular, ya que simplemente consiste en airear un licor-mixto que se está constantemente agitando, subiendo el oxígeno a un valor de inicio (normalmente por encima de 3 mg/L) para, a continuación, parar la aireación y calcular la pendiente máxima con que el oxígeno está descendiendo como consecuencia de la respiración de los microorganismos.



$$\text{OUR} = (C_b - C) / t$$

[1]

En donde:

OUR: Tasa de respiración (mg O₂/L/h)

C_b: Oxígeno del inicio del periodo de medida (mg/L)

C: Oxígeno del final del periodo de medida (mg/L) – OD en respirograma -

T: Tiempo transcurrido entre las medidas C_b y C (h)

Sin embargo, el ensayo de respirometría para la determinación del OUR requiere ciertas condiciones indispensables para dar una medida fiable y precisa.

Estas condiciones son las siguientes: agitación uniforme, temperatura constante y equivalente a la del reactor biológico, aislamiento de la atmosfera para evitar el efecto de absorción de oxígeno del aire por efecto centrífugo de la agitación y detección de la máxima pendiente con suficiente estabilidad para dar la medida como válida.

EL SOUR se calcula simplemente dividiendo el OUR por la concentración de sólidos volátiles del licor-mixto:

$$\text{SOUR} = \text{OUR} / \text{SSVLM}$$

[2]

En donde:

SOUR: Tasa de respiración específica (mg O₂/g.h)

SSVLM: Concentración de sólidos volátiles (g/L)

El SOUR, al referirse a la velocidad de consumo de oxígeno por unidad de sólidos volátiles, es el parámetro más utilizado para expresar la actividad biológica que se está desarrollando en el fango activo, ya que puede permitir la comparación la actividad de varios fangos con distintas concentraciones de sólidos volátiles.

3. Unfed OUR y SOUR

Cuando se mide el OUR y SOUR en el fango efluente del reactor (final del proceso) se les suelen denominar unfed OUR y unfed SOUR Aquí, para simplificar, simplemente añadiremos la letra “u” a cada uno de los nombres pasando a ser OURu y SOURu respectivamente.

Un valor coherente de SOURu pertenece a un fango en que el proceso consigue el rango de rendimiento para el cual está diseñado. Por esta razón, el análisis de este parámetro nos puede dar una valoración primaria del estado del proceso de depuración.

Lógicamente cada valor de SOURu tiene su correspondiente valor OURu que depende de la concentración de sólidos volátiles del licor mixto.

Es importante que se tenga en cuenta que las medidas unfed pueden incluir una demanda de oxígeno proveniente de una nitrificación remanente o no deseada.

4. Cálculo del coeficiente de transferencia de oxígeno k_La por medio del unfed OUR

Un valor de K_La es el resultado de la combinación de diferentes valores de velocidad de agitación, aireación y del diseño geométrico.

En un proceso de fangos activo, el balance de masas básico de la tasa de consumo y transferencia de oxígeno se puede escribir del siguiente modo:

$$dC/dt = k_L a (C_{st} - C) - \text{OUR}$$

[3]

En donde:

k_La: Coeficiente de transferencia de oxígeno (1/h)

C_{st}: Oxígeno disuelto a nivel de saturación en el licor-mixto (mg/L)

C: Oxígeno disuelto en curso en el punto de muestreo en el momento de colectar la muestra (mg/L)

OUR: Tasa de respiración (mg/l.h)

Por razones de estabilidad de medida y porque la sonda de oxígeno suele estar instalada en esta zona del reactor (final del reactor biológico) es aconsejable trabajar con fango efluente. En este punto de medida, podemos asumir que el oxígeno disuelto se encuentra prácticamente en estado de equilibrio y por lo tanto se puede considerar que $dC/dt = 0$.

Al tratarse de fango efluente se aplicaría el valor de OUR_u y llegaríamos a la siguiente ecuación:

$$OUR_u = k_L a (C_{st} - C)$$

[4]

Por lo tanto, conociendo OUR_u , C_{st} y C , podemos calcular el $k_L a$:

$$k_L a = OUR_u / (C_{st} - C)$$

[5]

Puesto que las sondas de oxígeno suelen incluir la medida de la temperatura, el valor de C_{st} se puede estimar desde una tabla:

Tabla 2. Tabla de valores de C_{st} vs Temperatura

Temperatura (°C)	C_{st} (mg/l)
10	11.4
20	9.3
30	7.8
40	6.9
50	6.3

5. Cálculo del coeficiente de transferencia de oxígeno $k_L a$ desde el caudal de aire en curso

Asumiendo que la geometría y agitación en el reactor biológico son constantes, el valor del $k_L a$ pasaría a depender exclusivamente del caudal de aire del sistema de aireación (Q_A).

Goto and Andrews (1985) desarrollaron una ecuación lineal:

$$k_L a = m * Q_A - b$$

[6]

Esta expresión fue utilizada con éxito posteriormente en varios estudios (Reinus y Hultgren, 1988; Holmberg, 1989; Huang y Hao, 1996; M. Kinia, 2002; ...)

Combinando las ecuaciones [5] y [6]:

$$OUR_u / (C_{st} - C) = m * Q_A - b$$

[7]

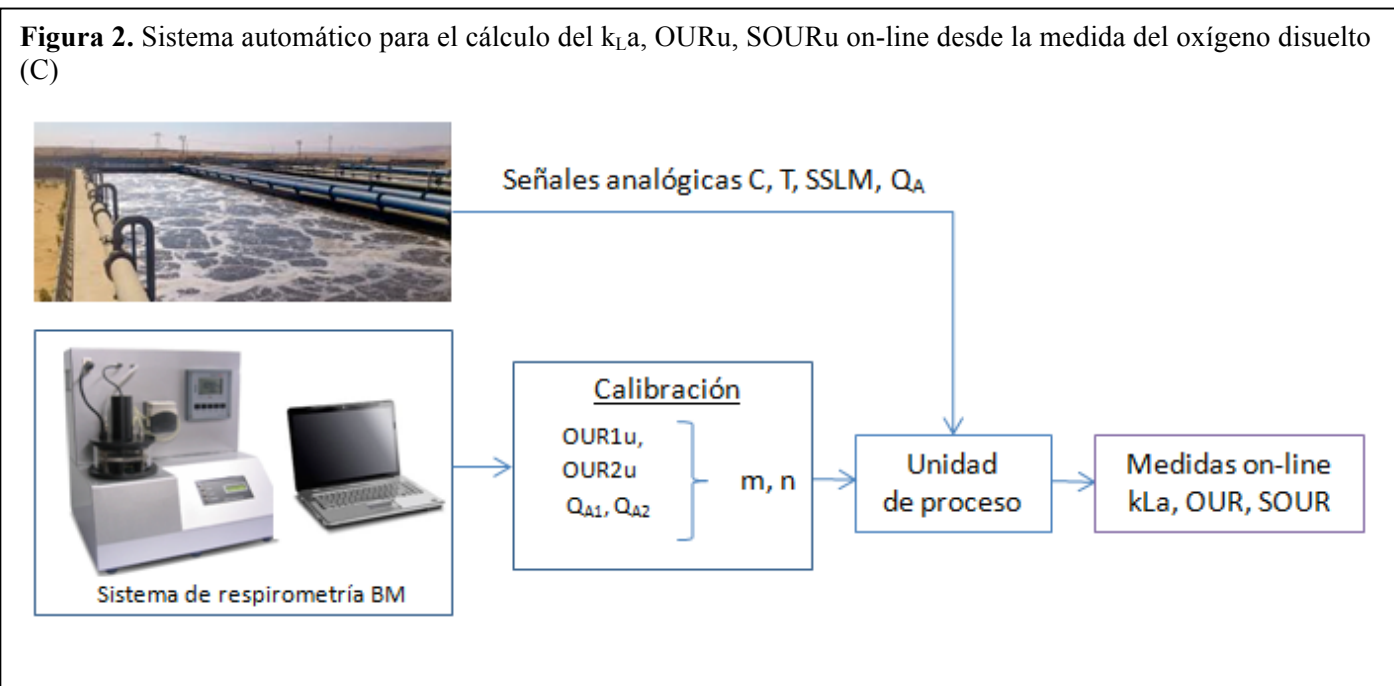
En base a la ecuación [7], si realizamos dos o más medidas del OUR_u a distintos valores de C y Q_A, se puede establecer un sistema de ecuaciones que permitirá el cálculo de las constantes m, n,

Con ello, la aplicación de la ecuación [6] permitiría el cálculo automático del k_La on-line con tan solo conocer el valor del Q_A.

6. Cálculo del OUR desde el oxígeno disuelto medido en el reactor biológico

Al conocer el valor de C_{st} (con la medida de la temperatura y aplicando la tabla) y conociendo el k_La en todo momento, en la ecuación [3] el valor del OUR pasaría a depender exclusivamente del valor del oxígeno disuelto en curso en el licor-mixto del reactor biológico (C) del punto de medida.

Este principio da pie a la generación de un sistema de medida online del k_La, OUR, SOUR (Figura 2) compuesto por un respirómetro de laboratorio para la determinación periódica de las constantes m, b, un analizador online de medida del oxígeno disuelto y temperatura, un analizador de medida de los SSLM (se pasarían a SSVLM aplicando el porcentaje correspondiente) y una unidad de proceso (Surcis) que sea capaz de calcular de forma automática el k_La cuando se le inyectan las señales de los analizadores y la del caudal de aire (Q_A)



7. Aplicaciones

El sistema automático para la medida del OUR, SOUR es un sistema abierto que puede tener distintas aplicaciones en un proceso de fangos activos:

7.1 Requerimiento actual de de oxígeno desde el valor del OUR en curso

Denominamos requerimiento actual de oxígeno del fango efluente (AOR) a los kg O₂/ día que se necesitan en este punto representativo del reactor biológico para el desarrollo normal del proceso.

AOR se puede calcular del siguiente modo:

$$\text{AOR} = \text{OUR} * V$$

[8]

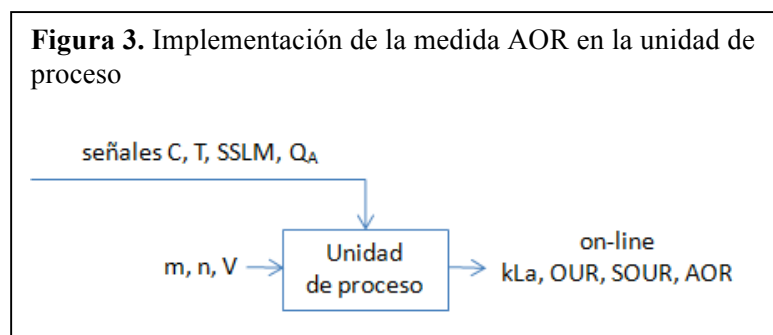
En donde:

AOR: Requerimiento actual de oxígeno (kg O₂/d)

OUR: Tasa de respiración (kg O₂/m³/d) – (Transformando las unidades) -

V: Volumen aerobio del reactor biológico (m³)

El sistema de la Figura 7 se podría implementar introduciéndole el dato V (m³) y entonces, además del k_La, OUR, SOUR, el software de la unidad de proceso se puede ampliar para el cálculo del AOR correspondiente on-line (Figura 9) del proceso de fangos activos.



El cálculo automático del AOR puede tener una especial importancia en sistemas de mezcla completa en donde se puede asumir que prácticamente los puntos de medida del OUR en el biológico son similares.

En otro tipo de sistemas de depuración, en donde el valor del OUR es cambiante a lo largo del proceso, el cálculo del AOR global on-line puede ser complicado (especialmente cuando se debe incluir el proceso de nitrificación) Por esta razón, es posible que sea necesario el tener que recurrir a varios puntos de medida mediante la utilización de más de una sonda sondas de oxígeno; y de este modo, el sistema pasaría a calcular el valor AOR por zonas o el valor medio global.

En este caso, también se sugiere que el cálculo del AOR no se haga on-line y que se realice con un respirómetro de laboratorio (BM) mediante la utilización de un ensayo OUR cíclico que permita analizar la evolución de una cadena de medidas OUR a lo largo del tiempo de una muestra de fango de cabecera, en donde se mide de forma automática su valor máximo y medio.

En cualquier caso, el valor del AOR sería el que está necesitando el proceso y la comparación con el que se está actualmente suministrando y el oxígeno disuelto (C) alcanzado nos puede dar una valoración de las necesidades de oxígeno y de las pautas a seguir en el sistema de aireación a lo largo del tiempo.

7.2 Estado actual del proceso desde la medida on-line del unfed SOUR

Cuando el SOUR se mide en el fango efluente del reactor biológico, al igual que pasaba con la medida del OUR, pasa a denominarse unfed SOUR /SOURu).

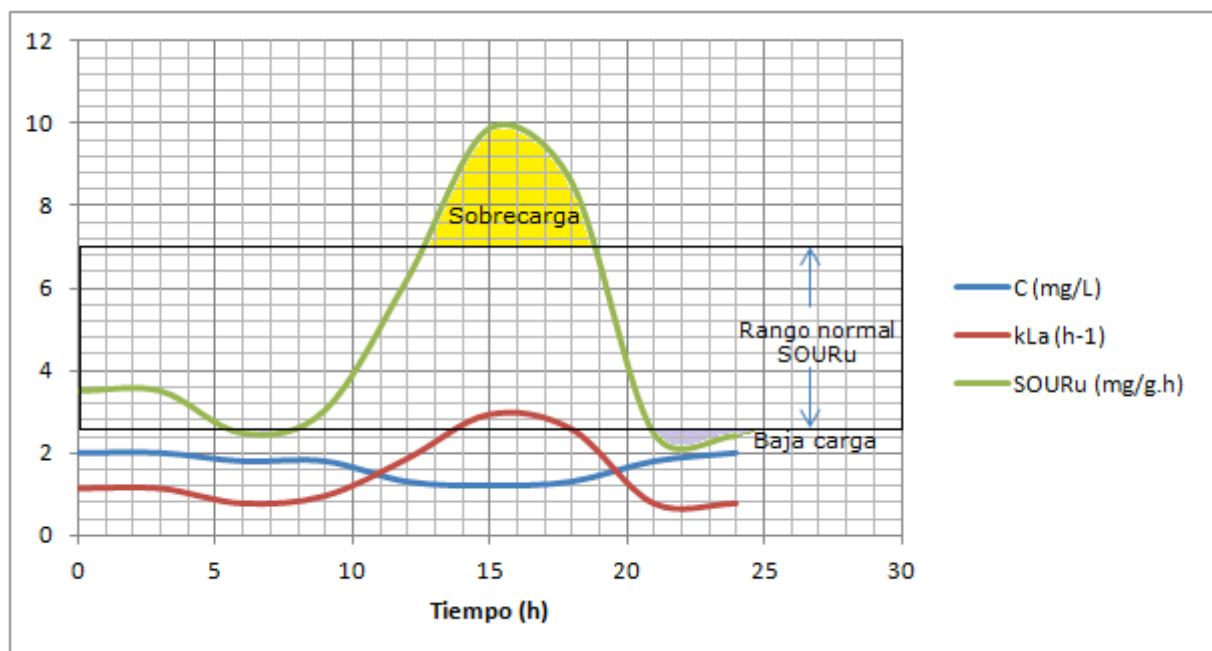
La aplicación se basa en valorar la medida del SOURu con el rango correspondiente a una tabla-guía:

Tabla 3. Rangos de valores guía del SOUR de referencia y su valoración

Tabla guía (valores habituales)			Valoración primaria	
Carga Másica F/M DBO/SS.d	TRC d	SOURu Referencia mg O ₂ /g.h	SOURu actual vs. referencia (tabla)	Valoración
> 0.4	2 - 4	6 - 18	>> referencia	SOBRECARGA
0.2 < F/M < 0.4	4 - 10	4 - 15	En rango de referencia	Buen rendimiento
0,07 < F/M < 0.2	10 - 30	3 - 12	< referencia	Baja carga
< 0,07	10 - > 30	2 - 7	<< referencia	Muy baja carga Síntoma de Toxicidad

Al comparar el valor la medida en tiempo real del SOURu con el rango de valores de referencia de la tabla podemos hacer una rápida valoración primaria de cómo está el proceso y tomar las acciones adecuadas a cada caso.

Figura 9. Ejemplo de la evolución del SOURu vs rango de referencia, C & kLa

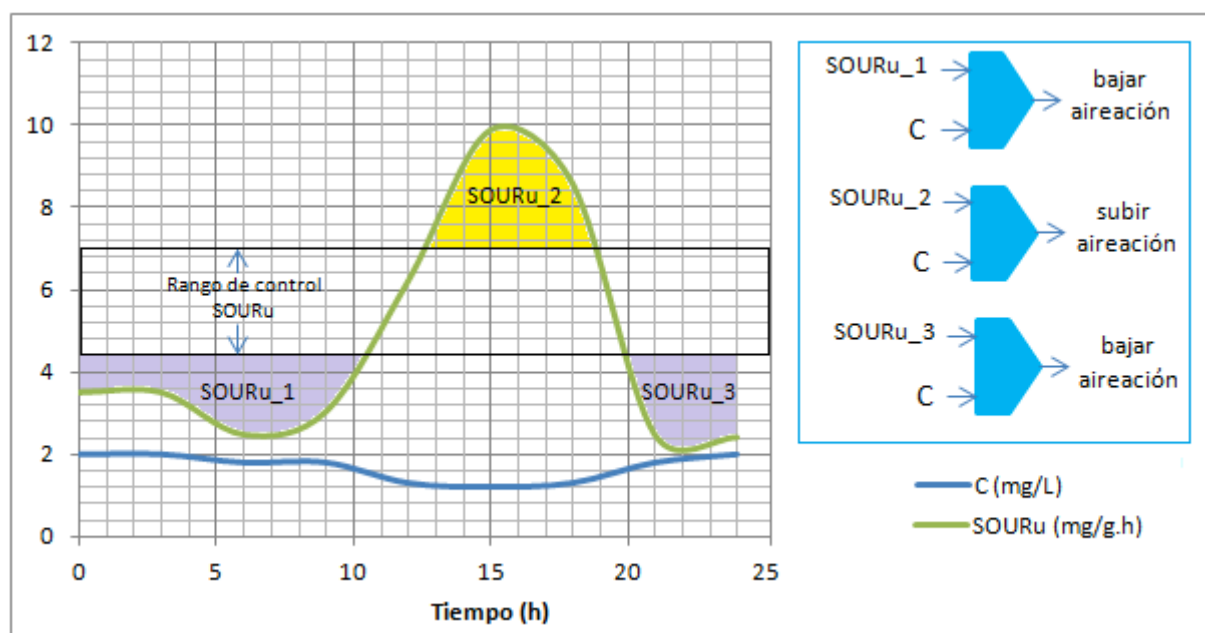


7.3. Control de la aireación desde la medida online del SOURu

La medida on-line del SOURu se puede aprovechar para, por sí sola o en combinación con la medida del oxígeno disuelto (C) del fango efluente, controlar la aireación.

Para ello, en el marco de una estrategia dirigida a conseguir un ahorro energético, se recortaría el rango de normalidad del SOURu en su nivel bajo. Con ello es posible que se reduzca el rendimiento del proceso, pero sin embargo éste seguiría siendo suficiente al seguir manteniéndose el SOURu dentro del rango de normalidad. (En la estrategia del ahorro energético no se pretende alcanzar el mejor rendimiento, sino el suficiente).

Figura 10. Ejemplo de estrategia básica de control de la aireación por SOURu



7.4. AOR en el fango efluente

Combinando las ecuaciones [2] y [8], con los valores OURu que corresponden a los SOURu de la aplicación de control de la aireación (punto 7.3.), también es posible calcular el AORu correspondiente a cada medida.

Con ello, en los tramos de tiempos en los que se baja la aireación, se pueden calcular los kg O₂ que se están suministrando en exceso; por el contrario, en los tramos en que se sube la aireación, se calcularían los kg O₂ que el proceso necesita añadir.

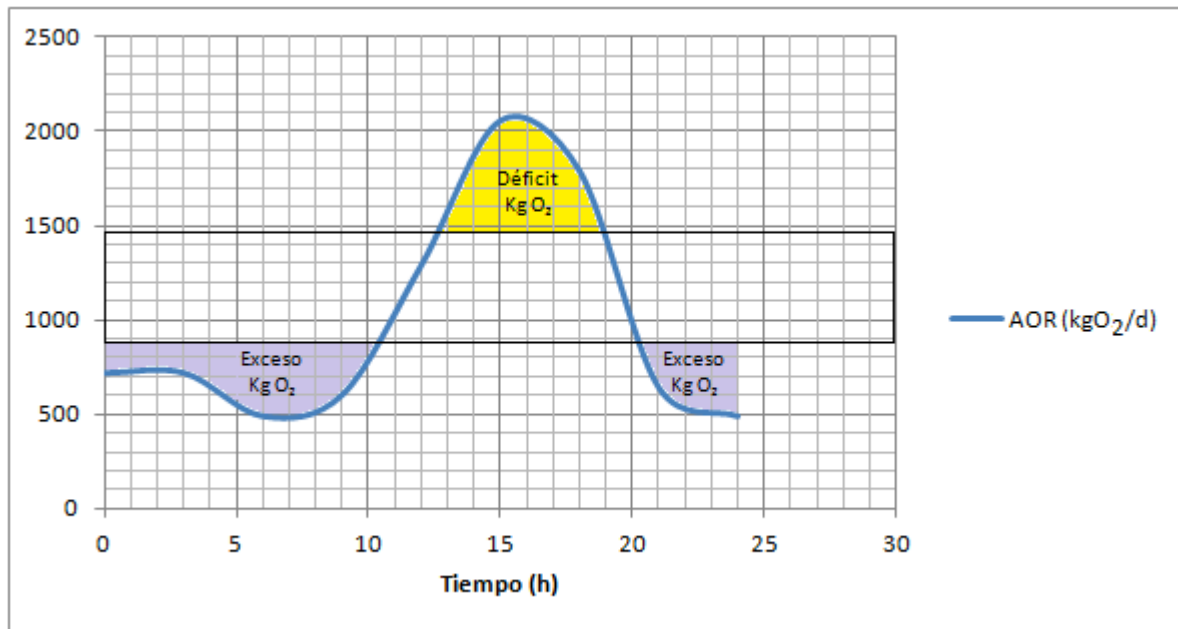
$$\text{Kg O}_2 = \text{AOR} * t$$

[9]

En donde:

t:: Tiempo del tramo en que se calculan los kg O₂

Figura 11. Ejemplo de la evolución del AOR con tramos de exceso y déficit de kg O_2



8. Conclusión

Las aplicaciones de la respirometría son inagotables, y en esta ocasión hemos podido explicar a grandes rasgos unas aplicaciones poco conocidas en donde, calibrando una unidad de proceso con unas determinadas constantes obtenidas a partir de ensayos realizados con un respirómetro de laboratorio BM, ésta sería capaz de estimar un paquete de valores online que nos da paso a unas aplicaciones importantes que nos pueden valorar el estado del proceso y controlar la aireación en tiempo real con tan solo la medida del oxígeno disuelto, temperatura y sólidos volátiles del licor mixto. No obstante, las aplicaciones que se han descrito no son más que una posible parte de un amplio abanico de aplicaciones que con toda probabilidad pueden derivar de este paquete de medidas on-line.

Por otro lado, la combinación de un equipo de laboratorio tipo BM, con este sistema online parece abrir un novedoso capítulo de la respirometría en donde en realidad se trata de la conjunción de dos respirómetros: un respirómetro de laboratorio BM y el propio reactor aerobio del proceso de depuración biológica

Bibliografía

- [1] Jacek Makinia, Scott A. Wells (1990)
Improvements in modeling dissolved oxygen in activated sludge systems
- [2] Bocken, S.M., Braae, M. and Dold, P.L. (1989).
Dissolved Oxygen Control and Oxygen Utilization Rate Estimation
- [3] Felix García Ochoa, Victoria E. Santos Mazorra, José, C. Merchuk (2010)
Oxygen uptake rate in microbial process: an overview
- [4] M. Goto, J.F. Andrews (1985)
On-line estimation of oxygen uptake rate for the activated sludge process
- [5] Sotomayor OA, Park SW, García C. (2002)
Software sensor for on-line estimation of the microbial activity in activated sludge systems.
- [6] Schuchardt A, Libra JA, Sahlmann C, Handschag J, Wiesmann U, Gnirss R.(2005)
Potential of OUR and OTR measurements for identification of activated sludge removal processes in aerated basins.
- [7] Bilge Alpaslan Kocamemi (2012) – Marmara University
Aeration systems – Air requirement calculations