



# Estudio comparativo de la transferencia de oxígeno en distintos sistemas de aireación en EDAR de la Región de Murcia

Se pretende obtener el parámetro  $SOTE_{pw}$  y el coeficiente alfa de los fangos activos de cuatro estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) objeto de estudio en condiciones controladas en una planta piloto, así como determinar el valor del parámetro  $SOTE_{pw}$  en condiciones reales en los reactores biológicos de las EDAR de estudio. La metodología empleada para la obtención del  $SOTE_{pw}$  fue el método de análisis off-gas. Los resultados mostraron que, a caudales bajos de aire, la transferencia de oxígeno es mayor obteniendo mejores resultados para las EDAR provistas de soplantes con difusores de burbuja fina, en contraposición a los resultados obtenidos para las EDAR provistas con sistemas de aireación mediante oxirrotadores. El valor *in situ* del  $SOTE_{pw}$  no pudo determinarse en las instalaciones con sistema de aireación mediante oxirrotadores por no cumplirse las condiciones de la norma empleada.

## Palabras clave

Aguas residuales, sistemas de aireación, eficiencia energética, SOTE, alfa ( $\alpha$ ), off-gas, soplantes, oxirrotadores.

## COMPARATIVE RESEARCH ABOUT THE OXYGEN TRANSFER IN DIFFERENT TYPES OF AERATION SYSTEMS IN WWTP IN THE REGION OF MURCIA (SPAIN)

*The aim of the project was to obtain the  $SOTE_{pw}$  parameter and alfa coefficient of the sludges from four different wastewater treatment plants (WWTP) under controlled conditions. The project aims at determining the  $SOTE_{pw}$  parameter under real conditions too. The methodology applied was the off-gas analysis. The results showed that, under low air flows and in WWTP provided by blowers with fine bubble diffusers, the oxygen transfer was higher than in WWTP provided by an oxirrotor. The in-situ  $SOTE_{pw}$  value could not be determined in WWTP with an oxirrotor as an aeration system, as far as these installations do not fulfilled the applied normative.*

## Keywords

Wastewater, aeration system, energy efficiency, SOTE, alfa ( $\alpha$ ), off-gas, blowers oxirrotors.

**Pedro José Simón Andrés**  
director técnico de Esamur

**Carlos Lardín Mifsut**  
responsable de Explotación Zona II  
de Esamur

**Antonio Vicente Sánchez Betrán**  
director del Departamento  
de Explotaciones de Red Control

**Raquel González Herrero**  
responsable del Área de I+D  
de Red Control

**Jorge Morales Gómez**  
jefe de planta en la EDAR  
de Santomera (Red Control)

**José Miguel Gambín Manzano**  
director general de Ingapres

**Marçal Gaitx Altisen**  
responsable técnico de Ingapres



## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la gran mayoría de las EDAR disponen de un proceso biológico aerobio de cultivo en suspensión, lo que conlleva la necesidad de suministrar oxígeno para que el proceso de depuración se desarrolle. Para ello, existen diferentes sistemas de aireación cuya función principal es mantener un nivel de oxígeno disuelto en el reactor que haga posible que se desarrollen todas las reacciones necesarias para la eliminación de materia orgánica del agua residual.

Sin embargo, dentro de los costes de explotación de una EDAR, el coste derivado del consumo energético en aireación es el más elevado, motivo por el cual resulta fundamental conocer cuál es el rendimiento del sistema de aireación instalado con el objeto de optimizar los costes económicos de la explotación sin detrimento de la calidad del agua tratada.

En este contexto son empleados los parámetros  $SOTE_{pw}$  y alfa. El parámetro  $SOTE_{pw}$  (%) informa de la eficiencia en la transferencia de oxígeno en condiciones estándar. El parámetro alfa es un coeficiente que relaciona la transferencia de oxígeno en un fango activo con la transferencia de oxígeno en agua limpia. Así, los objetivos de este estudio son:

- Obtener el parámetro  $SOTE_{pw}$  y el coeficiente alfa de los fangos activos de las EDAR de estudio en condiciones controladas en una planta piloto.

- Medición del parámetro  $SOTE_{pw}$  en condiciones reales en los reactores biológicos de las EDAR de estudio.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

En las EDAR objeto de estudio se dispone de los siguientes sistemas de aireación:

- Santomera. Posee tres reactores biológicos de tipo Orbal con un volumen unitario de 2.435 m<sup>3</sup>. El sistema de aireación instalado son oxirrotos. El oxígeno aportado por cada uno de los oxirrotos es de 54 kg O<sub>2</sub>/h.

- Fortuna. Cuenta con dos reactores de tipo Carrusel con un volumen unitario de 2.500 m<sup>3</sup>. Dispone de soplantes con difusores tubulares cuyo caudal de aire aportado es de 2.200 Nm<sup>3</sup>/h.

- Abanilla. Cuenta con un reactor biológico de tipo Carrusel con un volumen de 2.962 m<sup>3</sup>, con un sistema de aireación mediante oxirrotos. El oxígeno aportado por cada oxirrotor es de 52,5 kg O<sub>2</sub>/h.

- Beniel. Posee dos reactores biológicos de tipo Carrusel, de 5.625 m<sup>3</sup> de volumen unitario y su sistema

de aireación es a través de soplantes con difusores de plato. El caudal aportado por la soplante es de 5.339 Nm<sup>3</sup>/h.

Para la realización de las pruebas del presente estudio se ha empleado el método de análisis off-gas, con el que se obtiene directamente los valores del SOTE del sistema, en planta piloto, bajo condiciones controladas de proceso. Para ello se ha seguido la normativa ASCE 18-1996 y la ATV-M 209.

El método off-gas es una técnica basada en el balance de masas en la fase gas, para obtener directamente el coeficiente de transferencia de oxígeno en sistemas de aireación mediante difusores. Dicho método requiere de la utilización de un adecuado analizador para obtener una medida precisa del contenido relativo de oxígeno en la fase gas del aire ambiente y del off-gas saliente de la superficie del líquido del sistema de aireación.

Esta técnica utiliza un flotador en la superficie del licor mezcla para capturar y conducir el off-gas saliente hacia el analizador con el fin de medir el caudal de gas y el contenido en oxígeno (**Figura 1**).

Con este método también se miden las presiones parciales de oxígeno tanto en el aire de entrada al sistema como en la corriente de salida de la superficie del tanque de pruebas, bajo condiciones controladas de presión, temperatura, humedad, caudal de aire y contenido en dióxido de carbono. Es importante conocer el contenido en dióxido de carbono y vapor de agua de las dos corrientes de aire, con el fin de eliminar la influencia de sus presiones parciales.

**FIGURA 1.** Esquema de captación y análisis del off-gas en el reactor biológico.

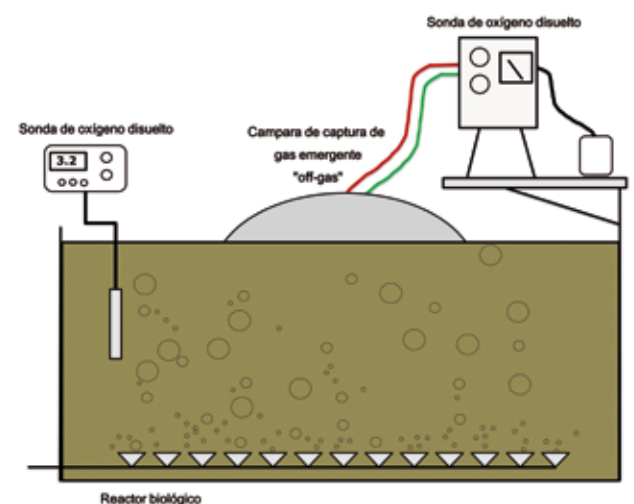
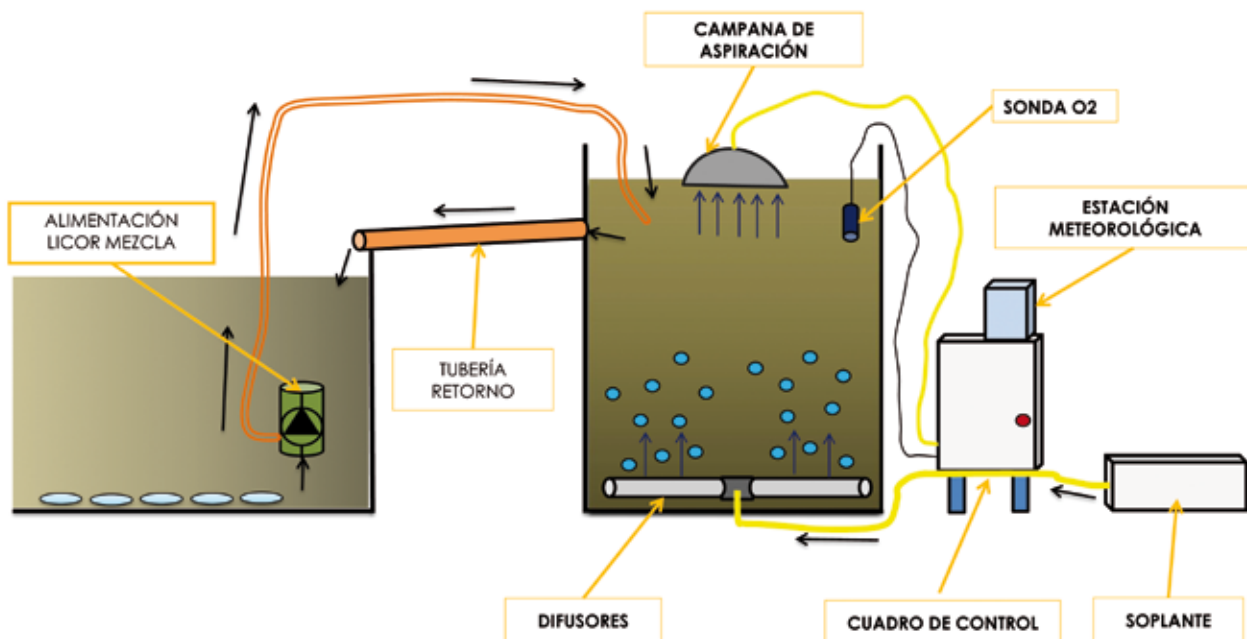


FIGURA 2. Esquema de la planta piloto.



Con la diferencia entre la concentración de oxígeno en la corriente de entrada y la del off-gas se calcula la medida de eficiencia de transferencia de oxígeno (SOTE) del sistema de aireación aplicando la **Ecuación 1**:

$$SOTE_{pw} (\%) = \frac{\text{Masa Oxígeno Entrada} - \text{Masa Oxígeno Off-gas}}{\text{Masa Oxígeno Entrada}} \times 100$$

El valor del  $SOTE_{pw}$  indica cuánto del oxígeno que se aporta a un sistema (licor mezcla) se transfiere en condiciones estándar. Las condiciones estándar son 1 atmósfera de presión y 10 °C de temperatura.

Otro parámetro a tener en cuenta es el alfa ( $\alpha$ ), que es un coeficiente que relaciona la transferencia de oxígeno en el fango activo con la transferencia de oxígeno en agua limpia (**Ecuación 2**):

$$\alpha = \frac{SOTE_{pw}}{SOTE_{cw}}$$

### 2.1. CONDICIONES REALES EN REACTOR BIOLÓGICO

Los puntos de muestreo escogidos para realizar las pruebas en las EDAR de Beniel y Fortuna fueron en la zona aireada para las pruebas en el reactor. En cuanto a Santomera y Abanilla, solo se realizaron pruebas en la planta piloto, ya que poseen un sistema de aireación superficial mediante oxirrotos que es incompatible con el método off-gas.

Para este estudio se realizaron al menos 10 mediciones útiles de  $SOTE_{pw}$  con el caudal de aire habitual de trabajo de cada una de las EDAR.

### 2.2. CONDICIONES CONTROLADAS EN PLANTA PILOTO

Para las pruebas en planta piloto, la sistemática de trabajo consistió en aplicar, a las muestras de fango activo de cada EDAR, cuatro caudales de aire diferentes, de los que se realizaron 10 mediciones útiles de  $SOTE_{pw}$  de cada uno de ellos. Cabe remarcar que este procedimiento también se realizó en agua limpia para poder así calcular el  $SOTE_{cw}$  y posteriormente el valor de alfa.

La planta piloto consta principalmente de un recipiente de plástico circular construido en polietileno con un diámetro interior de 1,80 metros y una altura de 4 metros (**Figura 2**). Además, cuenta con los siguientes equipos:

- Parrilla de difusores interna con sistema de fácil instalación. Esta parrilla está formada por 6 difusores tubulares.
- Soplante con caudal regulable.
- Bomba de alimentación de lodos activos con variador para ajustar el caudal.
- Sistema de medición del caudal de aire aspirado.
- Sistema de medición de las condiciones atmosféricas: temperatura, humedad y presión.
- Sonda de oxígeno y temperatura.



TABLA 1

## TABLA DEL SOTE OBTENIDO EN CONDICIONES REALES

EDAR	SOTE (%)
Beniel	18,97
Fortuna	13,78
Abanilla	-
Santomera	-

- Mangueras de conexión del suministro de aire, así como para la toma de muestra de aire (off-gas y conexión hidráulico de la planta (alimentación de lodos y retorno).

En la planta piloto, los parámetros de control motorizados son los siguientes:

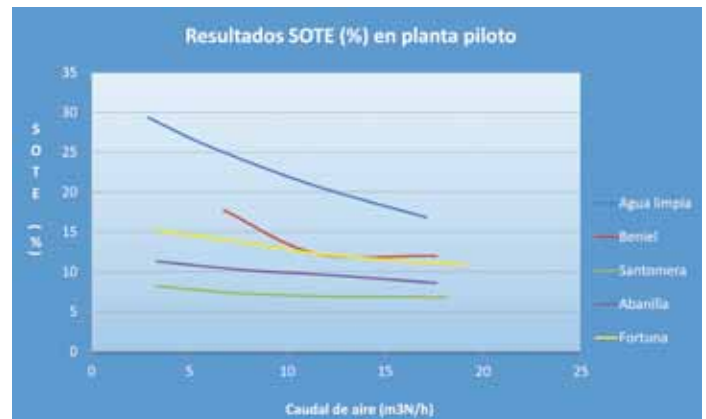
- Condiciones atmosféricas: se controla la presión atmosférica, la temperatura ambiente y la humedad.
- Condiciones de aireación: se controla el caudal de aire suministrado, la presión de trabajo y la temperatura del licor mezcla.
- Condiciones de reacción: se controla el oxígeno disuelto del fango activo, la temperatura del agua y el off-gas.
- Condiciones de operación: se controla el caudal de fangos activos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1. CONDICIONES REALES EN REACTOR BIOLÓGICO

Los valores de SOTE obtenidos en la EDAR de Beniel son del 18,97% y 19,6% para los meses de junio y octubre

FIGURA 3. Gráfica que relaciona el porcentaje de SOTE con el caudal de aire.



de 2013, respectivamente. Para Fortuna, los valores de  $SOTE_{pw}$  fueron del 13,78% y del 18,30%. Se observa que en la EDAR de Fortuna hay un incremento del  $SOTE_{pw}$  del 4,52%, debido a que en el mes de Septiembre se realizó un cambio de los difusores en los reactores biológicos (Tabla 1).

#### 3.2. CONDICIONES CONTROLADAS EN PLANTA PILOTO

En la Tabla 2 se muestran los valores de  $SOTE_{pw}$  obtenidos en planta piloto, tanto en agua limpia como en agua de proceso, de las cuatro EDAR objeto de estudio. En el agua limpia se observa qué valor de  $SOTE_{pw}$  máximo se podría alcanzar con los difusores objeto de estudio. Teniendo en cuenta esto, se observa que Beniel y Fortuna, a caudales bajos de aire, alcanzan los valores de SOTE más altos, llegando a un 17,7% y 15,2% respectivamente. Así mismo, tanto en Abanilla como en Santomera se han llegado a valores de un 11,3% y un 8,2%.

También se puede observar que a caudales bajos de aire, el SOTE es mayor (Figura 3). Esto es debido a que,

TABLA 2

## TABLA CON LOS VALORES DE SOTE OBTENIDOS EN DIFERENTES CAUDALES DE AIRE

Agua limpia		Beniel		Santomera		Abanilla		Fortuna	
Q aire (m³ N/h)	SOTE (%)	Q aire (m³ N/h)	SOTE (%)	Q aire (m³ N/h)	SOTE (%)	Q aire (m³ N/h)	SOTE (%)	Q aire (m³ N/h)	SOTE (%)
2,9	29,34	6,77	17,7	3,28	8,2	3,34	11,3	3,24	15,26
6,1	25,64	11,48	12,3	7,64	7,3	7,9	10,2	8,02	13,59
11,3	20,89	17,62	12	12,13	6,9	12,13	9,6	12,31	12,08
17,1	16,82	-	-	18,16	6,8	17,62	8,6	19,15	10,85

**TABLA 3**

**TABLA COMPARATIVA DEL ALFA TEÓRICA CON LA REAL**

EDAR	Alfa teórica	Alfa real
Beniel	0,65	0,69 – 0,60
Fortuna	0,65	0,52 – 0,58
Abanilla	0,65	0,46 – 0,39
Santomera	0,65	0,33 – 0,28

a menor caudal de aire, la velocidad de las burbujas disminuye, aumentando así el tiempo de residencia de las burbujas en el licor mezcla y aumentando la eficiencia de transferencia de oxígeno.

Referente al alfa, se puede observar que Beniel y Fortuna tienen valores de este parámetro muy similares a los bibliográficos, mientras que Santomera y Abanilla tienen un alfa inferior, llegando a valores ligeramente por debajo de 0,3 (**Tabla 3**). Los aportes de aguas industriales en estas EDAR explicarían la diferencia obtenida.

#### 4. CONCLUSIONES

En cuanto a las pruebas realizadas en la planta piloto, los mejores resultados de  $SOTE_{pw}$  se obtienen para Beniel y Fortuna, EDAR provistas de soplantes y difusores de burbuja fina. En contraposición, en Abanilla y Santomera se han obtenido los valores más bajos de este parámetro debido a que poseen un sistema de aireación mediante oxirrotos.

Es conocido que, en los sistemas de aireación por difusores, cuando el caudal de aireación es bajo, aumenta


la transferencia de oxígeno debido a que las burbujas de aire permanecen más tiempo en el licor mezcla.

Los valores del parámetro alfa en la planta piloto siguen la misma tendencia que los de SOTE en las plantas estudiadas, por depender directamente de esta.

En condiciones reales, tal y como se ha comentado anteriormente, no se ha podido medir el SOTE en las EDAR de Santomera y Abanilla por no cumplirse las condiciones de la norma. Sin embargo, en las EDAR de Beniel y Fortuna se han obtenido resultados concluyentes. Los valores de SOTE obtenidos en el mes de octubre son más altos que los del mes de junio en ambas plantas. En el caso de Fortuna, esta diferencia es más notable debido al cambio de difusores realizado en el mes de septiembre.

Desde el punto de vista de la explotación y gestión de una EDAR, es interesante mantener los valores de SOTE elevados con el objeto de optimizar, desde el punto de vista energético, el sistema de aireación. Desde el punto de vista del mantenimiento de un sistema de aireación por difusores, conocer el SOTE permite a los operadores de planta determinar el momento oportuno en el que realizar una operación de limpieza de los difusores instalados dado que, si el valor de SOTE se sitúa por debajo de lo habitual, puede deberse a que los difusores tienen suciedad y, por lo tanto, es conveniente realizar una limpieza.

#### Bibliografía

- [1] Norma ASCE 18-1996 de la American Society of Civil Engineers, 'Standard Guidelines for In-Process Oxygen Transfer Testing'.
- [2] Normativa alemana ATV-M 209, 'Measurement of Oxygen Transfer under Process Conditions'.
- [3] Trillo Fox, I. (2014). Sistemas de aireación. Técnicas aplicables al diseño y gestión. CEDEX. 

Consulte más artículos técnicos en:

[www.tecnoaqua.es](http://www.tecnoaqua.es)