# Hidrodinámica en los diversos biorreactores de una EDAR: efectos geométricos y de impulsión

La optimización de un proceso de depuración de aguas residuales precisa conocer la hidrodinámica que tiene lugar en el reactor biológico, de manera que se puedan estimar los perfiles de velocidad/concentración, y las posibles deficiencias de flujo, tales como zonas muertas o caminos preferenciales, que tendrán influencia en la eficacia de depuración. En este trabajo se ha estudiado mediante la técnica de distribución del tiempo de residencia (DTR) la hidrodinámica de biorreactores aireados de burbujeo, de biorreactor de mezcla de corrientes, de biorreactor no aireado y de biorreactor no aireado con impulsor de flujo. Al mismo tiempo, en este trabajo se ha podido estimar el efecto de la sustitución de una parrilla de difusores por un agitador acelerador de flujo en una planta de lodos activados.

**Palabras clave**
Reactor de lodos activos, coruro de litio, distribución del tiempo de residencia (DTR), eficiencia hidráulica, estudio hidrodinámico.

## DEGRADATION STUDY OF IBUPROFEN IN WASTEWATER BY HOMOGENEOUS PHOTO-FENTON PROCESS

*The optimization of a wastewater treatment process requires the knowledge of the hydrodynamic that takes place in the biological reactor in order to estimate both rate and concentration profiles and possible inefficiencies, such as dead zones and short-circuiting flows, which affect significantly its purification efficiency. In the present work, the hydrodynamic of various bubble aerated aerobic bioreactors, such as mixing bioreactor, non-aerated bioreactor and non-aerated bioreactor with flow impeller, have been studied using the Residence Time Distribution (RTD) technique. Additionally, the effect of the substitution of a diffuser plates by a flow accelerator in an activated sludge treatment plant has also been estimated.*

**Keywords**
*Activated sludge reactor, lithium chloride, Residence Time Distribution (RTD), hydraulic efficiency, hydrodynamic study.*

**Julio Antonio Pérez Álvarez**
director general de Operación en Aguas Tratadas del Valle de México (ATVM-PTAR Atotonilco), Acciona Agua

**Jesús Sánchez Jiménez**
gerente del Departamento de O&M Zona Norte II, Acciona Agua

**María Pilar Suárez Corteguera**
jefa de Planta en EDAR Baiña, Acciona Agua

**Angelina García Álvarez**
jefa de Laboratorio en EDAR Baiña, Acciona Agua

**Clara Huerta Rodríguez**
técnica del Departamento de Depuración en EDAR Baiña, Acciona Agua

**Jesús Fajardo Ibañez**
técnico de Automatización y Control O&M Zona Norte II, Acciona Agua

**María Remedios López Pacetti**
técnica del Departamento de Depuración de Acciona Agua

**Carla Ameijenda**
Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Oviedo

**Paula Oulego**
Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Oviedo

**Sergio Collado**
Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Oviedo

**Mario Díaz**
Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Oviedo

## 1. INTRODUCCIÓN

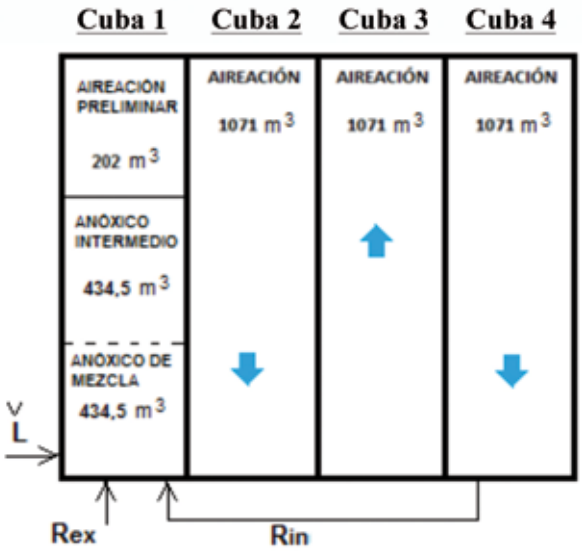
En los reactores biológicos de lodos activos, la inyección de aire, así como la agitación necesaria para el movimiento del fluido a través del reactor, suponen un consumo de energía muy elevado. Por este motivo, resulta crucial identificar y optimizar su comportamiento, aumentando de ese modo la eficacia, a la vez que se reducen los costes de operación (Sánchez *et al.*, 2016).

Por ello, uno de los puntos clave en el funcionamiento de un reactor biológico es su comportamiento hidrodinámico. En general, los reactores biológicos se diseñan conforme a dos modelos ideales de flujo, concretamente, los modelos de flujo pistón (los elementos de fluido avanzan como un pistón sin mezclarse entre ellos) y de tanque agitado (mezcla perfecta de todos los elementos de fluido). Sin embargo, los reactores reales pueden presentar un comportamiento muy distinto a los predichos por estos modelos ideales, debido fundamentalmente a la presencia de varias fases (microorganismos, agua, aire, etc.), zonas estancas, caminos preferenciales, etc., lo que conlleva, a su vez, que los rendimientos de depuración reales difieran notablemente de los valores teóricos de diseño.

En una planta gestionada por la empresa Acciona Agua se procedió a modificar uno de sus reactores biológicos, se sustituyó la última parrilla de difusores de la zona aerobia final por un agitador de flujo, para reducir los costes energéticos asociados a la aireación en dicha zona. Para saber si la hidrodinámica del sistema se ha visto o no alterada, se realizó un estudio comparativo de las dos configuraciones del reactor de lodos activos operativo en dicha planta, a través del análisis hidrodinámico experimental, utilizando la técnica de la distribución de tiempo de residencia (DTR). Esta se basa en un análisis estímulo-respuesta, que consiste en la inyección de un trazador inerte a la entrada del reactor y del posterior análisis de la concentración de trazador a la salida del mismo en función del tiempo (Danckwerts, 1953).

Mediante este procedimiento, se determinan los tiempos que permanecen las distintas fracciones de fluido en el reactor, pudiendo conocer así su semejanza con los modelos hidrodinámicos ideales de pistón o mezcla perfecta, así como la naturaleza de las desviaciones frente a estos comportamientos, tales como la existencia de zonas muertas o caminos preferenciales. Una vez obtenidos los modelos hidrodinámicos reales para ambas configuraciones, estas se compararán y se discutirán las diferencias en términos de variaciones en las eficacias de depuración.

FIGURA 1. Esquema de los distintos biorreactores analizados.




## 2. GEOMETRÍA Y METODOLOGÍA

### 2.1. DISPOSICIÓN

El reactor biológico de lodos activos analizado en el presente trabajo permite el tratamiento de un caudal equivalente a 83.500 habitantes en tres líneas idénticas Cada una de estas líneas tiene un volumen 4.284 $m^3$, dividido en cuatro cubas, cuya distribución se muestra en la **Figura 1**.

La primera cuba está subdividida en tres tanques: dos anóxicos de igual tamaño, 434,5 $m^3$ cada uno, y un compartimento aireado posterior de menor volumen, 202 $m^3$. Las otras cubas (2, 3 y 4 en la **Figura 1**) están completamente aireadas. Cada cuba posee dos parrillas de difusores a excepción de la primera, en la que solo se dispone de una parrilla en el tanque aireado preliminar. Existe diferente disposición de los difusores en las parrillas de las cubas, así pues, en el tanque aireado preliminar se tiene aproximadamente 6 difusores/$m^2$, en la cuba 2 son 4 difusores/$m^2$, 2 difusores/$m^2$ en la cuba 3 y cerca de 1,5 difusores/$m^2$ en la cuba 4. En los dos compartimentos anóxicos no existe aireación. Sin embargo, hay un agitador mecánico en cada uno de estos tanques para evitar que decante el fango.

## 2.2. GEOMETRÍA

La sección es la misma en toda la línea, 6,07 m de ancho y 5,35 m de alto. Lo único que se modifica es la longitud de los tanques, 32,9 m para las cubas aireadas, 13,4 m para los tanques anóxicos y 6,1 m para el tanque aireado preliminar. La cota de agua se encuentra normalmente sobre los 4,9 m de alto.

Los tanques se encuentran separados por tabiques. Estos tabiques presentan dos secciones rectangulares abiertas en la parte superior y una cuadrada más pequeña en la parte inferior, de tal manera que el agua avanza de un tanque a otro por rebose y por el fondo. Asimismo, el reactor opera con la clásica recirculación externa de fangos desde el sedimentador secundario a la entrada de anoxia y con una recirculación interna desde la zona aerobia final a la zona anóxica.

Las modificaciones que se han propuesto en la configuración previamente descrita son las siguientes:

- La sustitución de la última parrilla de difusores de la cuba 4 por un acelerador de flujo.
- El cambio de localización de la entrada de la recirculación interna en el primer tanque anóxico, situándola a mayor profundidad (a 0,68 m del suelo, frente a los a 4 m de altura iniciales).

Con respecto a la primera modificación, el acelerador de flujo empleado es de tipo hélice, con una potencia de 7,5 kW y un diámetro de 2,2 m, y se encuentra colocado detrás de la primera parrilla de difusores, aproximadamente en el centro de la cuba 4 (**Figura 2**).

## 2.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

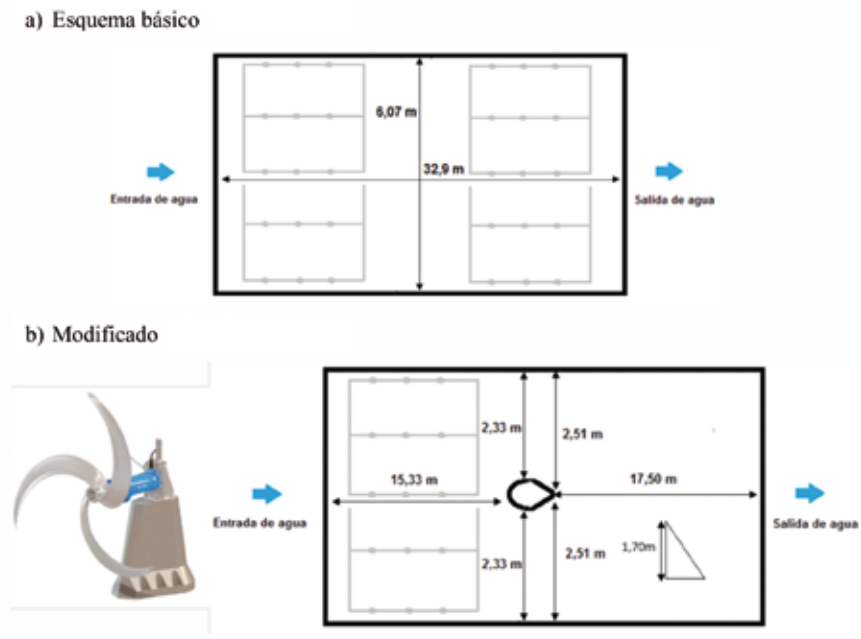
Con respecto a la metodología, para el análisis hidrodinámico de los biorreactores que constituyen las diferentes líneas, se emplea la técnica de distribución del tiempo de residencia (DTR), utilizando cloruro de litio como trazador. Así, se inyecta una determinada cantidad de trazador en forma de pulso (en el menor tiempo posible), a la entrada de cada tanque, y seguidamente, se comienzan a tomar muestras a la salida del mismo, para obtener una curva de concentración de trazador en función del tiempo, denominada curva c(t).

La propia forma de la curva proporciona información hidrodinámica. Por ello, a través de la curva c(t) se analiza el tipo de flujo y el grado de mezcla que se producen en el interior del reactor.

Para el análisis cuantitativo de la curva experimental c(t), se aplica el Modelo de Dispersión (Danckwerts, 1953). Este permite conocer la desviación del flujo con respecto a la idealidad, dando una idea de la dispersión que experimenta el trazador en el interior del reactor. El proceso de dispersión viene representado por el coeficiente de dispersión $D_z$ ($m^2/s$), de tal modo que valores altos de este parámetro indican dispersión axial grande y rápida, valores bajos sugieren dispersión lenta y un valor nulo indica una dispersión es nula, es decir, un comportamiento ideal de flujo de pistón. Asimismo, también se aplica el modelo de reactores continuos perfectamente mezclados en serie a fin de conocer el número de reactores de mezcla perfecta que caracteriza dicho flujo. Para la aplicación de ambos modelos se utilizaron las **ecuaciones** que se muestran a continuación

El trazador elegido para realizar los análisis DTR fue el cloruro de litio (LiCl). El LiCl es ampliamente utilizado como trazador dado que es soluble, no se adsorbe sobre los microorganismos ni sobre las paredes del reactor, no es reactivo ni tóxico, es incoloro y se puede detectar a muy bajas concentraciones (Potier *et*

**FIGURA 2.** Disposición de las parrillas en la cuba 4: a) esquema básico; b) modificado sustituyendo la mitad de los difusores por un acelerador de flujo.



| | |
|---|---|
| **Cálculo de valores promedio.** | $\bar{t} = \frac{\int_0^\infty t \cdot c(t)dt}{\int_0^\infty c(t)dt} = \frac{\sum_{i=1}^\infty t_i \cdot c(t_i)\Delta t_i}{\sum_{i=1}^\infty c(t_i)\Delta t_i}$ |
| **Cálculo de la varianza.** | $\sigma^2 = \frac{\int_0^\infty (t-\bar{t})^2 \cdot c(t)dt}{\int_0^\infty c(t)dt} = \frac{\sum_{i=1}^\infty (t_i-\bar{t})^2 \cdot c(t_i)\Delta t_i}{\sum_{i=1}^\infty c(t_i)\Delta t_i}$ |
| **Sistema abierto-abierto. Varianza en el modelo de dispersión axial.** | $\sigma^2 = \bar{t}^2 \cdot \left[2 \cdot \frac{D_z}{uL} - 2 \cdot \left(\frac{D_z}{uL}\right)^2 \cdot \left[1 - e^{-D_z/uL}\right]\right]$ |
| **Varianza en el modelo de N-RCPM (reactores continuos perfectamente mezclados)** | $N = \frac{\bar{t}^2}{\sigma^2}$ |

**Ecuaciones**

*al.*, 2005; Sanchez *et al.*, 2016). La técnica empleada para la medición de litio ($Li^+$) en las muestras fue la espectrometría de masas por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS).

La cantidad de trazador inyectada dependió del volumen del biorreactor estudiado. Concretamente, se añadieron 0,74 g LiCl/$m^3$ de tanque en forma de disolución concentrada en cada prueba. Las inyecciones se realizaron siempre a la entrada del tanque objeto de estudio, llevándose a cabo la toma de muestras a la salida del mismo, para analizar de manera independiente cada tanque. En el caso del primer tanque (anóxico de mezcla), dado que posee tres entradas (recirculación externa, recirculación interna y agua decantada) se realizó una inyección de trazador en cada entrada. Las inyecciones de trazador se realizaron en superficie, excepto en el caso de las recirculaciones internas, que se realizaron a la correspondiente profundidad.

El muestreo se realiza durante aproximadamente tres veces el tiempo medio de residencia teórico (τ) de cada tanque (**Tabla 1**). Siendo este último calculado teniendo en cuenta el caudal medio de operación. Las muestras se tomaron aproximadamente a una profundidad de 45 cm.

Antes de su análisis mediante ICP-MS, las muestras fueron filtradas por 0,45 micras, se diluyeron 1:10 con ácido nítrico al 2% y se les añadió un patrón interno (5 ppb berilio).

Llegados a este punto, hay que señalar que la técnica de análisis de DTR, aunque proporciona información fiable, presenta ciertas inexactitudes que dan lugar a errores experimentales. La principal fuente de error en las pruebas realizadas tiene que ver con el caudal. Los caudales son muy variables, dependiendo en gran medida de las condiciones meteorológicas de la zona, aunque también influyen otros factores como el hecho de que el caudal no se reparta igualmente para todas las líneas. Por esta variabilidad, se utilizaron valores medios de caudal registrados en diferentes meses y se realizaron las pruebas, siempre en la medida de lo posible, en días en los que no se hubieran producido precipitaciones los días anteriores. También existen otras pequeñas fuentes de error asociadas a la inyección de trazador, a la toma de muestras e inevitablemente al método de medida. Por lo tanto, es necesario considerar estas fuentes de errores a la hora de extraer conclusiones definitivas.

## 3. RESULTADOS

A continuación, se analizan los diferentes tanques por separado a fin de conocer de manera más precisa tanto el efecto de mezcla en el caso del primer tanque anóxico como el efecto de tamaño y efecto de impulsión (provocado por el acelerador) en la zona aireada.

### 3.1. BIORREACTOR DE PARRILLA DE BURBUJEO

Dado que todas las cubas aireadas (cubas 2, 3 y 4 en la configuración no modificada y cubas 2 y 3 en la modificada; ver **Figura 1**) presentan la misma geometría, se realizó el estudio de DTR en solo una de las cubas. En cada cuba aerobia hay conectadas dos parrillas de difusores, circula un caudal de 19,44 $m^3$/min y tienen un volumen de 1.071 $m^3$. Por lo tanto, su tiempo medio de residencia teórico es de 55 minutos.

TABLA 1

**TIEMPOS DE RESIDENCIA TEÓRICOS DE CADA TANQUE.**

| Tanque | Volumen ($m_3$) | τ (min) |
|---|---|---|
| Anóxico de mezcla | 434,5 | 22,4 |
| Anóxico intermedio | 434,5 | 22,4 |
| Aireado preliminar | 202 | 10 |
| Aerobio | 1.071 | 55 |

En las cubas aerobias, por lo que se deduce de la forma de la curva (**Figura 3**), se observa un comportamiento alejado del flujo tipo pistón ya que el trazador comienza a registrarse a tiempos próximos a cero. Por otra parte, $t/\tau$ toma el valor 1,28, lo que significa que existe buena distribución de flujo. Por tanto, el flujo en este tanque posee un alto grado de mezcla axial, definido por N = 2 y $D_z$ = 0,13 $m^2/s$, es decir, un número bajo de reactores perfectamente agitados en serie, además de un valor alto del coeficiente de difusión. Este elevado grado de mezcla se puede atribuir a la turbulencia originada por las burbujas de aire.

## 3.2. BIORREACTOR DE PARRILLA DE BURBUJEO: EFECTO DEL TAMAÑO

El tanque aerobio preliminar (ver cuba 1, en **Figura 1**) es un tanque aireado similar al del caso anterior, pero de menor tamaño, con un tiempo de residencia teórico de 10 minutos.

En este tanque, el flujo queda definido por N = 1,2 y $D_z$ = 0,11 $m^2/s$. El número N disminuye ligeramente con respecto a la cuba aerobia, lo que implica mayor grado de mezcla. El trazador comienza a detectarse primero, es decir, la curva se desplaza hacia la izquierda (**Figura 4**). En cambio, el coeficiente de difusión es aproximadamente el mismo al obtenido para las cubas aerobias en vez de ser más elevado. Este hecho puede estar relacionado con errores experimentales asociados a la diferencia de densidad de difusores en el tanque aerobio preliminar con respecto a las cubas aerobias. El índice de tiempo de retención promedio ($t/\tau$) toma un valor ligeramente inferior a 1, esto significa que el flujo no se distribuye de forma uniforme en todo el volumen del tanque. El tiempo de residencia experimental es menor al teórico, lo que significa que una pequeña parte del trazador toma un camino preferencial tardando menos tiempo en pasar al siguiente compartimento.

**FIGURA 3.** Distribución del tiempo de residencia de las partículas de trazador a la salida del tanque aerobio.

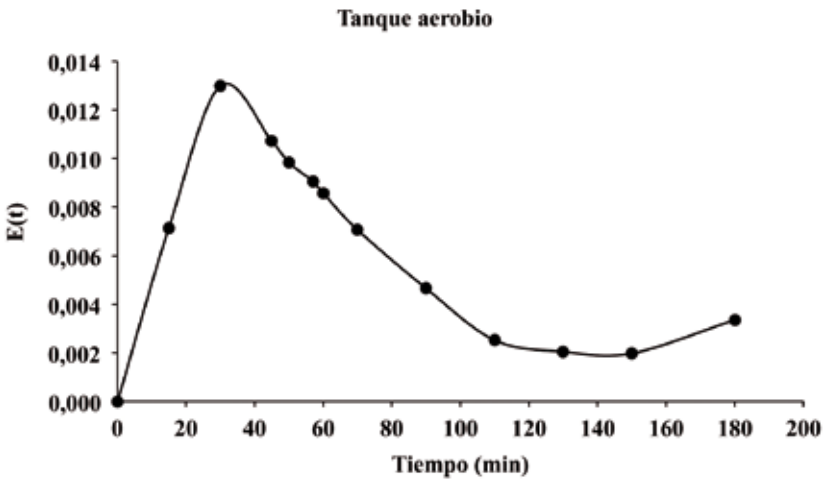
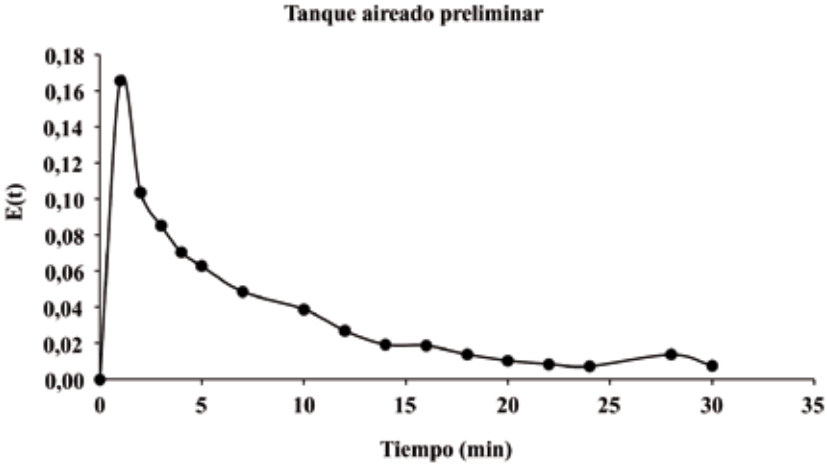



**FIGURA 4.** Distribución del tiempo de residencia del trazador en el tanque aireado preliminar.




## 3.3. BIORREACTOR CON ACELERADOR DE FLUJO

Para conocer el efecto de impulsión, se sustituyó en la configuración modificada la última parrilla de difusores de la cuarta cuba por un acelerador de flujo tipo hélice.

El trazador se detecta más rápidamente cuando la aireación neumática se sustituye por el acelerador de flujo, por lo que la curva c(t) se desplaza hacia la izquierda con respecto al tanque aerobio sin acelerador (**Figura 5**). Al sustituir la parrilla de difusores por el impulsor, el flujo queda caracterizado por N = 1,2 y $D_z$ = 0,47 $m^2/s$. El aumento del coeficiente de difusión y la disminución del número de reactores ideales en serie implica un aumento del grado de mezcla con respecto a la configuración sin modificar, debido a la

componente de velocidad que aporta el acelerador. El índice de tiempo de retención promedio ($t/\tau$) es 1,07 lo que significa que existe muy buena distribución de flujo, mejor que en el caso sin acelerador.

### 3.4. BIORREACTOR DE FLUJO (SIN AERACIÓN NI ACELERADOR)

En el tanque anóxico intermedio no existen parrillas de difusores, solamente hay un agitador mecánico para evitar que decante el fango. Teniendo en cuenta el volumen del tanque y el caudal medio que circulaba por el mismo, 19,44 $m^3$/min, el tiempo de residencia teórico fue de 22,4 minutos.

A pesar de haber una fuente de agitación mecánica, se experimenta menor grado de mezcla que con la agitación neumática (ver **Figuras 5** y **6**). Esto se refleja en que el pico de concentración no se detecta de manera inmediata y tampoco es muy acusado, sino que la curva presenta una ancha forma de campana (**Figura 6**). El modelo que caracteriza el flujo en este compartimento está definido por N = 2,1 y $D_z$ = 0,05 $m^2$/s, es decir, el coeficiente de difusión disminuye considerablemente respecto a la zona aireada, lo que indica una mayor componente de flujo de pistón. En este caso también existe buena distribución de flujo pues el índice de tiempo de retención promedio ($t/\tau$) es 1,08.

### 3.5. BIORREACTOR DE MEZCLA: EFECTO DEL PUNTO DE INYECCIÓN EN LAS CORRIENTES DE ENTRADA

Se denomina tanque anóxico de mezcla al primer biorreactor anóxico (ver **Figura 1**). A este tanque entran tres corrientes: el agua decantada (**Ĺ**), la recirculación externa ($R_{ex}$) y la recirculación interna ($R_{in}$). Para estudiar las tres corrientes y su efecto combinado sobre la hidrodinámica de este tanque, se realizó una inyección de trazador en cada entrada, tomando siempre muestras a la salida de dicho tanque. Las distribuciones de concentración de trazador obtenidas para las tres alimentaciones se muestran en la **Figura 7** y **Figura 8** para las configuraciones modificada y original, respectivamente.

FIGURA 5. Distribución del tiempo de residencia del trazador a la salida del tanque aerobio con acelerador de flujo.

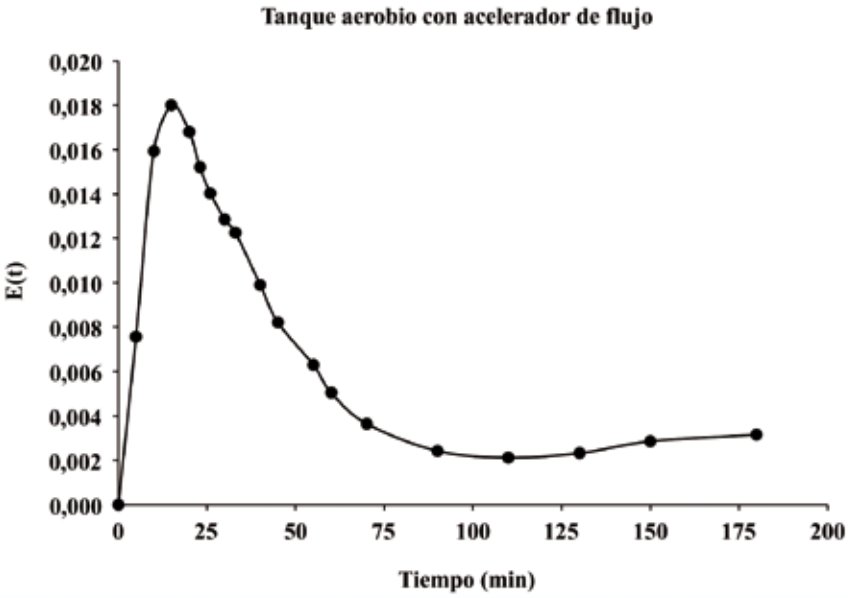
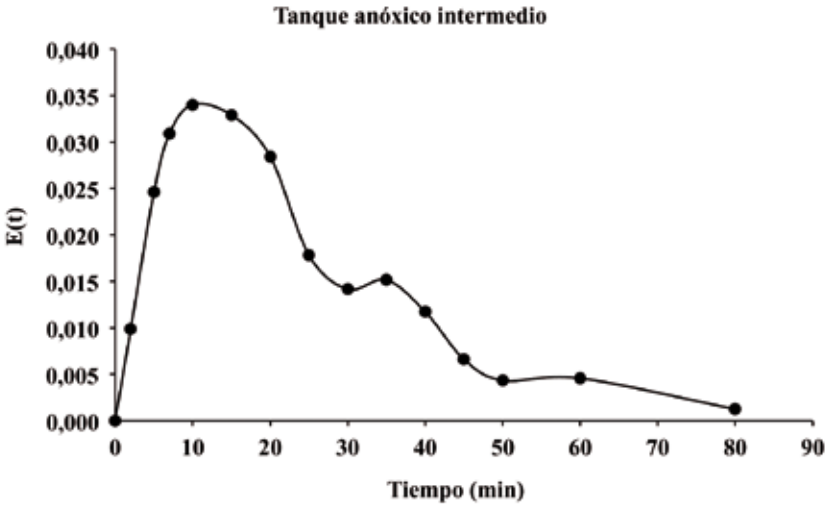



FIGURA 6. Distribución del tiempo de residencia del trazador en el tanque anóxico intermedio.




Asumiendo los posibles errores experimentales, las curvas c(t) obtenidas para ambas configuraciones son muy similares. El trazador se detecta rápidamente tras su inyección, independientemente de la corriente en la que sea inyectado. El hecho de que todos los picos de concentración sean acusados y estén desplazados hacia la izquierda indica un elevado grado de mezcla.

**FIGURA 7.** Distribuciones del tiempo de residencia del trazador a la salida del tanque anóxico de mezcla con la recirculación interna en profundidad.

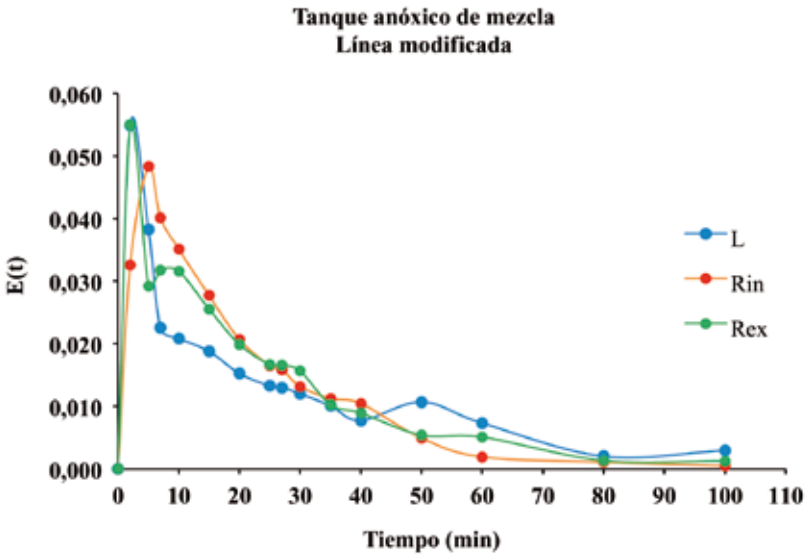
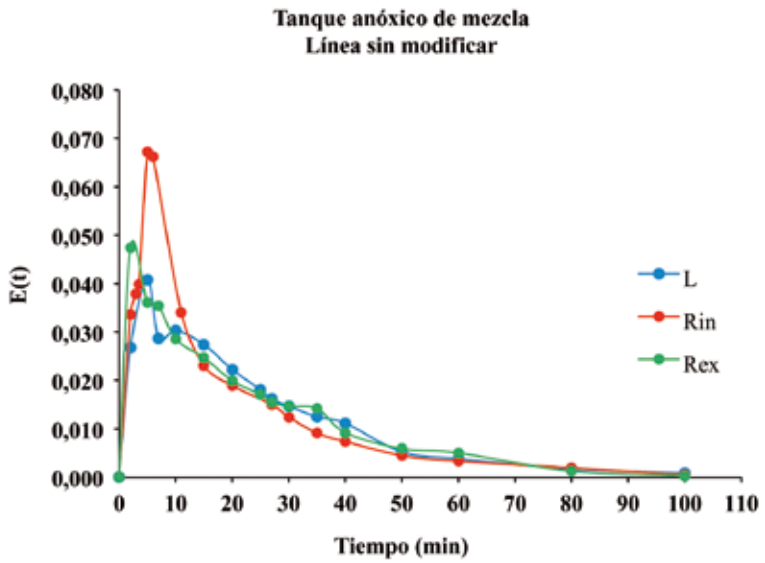



**FIGURA 8.** Distribuciones del tiempo de residencia del trazador a la salida del tanque anóxico de mezcla con la recirculación interna superficial.




A la hora de estudiar el efecto combinado de las tres corrientes sobre la hidrodinámica del tanque anóxico, es necesario, en los casos de $R_{in}$ superficial y $R_{in}$ en profundidad, sumar las distribuciones de tiempo de residencia de trazador obtenidas para las inyecciones en cada una de las tres corrientes de entrada. Tras dicho análisis, se obtiene que el comportamiento global de flujo en el tanque anóxico de mezcla en ambos casos, es decir, con Rin en profundidad y con Rin superficial, se caracteriza por N = 1,2 y $D_z$ = 0,18 $m^2/s$. Esto significa que el comportamiento de flujo es el mismo en los dos casos. Existe elevado grado de mezcla debido, no solo a la fuente de agitación externa sino también a la mezcla de tres corrientes diferentes. Asimismo, la profundidad a la que se alimenta la recirculación interna no tiene efecto sobre el comportamiento hidrodinámico del sistema.

## 4. CONCLUSIONES

Las conclusiones más relevantes extraídas del presente estudio son:

- El estudio realizado de la distribución de tiempos de residencia utilizando LiCl como trazador ha sido una técnica eficaz para el conocimiento del comportamiento del flujo en el interior del reactor biológico, habiéndose contrastado la bondad del método y su interacción medioambiental.

- Las cubas aerobias presentan un comportamiento alejado del flujo tipo pistón, caracterizado por un elevado grado de mezcla axial, que puede deberse a la turbulencia provocada por las burbujas de aire, y un alto valor del coeficiente de difusión.

- La sustitución de las parrillas por el acelerador de flujo en la cuba aireada dio lugar a un aumento del coeficiente de difusión y a la disminución del número de reactores ideales en serie. Ello implicó un aumento del grado de mezcla debido a la componente de velocidad que este aporta.

- El tanque anóxico intermedio presenta una mayor componente de flujo de pistón que los tanques aireados. Así, la presencia de agitación mecánica (para evitar la decantación del fango) en lugar de neumática genera un menor grado de mezcla.

- El cambio de localización de la recirculación interna no influyó significativamente en la hidrodinámica de los tanques anóxicos. Los cambios mínimos que pudiera haber según el punto de inyección tendrían un efecto en el caso de reacciones muy rápidas como neutralización, o

» El estudio realizado de la distribución de tiempos de residencia utilizando LiCl como trazador ha sido una técnica eficaz para el conocimiento del comportamiento del flujo en el interior del reactor biológico, habiéndose contrastado la bondad del método y su interacción medioambiental

a la hora de detectar cambios en la variación de la concentración de oxígeno en este tanque.

- No se presentan caminos preferenciales ni zonas muertas o estancas apreciables que afecten de manera importante a la hidrodinámica de los reactores biológicos. En general, la distribución del flujo es buena en todo el volumen del reactor.

**Bibliografía**

[1] Danckwerts, P.V. (1953). Continuous flow systems: distribution of residence times. Chem. Eng. Science, núm. 2, págs. 1-13.

[2] Metcalf & Eddy (2003). Wastewater engineering, treatment and reuse. McGraw-Hill, 4 ed., United States of America.

[3] Díaz, M. (2012). Ingeniería de bioprocesos. Ed. Paraninfo, Madrid.

[4] Sánchez F.; *et al*. (2016). Hydraulic characterization of an activated sludge reactor with recycling system by tracer experiment and analytical models. Water Research, núm. 101, págs. 382-392.

[5] Potier, O.; *et al*. (2005). Influence of geometrical and operational parameters on the axial dispersion in an aerated channel reactor. Water Research, núm. 39, págs. 4.454-4.462.

[6] Burrows, L.J.; *et al*. (1999). Evaluation of different analytical methods for tracer studies in aeration lanes of activated sludge plants. Water Research, vol. 33, núm. 2, págs. 367-374.

[7] Samstag, R.W.; *et al*. (2005). Hydraulic characteristics of activated sludge aeration tanks. Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2005: Session 31 through Session 40, págs. 2.712-2.727(16).

[8] Fall, C.; Loaiza-Navia, J.L. (2007). Design of a tracer test experience and dynamic calibration of the hydraulic model for a full-scale wastewater treatment plant by use of AQUASIM. Water Environment Research, vol. 79, núm.8, págs. 893-900.

TECNOAQUA

# Normas de publicación para autores

Estimado Colaborador:

Para facilitar la publicación de los artículos técnicos (o procesos y sistemas) en nuestra revista TECNOAQUA se han elaborado unas breves normas de forma y contenidos para sus autores.

## RECOMENDACIONES A LOS AUTORES DE ARTÍCULOS

**1.** Los artículos deben ser inéditos, nuestra política editorial requiere exclusividad para publicarlos. No obstante, si tuviera interés en publicarlos en otro medio a posteriori, dicho medio deberá pedirnos autorización.

**2.** Deberán figurar el nombre y dos apellidos del autor o autores, su titulación y/o cargo en la entidad a la que pertenezcan, dirección completa, teléfono de contacto, fax, e-mail y web.

**3.** El título no debe sobrepasar las 20 palabras, con su traducción al inglés. (La traducción no es necesaria en caso de procesos y sistemas).

**4.** Se debe incluir un breve resumen del artículo de unas 100 palabras, junto a 5-8 palabras clave, y la traducción de todo ello al inglés (Todo este punto debe obviarse en el caso de procesos y sistemas).

**5.** El texto seguirá una línea de explicación coherente y progresiva, contando de partes con títulos y subtítulos numerados, que habitualmente empiezan con una introducción al tema (número 1), para pasar a su estudio de planteamientos, resultados, discusión.....- número 2, 3, 4, 4.1, 4.2...), terminando con las conclusiones y, si los hubiera, los agradecimientos (punto final). Por último, se añade la bibliografía (numerada dentro de corchetes [1], [2]...).

**6.** El artículo se redactará evitando el lenguaje académico o excesivamente denso, sin por ello dejar de mantener un rigor conceptual, explicando cuando convenga aquellos términos o conceptos de uso poco habitual.

**7.** Preferentemente se utilizarán frases y párrafos cortos. Debe evitarse la inclusión de notas a pie de página, incorporándolas dentro del texto.

**8.** Se cuidará la correcta expresión de las unidades, símbolos y abreviaciones.

**9.** El texto tendrá una extensión de unas 5-8 hojas, formato DIN A4 a espacio simple. Tipo de letra preferente: Times New Roman, 12.

**10.** Se incluirán gráficos, esquemas o fotografías en color para facilitar la comprensión del texto, todos ellos bajo el epígrafe de Figura, indicándose su ubicación en el texto escrito. Cada figura llevará su número y pie explicativo. Todas las figuras deben tener la suficiente calidad gráfica para su reproducción (300 píxeles por pulgada) y deben enviarse por separado. (Es aconsejable añadirlas en el texto escrito en baja calidad para, al menos, conocer su ubicación).

**11.** Las fotografías y dibujos deben tener un mínimo de 300 píxeles de resolución, tamaño 13x8 cm (mínimo), y en formato jpg, tiff o bmp, preferentemente.

**12.** El artículo se dirigirá al coordinador editorial de la revista TECNOAQUA, vía e-mail a: tecnoaqua@infoedita.net

**13.** Una vez recibido el artículo, la dirección de la revista estudiará su contenido. En caso de aceptación se indicará la fecha aproximada de publicación, que depende del tema del artículo y su relación con el contenido de cada número de la revista, así como del orden de artículos recibidos con anterioridad.

**14.** Una vez publicado el artículo, la revista envía un ejemplar de cortesía a cada autor firmante. A solicitud del interesado se puede enviar una carta o fax donde se especifique la aceptación del mismo antes de su publicación.